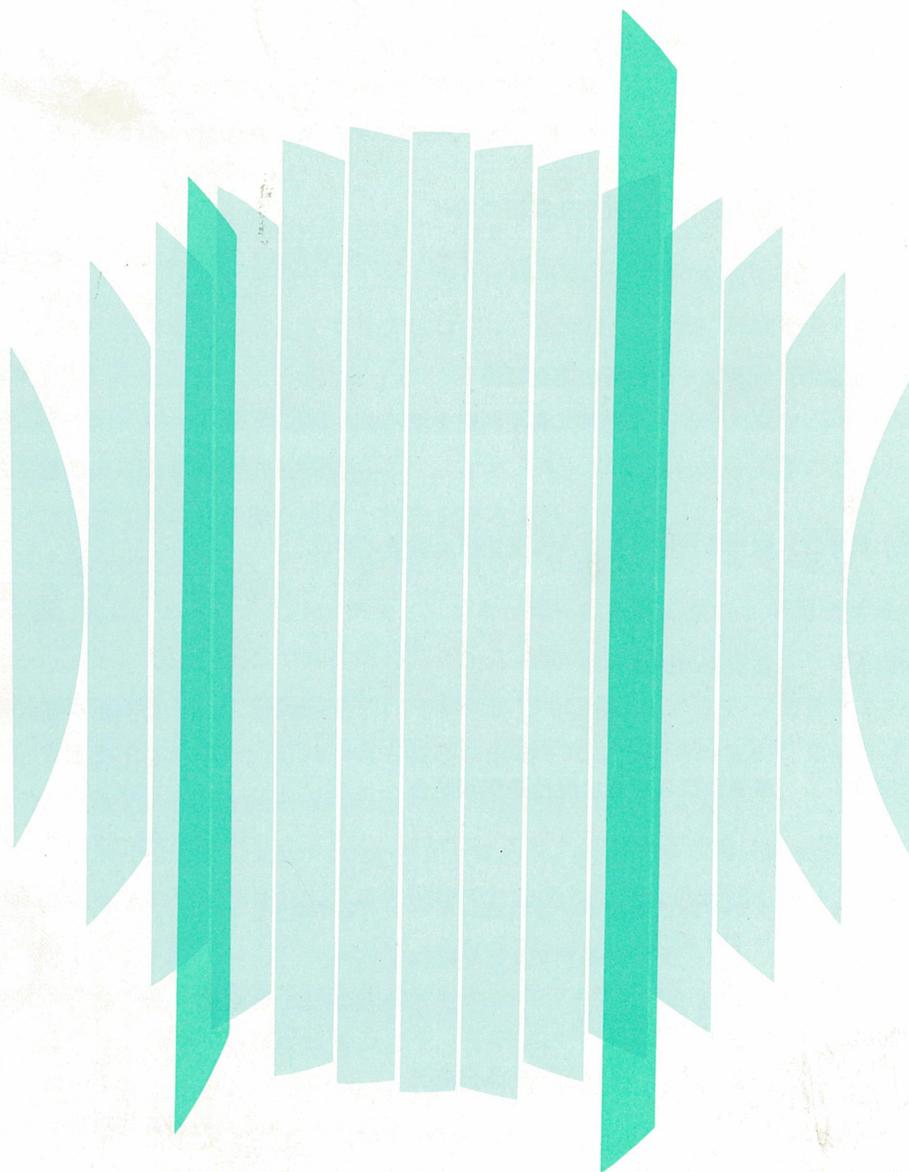


季報 エネルギー総合工学

Vol. 19 No. 2 1996. 7.



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

目 次

【新任挨拶】	新任のご挨拶	理事長 秋 山 守…	1
【退任挨拶】	発足の頃の思い出をこめて	前理事長 山 本 寛…	2
【随想】	「インデネカ文明」のルーツを求めて 通商産業省 関東通商産業局 公益事業部長 前 (財)エネルギー総合工学研究所 企画部長 藤 間 健 一…		4
【調査研究報告】	廃棄物発電高効率化技術の検討 エネルギー技術情報センター長 小 川 紀一郎 主任研究員 山 口 健 一…		14
【調査研究報告】	メタノール発電の総合評価 ——天然ガス利用の第2サイクルとして—— 主任研究員 平 山 智 之…		31
【海外出張報告】	欧州主要国における原子炉廃止措置の状況 主管研究員 川 野 忠 昭…		49
【技術解説】	重質油の処理技術 プロジェクト試験研究部 部長 片 山 優久雄…		59
【技術解説】	原子力における放射性廃棄物処分 専門役 和 達 嘉 樹…		75
【随想】	クリーンエネルギー自動車レポート（第1報） ——低公害車フェアを訪れて—— プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏…		86
【訪問記】	東北電力株 柳津西山地熱発電所 IAE女性研究員取材チーム…		90
【研究所のうごき】		96
【編集後記】		100

新任のご挨拶

秋 山 守 (財)エネルギー総合工学研究所
理事長



私、本年4月1日から山本前理事長の後任として当研究所でお世話になることになりました。

皆様から常日頃頂いております数々のご好意に対しまして、この機会に厚くお礼を申し上げますとともに、今後ともよろしくご指導ご鞭撻賜りますようお願い申し上げます。

顧みますと、これまで当研究所の活動につきましては、企画委員会のほか、いくつかの調査研究プロジェクトなどを通じまして、少しばかりのお手伝いをしてまいりましたが、その間に多くのことを学ぶことができましたのは、私にとり本当に有益であったと感謝致しております。

当研究所は昭和53年の設立以来、山本先生を中心に所員の皆様の大変なご尽力と、産官学のご関係の方々の温かいご支援のもとに、エネルギーの問題を総合工学の立場からとらえつつ、これまで着実に活動を広げ、成果を積み重ねてまいりました。

とりわけ通商産業省をはじめとする関係の省庁、ならびに電力、ガス、石油、電機、自動車、鉄鋼、建設、エンジニアリングなど、エネルギーの基幹産業および関連産業の各社、各機関から、そして広く大学や研究所の方々から格別のご支援をたまわっておればこそ、当研究所の事業が今日まで発展できたのでありまして、私ども、このことを深く心に銘じ感謝申し上げますとともに、これからも従前にも増してご高配をたまわりますようお願い申し上げます。

いまさら指摘いたすまでもなく、エネルギーは人々のあらゆる活動に広く係わっており、基本的に重要なものでありまして、自然環境や社会経済などとの調和を図りながらエネルギーを確保し有効に利用していくことが、これまでも大きな課題でありましたし、今後ますます真剣にそのことを考えていく必要があると存じます。

当研究所では、当面する課題はもとより、長期的にしかも広い視野に立って解決すべき課題を的確にとらえながら、今後とも全力を挙げて取り組んでまいり所存でありますので、よろしくご支援たまわりますようお願いを申し上げます。

皆様方の益々のご発展を念じつつ、簡単ではありますが以上をもちまして私のご挨拶とさせていただきます。

発足の頃の思い出をこめて

山 本 寛 (財エネルギー総合工学研究所
顧問 (前理事長))



3月31日で理事長を退任し、東京大学名誉教授秋山守氏と交替しました。昭和53年、第一次石油危機のショックを乗り越えて間もなく研究所が発足しましたので、以来18年を数えた事になります。振り返ってみますと、発足の頃はエネルギー問題の重要性が各界で盛んに論議され、生産・消費に係わる開発研究も始められてはいましたが、それらはまだ個々別々の研究として行われていた状況でしたので、エネルギー技術の研究開発について総合的に調査研究する組織の存在への要望が、東京大学の気鋭の教官の間に台頭し、昭和50年頃本郷3丁目の小さなビルの一室で寄り寄り議論がなされていました。それが進展して、広く産学官の協力による民間研究所を発足させてはとの案が提案され、通商産業省、経団連にその実現への願をするに至りました。そして、“エネルギー総合工学研究所”の名称も提案されました。

通商産業省からは積極的なご支援をいただき、また経団連では当時の土光会長がエネルギー問題に深い関心を持っておられ、何回か同氏を囲む会合が持たれました。

実際には、通商産業省を監督官庁とする財団法人の設立に当っては、当時資源エネルギー庁長官官房総務課長をしておられた真野温氏、また技術審査委員であられた平田辰一郎氏その他の方々の親身になってのご支援があり、昭和53年4月にはこの声を挙げる事ができました。また、発足日浅い頃からの電気事業連合会の厚いご配慮、特に当時の正親見一副会長のご厚志は、一日たりとも忘れることはできません。

最初の事務所は既に取り壊しが決っていた、今は無き元NHK放送会館の一室で、少人数によるスタートではありました。専務理事には資源エネルギー庁長官官房審議官であられた武田康氏の就任を見、また少し遅れてではありましたが、事務局長には東京電力(株)出身の柴田誠一氏が就任、翌年には常務理事となられ、以来研究所の基盤確立に尽すいされました。

調査研究の仕事は、準備段階で既に構想されていた課題、即ちエネルギー技術データベースの構築、システム評価手法の研究をスタートしたほか、海水ウラン回収や放射性廃棄

物の処理処分、また一寸遅れて、平田辰一郎氏の提案によるローカルエネルギー利用可能性についての調査研究も開始し、鹿児島県を対象とする現地調査にも着手しました。ローカルエネルギーの仕事は、その後、(財)新エネルギー財団によって展開されましたが、このように(財)エネルギー総合工学研究所が行う調査研究の特性は、課題の発掘とその初期段階でのそれからの中期的将来を見透した調査研究を行うことにあり、研究設備を持たない私共ではそれ以降の発展は、他の設備と人員を持って居られる処で行われる事を期待しており、その線は現在も変わってはおりません。

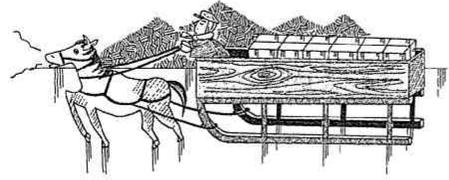
新規の課題の発掘には企画の役割が重要な事から、研究所は発足当初から企画委員会の役割を重視して来ましたが、年がたつに従って次第に受託研究の比率が大きくなり、企画委員会に本来の役割をお願いすることも容易でなくなって来ています。

また、研究所発足当初に構想していた、欧米の調査機関との協力や情報交換は、その後特定テーマについては交流が行われてはいるものの、当初頭に画いていたようには進展を見ていません。更に、研究所発足時に私が試みたロンドンとワシントンの駐在員計画も、それぞれ初代限りで終わってしまいました。

この度第2代の理事長に当初研究所構想を作られた秋山守先生が就任され、再び初心に立戻って研究所創設時の理念に副った運営をされる事を期待致し、今後の発展をお祈りします。

最後になりましたが研究所を、当初は想定していなかった現在の規模に迄への育成に力を貸して下さった歴代の専務理事、常務理事、また研究所の職員の皆様に心から感謝申し上げますと共に、常に御後援を賜っている通商産業省、電力をはじめとする産業界並びに学界の関係者の方々に衷心からお礼を申し上げます。

でも、当時は、再生可能エネルギーである自然エネルギーや省エネ手法は、「好むと好まざるとにかかわらず」おおいに利用していた。私の記憶容量の少ない頭に、今なおセーブされたままになっているデータにアクセスして、「今は昔」の時代におけるエネルギー利用の姿から触れてみたい。



アイスクャンディやアイスクリームも、販売用の木造のケースにその氷で冷やされ、売られていた。

1955年頃、私の育った所にやっと北海道電力が電気を供給するようになった。いわゆる「農村電化促進事業」による電気供給である。それまでは電気が無かったのかと言えば、無かった訳ではないが「実質無かった」（その正確な説明は、項を改め後ほど述べる）。

近年は、流通機構の発達により、捕れたての新鮮な魚はより大きな市場に出荷され、地元には入荷しなくなる一方、地元の店にもスーパー店方式の切り身の魚が、電気式冷蔵ケースに入れられて売られるようになった。

「電気の無い生活」なんて考えられるだろうか。でも、その時は考えられたのである、と云うよりは「それしかなかった」のである。

つまり、天然氷の需要が無くなってしまったこともあり、北海道弁で云うところの「しかたないべき」ということで、今では、もう、川の天然氷は利用されなくなり、「未利用エネルギー」になってしまった。地球環境保護の観点からは最良の冷熱エネルギーと思われるのだが。

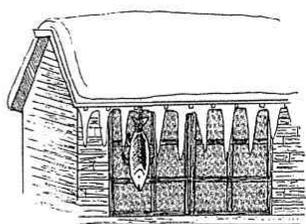
もともと開拓地であり、今風に云えば「チョー・ド田舎」であった。幸い、海にもそう遠くなく、魚などは捕れたての新鮮なものが（流通機構が発達していなかったために）豊富にあった。もともとそう暑くはならない夏ではあったが、店ではその新鮮さを保つため、電気による冷蔵設備がないので天然氷を使っていた。

外気利用の冷凍

冬は、時にはマイナス30度にもなる所。川の水は、厚さ1メートル以上の氷となる。川の上で焚火を焚いて暖をとりながら、幅50～60cmで長さ2m位、歯の大きさが3～4cmの氷を切る鋸を使って60～70cm立方の氷を切りとり、それをいくつか馬櫃（そり）に積んで、川の上を運ぶ。そして、製材所から出る大鋸屑（おがくず）を一杯に詰めた倉庫に貯蔵する。それだけで、氷は夏まで解けずに保存される。それを夏の間、使うのである。

冬は、常にマイナスの温度であるから、これを利用した食べ物がある。「ルイーベ」というっている。アイヌ語のようである、というより、アイヌ民族が生活の知恵で考えついた食べ物、と聴いている。

要は「魚の冷凍の刺身」で、凍ったままの魚肉を極薄くスライスし、醤油をつけて食べる。舌に載せると、とろっと解けるところが絶品である。冬に、「秋あじ」（鮭）を軒下に吊るしておくだけで、これを好きな時に楽しめる。これなど、まさしく天然の冷気を利用したものである。



この天然の冷気は、魚釣りの時には瞬間冷凍にも利用される。何のことはない、氷に穴を開けて釣った魚を、氷上に暫く放っておくだけだ。最初びちびち跳ねていた魚も、だんだん動きが鈍くなっていき、そのうち、冷凍になる。「瞬間冷凍」なんて我々は昔から利用していたのだ。

屋外での冷気はこのように上手に利用されているが、屋内での冷気は困る。今のように石油ストーブではなくて、薪ストーブであったので、夜、寝る前に大きめの薪を入れて、少しでも長い時間、暖房を確保しようとするが、無理。火が消えた後は、急速に室内温度が下がり、外気温に近い状況になる。朝、起きると布団の衾は、吐いた息が凍って真っ白になったこともあったという。

今でも、夜、火の気が無くなる台所などでは、食品を放って置くと冷凍食品になってしまう。それを防ぐのが、冷蔵庫である。厳寒の地における冷蔵庫は、凍るのを防ぐ温蔵庫に変わるのである。

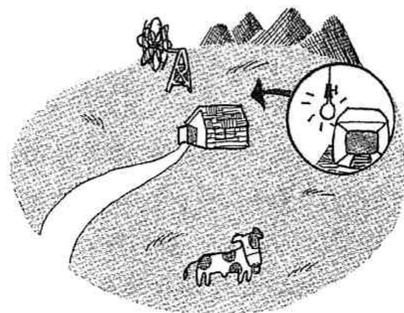
この屋外の冷気は、今でも利用している、というよりこれまた「しかたないべさ」と云うことで共存している。この未利用熱の冷熱を暑い夏、各地で使えば「いんでないかい」となるのだが。

風力発電によるエネルギー

わが町は、面積が約1,300km²(香川県より広く、「村」であった時は、日本一広い村であった)。人口が平成2年でも約2万人(蛇足だが、牛は何と12万頭)、人口密度は1平方km当たり約14人(1人当たり約270メートル四方の広さを占有出来る計算になる)。

そんな超過疎地域なので、北海道電力(株)も全戸に電気供給するのは経済性からみて大変なことである。昔は配電の負担金を負担出来なかったのであろう、電柱が家のそばにありながら家まで電線が繋がっていなかった家が結構多かった、特に、広い畑の真ん中にポツンとある家などは。

そんな状況を反映して、多くの農家で風力発電機を設置していた時期があった(おそらく、農林水産省の補助金制度があったのではないかと思われる)。だだっぴろい牧草畑の真ん中にポツンと1軒だけ立っている家のそばに、直径2m足らずの風車が廻っており、誰も居ないにもかかわらず玄関が開けっ放しになっている家を覗くと、土間続きの板張りの部屋の片隅に、小さなテレビと裸電球が吊るされていた光景が未だに記憶に残っている。



風車は、人里離れた家で、唯一の娯楽であるテレビに貴重な電源を供給していたのである。単なるエネルギー源ではなく、ささやかではあろうが、精神的な活力をも与えて続けていたのだ。

風力発電機に寿命がきて、更新されるまでには北海道電力(株)の電気を引いたのだろうか、あまり長い間、風力発電機が活躍していなかったような気がする。やはり、生活レベルの向上に伴って必要量が増え、供給力としては余りにも小規模過ぎたのであろう。折角の自然エネルギー利用ではあったが「しかたないべき」である。

地熱水による街創り

往年の名横綱「大鵬」の出身地である弟子屈（てしかが）が近くにあり、そこには硫黄山という、山全体が白い色をしており、所々にある噴煙と水蒸気の噴き出し口は硫黄で黄色くなっている山がある。

もちろん、その周辺は温泉が出る。観光客が多いので、観光客目当てに「温泉たまご」と称して、水蒸気の出口に置いた「ざる」にいくつかのたまごを入れて熱し、ゆで卵にして売っている。硫黄の臭いがするその卵は、まさしく地熱を利用した製品である。

これは最近の話であるが、弟子屈町では熱水を汲み上げそれを熱交換し、町役場の暖房の熱源としている。暖房用の熱を取った熱水を今度は二次利用として、街の歩道のロードヒーティングに使っている。たしか、町営で温泉源を有しており、風呂用の温泉水の供給もしていたと記憶している。燃料代は不要であるが、地熱水に含まれる腐食性物質により、

配管などのメンテナンスに経費がかかり、経済性からみると、ちょっと合わない、とのコメントであった。

町外れには、地熱水利用の町営プールもあり、外は吹雪というのに、子供達は、温水プールで水しぶきを上げている。以前には考えも出来なかった、何とも羨ましい施設を有していた。

また、林野庁の施設で、地熱水を利用したクアハウスも近郊に建てられ、町民にも開放されていた。スポーツジムにあるような運動器具が並べられ、地熱水を利用した浴場、娯楽室が完備していた。

ある製材所では、木材の乾燥用の熱源に地熱水を使用していたし、魚の養殖場でも地熱水を利用して寒冷地の養殖池の水温を上げ、養殖を効率的に行うなど、温泉としての活用だけではなく、さまざまな用途に有用に地熱水が利用されている。

まさしく、町ぐるみ地熱水の恩恵を被っているようである。

地熱水も、発電に利用出来ればそれにこしたことはないが、発電に使えないような熱水条件でも、生活の上で他のいろいろな用途に使える。もっと工夫すれば「いんでないかい」。

天然断熱住宅

何度も云うが、冬はすごく寒い。冬は寒さとの闘いに勝たなければならない。しかし、住宅事情は良くない（といってもどの程度良くないか、イメージも掴めないと思うが）。

冬支度として、多くの木造の家では二重窓の外側にさらにビニールを貼り、採光性を確保しながら断熱性を高めるという工夫をした。最近のようにアルミサッシの機密性の高

い窓ならともかく、二重窓とはいえ古い木造の家の木枠の窓であるので、機密性はそんなに良くない。風が強く吹くと、隙間風が入ってくる。それを防ぐためのビニールである。

また、家の壁も当時は板張りのものが多く、板も年月が経つと曲がって板と板の間に隙間が出来、その間から風のみならず雪なども入ってしまう。でも、吹雪がくると、そんな板壁の隙間には雪が吹き付け、凍ってしまい自然に目張りをしてくれたものである。自然は、弱者をカバーしてくれる面もあるのである（もっとも、余り大きな隙間だと救いようがないことになるが）。また、家の周りには屋根から落ちた雪が積もり、家の下部が埋まってしまうと凍った状態にもなる。これはこれで、特に縁の下から入る風を防いでくれる防風壁になってくれる。

最近では、北海道での越冬のため蓄積された数々のノウハウが反映されて出来た機密性の高い住宅建築の様式が、暑い地域での省エネ冷房用の断熱住宅に活かされることになっているようである。

酷寒との闘いも、酷暑との闘いも、断熱がポイントであったのだ。北海道での技術開発成果が全国で利用されるなら、まさしく「いんでないかい」。

電気の特定地点供給（？）と コージェネレーション

「1955年頃、私の育った所にやっと北海道電力㈱が電気を供給するようになった。それまでは電気が無かったのかといえば、無かった訳ではないが実質無かった」と初めに書いた。

それを正確に説明すると、実は町外れに小さな発電所があって、わが村全体ではなく、わが集落（せいぜい500～600戸）にのみ電気を供給していたのである。（そのような集落以外は電気が無く、灯油ランプやバッテリーでの生活ということになる）

発電所があったというよりは発電機があったといった方が正確かもしれない程度のもので、ディーゼルエンジン駆動のせいぜい50～60kW程度の発電機であったのだろう。1戸に1灯だと思ったが、せいぜい60W程度の電灯が、日没から夜9時頃までの点灯が許されていた。電気料金をどのように徴収していたかなど、経営形態については全く知らないが、とにかく細々と電灯のみが使えていた。今でいえば「特定地点供給」ということになろう。

だから、アイロンなど電力消費量の多いものはもちろん、ラジオなども持ってもいなかった。メンテナンス不足からか、消費量過大からか、とにかく良く停電した。もちろん、電圧、周波数の維持などは論外であったであろう。停電すると、まもなくして、やっと電灯が少しずつ明るくなる。負荷を繋いだまま、ディーゼルエンジンと発電機をつなぐのかと思うと大変な苦勞であったと思われる。

ディーゼルエンジンを動かすのだから、そのエンジンを冷やすため、水が使われている（普通の自動車ならその水をラジエーターで冷やしている）。

ここでは、その水、というより温まったお湯を風呂のお湯として使っていた。つまり、発電所が風呂屋も経営していたのだ。当時、まだ家庭風呂の普及率が低かったが、しかし、

風呂屋なる商売も成り立たなかったのだろう、無かった。発電所はサイドビジネス(?)として風呂屋をやっていたのだ。料金箱に入れるべき金額が書かれて置かれているだけで、番台などなかった。その金額もせいぜい数円だったか、当時でも「すごく安かった」という記憶がある。殆どボランティアではなかったのだろうか。

これも一種のコージェネレーションである。発電所は、電気エネルギーを生産するのみならず、地域のコミュニティセンターでもあり、ヘルスセンターでもあり、最近でいう「地域共生型発電所」のハシリであったと思われる。最近では、各地の廃棄物焼却場にこのような施設を設ける自治体が多いようだ。

地球にも人にも優しい交通手段

近年の大気汚染の大きな原因の一つが自動車の排ガスであるが、当時は、自動車などそんなに普及しておらず、一般の人にとって鉄道以外の交通手段といえば、馬車(冬は馬橇)か自転車が普通であった。いたって地球に優しい。燃料は殆どが食物なのだから。

それに何といっても、馬は最高。なぜなら、ご主人がその辺の飲み屋で泥酔しても、待たせておいた馬車まで戻り、鞭を一つ馬の尻にくれてやれば、後は馬車の上で眠りこくっていても、全自動運転で安全に家にたどり着くことができるのである。優しいのは地球に対してだけではなく、ご主人に対してもいたって優しいのである。

話は脱線するが、そんな車が少ない状況であるから、当時の世の中はいたってノンビリ。自動車の運転免許試験を受けに、50~60km離れた試験場に自動車に乗って行った人もいた

のだ。そして「落ちてしまった」といいながら、また、乗って帰って来たという。

今でこそ、道路という道路は舗装されて立派になっているが、当時は一級国道といえど、砂利道で夏などは砂埃でひどかった。自動車と自動車がすれ違くと、埃でしばらく前が見えないことがよくあった(それでも車が続いて来ることは殆どないから、見えない埃の中を目を凝らして走る)。また、砂利にタイヤをすくわれて側溝に落ちることもしばしばであった。(そういう場合は、近くから馬を借りてきて引っ張り上げてもらう)

だから、春先に雪が解けると道路は、道路脇のまだ解けていない雪の壁に挟まれた河のようになり、さらに暖かになると凍っていた道路の土が解けて泥んこ状態になる。

そんなときは、普通の自動車は無理して走らない。が、唯一の生産物であり生計を担っている「牛乳」は、処理しないと腐ってしまうので運ばなければならない。道路が通行不能になるまで、「牛乳運搬車」は唯一走り続ける。(通行不能になったら、馬橇が牛乳運搬を司る)

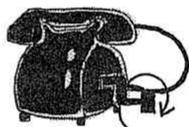
すると、それは一般の人にとっても唯一の頼れる交通機関となる。したがって、このシーズンの「牛乳運搬車」の荷台には、牛乳はもちろん、頼って「乗せてくれ」という一般の人にも乗れるだけ乗せる。警察官も、ときには自らの移動のため、交通違反を承知で「トラックの荷台に乗せてくれ」ということになる。警察官も「牛乳運搬車」を利用するのである。

「しかたないべき」「いんでないかい」の世界である。

音声でつながった超自動式電話

当時は、電話事情も良くなかった。電話機など本当に少なかった。だから交換も今のように交換機ではなく、交換手であった。電話機は、ダイヤル式ではなく、ましてやプッシュ式ではない、手回し式であった。電話機の右側にグルグル廻すハンドルがついているのである。

これを廻して受話器を上げると、「もしもし」と交換手が応答する。このとき、本来であれば電話番号を云うのだが、相手は交換手、しかも電話台数などたかが百数十台、どこの家が何番か全部知っている。かくして、「〇〇屋さん、お願いします」となるのである。



昭和40年代後半には、ついにダイヤル式になり、住民にとっては覚えなくとも良かった電話番号を覚えねばならず、不評タラタラであった。

でも、この超自動式にも欠点はあった。

一度、真夜中に火災が発生した。例によってハンドルを廻し、いくら「火事、火事」と叫んでも（緊急の場合は、事態を言えば適切な連絡先に自動的に繋いでくれる）交換手の応答が無い。交換業務が休止していれば、消防団の事務所の電話が鳴るわけがない。交換手は熟睡していて気がつかなかったのだ。交換手が「眠かったから、しかたないべき」といったかどうかは知らない。

小さい町だから、直接、事務所へ走って行

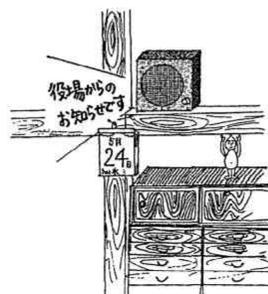
ってサイレンを鳴らし、住民に火災を知らしめることは出来た。もともと、消防署員が待機していて、すぐ消防車を出動させる、という気の利いたシステムではなかったから、その影響がどうであったかは分からない。「火が消えたんだから、いんでないかい」

コミュニケーションの方法

電気が無いのだから、ラジオのニュースも聴けなかったのか、と云われればそうでもなかった。ラジオ放送といってもNHKの第一放送だけだが、朝6時頃から、夜9時頃までは聴くことが出来た。

つまり、自家発を備えた、今でいう「ミニ放送局」（FMではない、有線放送である）があったのだ（たしか、共同聴取料として料金を払っていた）。各戸にスピーカー1個にボリュームのつまみが付いただけの受信機（？）が備えられ、放送用電線の単線が（大地帰路）全村的に張り巡らされていた。

当時は電話も普及していなかったので、その放送局は全村的な重要なコミュニケーションの手段でもあった。村役場や農協などからの連絡事項や個人的な連絡事項が、朝7時、昼12時、夜7時のNHKのニュースのあと、その放送局から全村的に一斉伝達される。



もちろん殆どの村民が聴いているので、個人的な連絡事項には暗号が使われるが、大体的内容は他の人の知れるところとなる。プライバシーの保護なんて考える余裕はなかった。それでも他に連絡手段が無いので、「しかたないべさ」「いんでないかい」ということになる。

コミュニケーションの手段として郵便も重要である。でも郵便配達人は大変だ。当時は、新聞までも郵便で配達していたのだ。

わら半紙の便せんに手紙を書いて、封筒をご飯粒の糊で封をし、投函しようとして、さで困った切手の買い置きがない。切手を売っている店は、はるかかなた。1里（1里は約4km）も2里も離れている。

「しかたないべさ」と封筒に10円玉（当時の封書は10円）そのものを貼って、ポストに放り込む。それでも郵便屋さんは「いんでないかい」とポストから持って行ってくれた。おそらく郵便局で切手を貼ってくれたのであろう。まことに合理的ではある。



省エネ運行の鉄道

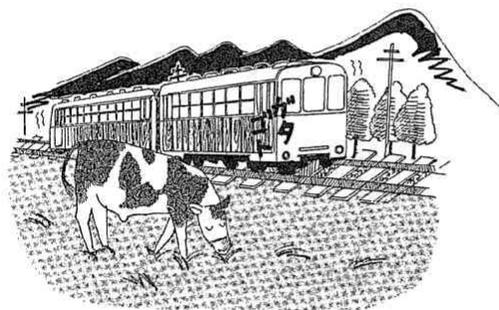
鉄道も今と比べると、実に省エネルギータイプであった。

今は各家庭が自動車を持っており、そのため、鉄道はついに廃線の憂き目を見てしまった。が、当時は自動車といえば荷物運び用の

トラックばかりで、自家用乗用車など殆ど無かった。一般の人にとっての移動の手段は鉄道、鉄道の無い所（殆ど「無い所」であったが）はトラックを利用するか、あるいは馬とか自転車であった。

私の地元には高校が無く、やむなく隣町まで鉄道を使って通学せざるを得ないのだが、朝と夕方の車内は、終着前の駅で高校生を乗せると、幾分小型の2両連結の気動車は、山の手線並みの縮詰め状態であった。鉄道は1日5往復。経済的観念が浸透していたのか、それとも当時から環境保護意識を有していたのか、片道24kmを出来るだけ惰性を利用して、40分位もかけて運転する省エネ運行であった。

朝、夕の一方方向だけは超満員になるが、それ以外の便の乗客は、4人がけの座席にせいぜい1人か2人座っているといた程度であった。だから、本当に効率的であったかどうかはわからない。



余談になるが、高校への登校は朝の1番早い気動車で行く。当時、北海道には「電車」なるものは無かったので、「ディーゼーカー」とか「気動車」といっていた。夏休みなどに本州からやってきたカニ族が、この気動車に乗って「電車」「電車」といっていたので、「あいつらバカでないのか、こんな所に電車が走

ってるわけないだろう」と、みんなでささやかな優越感に浸っていた。

これに乗り遅れて次の便で登校すると、学校へ着くのは3時間目になる。サボル場合はまことに好都合であった。最寄りの駅（というより「停車場」という雰囲気である）まで、家から40～50分かけて自転車などでやって来て、やっと汽車に乗ることが出来る高校生が多くいた。「汽車に乗り遅れたんだから、しかたないべき」といえば先生も「いんでないかい」

さらに話は脱線するが、私の友人で高校を卒業して国鉄へ入った者がいる。彼は、地元で当時まだ走っていた蒸気機関車の「釜焚き」（機関士助手）をやっていた。そのうち、蒸気機関車が廃止され、ディーゼル機関車の運転士になった。

そうこうしているうちに、北海道に新幹線が出来たときの運転士の養成ということで東京に派遣され、最初は中央線の運転士をしていた。そのうち、国鉄は民営分割され、彼は今、JR東で東北・上越新幹線の運転士をしている。おそらくこの広い日本でも、蒸気機関車から新幹線まで乗務した人間は、殆どいないのではないだろうか。

北海道が他地域に比べてその進展度合いにいかにもタイムラグがあり、しかし、変化するときは周りにひきずられて、極端に言えば北海道の意識と無関係に一気に変化させられてしまう、そんなことを想起させられる。「しかたないべき」なのかもしれないが、「いんでないかい」で済まされないような気がする。

便利だった「便利屋」

ここまでお読みになった方は、これらの出来事の舞台がどういう所か、だいたい検討が付き始めたと思う。

つまりデパートなどといったものなどなく、日常生活品は何か近くでそろおうが、ちょっとした気の利いた物は何もない。例えば、英語の辞書などでちょっと分厚いものとなれば、根釧原野で唯一デパートのある、100km以上離れた釧路へ出かけなければならない。たかが、辞書1冊買いにそんな所まで、(本当は自分で行って見て買いたい) 鉄道賃払って、1日かけて行ってもらえない。そこで便利屋さんの登場となる。

最近でこそ、首都圏で軽自動車に「便利屋」と書いたトラックを見かけるが、当時の彼らは、大きな籠を背負って、100km離れた釧路まで鉄道で往復5時間位かけ、住民みんなの夢を担って毎日通うのである。

われわれ住民は、彼らに「釧路の□□屋さんで△△を買って来て下さい」と頼むのである。食料、薬、本、自動車の部品、手に持って運べるものは何でもOK。サービス料金は、本などの小物1個で100円しなかったと思う。

ただし、必ずしもお願いしたものと、買って来てくれたものと同じでないこともあった。

「ベーコンを買ってきて」と頼まれ、買ってきたのはベーコンはベーコンでも「鯨のベーコン」であった。依頼したものとは全然違う。

でも、便利屋さんの頭には、当時地元でも売られ始めていた「鯨のベーコン」しかインプットされていなかったのだ。そもそも「ベーコン」なんて当地には無かったのだ。だからこそ欲しかったのだが、便利屋さんも知ら

ないことには「しかたないべき」ということになる。それが、「いんでないかい」で済まされたかどうか、知らない。



「インデネカ文明」のルーツ

そう、「インデネカ文明」の発祥の地は「北海道」である。現在、開道120年位であるから、18世紀末の発祥であろうか。

そのルーツについては正確には分からないが、北海道特有(?)のニュアンスを持つ言葉「いんでないかい」に由来する一種独特のモノの考え方を、多少、揶揄した言い方で表現したものが「インデネカ文明」と称されているようである。

「それは、しかたない」だから「それで、いんでないか」という内容で、一般的には「自己主張の無い消極的、かつ受け身的な言葉」としてとられている。そもそもは、「選択肢が無かった時代に、自分自身を納得させる言い訳として、必然的な言葉」ではなかったのかと考えられる。

「インデネカ文明」における考え方を「自己主張の無い消極的、かつ受け身的な考え方」ととられても、それこそ「しかたないべき」となるが、しかし、よく考えると、革新的な考えを導入する際の英断を、「しかたないべき」と割り切って受け入れることが出来る考え方でもあるのではないだろうか?

「インデネカ文明」による示唆

地球環境汚染を防ぐためには、再生可能エネルギーのようなコストの高いエネルギーを利用しなければならない。幕張で開催した“Why Now Renewable Energy”のシンポジウムに、かなりの方が再生可能エネルギーの利用に関し問題意識を持って参加された。

参加された方々は、エネルギー利用という観点で考えればいくつかの選択肢があっても、地球環境保護のためには、再生可能エネルギーのような多少コストが高くつくけれども地球に優しいエネルギーを導入するのも、「それは、しかたない」、「それで、いんでないか」と割り切って考えているのではないだろうか。

これからの変革の時代、さまざまな変化を受け入れて行かなければならない。この「インデネカ文明」のような考え方も、ときには必要なのかもしれない。

〔調査研究報告〕

廃棄物発電高効率化技術の検討

小川 紀一郎* (財エネルギー総合工学研究所
エネルギー技術情報センター長)

山口 健一** (財エネルギー総合工学研究所
主任研究員)



1. 緒言

平成6年12月「総合エネルギー対策推進閣僚会議」において「新エネルギー導入大綱」が策定された。その中で「廃棄物発電」は、2000年に200万kW、2010年に400万kWの飛躍的な発電規模の設定と基本的導入方策が掲げられ、「新エネルギー等」の柱として期待されている。1995年度末現在の我が国の廃棄物発電規模は約55万kW強であり、近年増加したとはいえ廃棄物発電の年間増加量が約10万kWであることを勘案すると、上記の目標値達成はかなり厳しい見通しにあるといわざるを得ない。廃棄物発電規模の拡大には、廃棄物発電プラントの新・増設が最も実務的であることはいうまでもないが、その場合その発電効率を上昇させることができれば、規模拡大に極めて効果的であることが知られている。

従来の廃棄物発電は、焼却する際に発生する塩化水素ガス等による過熱器管の腐食問題を避けるために、蒸気温度は300℃以下に抑えられ、従ってその発電効率(発電端、低位発熱量基準)は10%以下が多い。これは、規模、背景等も異なり単純に比較できないが、火力

発電プラントの効率レベル(同基準で最近では45%以上)と比較すると極めて低レベルであり、また欧米の廃棄物発電の効率レベル(20%前後が結構多い)と比較しても低レベルである。発電出力は発電効率に比例するので、もし現在稼働中の廃棄物発電プラントの効率を2倍に上げることができれば、発電規模も約2倍に拡大する。このように、廃棄物発電において発電効率の上昇は、その規模拡大に極めて大きな影響を及ぼす。

以上のような状況を踏まえ、我が国における廃棄物発電プラントの最高蒸気条件を探るため、蒸気温度500℃、蒸気圧力100ataの条件を有す「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトによる研究が、通商産業省の補助金を受けて新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)にて、平成3年度より開始された。

当所は、その一環である「高効率廃棄物発電技術開発最適トータルシステムの研究」をNEDOより委託され、主に高効率廃棄物発電の最適システム、経済性、および関連技術等について調査研究を実施している。

本報告書は、その中で廃棄物発電プラント

における高効率化の可能性と技術的課題について関係企業・機関の協力を得て調査した結果を、次の構成により紹介するものである。

- 1) 緒言
- 2) 一般的高効率化方策とその影響評価
- 3) 発電効率30%達成のための方策検討
- 4) 高効率化方策の課題
- 5) まとめ

2. 一般的高効率化方策とその影響評価

前述の調査研究は、次の2段階で実施した。

まず第1段階は、考えられる高効率化の方策とその効果を一般論として検討した。具体的には、各方策案ごとの重要影響因子を選びパラメータスタディを行った。なお、その結果、前述プロジェクトの実機目標レベルである効率約30%を得る重要因子を数例摘出した。

続いて、第2段階としてその結果を同調査研究検討会に参加頂いているメーカ（6社）に提示し、各メーカよりその結果を参考にしてメーカ推奨システム案を提案頂き、整理・評価した。

なお、当所は主に第1段階の計画・検討、第2段階の整理・評価、および全体とりまとめを担当したものである。

本節では、まず第1段階の検討結果から紹介し、引き続き第2段階の検討結果を次節にて述べる。

2.1 検討ベースの条件

廃棄物発電プラントにおいては発電を主体にするとはいえ、その方式はごみ性状、地域特性、ユーザーのニーズなどの条件によりさまざまである。ここでは、従来型の機器構成を基にした廃棄物発電プラントの出力最大化を図ることを目的として、まず検討ベースシステムの作成を行うこととした。

検討ベースシステムの作成にあたっては、表1に示す仕様を基本条件とし、以下に示す熱計算上の具体的設計条件を定めた。

(1) 燃焼排ガス系統の前提条件

- ① 熱計算上、排ガスは窒素、酸素、水、二酸化炭素を成分とするものとする。
- ② 焼却炉以降のガス量は、焼却炉出口ガスを量をベースとして、漏洩・混入はないものとする。
- ③ 減温水温度は20℃とし、減温塔内ですべて蒸発するものとする。
- ④ 排ガス減温塔、濾過式集塵器からの飛

表1 検討ベースの基本条件

焼却炉型式	ストーカ炉	設計ごみ低位発熱量	2,500kcal/kg
ごみ処理量	300 t / d × 3 基	タービン型式	抽気復水
蒸気条件	500℃, 100kg/cm ²	排気圧	空気冷却式
排ガス温度(℃)			

灰の持ち出し熱量は考慮しない。

- ⑤ 排ガス系統機器からの放散熱損失は無視する。
- ⑥ 排ガス中 O_2 濃度を10%とする。

(2) 蒸気タービン性能の前提条件

蒸気タービン発電プラントの発電効率は、蒸気タービンの性能に大きく影響を受ける。従って、ここでは検討ベースシステムにおける蒸気タービン性能を如何に設定するかが重要であり、次にその設定値と決定根拠について発電機効率、タービン発電機機械損失、タービン内部効率（乾き蒸気中）に分解して示す。

- ① 発電機効率
発電機効率としては、97.4%とする。
発電機効率は一般に発電機容量が大きいほど上昇する傾向にあるが、空冷式発電機の場合98%が限度とされているので、このクラスの発電機効率として妥当な値と考える。
- ② タービン発電機機械損失
タービンの発電機機械損失は、発電機定格出力の0.8%程度とする。
タービン発電機機械損失の大きさは、蒸気タービンと発電機との結合方式により大きく異なる。同損失は、蒸気タービン軸と発電機軸を直接結合する形式のもので発電機出力の0.5~0.8%、高速タービンを発電機に減速歯車を介して結合する形式のもので2~4%であるが、本ケースでは、直結で極力高性能化を目指すため上記の値とした。
- ③ タービン内部効率
内部効率の低下量を平均湿度1%増

につき1%とする。

蒸気タービン内部効率は、通常タービン低圧部の蒸気湿度によって変化する。タービン内部効率は、タービン低圧部の蒸気湿度が1パーセント増加するごとに0.8~1.2%低下するので、ここではその平均的値とした。

(3) その他ヒートバランス作成上の前提条件

- ① ボイラ給水ポンプにおける給水エンタルピ上昇を考慮する。
給水圧力が100kg/cm²程度になると、ボイラ給水ポンプでのエンタルピ上昇は計算上無視できない。特に小容量で高蒸気圧力のプラントでは給水ポンプ効率が低く、この影響は大きい。
- ② 脱気器加熱用蒸気は、蒸気タービン抽気蒸気を利用する。
- ③ 低圧給水加熱器は2段設置とし、抽気段数は脱気器部分を含め3段とする。
- ④ 余熱利用設備は考慮しない。発電を主目的とし、余熱利用はヒートバランスに含めない。

以上の条件のもとに、高効率化の検討ベースとなるヒートバランスを作成した。

その結果を図1に示す。

2.2 サイクル損失の分析

図1のヒートバランスを基にサイクル損失要因を分析した結果を、ボイラ入熱量を基準として図2に示す。

同図において、ボイラ入熱は、燃料がボイラに与える熱量であり、ごみ量とごみ発熱量の積である。ボイラ出熱は、蒸発蒸気（過熱後）の有する熱量と給水熱量の差であり、ボイ

ラ損失はボイラ入熱からボイラ出熱を差し引いた値として定義される。その他損失は、図

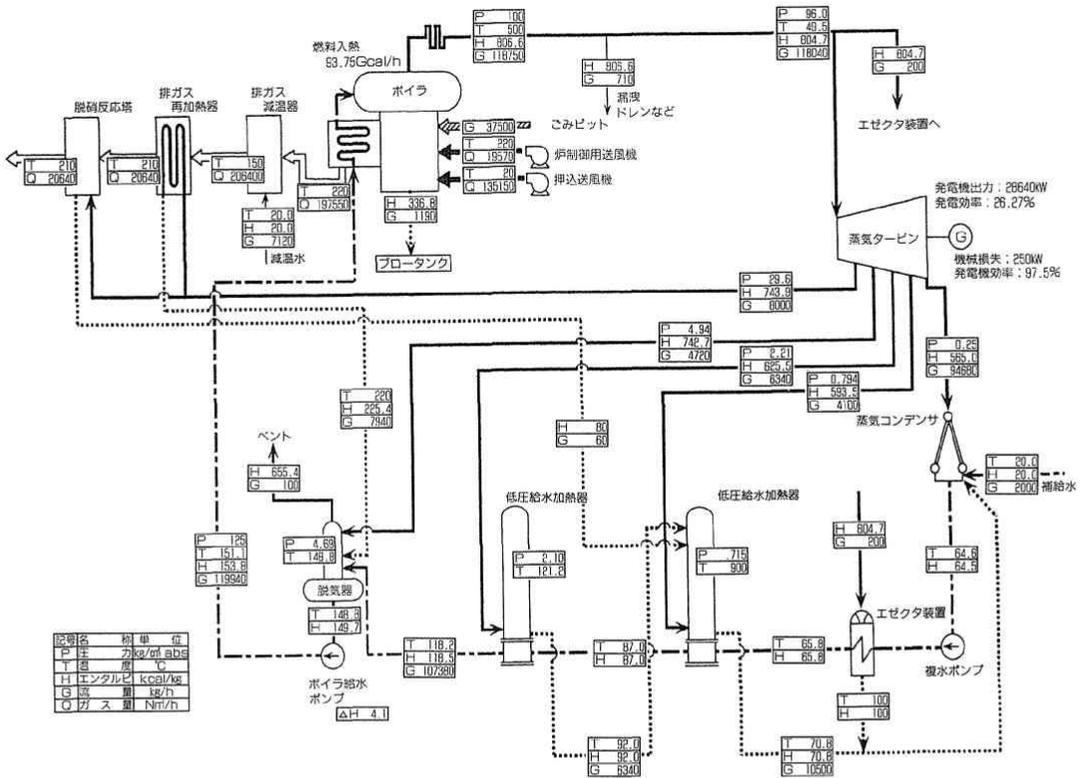


図1 ヒートバランス (検討ベース)

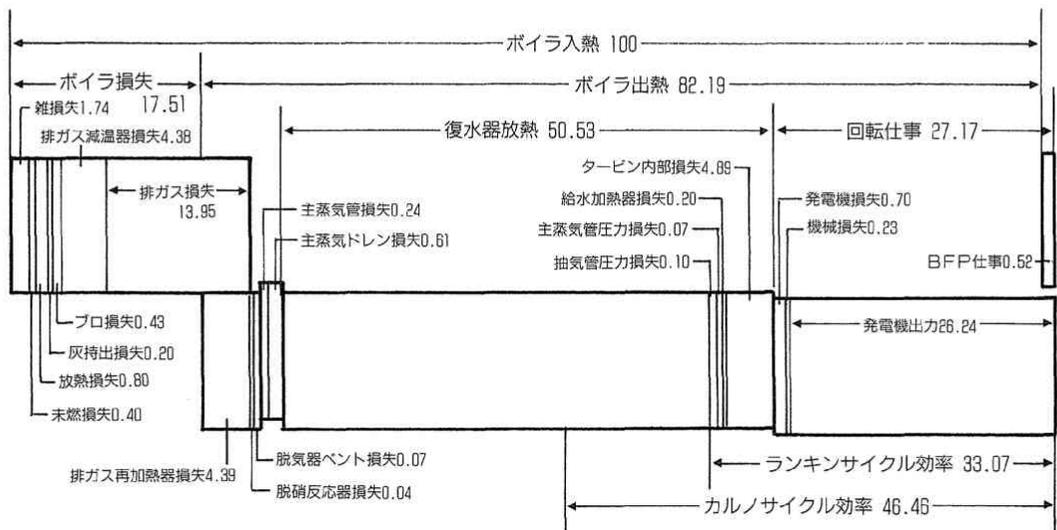


図2 廃棄物発電プラントのサイクル損失

2.3 損失低減手段の検討

図2によれば、「復水器放熱量」ではボイラ入熱量の50%強を損失熱として系外に放出しており、損失を大幅に改善するには復水器損失の低減が最も効果的である。

復水器損失は、タービン出入口蒸気条件、復水器真空度、再生再熱等のタービン周り条件等いわゆる「熱サイクル要素」によってほぼ決まってしまうため、同要素を変えなければ発電効率の改善はあり得ない。

したがって、高効率化についての検討には、先ず「熱サイクル要素」が発電効率に与える影響を明確にする必要がある。

また、排ガス系の脱硝装置前のガス再加熱用に見られるような効率低下の一要因となる蒸気の使いかたもあり、排ガス系統の「設計パラメータ」の影響についても検討する必要がある。この観点から、効率改善に効果があると考えられる「熱サイクル要素」を含む設計パラメータを整理すると以下に示すとおりである。

- ① 入口蒸気圧力・温度
- ② タービン排気圧力
- ③ 湿分分離の効果
- ④ 給水加熱段数
- ⑤ 再熱サイクルによる効率の改善
- ⑥ 排ガス中酸素濃度
- ⑦ 排ガス系統の設計パラメータの影響
 - ・エコノマイザ出口ガス温度低減
 - ・減温塔での熱損失低減
 - ・排ガス再加熱温度の低減
 - ・空気予熱器の採用
- ⑧ ごみ処理量と効率の関係

2.4 設計パラメータが効率におよぼす影響

以上にて摘出した設計パラメータが、効率にどのような影響を及ぼすかを見るため、図1のヒートバランスをベースとして、その設計パラメータを変えた場合の効率変化を計算した。計算に際しては、各主要構成機器の効率性能を考慮した簡易プログラムにより実施した。

(1) 入口蒸気圧力・温度の影響

入口蒸気圧力および温度が発電効率におよぼす影響を試算した結果を図3に示す。

一般的に、高効率化には蒸気の高温・高圧化が有効であるが、検討ベースの蒸気条件クラスにおいては、高効率化には圧力上昇より温度上昇の効果が大きい。

蒸気の性質上、入口蒸気圧力が高くなると断熱熱落差が増加するが、出口湿り度が増すのでタービン内部効率が低下し圧力上昇の効率に与える影響は小さくなる。一方、入口蒸気温度が高くなると、断熱熱落差の増加量はさほど大きくないが、出口湿り度減少によるタービン内部効率向上が大きく影響する。

図3によれば、温度一定(例、480℃)にて圧力が80kg/cm²から100kg/cm²へ変化した場合、効率は0.5%(絶対値)上昇するが、同時に蒸気湿り度も約1%増加する。一方、圧力一定(例、80kg/cm²)にて温度が460℃から480℃へ変化した場合、効率は0.5%(絶対値)上昇と同等であるが、同時に蒸気湿り度は逆に約1%減少し、有利に働く傾向が伺える。

(2) タービン排気圧力の影響

タービン排気圧力が発電効率に及ぼす影響を図4に示す。タービン排気圧力を下げると発電効率は大幅に上昇する。

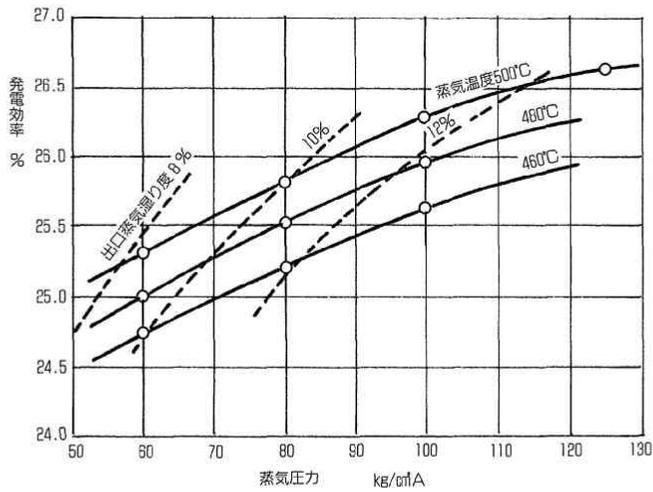


図3 入口蒸気温度・圧力と発電効率の関係

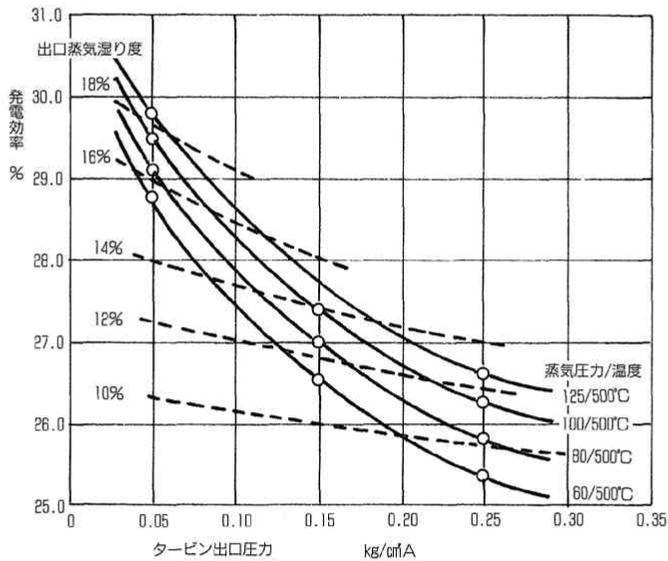


図4 タービン排気圧力と発電効率の関係

同図に示されるように、例えば入口蒸気温度500℃、蒸気圧力100kg/cm²の場合、タービン排気圧力0.25kg/cm²では発電効率は26.3%であるが、タービン排気圧力が0.05kg/cm²になると、発電効率は29.5%となり、効率上昇値は3%（絶対値）にもものぼる。

しかしながら、タービン出口圧力の低下とともに湿り度は急速に増加するという問題が生じる。例えば、上記と同一入口蒸気条件にて湿り度の変化を見ると、タービン排気圧力が0.25kg/cm²の場合、蒸気湿り度は12%弱であるが、0.05kg/cm²になると同湿り度は約17%に

も上昇する。

ここでタービン中における蒸気湿り度の影響について述べると、湿り蒸気領域では、水滴が蒸気あるいはタービン翼の流れを阻害し効率が低下するとともに、同水滴により蒸気タービン内部構造物のエロージョンが急激に増加する。このエロージョンは、最終段入口部の蒸気湿り度、最終翼先端の速度、最終翼の材料、蒸気タービンの構造などに由来するものであり、そのための対策が必要とされる。

(3) 湿分分離の影響

前述のとおり、タービン中の蒸気湿り度が性能、耐久性に及ぼす影響は大きく、従って湿り度が増加した場合の対策を検討する必要がある。そこで、原子力発電用タービン等で適用されている方法について、廃棄物発電への適用可能性を探ってみた。なお、方式としては、タービン内部湿分分離と外部湿分分離方式があり、以下それぞれの概要を記す。

① タービン内部湿分分離

遠心力によって水分が翼先端部に集まることを利用して、少量の蒸気とともに湿分をタービン外部に排出する方法と、静翼通路内から除去する方法がある。

内部湿分分離は排気湿り度低減方法として効果的であり、効率向上も期待する。しかし、その効果は構造によるところ

が大きく、定量的効果はメーカーにより異なるので、第1段階検討では除外した。

② タービン外部湿分分離

タービンの中間段から湿分の高い蒸気をタービン外部の湿分分離器に導き、蒸気をドレンと湿り度ゼロの飽和蒸気に分離し、飽和蒸気を蒸気タービンに再導入する方法である。

なお、この応用方式として、外部湿分分離された後の飽和蒸気を主蒸気または高圧タービン抽気蒸気で70～80℃に過熱して蒸気タービンに再投入する方式もある。

ここでは、上述の蒸気を外部で分離して再導入する方法による外部湿分分離の効果を試算した。その試算結果を表2に示す。

効率は0.3～0.4%（絶対値ベース）上昇し、100kg/cm²、500℃以上の蒸気条件では発電効率は、約30%となる。また、タービン排気湿り度は12%程度となり、実績の範囲内である。

(4) 給水加熱段数（再生サイクル）の影響

簡便上焼却炉側のヒートバランスを保つためボイラ入口給水の条件を一定（125kg/cm²、151℃）とし、給水加熱用の抽気段数のみを变化させたときの発電効率を図5に示す。タービンの抽気圧力は、給水加熱器のエンタルピ

表2 外部湿分分離による効率の改善

主蒸気条件	タービン 排気圧力	湿分分離器なし		湿分分離器あり	
		効率	排気湿り度	効率	排気湿り度
500℃, 125kg/cm ²	0.05kg/cm ²	29.76%	18.8%	30.23%	12.4%
500℃, 100kg/cm ²		29.49%	17.76%	29.77%	12.4%

上昇が各段でほぼ一定になるようにした。なお、ボイラ給水は151℃にまで加熱すると、少なくとも一段の給水加熱は必要である。同図から見られるとおり、効率向上面ではこのクラスに給水加熱段数を4段以上に設けることはあまり意味がないといえる。

(5) 再熱サイクルの影響

高压タービンで仕事を終えた蒸気を一旦外部に取り出してボイラの排ガス中にて500℃に再加熱し、再びタービン（低压タービン）に戻す方式（再熱サイクル）を採用した場合の効率を図6に示す。

低压タービン排気の湿り度は、再熱により12%以内に減少している。したがって、再熱サイクルの採用によって湿りによるエロージョンの懸念は通常の火力発電用タービンと同程度になると同時に、発電効率の向上が図れる。なお、実システムへの適用に際しては、蒸気配管における温度、圧力低下による性能

低下要因も考慮する必要がある。また、本案は特に、ボイラ、タービン、配管等の建設費増の要因を伴っているため、その採否に際しては費用耐効果の関係からの検討が重要である。

(6) 排ガス中酸素濃度の影響

通常、焼却炉ボイラの出口排ガス中の酸素濃度は、10～15%である（火力発電用ボイラは煙道排ガス中で4%前後）。図7に示すとおり、炉出口酸素濃度を下げることにより、排ガス持ち出し損失を抑え、ボイラ効率を上げることができる。

(7) ボイラ排ガス系統設計要因の影響

ボイラ排ガス系統における発電効率向上に寄与するおもな設計要因または方策中、重要なものとしては次の4点が挙げられる。

- ① エコノマイザ出口ガス温度低減
- ② 減温塔での熱損失の低減

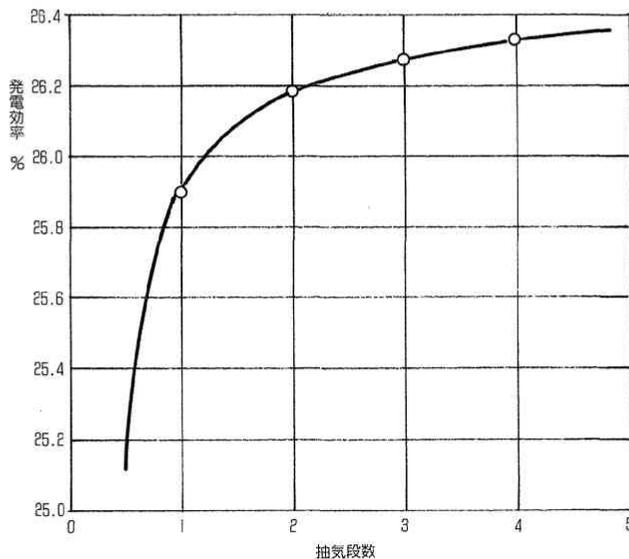


図5 給水加熱段数と発電効率の関係

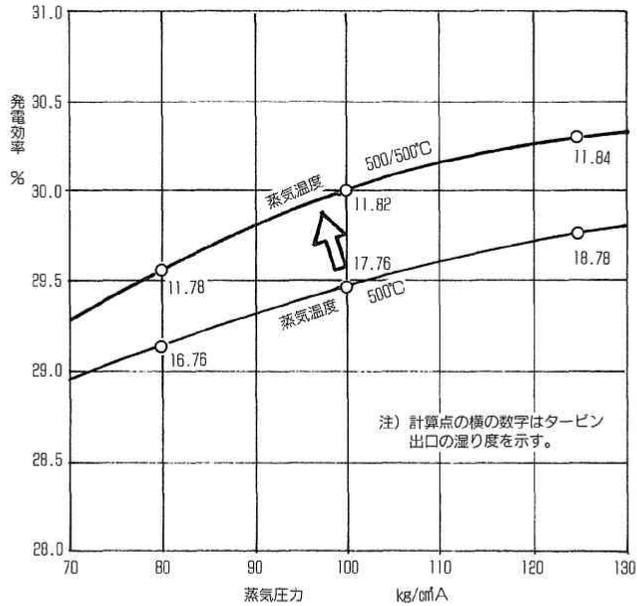


図6 再熱サイクルによる効率の改善

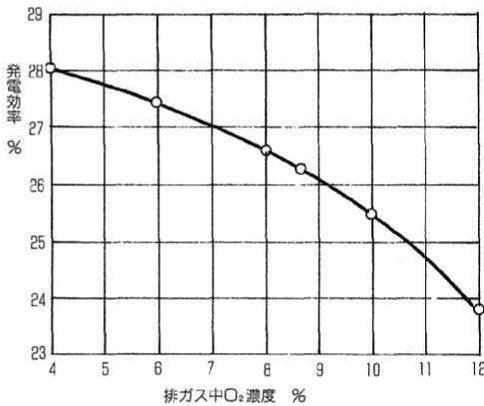


図7 排ガス中酸素濃度と発電効率の関係

③ 排ガス再加熱温度の低減

④ 空気予熱器の採用

以下、それぞれの要因について述べる。

① エコマイザ出口ガス温度低減

エコマイザ出口ガス温度を低減し、排ガス中熱量の回収を増せばボイラ効率を向上させることができる。概略計算によれば、エコマイザ出口排ガス温度

220℃から熱回収を高めて同温度180℃まで熱回収を行うと、約0.5%（絶対値）の効率向上となる。

しかし、排ガス温度と給水温度の差が小さくなるとエコマイザ伝熱面積を増大し、設備費が増す等実際適用上の課題が発生するので、実用化に際しては詳細な検討が必要である。

② 減温塔での熱損失の低減

エコマイザ出口の排ガス温度（検討モデルでは、220℃）は、現存システムでは後流のバグフィルタの利用温度の関係上、ある一定温度に減温塔で減温される（検討モデルでは、150℃）。仮に、エコマイザ出口で220℃の排ガス温度をそのまま脱硝触媒まで維持でき、排ガス再加熱用蒸気が不要になれば、発電効率は1～1.5%（絶対値）上昇する。

しかし、技術的には、現状のバグフィ

ルタでは同温度域ではろ過性能が低下するためその対策が必要である。

③ 排ガス再加熱温度の低減

(触媒脱硝装置の利用温度の低温化)

バグフィルタを出たガス(検討モデルでは、150℃)は、後流の触媒脱硝装置の利用温度の関係から加温される(検討モデルでは、210℃)。

これは、加温しないで低いままで触媒脱硝装置にガスを導入すると、触媒性能の関係から脱硝効率が極端に低下することになるからである。

これに対し、触媒の低温度域での性能向上をはかることができれば、排ガス再加熱温度を極力低く抑え、同再加熱用使用蒸気が低減する。技術的に可能と言われている190℃で使用できれば、210℃で使用するのに比べ、約0.5%(絶対値)発電効率が上昇する。

④ 空気予熱器の採用

ボイラ排ガスまたは低圧蒸気によって燃焼用空気を加温する方法で、その分燃料入熱を減らすことになり発電効率を向上させることができる。通常発電プラントで広く採用されている方法である。

試算では、同空気温度を100℃まで予熱することにより発電効率は少なくとも0.9%(絶対値)向上する。

なお上記方法では、煙道中の排ガス温度が下がり、煙突から白煙が発生する可能性が指摘される。これを避けて空気温度を上げる方法として、蒸気タービン中間段から抽気した低圧蒸気を利用する方法があり、既に一部の廃棄物発電プラントで実用されている。

この方法では、発電効率は約0.3%(絶対値)向上する。

なお、以上の排ガス系設計要因の影響は、それぞれ異なる条件下で計算されたものであるので、単純に加算することはできない。その全てを高効率に反映するとしても、その効果は最大2%前後と推定される。

(8) 廃棄物処理量と効率の関係

廃棄物発電システムの最適化を考える場合、ごみ処理量または規模は重要な要素である。

すなわち、規模によって機器の大きさ、系列数が決まり、性能、経済性も影響を受けるのでその最適化が必要である。

なお、プラント規模に応じて、タービンと発電機の結合方式が異なるので、以下それぞれの場合に応じた検討結果を示す。

① タービン・発電機直結型プラント

大規模タービンでは通常直結型(タービンと発電機は同一回転数)が用いられる。大容量であるので、漏洩損失、また高速回転のようなギア損失もなく、摩擦損失が損失の大部分を占める。従って、容量の大きい場合に有効な方式である。一方、小規模タービンになると羽根周辺サイズに対する周辺隙間寸法の影響が無視できないようになり、漏洩損失が効率を支配するようになり、あるレベル以下の小規模化とともに発電効率は極端に低下するという問題が生じる。

ごみ処理量と発電プラントの熱効率の関係を蒸気条件・給水加熱段数などのパラメータにして図8に示す。

② 減速機付高速タービン型プラント

上記のとおり小規模タービンにおける

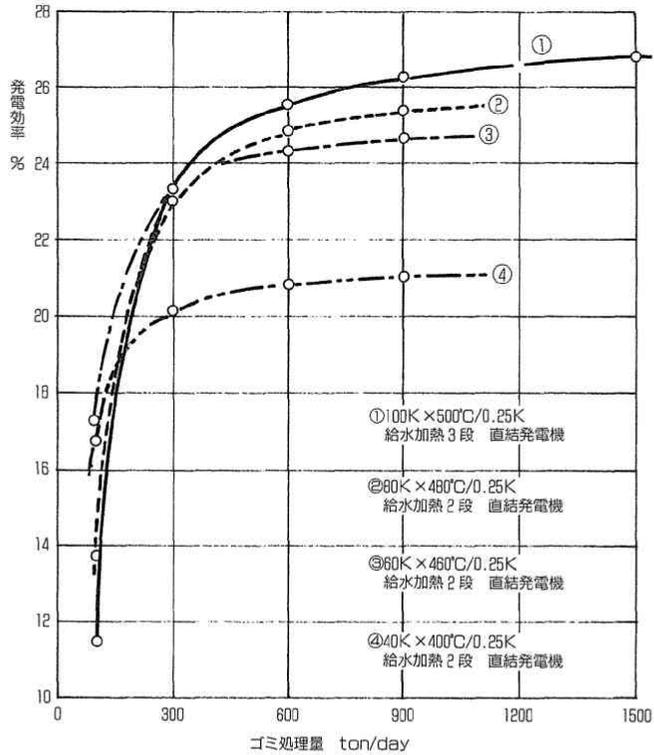


図8 ごみ処理量と発電効率の関係（タービン・発電機直結）

直結型の問題に対処する方法としては、高速タービンを採用して、減速機を介して発電機と連結する方式が有効である。

その理由は、高速回転により（直結型に比し）回転部の直径が小さくなり、同時にロータに対する翼の長さを大きくできるので、小出力タービンに最も大きな影響を有す漏洩損失の低減が図れるからである。その観点から、減速機を採用したケースについて検討した結果を図9に示す。

3. 発電効率30%達成のための方策検討

以上、第1段階の検討成果として、廃棄物発電プラントにおける熱損失の分析からスタートし、発電効率向上策とその効果について

示した。

この成果をもとに、次に、第2段階の検討として、500°C、100kg/cm²の蒸気条件で発電効率30%を目指したプラントのモデル設計を行い、高効率化プラント実現の可能性と必要となる技術的課題の抽出を行うこととした。

ここでの検討の進め方は、焼却発電プラントの設計・建設の経験を踏まえた上での検討が必要であり、したがって前述のとおり本研究検討会に参画頂いているプラントメーカーの協力を得て行った。

その要領は、第1段階の成果を当所より各社に先ず提示し、それを受けて各社からその有する経験と方針から発電効率30%達成案とその根拠および課題を提出して貰い、最終的に当所で比較および整理を行った。

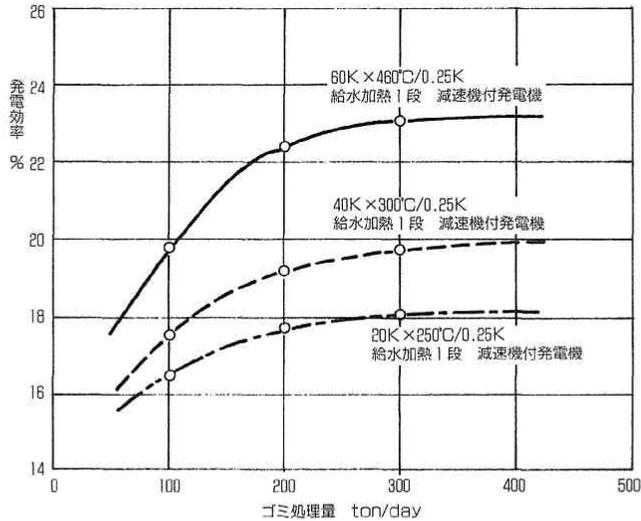


図9 ごみ処理量と発電効率の関係 (減速機付)

(1) 前提条件

原則として前述のNEDO「高効率廃棄物発電プロジェクト」の目標値を基本仕様として前提条件を定めた。以下、その概要を示す。

① 炉形式および処理量

炉形式については当プロジェクトの開発対象炉であるストーカ炉, 循環流動床炉, バブリング式流動床炉とした。また, 各型式毎の処理量は, 表3のとおりとした。

② ごみ発熱量 (低位発熱量)

3,000kcal/kg

③ ボイラ出口蒸気条件

500°C, 100kg/cm²

④ タービン排気圧

0.05kg/cm² (水冷復水器)

⑤ 排ガス処理システム

下記フローを基本システムとする。ただし, 高効率化の方策によっては, 必ずしも本フローどおりとは限らない。

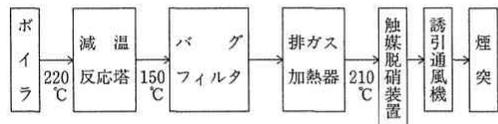


表3 炉形式と処理量前提条件

	焼却炉型式	処理量
ケース1	ストーカ炉	1,200t/d(400t/d×3炉)
ケース2	ストーカ炉	1,200t/d(400t/d×3炉)
ケース3	ストーカ炉	1,200t/d(400t/d×3炉)
ケース4	循環流動床炉	1,200t/d(400t/d×3炉)
ケース5	循環流動床炉	600t/d(200t/d×3炉)
ケース6	バブリング流動床炉	600t/d(200t/d×3炉)
ケース7	バブリング流動床炉	600t/d(200t/d×3炉)

⑥ 排ガス性状<煙突出口目標値>

大気汚染防止法および各指定都市に定められた上乗せ規制値等を参考とし, 現状で最も厳しいレベルの値として次の値を採用した。

ばいじん 0.02g/Nm³
 硫黄酸化物 20ppm
 窒素酸化物 30ppm

塩化水素 15ppm

上述のとおり、高効率を得るための共通条件としてタービン排気圧を0.05kg/cm²としているので、入口蒸気条件から同圧力まで単純に膨張させた場合、タービン内部の湿り度は18%近くになり、効率低下あるいはエロージョンの問題が生じる。これが、各ケースの共通的な課題となる。表4は、この点を踏まえ

(2) 検討結果

各メーカーの方策を集約した結果を表4に示す。
 主要部効率については各メーカーの技術的特徴により多少のばらつきはあるものの、ほとんどのケースで発電効率30%を達成している。

表4 効率30%達成のための検討結果

		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
炉 型		ストーカ炉	ストーカ炉	ストーカ炉	循環型流動床炉
処 理 規 模		1,200 t/d	1,200 t/d	1,200 t/d	1,200 t/d
主 要 部 効 率	ボイラ効率	84.6%	86.0%	83.8%	86.0%
	タービン効率	84.1%	83.3%	85.0%	85.7%
	発電機効率	97.5%	97.7%	98.0%	98.0%
	発電機出力	53,200kW	53,400kW	52,400kW	53,900kW
	発 電 効 率	30.5%	30.6%	30.0%	30.9%
蒸気サイクル	給水加熱段数	2 段	1 段	2 段	2 段
	再熱サイクル	—	—	—	—
	湿 分 分 離	—	—	タービン内部	タービン内部
排ガス処理過程	ボイラ出口	220℃⇒190℃	220℃⇒180℃	220℃	220℃
	バグフィルタ入口	190℃	150℃⇒170℃	150℃	150℃
	排ガス再加熱	中 止	210℃⇒200℃	210℃	210℃
方 策	<ul style="list-style-type: none"> ボイラ出口排ガス温度を220℃⇒190℃によりボイラ効率向上。 減湿塔の中止 消石灰の投入増によりHClの除去に対応。 排ガス再加熱器の中止 低温脱硝触媒の使用 	<ul style="list-style-type: none"> ボイラ出口排ガス温度を220℃⇒180℃によりボイラ効率向上。 バグフィルタ入口の排ガス温度を150℃⇒170℃により排ガス損失の低減。排ガス再加熱器用蒸気を節約。 排ガス再加熱器出口温度を210℃⇒200℃により排ガス再加熱器用蒸気を節約。 	<ul style="list-style-type: none"> タービン内湿分分離によりタービン出口の湿り度を減少させる。 高湿り度に耐えるタービンの採用。 タービン内湿分分離は原子力タービンで実績がある。 高湿度タービンは地熱発電等で実績がある。 	<ul style="list-style-type: none"> タービン内湿分分離によりタービン出口の湿り度を減少させる。 高湿り度に耐えるタービンの採用。 タービン内湿分分離は原子力タービンで実績がある。 高湿度タービンは地熱発電等で実績がある。 	
課 題	<ul style="list-style-type: none"> HCl除去のため大量の消石灰が必要。 SCRでのNOx除去用触媒の活性低下による触媒の増加 低温活性触媒の開発 	<ul style="list-style-type: none"> エコノマイザーの伝熱面積増 バグフィルタでのSOx, HClの除去率が約1%低下 SCRでのNOx除去用触媒の増加 低温活性触媒の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物発電での採用実績がなく、十分な検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物発電での採用実績がなく、十分な検討が必要。 	

て各ケース（各社）にて検討された対策とその課題を整理したものである。

各社が採用した主要対策を列挙すると次のとおりである。

(i) 熱サイクル(含タービン)効率向上関係

① タービン湿水分離技術の採用

ケース3およびケース4

② 耐エロージョン材料の採用

基本的に全ケース、ただしケース6を

除く

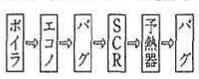
③ 給水加熱段数増加（再生サイクル）の

採用

ケース5およびケース6

④ 再熱サイクルの採用

表4 効率30%達成のための検討結果（つづき）

		ケース5	ケース6	ケース7
炉型		循環型流動床炉	流動床炉	流動床炉
処理規模		600 t/d	600 t/d	600 t/d
主要部効率	ボイラ効率	88.9%	83.0%	82.5%
	タービン効率	80.0%	84.0%	83.0%
	発電機効率	93.8%	97.7%	98.0%
	発電機出力	26,900kW	26,200kW	25,500kW
	発電効率	30.8%	30.04%	29.2%
蒸気サイクル	給水加熱段数	2段	4段	1段
	再熱サイクル	—	有り	—
	湿水分離	—	—	—
排ガス処理過程	ボイラ出口	220℃	220℃	220℃⇒200℃
	バグフィルタ入口	減温反応塔⇒空気予熱器	150℃	150℃
	排ガス再加熱	中止	210℃	中止
方策	<ul style="list-style-type: none"> ・排ガス再加熱の中止 ・減温反応塔を空気予熱器に変更して熱回収を行う。 ・タービンの抽気段数を1段増加。 	<ul style="list-style-type: none"> ・再熱サイクルの採用。 ・4段抽気給水加熱を採用し効率向上を図る。(給水温度202℃) ・発電機直結式タービンの採用による機械損失低減。 	<ul style="list-style-type: none"> ・炉内水スプレーの低減 ・ボイラ出口排ガス温度を220℃⇒200℃によりボイラ効率向上。 ・ボイラ排ガス再加熱の中止。 	
課題	排ガス処理フローの変更  (流動床炉の場合、SOxの排出が殆どない) <ul style="list-style-type: none"> ・高温バグフィルターの採用 ・エコノマイザーの伝熱面積増 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐腐食性SH材料の使用量増加 ・システムの複雑化 	<ul style="list-style-type: none"> ・HCl除去のため大量の消石灰が必要。 ・SCRでのNOx除去用触媒の活性低下による触媒の増加 ・低温活性触媒の開発 	

- ケース 6
- (ii) ボイラおよび排ガス系統関係
- ① ボイラ排ガス中酸素濃度の低減
ケース 2 およびケース 3
 - ② エコノマイザ（ボイラ）出口温度の低減
ケース 1, ケース 2 およびケース 7
 - ③ 減温塔での熱損失低減
ケース 1, ケース 2 およびケース 5
 - ④ 排ガス再加熱温度の低減
ケース 1, ケース 2, ケース 5 および
ケース 7
 - ⑤ 空気予熱機の採用
ケース 5

4. 高効率化方策の課題

前章にて挙げた各ケースの高効率化の方策に対し、ここではその課題と見通しについて述べる。なお、課題の一般的特性については、前述（2.4 項）を参照願うものとする。

4.1 熱サイクル効率向上関係

(1) タービン湿水分離技術の採用

提案されたケースにおける湿水分離技術としては、内部湿水分離技術が採用されている。同技術は、原子力発電や地熱発電に採用されている技術であるが、これまで廃棄物発電には実績がなく、中小規模タービンでの加工技術の確立とコスト面での解決が必要と考える。

(2) 耐エロージョン材の採用

高湿度蒸気対策として、水滴が衝突する動翼前縁部に耐エロージョン性の優れたステライト盛り等を加工した耐浸食材（例、13Cr

鋼の鍛造翼）またはチタン等の高級材を採用する案である。しかし、廃棄物発電施設では、従来はその必要性も無くその採用実績はほとんどなかった。技術的には問題はないが、費用対効果の観点からその材質、施行要領が検討される必要がある。

(3) 給水加熱段数増加(再生サイクル)の採用

前述（2.4 (4)項）のとおり、廃棄物発電プラントにおいては給水加熱段数は3段以降になるとその影響がかなり小さくなるため、通常は2～3段迄が多い。しかし、今回1ケース（1社）が、4段を提案している。同ケースの場合は、再熱サイクルの採用等蒸気サイクルが他のケースと若干異なっていること、また効果は2～3段ほどは期待できないにしても依然として効率向上傾向はあり、30%レベルを目標とする場合あらゆる可能性ある向上策は考慮に入れるべしとの考えに基づくものと推定する。なお、技術的には全く問題ないが、経済性追求が最大の課題となろう。

(4) 再熱サイクルの採用

本案は、蒸気の初圧力が高い場合にはその特徴が十分発揮されるが、廃棄物発電施設では、再熱用スーパーヒーター（過熱器）にも高級耐食性材料を使用する必要がある。本案も、前項の提案同様、経済性追求が最も重要な課題となろう。

4.2 ボイラおよび排ガス系統関係

(1) ボイラ排ガス中酸素濃度の低減

排ガス持ち出し熱量の減少によるボイラ熱損失の減少（ボイラ効率向上）とともに排ガス量が減少するため排ガス処理設備を縮小化

(コストダウン)も期待され、各ケース共通した有効な方法である。ただし、ダイオキシン対策からの厚生省ガイドライン(例、ストーカ炉で6%以上)もあり、最低にして必要十分な酸素濃度制御が必要である。最近の自動燃焼制御技術を採用することにより、極力酸素濃度を低くして安定燃焼することは、十分可能と考えられる。

(2) エコノマイザ(ボイラ) 出口温度の低減

ボイラの熱吸収量を増加させることにより、ボイラ効率を向上させる案として一般的に採用される案である。しかし、出口温度レベルおよびエコノマイザ入口給水温度との兼ね合いによっては、伝熱面積が大幅に増加する可能性あり経済性追求の課題が最も大きい。

(3) 減温塔での熱損失低減

バグフィルタ入口排ガス温度が上昇するため、SO_x、HClの除去効率が低下し、消石灰を多く用いる必要が生じる。

また、重金属類やダイオキシン類の除去効率についても検討する必要がある。本案採用のためには、技術的には高性能高温バグフィルタの開発が必要である。

(4) 排ガス再加熱排ガス再加熱温度の低減

脱硝触媒装置は反応温度としてあるレベルの温度を必要とし(約210℃)、現状では排ガスを再加熱し、脱硝効率を高めている。

本案を採用するためには、低温(150—190℃)活性触媒の開発・実用化が必要である。

(5) 空気予熱器の採用

化石燃料燃焼ボイラの場合一般的な方策であるが廃棄物発電プラントでは、腐食性ガスを有するため、ごく一部の施設で採用されているにすぎない。実用的な採用を考えると排ガス処理フローの変更等が必要となる。

4.3 課題のまとめ

- ① 以上の方策のいずれかを採用することによって、各メーカーとも廃棄物発電プラントにおいて発電効率30%前後は達成できる試算となった。ただし各メーカーとも、上述方策中1つの案のみでなく、数案を組み合わせたシステムを提案したものとなっている。
- ② 検討対象とした方策は、現在の我が国の廃棄物発電プラントでは実績がないかあるいは非常に例が少なく、従ってその組み合わせによって高効率化を達成する各社のシステム構成は、それぞれに検討・開発課題を有している。
- ③ 以上の検討は、蒸気温度500℃と水冷復水器の採用という条件をベースとしており、従ってまず同条件の達成が30%前後の高効率化達成には不可欠であるということもできる。

その観点からも、前述NEDOプロジェクトの研究成果が期待される。

- ④ 各提案システムは、効率面を重視した提案となっており、実際の適用に際してはさらに経済性、設備機器配置、前述条件に挙げられていない環境特性、運転性、耐久性などの実用的な観点からの総合的な検討が必要である。

5. まとめ

従来型廃棄物発電プラントにおいては、冒

頭にも述べたとおり、蒸気温度は燃焼排ガス中の腐食性ガスによるボイラ過熱器管腐食問題から300℃以下となっていた。しかし、最近の高効率化を目指したプラントにおいては、埼玉東部清掃組合第1工場(380℃, 37kg/cm²)、帯広市清掃工場(400℃, 40kg/cm²)における廃棄物発電プラント等、従来レベルを凌駕した蒸気条件を採用する例も見られ、発電効率も現在すでに従来に倍する20%レベルも出現してきている。NEDOが平成3年度より実施している冒頭記載の研究開発プロジェクトは、最高レベルである500℃, 100kg/cm²の蒸気条件を有す高効率廃棄物発電プラントの開発を目指すものであり、その構造、材料選定等の目途を得るため、平成7年度から50t/日規模でのパイロットプラントが、神奈川県津久井郡に建設中である。

本稿で紹介した研究は、その研究を補完する目的で実施中の実機規模想定による廃棄物発電「最適トータルシステムの研究」成果の一部である。要約すると、従来技術の延長型でも蒸気条件を向上させ、各種の損失を再検討することにより30%前後の高効率化が達成できるシステム構成が可能であることを提案した。

本稿の構成は、先ず一般的な高効率化方策案の検討結果を紹介し、次に焼却発電プラントメーカーの協力を得て同じ従来型廃棄物発電方式の範疇において、同様の高効率化を達成できる幾つかの方法があることを記載した。ただし、理論的には高効率化可能の試算結果が得られても、実際製作する視点から捉えた場合、それぞれ課題を有していることも併せて指摘した。特にパイロットプラントの試験を反映した最適材料選定、構造検討、システ

ム最適化、更には運用性・信頼性も含む技術面の検討とともに経済性検討も重要となる。

その様な課題については、今後、前述のNEDOプロジェクトの進展にあわせ本研究テーマの中でも検討する予定であり、またその時点時点の成果が得られたところで紹介したい。

いずれにせよ、本報告が、廃棄物発電の計画推進者あるいは興味を持たれるの方々にとって、その高効率化を考える際の参考にして頂ければ幸いである。

最後に、本研究実施に際しご指導頂いたNEDO(アルコール・水素・バイオマス技術開発室)、ヒートバランス作成面から協力頂いた(株)三菱総合研究所の滝川徹氏、さらにシステム構成と性能面から協力頂いた参加メーカー各社(石川島播磨重工業(株)、(株)荏原製作所、川崎重工業(株)、日本鋼管(株)、バブコック日立(株)、三菱重工業(株))の関係者に深甚の謝意を表する次第である。

参考資料

1. NEDO委託エネルギー総合工学研究所実施「高効率廃棄物発電環境影響評価技術調査等/最適トータルシステムの研究」(平成6年度)平成7年3月
2. 吉澤均「ごみ発電の意義と技術開発課題」, PPM Vol. 25 No. 7, 1994年7月
3. 厚生省生活衛生局監修「日本の廃棄物」1994
4. 吉澤均「ごみ処理過程で発生するエネルギー有効活用の体系と今後の課題」PPM 1996年6月
5. 「新エネルギー展望」『廃棄物発電』エネルギー総合工学研究所, 平成7年3月
6. 「新エネルギー展望」『廃棄物発電(その2) 廃棄物発電の高効率化技術』エネルギー総合工学研究所, 平成8年3月

〔調査研究報告〕

メタノール発電の総合評価

—天然ガス利用の第2サイクルとして—



平山 智之 (財)エネルギー総合工学研究所
主任研究員

1. はじめに

メタノールは、従来、化学工業用原料として利用されてきたが、石油ショック以降、石油価格の上昇が危惧され、また石油代替エネルギー法が制定されたこともあり、石油代替としての利用研究が始められた。

昭和56年より行なわれてきたメタノールの供給可能性、環境影響評価、メタノールを利用したガスタービンおよびディーゼルエンジ

ン発電等についての調査結果を踏まえ、今回、新エネルギー・産業技術総合開発機構より委託を受け、平成6年度より2年間にわたり、メタノールを発電用燃料として利用する場合についての総合評価調査を実施した。ここにその概要について述べる(表1)。

2. メタノール利用の現状

2.1 メタノールの物性

メタノールは、分子式 CH_3OH で示される

表1 メタノール発電に関する過去の研究開発

	56	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3	4	5	6	7	研究内容	研究機関
供給可能性調査	■	■	■	■	■											メタノールの供給可能性、製造プロセス、製造コストの調査 メタノールを利用したGT、CC、FCの技術的・経済的調査	エネルギー総合工学研究所 日本エネルギー経済研究所 野村総研
メタノール環境安全実証試験	■	■	■	■	■											メタノール大量消費時の環境安全性の調査	エネルギー総合工学研究所 産業創造研究所 三菱化成安全科学研究所
メタノール燃焼試験に関する調査		■														実証試験の計画検討	NEDO
メタノール改質型発電の要素研究					■	■	■	■								メタノール改質型GTについての要素研究	三菱油化産業創造研究所 電源開発
メタノール改質型発電トータルシステム実証試験									■	■	■	■	■			要素研究結果をもとにした1,000kW級のトータルシステム実証試験	日立造船 三井造船 中国電力
発電用メタノールエンジンシステムの開発研究									■	■	■	■	■			ディーゼル発電のメタノール化に向けた要素研究、実機実用化試験	三菱重工
メタノール利用発電技術総合評価調査														■		総合評価	エネルギー総合工学研究所

最も簡単なアルコールで、化合物命名法ではメチルアルコール (methyl alcohol) と称する。

常温で無色透明な液体であり、特異な香気をもち、水および多くの有機溶媒によく混和する。その基本的な物性値を表 2 に掲げる。

表 2 メタノールの物性値

比 重	(15/4℃)* 0.79577
沸 点	64.65℃
燃 焼 熱	高位 5,417 kcal/kg 低位 4,761 kcal/kg

* : 15℃の質量と、4℃の等体積の水の質量との比

メタノールは、LNGと同様に灰分、硫黄分及び窒素分が含まれないクリーンな燃料であるが、酸素を含んでいるため、LNGに比べて発熱量が1/2以下と小さく、LNGと同じ熱量を得るのに2倍以上の流れが必要である。(しかし、LNGは液比重が0.3~0.4程度であり、メタノールは同じく0.8程度であるため、輸送、貯蔵面における設備容量はほぼ同じである) また、LNGが全てメタンで構成されているものとすれば、同じ熱量を得るのに完全燃焼に必要な理論燃焼空気量はLNGの方が約9%多く、燃焼後の理論排ガス量は、メタノールの方が約1%多くなる。

2.2 メタノール利用の現状

(1) メタノールの原料

メタノールは、水素と一酸化炭素を触媒で反応させて得られる常温で液体の化学製品であり、世界のメタノールプラントの80%以上が天然ガスを原料としている。他に石炭、ナフサ、重質残渣油、LPG、副生ガスなどからも製造でき、最近では地球温暖化の原因の

一つとされるCO₂や、廃プラスチックからメタノールに転換する研究も行われている。しかし、技術開発の現状、大量生産、製造コストなどの点から、当面は天然ガスが主流と見られる(図1)。

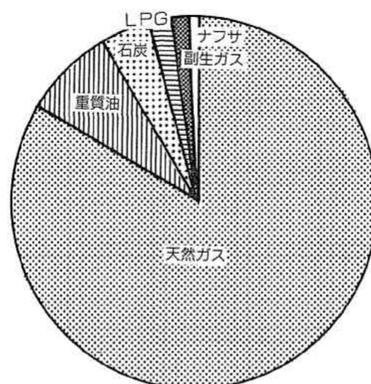


図1 世界のメタノール生産設備の原料別比率

天然ガスは世界的に広く存在し、現時点での全世界の確認埋蔵量は141兆m³で、石油並みであり、可採年数は石油より長い。特に、メタノールの原料としての天然ガスは低価格であることが最も重要な条件であるが、一方では、中小規模のガス田及びCO₂等の含有量が高く液化天然ガス(LNG)用として不向きなガス、石油随伴ガスなどもメタノールの原料となり、天然ガス資源の有効利用にもなる。

(2) メタノールの利用

生産されたメタノールのほとんどは化学工業用原料として用いられている。日本でのメタノールの用途は、図2に示すとおり、ほとんどが化学工業製品の製造用で、住宅建設材料の合成接着剤の原料となるホルマリンや、酢酸、塗料など医療、農業、溶剤などの化学原料として幅広く用いられている。

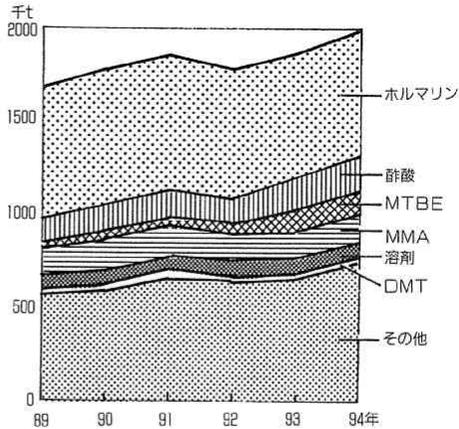


図2 日本のメタノール需要

欧米では、これらの化学製品の他に、最近では無鉛ガソリンのオクタン価向上剤であるMTBE（メチル・ターシャリ・ブチル・エーテル）の原料や、ガソリンへの直接混入用としての利用が増加し、メタノール需要の20%程度が消費されている。日本においても、91年にガソリンへのMTBE混入が認められ、92年頃から市場に出回り始めている。

3. メタノールの製造・流通について

3.1 メタノール受入れ価格の現状

わが国のメタノール輸入価格（CIF）とその推移を図3に示す。メタノールの国際価格は、ここ2～3年前まで安定していたが、94～95年にかけて、カロリーベースで原油やLNGの5倍以上まで上昇し、その後元のレベルまで下り、現状ではLNGや原油の2倍程度で安定している。

このように価格が乱高下する原因は、現状のメタノールの市場規模が小さいため、急激な需要増（MTBE等）や製造プラントの停止による需要と供給の不均衡が直ちに市場価格に反映されるためである。

3.2 メタノールサイクルの構成

メタノールを発電用燃料として利用する場合、その製造・輸送・貯蔵形態について検討した。

(1) 粗製メタノールと精製メタノール

メタノールは原料（主に天然ガス）を改質、合成して得られるが（図4）、こうして得られたメタノールは10～20%の不純物（大部分は水）を含んだいわゆる「粗製メタノール」で

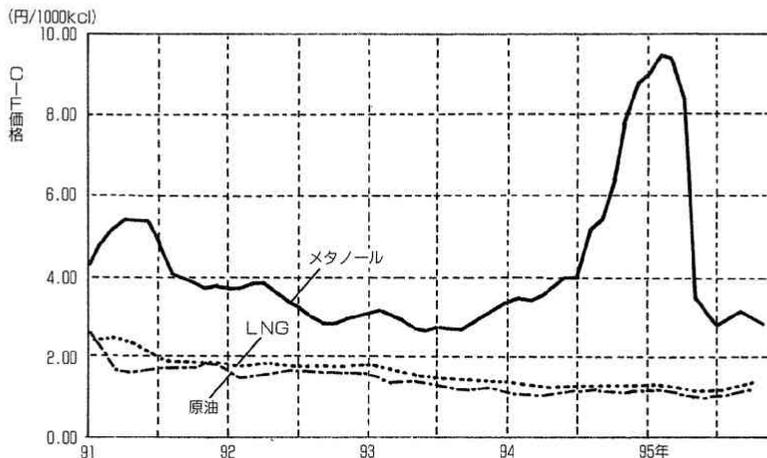


図3 メタノール、LNG、原油の日本着CIF価格

ある。これを蒸留工程を経て得られるのが純度99%以上のいわゆる「精製メタノール」である。

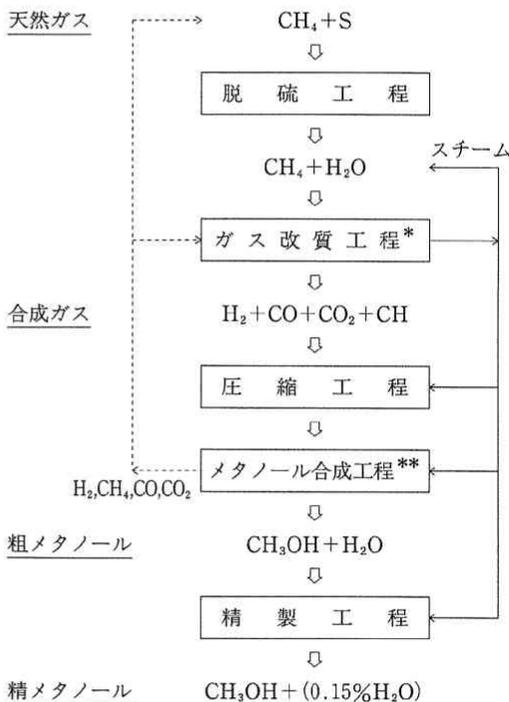
メタノールをエネルギーとして考えた場合は以下の事由により精製メタノールが望ましいため、ここでは精製メタノールを対象とした(表3)。

- ① 粗製メタノールの場合、多量の不純物を含む(20%程度)ため、輸送コストアップになるのみならず、タンク・タンカー等の腐食の問題がある。
- ② 粗製メタノールを発電用燃料として利用すると、ガスタービン、ディーゼルエンジン等の発電機器の腐食の問題がある。

- ③ 精製メタノールにすることによりメタノールの品質(組成)が均一化され、タンカー内ブレンド、タンク内ブレンドが可能になり、LNGでは困難な積み替え・2次輸送が容易に行える等、メタノールのハンドリング上のメリットが最大限に活かせる。
- ④ メタノールの精製(蒸留コスト)によるコストアップは数%程度である。

(2) 前提条件

メタノールは、現在、化学工業用原料としてのみ利用されているため、小規模輸送を行っている。メタノールを発電用燃料(エネルギー)として受け入れる場合には、需要規模



* : 改質反応
 $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2 - 49.3 \text{ kcal/mol}$
 $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 + 9.8 \text{ kcal/mol}$
 **: メタノール合成反応
 $CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_3OH + 21.6 \text{ kcal/mol}$
 $CO_2 + 3H_2 \leftrightarrow CH_3OH + H_2O + 11.8 \text{ kcal/mol}$

図4 メタノール製造の基本工程図

表3 粗製メタノールと精製メタノールの比較

	粗製メタノール	精製メタノール
成分	メタノール 80~90% 不純物 20~10%	99.8%以上 0.2%以下
設備への影響	・タンク及びタンカー等の腐食の問題がある。 ・品質が不均一になるためタンク内・タンカー内ブレンドが難しい。 ・不純物による発電機器の腐食の問題がある。	・産地による成分のバラツキがないため、タンク内・タンカー内ブレンドが可能。
製造・輸送コストへの影響	・不純物を10~20%含むため輸送コストのアップになる。	・蒸留コストが必要になるが、コストアップは数%に止まる。
運用への影響	・同一のタンク、タンカー内に異なる産地からの受入れが困難なため、運用がやりづらい。	・同一のタンク、タンカー内に異なる産地からの受入れが可能であり、弾力性・柔軟性ある運用が可能。

を考慮するとともに、燃料の特性を活かした最適システムを構成する必要がある。

LNGの場合は、天然ガスが常温常圧で気体であることより、液化して -160°C の低温の状態での輸送・貯蔵する必要がある。このため、その輸送用タンカー及び貯蔵設備の規模については、技術的、経済的限界がある。また、その貯蔵設備は高価なものとなるため、貯蔵容量を可能な限り小さくした運用を行う必要がある。

以上の理由により、LNGは現在のような輸送・貯蔵形態になっている。

一方、メタノールは常温・常圧で液体であることより、ハンドリングが容易であり、取扱は石油並みでよいと言われている(図5)。このため、大型タンカーによる大量輸送を行うことにより輸送コストの低減が可能であ

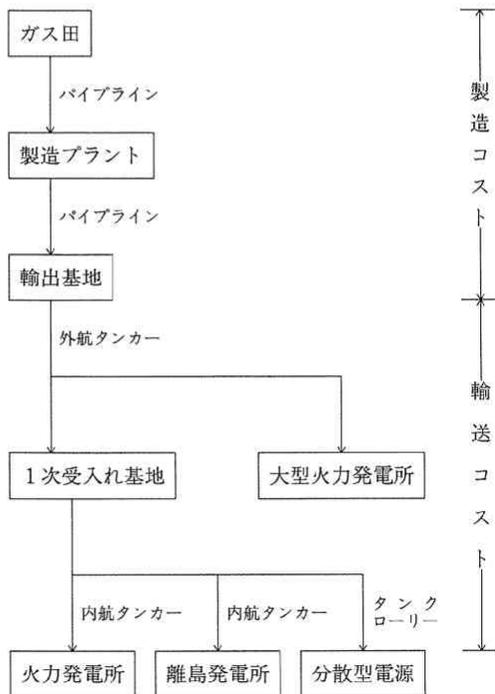


図5 メタノール製造・流通システムの概念図

る。

また、貯蔵設備費用(特に貯蔵タンクの建設費)がLNGと比較すると格段に安いことにより、大量受入れによる貯蔵コストの低減も容易である。

以上を考慮すると、メタノールの最適システムとは、大量輸送、大量貯蔵を行うことであり、これにより炉前コストの低減が可能になる。

3.3 製造コスト

メタノールの製造コストの算定では、他の燃料と同様に供給側の適正な利益を含んだものとした。ここで言う適正な利益とは、そのプロジェクトに対して大部分の投資家が投資しようとするレベルを意味し、現状の低金利時代を考慮すると、IRR(内部利益率)が15%程度が適当と考えられるため、IRRが15%となるよう逆算することにより製造コスト(工場出荷価格)を算定した。

算定に当たって、

- ① 立地点は、原料となる天然ガスが安価で入手できる中東及び輸送距離の短い東南アジアの2とおり
 - ② 製造方法は、現状の製造技術で大量生産した場合(2,500 t/日×2系列)及び現在開発中の新製造法で大量生産した場合(5,000 t/日×2系列)の2とおり
- について検討した。

その結果、メタノールの製造コストは、新製造技術の導入が可能になれば、現在よりも20%以上のコスト低減が可能になる。特に中東の場合は、原料の天然ガスの価格が安価であるため、製造コストは最も安くなった(図6)。

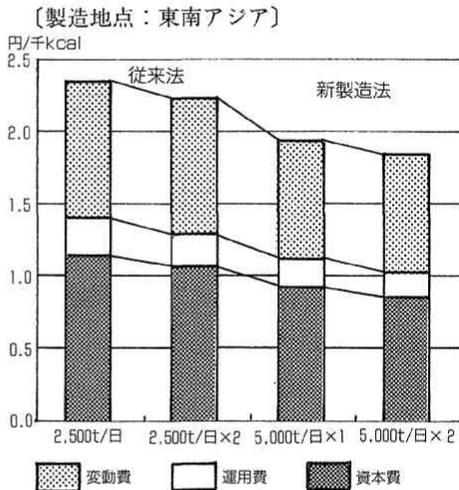
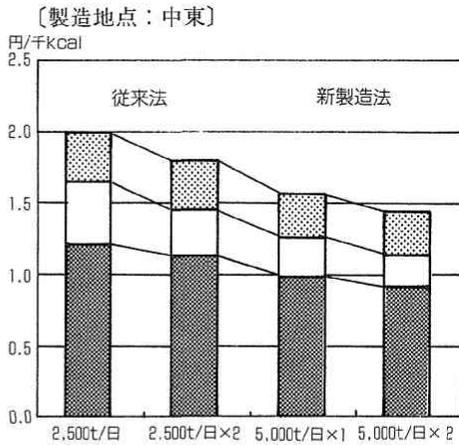


図6 メタノール製造コスト比較
(新製造法によるコストダウン)

3.4 輸送コスト

(1) 1次輸送コスト

メタノールの輸送コストのうち、海外の製造地点から国内の1次受け入れ地点までの1次輸送コストについて検討を行った。

受け入れ形態としては、

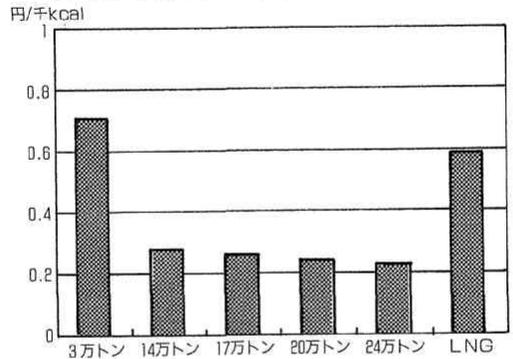
- ① 大型火力発電所に直接受け入れる場合
- ② 供給センターを設置し、これを經由して受け入れる場合

が考えられるため、この2とおりに分けて検討した。

検討にあたっては、現状のメタノール輸送コストも算定し、タンカーの大型化によるコスト低減効果を明らかにした。

現状のメタノール輸送は3～4万トンのタンカーを使用しているため、10万トンの大型タンカーにより、輸送コストは1/2～1/3に低減する(図7)。

〔中東より輸送する場合〕



〔東南アジアより輸送する場合〕

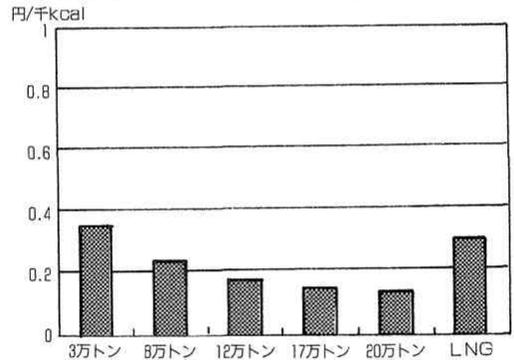


図7 大型船使用によるメタノール輸送コストの低減効果

(2) 2次輸送コスト

流通システムの2次輸送として、供給センターを經由して、港湾設備が整わない大型火力発電所に直接受け入れる場合、離島の発電所に受け入れる場合及び分散型電源として内陸部に受け入れる場合についてそれぞれ輸送コストを算定した結果、2次輸送は小規模輸

送となるため、1次輸送よりも割高になった。

3.5 貯蔵コスト

LNGは、通常、貯蔵タンクが非常に高価であるため、タンク容量が最小になるような運用を行っている。

一方、メタノールの場合はタンクがLNGに比べると安価であるため、大型タンカー受入れによる輸送コストの低減を優先したシステム構成とした。

検討の結果、発電規模70万kW×2の大型発電所の場合は0.27円/千kcal程度、発電規模70万kW×4の大型発電所の場合で0.14円/千kcal程度となった。

3.6 受入れコスト

メタノールを利用した発電システムの経済性（発電単価）を検討する際には、メタノールの受入れ価格を算定する必要がある。

このため、製造・輸送・貯蔵コストにより、メタノールの受入れコストを算定し、メタノールを発電用燃料として受け入れる場合のコスト低減の可能性について検討した。

(1) 発電所に直接受け入れる場合

a. 東南アジアで製造した場合

東南アジアで製造する場合には、メタノールの炉前価格は、天然ガスの価格が高いことより、輸送距離が短いにもかかわらず現状の製造法によるとき、大量生産してもLNGよりも高くなる。新製造法が開発されれば、発電規模が70万kW級×2系列の場合はLNGと同じレベルまでかやや安い程度になる。

しかしながら、発電規模がさらに大きくなると、LNGの貯蔵コスト部分の低下が著し

いため、LNGの方が安くなる（図8）。

b. 中東で製造した場合

中東で製造する場合は、天然ガスの価格が安いことより、輸送距離が東南アジアの2倍近くあるにもかかわらず、メタノールとLNGの輸送コストの差が炉前コストに顕著に現れる。この結果、発電規模が70万kW級×2系列の場合、現状の製造方法で大量生産すればメタノールの炉前価格はLNGのそれとほぼ同じになり、新製造法によるコストダウンが実現すればメタノールの炉前価格がLNGよりも安くなる可能性がある。

発電規模がさらに大きくなり70万kW級×4系列の場合になると、東南アジアの場合と同様に、LNGの貯蔵コスト部分の低下が著しいため、LNGの方が安くなる（図8）。

(2) 供給センターを経由して受け入れる場合

供給センター経由でメタノールを受け入れる場合、供給センターの貯蔵コスト及び2次輸送コストが加わる分だけ受入れコストは高くなる（図9）。受入れコストを抑えるためには、2次輸送距離が長くないことが必要である。

4. メタノールを利用した発電技術の推移

発電用燃料としてメタノールの研究が始まった頃（昭和56年頃）は、高効率発電技術（コンバインドサイクル等）が開発途上であり、専らボイラー焚きによる発電方式が主流であったため、熱効率は40%に止まっていた。

このため、メタノールについては石油代替としての技術開発は行われても、積極的に採用しようという機運は見られなかった。

近年、熱効率48%以上の高効率コンバインドサイクル発電が次々に実用化されるに至っ

て、メタノールも同様な高効率発電技術も適用可能であるとの見通しを得た。

このため、現在では、メタノールを発電用燃料として利用する上での発電技術上の問題点はあまりないと考えられる。

5. 各メタノール発電システムの比較

メタノールを利用した発電システムとして図10に示すガスタービンサイクル及びコンバインドサイクル、ディーゼル発電及び燃料電池を対象に、熱効率、環境特性、運転特性、

経済性等について比較・検討を行った(表4)。

(1) 立地可能な場所

現状の大型火力並みの大規模電源の場合、立地点は燃料の大量消費に対応する海岸部が主となる。また、コンバインドサイクルは復水器冷却水量の多さから海岸部設置に限定されるが、水を必要としないガスタービンサイクル及び2サイクルターボコンパウンドディーゼル発電は内陸部の設置が可能である。

更に、メタノールの場合は灰捨場が不要で

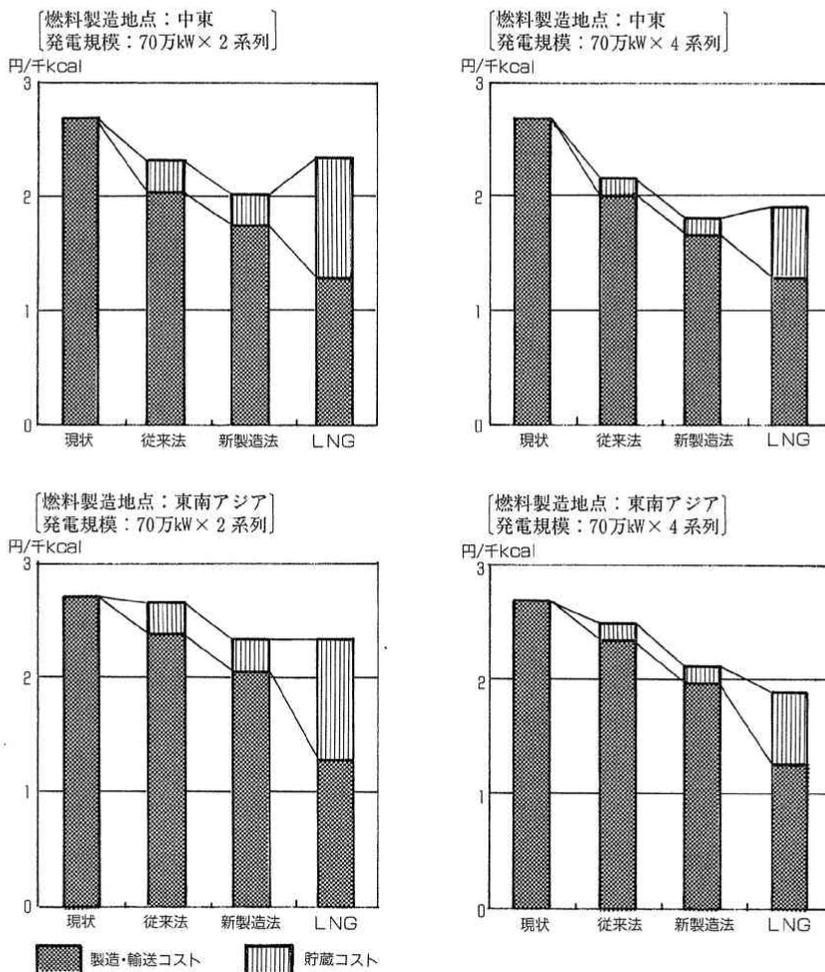


図8 メタノール炉前コストの比較 (燃料を発電所に直接受け入れる場合)

あるため、灰捨場が確保できない臨海部でも立地が可能である。

一方、メタノールが常温常圧で液体であることの利点を活かせば、2次輸送も可能であることにより、経済性との兼ね合いもあるが、港湾条件の整わない地域への立地も可能である。

中小規模電源としてはディーゼル発電及び燃料電池が考えられ、いずれも大量の水を必要としないことを考慮すると、立地点を選ばないため、海岸部のみならず内陸部・都市部の立地も可能である。

(2) 定格出力

発電システムにより、定格出力別の棲み分けが考えられる。

ガスタービンサイクル及びコンバインドサイクルの場合はガスタービンをベースとしていることにより小型化が難しく、一般的に大規模発電向けである。

2サイクルディーゼル発電の場合は、単機出力がガスタービンより小さいため、大規模のみならずガスタービンサイクルよりも小さい規模まで対応可能である。

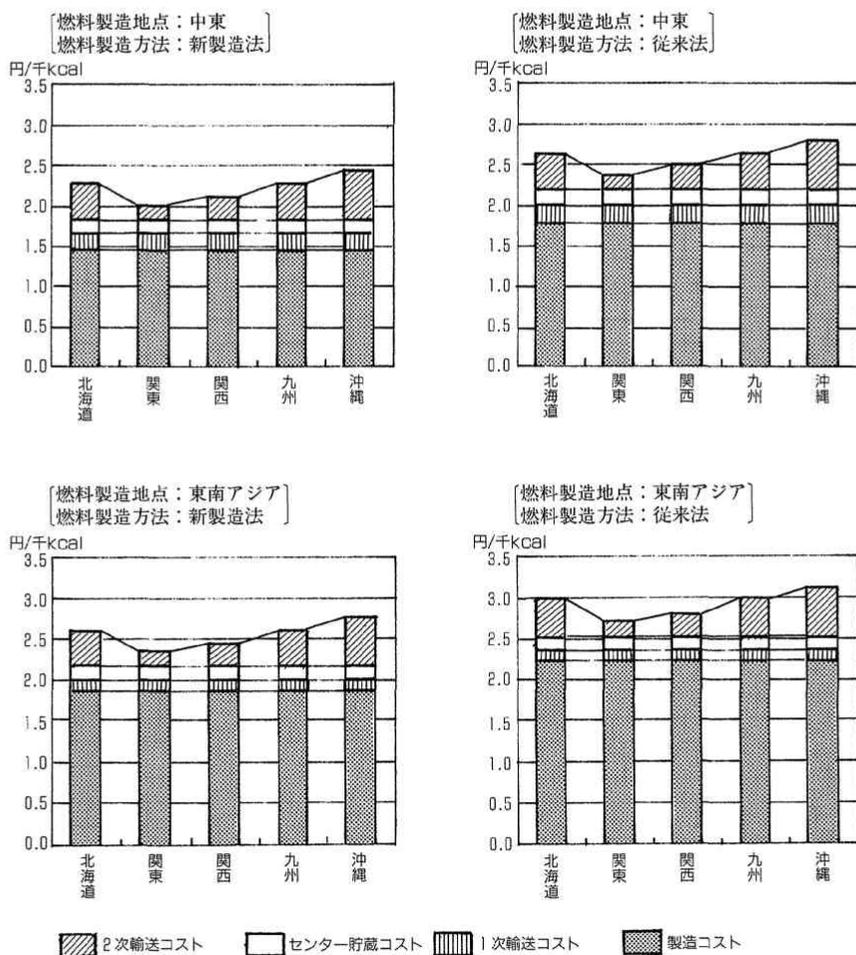


図9 供給センターより受け入れる場合の地域別メタノール受け入れコスト
(関東地域に供給センターを設置した場合の各地点でのメタノール受け入れコスト)

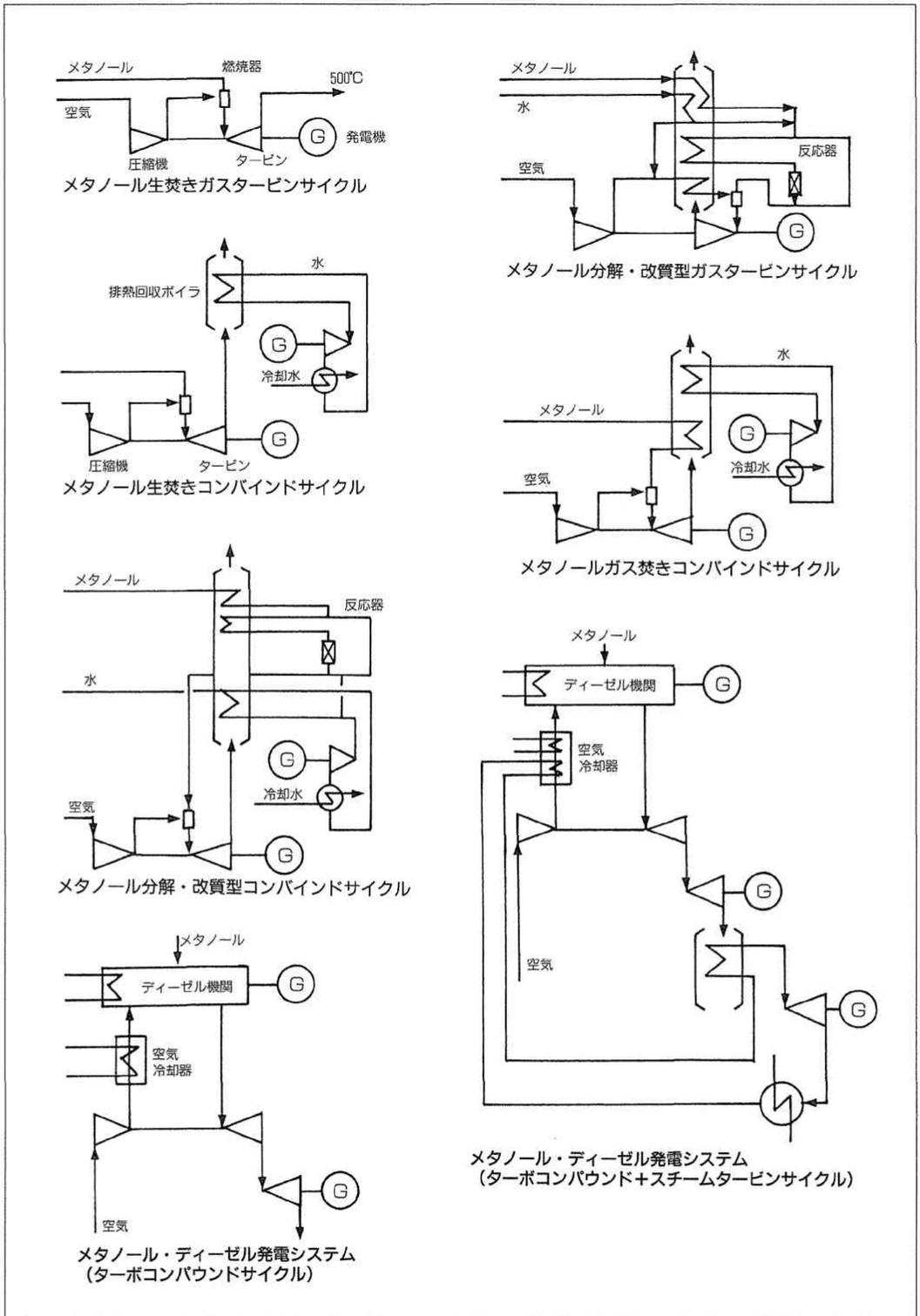


図10 各メタノール発電システムの概要図

表4 各発電システムの諸元比較（その1）

		メ タ ノ ー ル				
		生焚きGT	分解型GT	改質型GT	生焚きCC	ガス焚きCC
立地場所		内陸, 湾岸	内陸, 湾岸	湾岸	湾岸	湾岸
出力*1 [MW]		486×2	522×2	571×2	739×2	697×2
発電端熱効率 [%]		30.7	45.1	44.9	46.6	47.9
所内率 [%]		2	2	2	2	2
排熱回収法		無	分解・再生・注水	改質・再生・注水	ST	予熱+ST
起動時間 [H]	HOT	0.5	1~2	1~2	1~2	1~2
	COLD	0.5	4	4	6	6
NOx*2 [ppm]		50程度	20程度	20程度	50程度	55程度
建設単価*3 [万円/kW]		19.8 (17.5)	20.9 (18.9)	19.7 (17.7)	18.7 (16.9)	19.4 (17.5)

表4 各発電システムの諸元比較（その2）

		メ タ ノ ー ル				LNG CC
		分解型CC	改質型CC	TCディーゼル	TC+ST ディーゼル	
立地場所		湾岸	湾岸	内陸, 湾岸	湾岸	湾岸
出力*1 [MW]		611×2	680×2	690×2	733×2	670×2
発電端熱効率 [%]		49.2	48.2	49.3	53.5	48.7
所内率 [%]		2	2	2	2	2
排熱回収法		分解+ST	改質+ST	TC	TC+ST	ST
起動時間 [H]	HOT	1~2	1~2	0.4	1~2	1~2
	COLD	6	6	0.7	6	6
NOx*2 [ppm]		70程度	70程度	20程度	20程度	50程度
建設単価*3 [万円/kW]		22.2 (20.1)	20.5 (18.6)	19.8 (18.2)	21.1 (19.4)	26.4 (21.6)

*1 外気温度15℃の場合

*2 脱硝装置なしの状態での値, GT・CCはO₂=16%, ディーゼルはO₂=13%

*3 () は発電規模が4系列の場合

TC:ターボコンパウンド, DE=ディーゼルエンジン, ST:スチームタービン

4 サイクルディーゼルは、重油焚きの場合
は離島用電源等で実績があるように、中小規
模の電源として高い信頼度が期待できる。

(3) 熱効率（発電端）

メタノールの生焚きガスタービンは30%程
度の熱効率であるが、コンバインド化により47
～48%程度に向上させることが可能である。

さらに、メタノールの分解反応を利用した
排熱回収を行うと49%以上の熱効率が可能で
ある。

2 サイクルディーゼル発電の場合、ターボ
コンパウンドを行うことにより49%以上、さ
らに蒸気タービンを設置しコンバインド化を
行うと53%以上の熱効率が可能である。

りん酸型燃料電池はその発電システムの特
性上、熱効率（発電効率）は40%程度に止まる。

(4) 運転特性

コンバインドサイクルや分解型・改質型ガ
スタービンサイクルは、生焚きガスタービン
サイクル（単純サイクル）に比べて、蒸気タ
ービン、熱交換器、反応器等が存在するため、
起動時間は長くなる。また、最低負荷が高く、
負荷変化率が小さくなる。しかし、DSS（昼
間起動、夜間停止）運用は、いずれのサイク
ルでも可能なレベルにある。

一方、ディーゼル発電の場合は起動時間は非
常に短い、蒸気タービンを組み合わせた場合
は、蒸気タービンの分だけ起動時間は長くなる。

燃料電池の場合は、システム構成上改質器
の加熱時間が必要であるため、冷起動で3時
間程度必要であり、また急激な負荷変化への
追従が困難であるため、運用上は系統連系が
必要となる。

(5) 環境特性

メタノールは、成分に灰分、硫黄分、窒素
分を含まないため、SO_x、ばいじんの発生は
は0であり、NO_x濃度も低く抑えることが可
能である。

また、メタノールの燃焼に伴うホルムアル
デヒドの発生も1ppm以下と微小であり、問題
ないレベルにある。

NO_x排出濃度について、メタノール生焚き
ガスタービンサイクル及びコンバインドサイ
クルの場合は50ppm程度（脱硝装置なしの状
態）、ガス焚きコンバインドサイクルになると
若干増加して55ppm程度（脱硝装置なしの状
態）、さらに、分解型・改質型コンバインドサ
イクルは70ppm程度（脱硝装置なしの状態）に
なると推定される。

しかし、分解型・改質型ガスタービンサイ
クルでは、20ppm程度（脱硝装置なしの状態）
に抑えられると推定される。

メタノールディーゼル発電の場合は、EG
R（排気ガス再循環）を行うことにより、触
媒なしの状態でも20ppm以下に抑えることが可能
である。

燃料電池はその特性上、NO_xは5ppm以下と
かなり低く抑えられる。

(6) 経済性（発電単価）

a. メタノールを製造地点から発電所に直接 受け入れる場合（図11）

発電所が大型タンカーを受け入れるための
港湾整備費用が高くなるが、2次輸送を伴わ
ないこと、大型タンカーによる輸送費のコス
トダウンが期待できることより、受入れコス
ト（発電所着コスト）は最も安価になる。

発電規模が70万kW級×2系列程度のとき、

中東で製造すると、メタノールコンバインドサイクル及びターボコンパウンドディーゼル等は、従来の製造方法でも大量製造・大量輸送を行えば、9円/㎾程度まで下がる可能性がある。

新製造法で大量製造したとき、その傾向がさらに顕著になり、メタノール生焚きガスタービンを除くほとんどの発電システムで9円/㎾程度まで下がる可能性がある。

発電規模が更に大きくなり、70万kW級×4系列程度になると、各メタノール発電システムの発電単価はさらに下がる傾向にある。

b. メタノールを製造地点から供給センター経由で発電所に受け入れる場合

港湾条件の整わない発電所に内航船による2次輸送を行った場合、供給センターからあまり遠くない範囲（2次輸送コストが高くない範囲）ならば、中東で製造したとき及び新製造法によって東南アジアで製造したときは、9円/㎾程度の発電単価が期待できる。

離島用電源としては、既存の重油焚きディーゼルと発電設備の構成があまり変わらないため、メタノールとC重油の受入れ価格の差がそのまま発電単価として現れ、メタノールディーゼル発電は既存の重油焚きディーゼルよりも割高となる。

分散型電源の場合、ガスエンジンや都市ガス燃料電池と比べると、メタノールディーゼル、メタノール燃料電池の方が安くなるが、それでも大型火力発電（おおよそ9～10円/㎾程度）の1.5～2倍以上となるため、熱供給を行うことにより総合効率及び経済性の向上を図る必要がある。

6. メタノール発電導入計画

メタノール発電導入計画としては、平成6年の電気事業審議会にて2010年に50万kWが計画されている。これをメタノールの消費量に換算すると、発電所利用率70%として年間100万トンの需要が出現することになり、現在の日本の需要の約半分に相当するレベルである。

このため、導入に当たっては、かつてLNGを導入したのと同様に、発電設備と燃料製造設備・輸送設備の建設を同時に行う必要がある。また、導入当初は市場規模が限定されるため、引取保証の問題もあり、引取契約の形態をとることになると考えられるが、メタノールの場合はLNG程製造規模を大きくする必要がないため、発電用燃料としての硬直性はLNGよりも低いと考えられる。

7. 将来の展望

石油危機以降、わが国では電源の多様化が図られてきており、原子力、石炭及び天然ガスを中核とした電源構成のベストミックスの実現が進められてきた。

(1) 原子力発電所の立地難

原子力発電においては、国内に資源を持たない日本の準国産エネルギー源としては不可欠なものであり、安全性の確保、電源三法を中心とする立地対策の推進努力にもかかわらず、近年、新規立地はなかなか進展しない状況にある。

(2) 石炭火力の推進と環境および灰捨場の問題

石炭火力発電においては、石炭自体が可採

年数も長く、世界に広く分布した安定したエネルギー源であること、またわが国ではSOx, NOx, ばいじんに係わる大気汚染防止対策技術が高度に完成して採用されていることより、各地で安価な海外炭を燃料とした大型石炭火力の立地が順調に進んでいる。

しかしながら、石炭には他のエネルギー源と比較すると灰捨場の確保の問題及びCO₂排出に係わる地球環境問題が存在する。

(3) LNG供給プロジェクトとその硬直性

天然ガス火力発電においては、天然ガスは

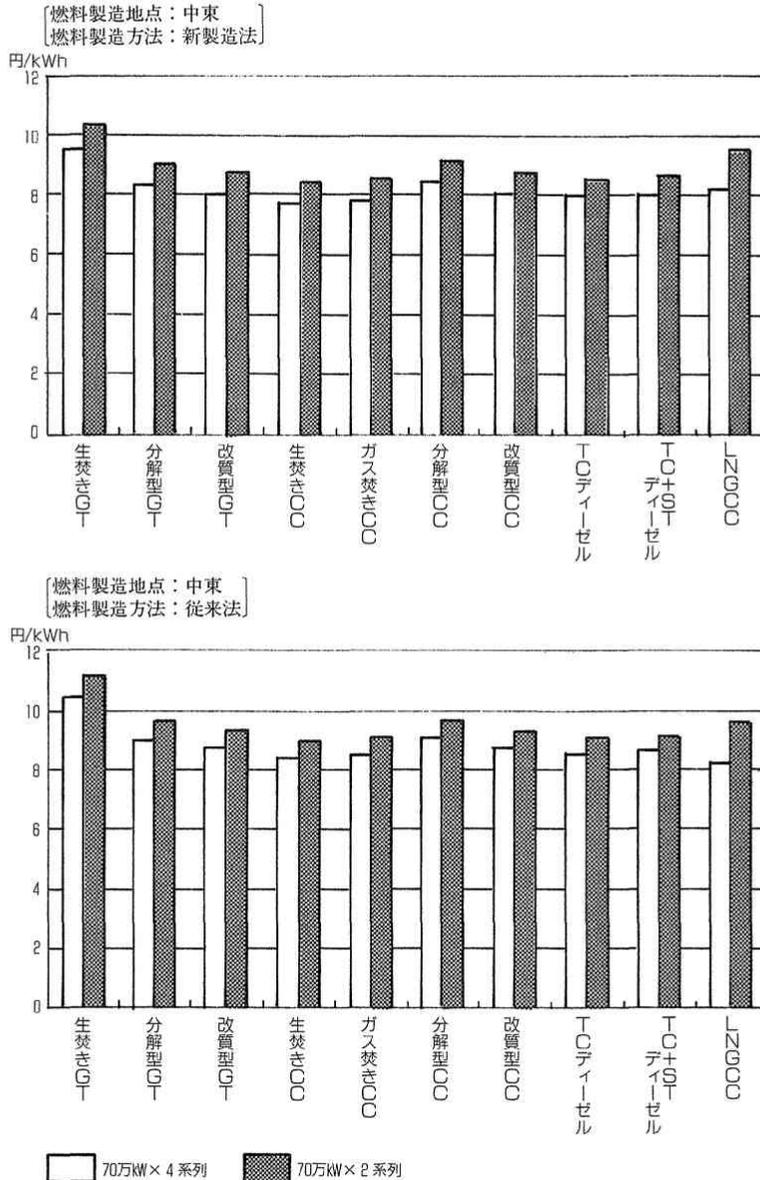


図11 システム別の発電単価比較 (その1)

(燃料を直接発電所に受け入れる場合：発電所利用率70%)

LNGの形で輸入して利用されており、石油や石炭と比較すると環境負荷が軽く、灰捨場の問題もないクリーンなエネルギー源として近年では高効率LNGコンバインドサイクル発電設備の建設が進められている。

しかし、LNG導入プロジェクトは、天然

ガスを -160°C の状態では輸送するため、その液化設備、輸送設備、貯蔵設備に膨大なコストが必要となり、その結果、「大量・長期安定引取」によるコストダウンが不可欠となる。

このため、「大規模かつ良質なガス田」を対象が限定される。ここで言う「良質なガス田」

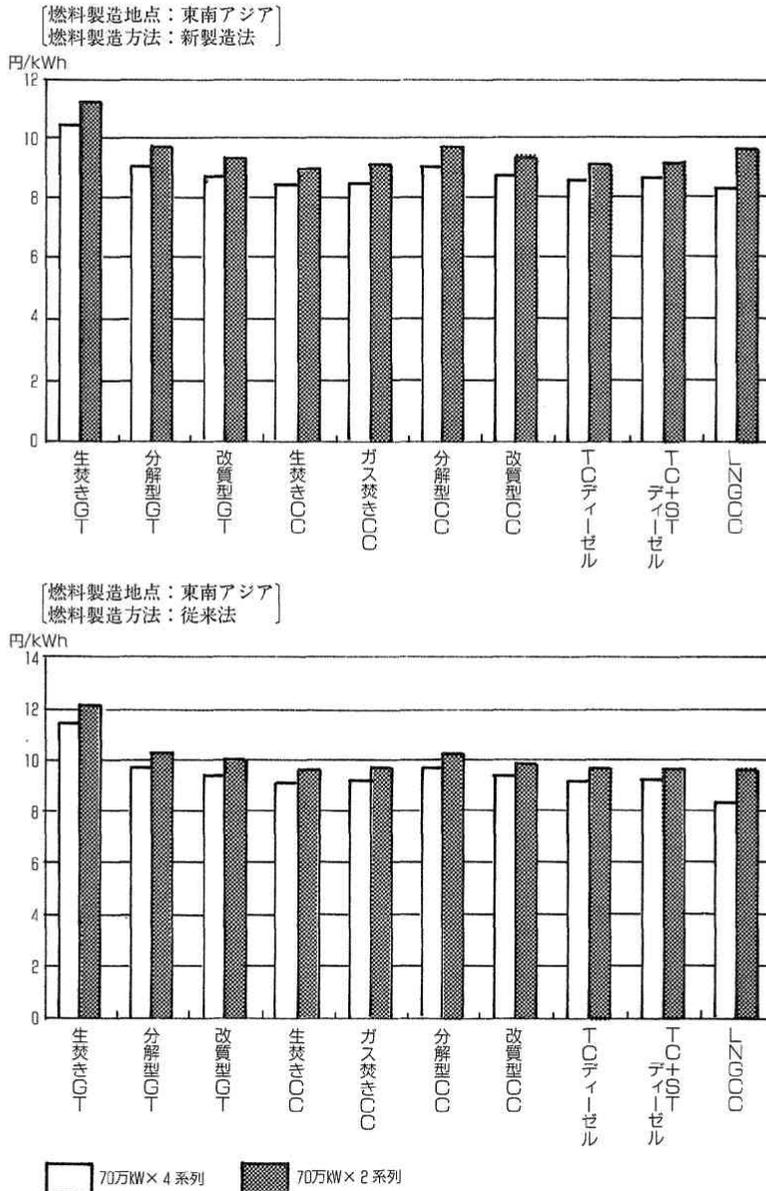


図11 システム別の発電単価比較 (その2)
(燃料を直接発電所に受け入れる場合：発電所利用率70%)

とは、CO₂等を多く含まないガス田のことであり、CO₂等の含有量が多くなるとその除去費用が嵩み、その結果LNGのコストアップに繋がる。

(4) 将来的な天然ガスの供給源

わが国は、今後の旺盛な電力需要の伸びを賄うため、引き続き電源多様化対策に基づく電源開発を行う必要があるが、今後の電源立地において原子力発電の立地が計画どおり進展しないため、その未達分については天然ガス火力等により補完せざるを得ない状況にある。

しかしながら、近年の地球環境問題の高まりにより、CO₂排出量削減の有力な手段として各国とも天然ガスへのシフトが明らかであることより、今後のエネルギー市場において天然ガス奪い合いの激化が予想される。既に東南アジアにおけるLNGプロジェクトでは、韓国、台湾等の新規参入により、日本の

独占体制は崩れつつある。

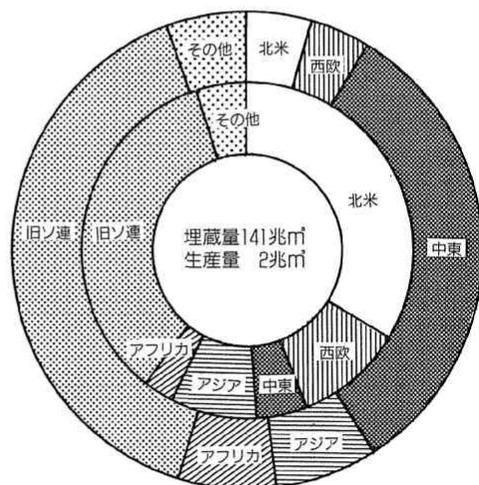
このため、埋蔵量が膨大であり積み出し港に近い未開発ガス田を有する中東地域が、わが国にとって今後の有力な新規天然ガス供給源になると考えられる(図12)。中東の場合は東南アジアと比較すると、輸送コストが約2倍(輸送距離が2倍)になるため、天然ガスをLNGの形態で輸送すると経済的に高くなることが予想される。

(5) メタノールサイクルの必要性と電源多様化政策における位置づけ

以上のように、今後天然ガスをLNGとして受け入れることは経済面、資源面からの制約があると考えられる。

これに対してメタノールは

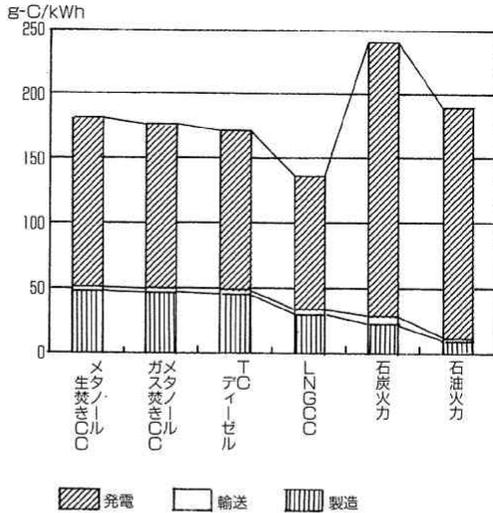
- ① 製造コストは高いものの、石油並みのハンドリングが可能であるため、輸送・貯蔵コストはLNGよりも格段に安いこと
- ② LNG程のスケールアップを必要としないため(製造プラントはLNGと比較すると小規模でよい)、LNGに馴染まない中小規模のガス田からの製造も可能であること
- ③ その製造工程においてCO₂を利用することができるため、CO₂の多いガス田からの製造も容易であること(CO₂含有率が15%までは有効利用が可能)から、これらのガス田の有効利用が可能であること
- ④ 灰分、硫黄分及び窒素分を含まないクリーンな燃料であること
- ⑤ CO₂排出量はLNGより多いが石炭より2割少なく石油並みであること(図13)
- ⑥ 石炭のような灰捨場の問題がないこと
- ⑦ 発電技術については技術開発上の課題は少ないこと



外側：確認埋蔵量 内側：生産量

出典：エネルギー統計
注：埋蔵量は95年1月、生産量は94年

図12 天然ガス埋蔵量及び生産量



出典：資源エネルギー庁委託調査「メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査報告書」

図13 発電システム別温室効果ガス発生量比較

- ⑧ 発電効率はLNGと同等かそれ以上が期待できること
 - ⑨ メタノールの供給システムは、精製メタノールを採用することによりタンク内ブレンド、タンカー内ブレンドが可能であることから、極めて融通性、弾力性に富むこと
 - ⑩ メタノール発電の経済性については将来的に8円/kWh～9円/kWhレベルの実現が十分可能と推定されること
- より、メタノール発電の導入は実現の可能性があると考えられる。

今後の電源多様化政策推進において、

- ① 原子力は準国産エネルギーとして今後と

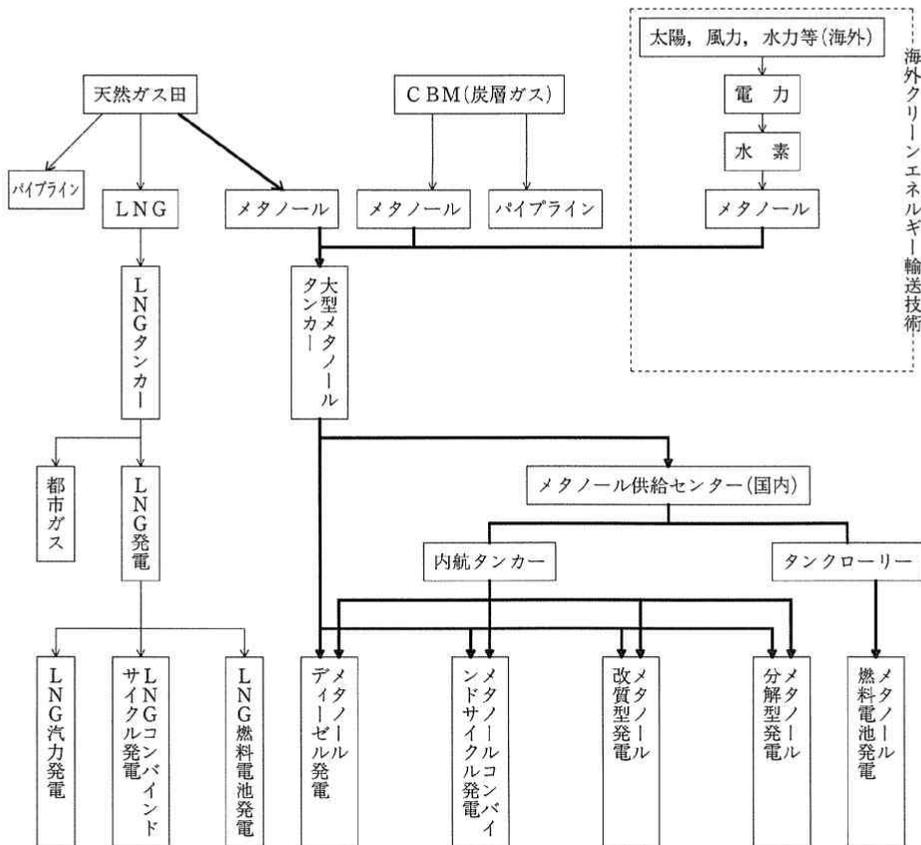


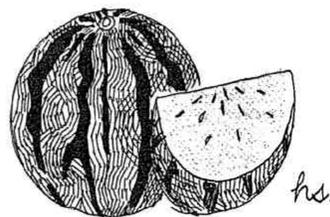
図14 メタノールサイクル概略図

も精力的に推進しなければならないこと

- ② 石炭火力については、ベース・ミドル電源として全国で立地は順調に進んでいるが、灰捨場の確保及びCO₂排出抑制の問題があること
- ③ このため、その未達分については、LNG火力により補うことになると考えられるが、LNGになじむ「大規模かつ良質なガス田」は今後多くは存在しないこと及び東

南アジアにおける日本のLNG独占体制は崩れつつあること

を考慮すると、わが国の長期的なエネルギー源の確保という観点から、原子力、LNG、石炭に次ぐ石油代替エネルギー源として、また、「天然ガス利用の第2サイクル」としてメタノールの利用を考えるべき時期にきているものと考えられる（図14）。



〔海外出張報告〕

欧州主要国における原子炉廃止措置の状況

川野 忠 昭 (勸エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員)



1. はじめに

日本原子力研究所の動力試験炉(JPDR)は、我が国最初の動力用原子炉として研究開発に先駆的貢献をしてきたがその使命を終え、平成8年3月、解体撤去が無事完了している。また、日本原子力発電(株)は、我が国の第1号商用炉である東海発電所(GCR)の営業運転を平成10年3月までに停止し、その後約10年から15年して解体に取り組むスケジュールを明らかにしている。同発電所は、運転開始から約30年を経て停止することになる。海外では、運転開始後30年未満の商業炉であっても、経済性などの理由からすでに運転を止め、恒久停止もしくは廃止措置を実施している原子炉も存在する。

我が国で今後に予定される商業炉廃止措置を円滑に実施するには、JPDRの解体などこれまでに蓄積した経験を反映するとともに、国外での廃止措置に係わる情報の入手が望まれる。なかでも、原子炉の解体方法及びその関連技術、解体から発生する金属、コンクリートなどの解体廃棄物の処理・再利用の方法、廃止措置の法手続きの実態などの情報は、関心の集まる場所である。

今般、廃止措置検討の一助とすべく欧州の関係国を訪問調査する機会を得たので、原子

炉解体撤去の事例を有する独国の事情を中心に、その概要を報告する。なお、本報告は、通産省資源エネルギー庁より受託した平成7年度調査研究の内容を基に紹介するものである。

2. 訪問調査先

- (1) 解体方法及び関連技術の調査
 - ・独国 ジンペルカンブ社
 - ・独国 カールスルーエ研究所(FZK)
 - ・ベルギー モルBR-3発電所
 - ・ベルギー 放射性廃棄物管理庁(ONDRAF/NIRAS)
 - ・スウェーデン 核燃料・廃棄物管理会社(SKB)
- (2) 廃止措置に係わる法手続きの調査
 - ・英国 バークレイ発電所
 - ・独国 バイエルンベルク電力会社
 - ・独国 バイエルン州政府 地域開発・環境問題省
 - ・独国 グンドレミンゲン発電所(KRB)
 - ・独国 連邦環境省(BMU)

3. 独国における廃止措置状況の概要

3.1 独国の概況

独国で現在稼働中の原子力発電所には、加圧水型原子炉(PWR)が14基、沸騰水型原

子炉（BWR）が7基ある。合計2,300万kWeの設備容量で、独国の総発電量の約30%を占めている。さらに、約40基の研究炉や小型の原子炉があり、一部は現在なお稼働中だが、廃止措置中あるいはすでに解体済みのものもある。

独国内でこれまでに恒久停止された原子炉数は、廃止措置中のものも含め、PWRが7基、BWRが4基、重水原子炉が1基、高温ガス炉が2基、ナトリウム冷却原子炉が1基となっている。これらには、地方電力会社所有のものと、連邦政府の研究省（BMBF）管轄のものがある。（表1参照）

表1 ドイツにおける廃止措置中の発電所及び研究炉

発電所・研究所	容量 (MWe)	運転停止年
PWR 7基		
カールスルーエ MZFR	58	1984
ラインスベルク KKR	70	1990
グライフスヴァルト KGR1	440	1990
グライフスヴァルト KGR2	440	1990
グライフスヴァルト KGR3	440	1990
グライフスヴァルト KGR4	440	1990
グライフスヴァルト KGR5	440	1990
BWR 4基		
カール実験炉 VAK	16	1985
グンドレミンゲン KRB-A	250	1977
リンゲン KWL	254	1977
グロスヴェルツハイム蒸気過熱炉(カール) HDR	25	1971
ガス冷却重水減速炉 1基		
ニーダーライヒバッハ KKN*	106	1974
高温ガス炉 2基		
原型炉 THTR300	308	1988
ユーリッヒ高温ガス実験炉 AVR	15	1988
高速ナトリウム冷却炉 1基		
コンパクトナトリウム冷却炉(カールスルーエ) KNKII	20	1990

*1995年8月廃止措置完了

3.2 カールスルーエ研究所における廃止措置

(1) 廃止措置対象施設の概況

フランクフルトから電車で約1時間程南に、カール大帝ゆかりの町、カールスルーエがあり、そこからさらに車で30分ぐらいの距離にカールスルーエ研究所がある。このあたりは、かの有名な黒い森の一部にあたり、研究所はその森の中に建設された一大研究センターをなしている。1994年、カールスルーエ研究所は、研究部門と廃止措置部門に分割され、それぞれ独自の予算運用をしている。研究所の運営資金は、連邦政府が9割、シュタットガルト州政府が1割を負担している。

この研究所では、現在、研究炉・発電施設5件と再処理施設1件が廃止措置の対象となっている。センター内の廃止措置施設としては、FR-2（研究用高速炉）、KNR（高速炉用試験施設）、MZFR（多目的原子炉：重水減速PWR）及びWAK（再処理施設）の4施設が対象である。

二つの施設がカールスルーエのセンター外にあり、グロスヴェルツハイム蒸気過熱炉(HDR)がフランクフルトの近くに、また、ニーダーライヒバッハ発電所(KKN：重水減速炭酸ガス冷却炉)は、ミュンヘン近くのドナウ川の畔に位置していた。この発電所は1995年8月解体撤去が終了し、緑の草原(グリーンフィールド)に復元されて記念の式典が催された。

廃止措置プロジェクトの費用は、

- ・全廃止措置費用……6～7BDM（約9千億円）ただし、KKNを除き、WAK等の将来分も含む）

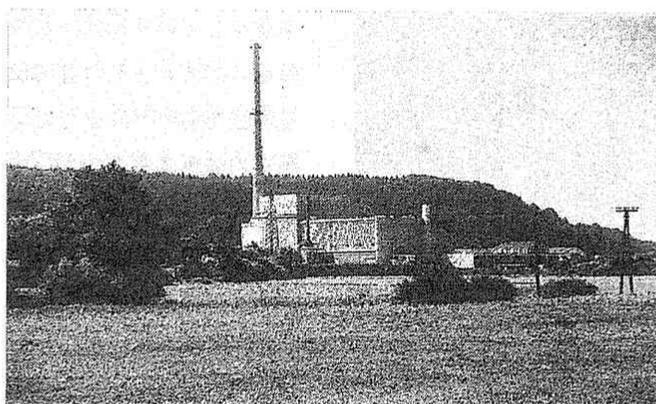
- ・ K K N ……280MDM (約190億円)
- ・ 再処理施設 W A K ……約3.4BDM
(約2300億円)

(2) K K Nの解体工法

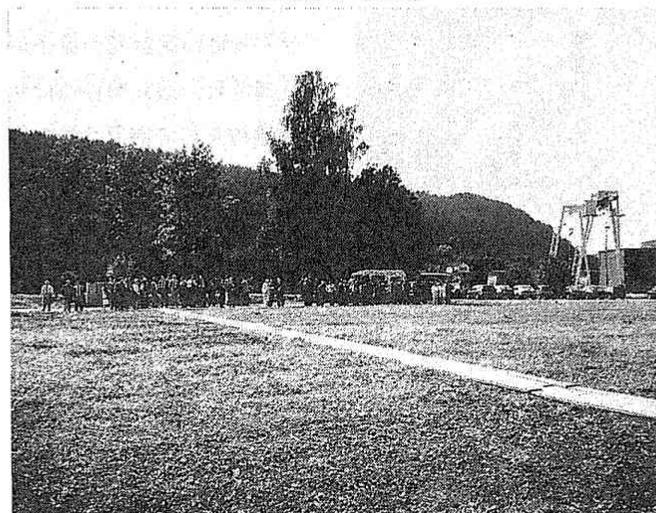
原子炉 K K Nの廃止措置は、欧州で最初に発電所跡地を解放した例であり、独国だけでなく世界的にも先駆した事例の一つと言える(図1参照)。K K Nは、出力100MWeの原子炉で、1972年から1974年の間運転されたが、全負荷運転は累計わずか18日分にしか相当し

ていない。この廃止措置は、1988年から1995年の間にすべての作業が終了した。

このプロジェクトで使用した解体工法・技術の一つは、線量率が最高の炉内構造物である圧力管の切断・撤去を、原子炉容器上に回転式マニピュレータを据え付け、その先端に取り付けたディスクカッタを遠隔操作により行ったものである。このような遠隔操作技術は、独国でも最初の実機適用とあって、実施にはフルモックアップシステムを採用し、事前検討を十分行っている(図2参照)。



廃止措置前 (1972)



廃止措置後 (1995)

図1 K K N (ニーダーライヒパッハ) 廃止措置の前後

原子炉のすぐ外側を取りまき、原子炉から出てくる中性子によって放射化されている生体遮蔽体の鉄筋コンクリート解体は、爆薬による制御爆破により行っている。厚さ約120cmの内側半分の約60cm分を解体していて、爆破以外にもケーブルソー、油圧掘削機、手動式空気ハンマーを使用している。制御爆破による同様な技術は、日本のJ P D R生体遮蔽体コンクリートの解体においても一部実施されている。

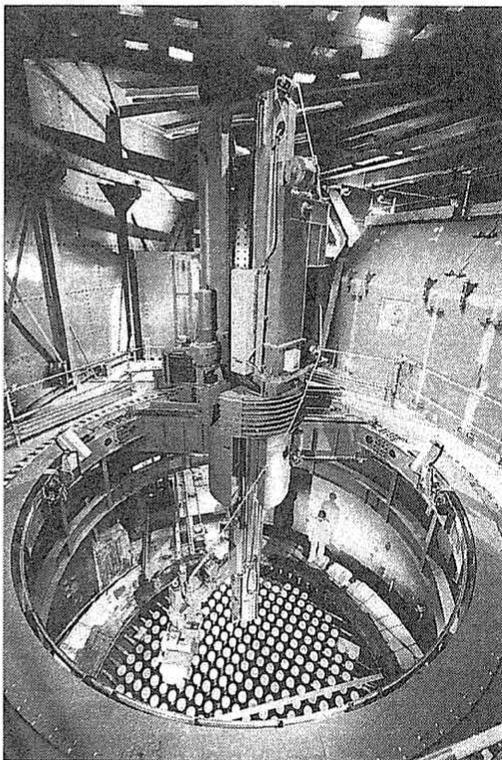


図2 KKNにおける炉内解体用
マニピュレーター

(3) 解放地の放射能調査と解体廃棄物の 再利用

施設の建物や敷地をバイエルン州当局から最終的に放射能の無い区域として認定を得るため、原子炉建屋のみで約12万点、全建屋で、

約25万点の放射能測定を実施している。その方法は、対象エリアを放射能評価や汚染履歴などをもとに5つのカテゴリーに分類し、それぞれのカテゴリーで測定区分や代表点を決めながら、一般的なハンドモニターや台車式のモニターを用いて測定している。

所要した測定期間は8カ月、測定点数の約10%を規制当局である州政府が技術検査協会(TÜV)に委託して実施し、約3%を州当局自ら、残りの87%は事業者が測定している。

このように建物を管理区域から解放するため、放射能の測定と確認に多大な労力と時間を費やしているのは、プラントの規模は多少異なっても、J P D R解体のケースにおいても同様であった。どちらも、その国での解体撤去の先駆的事例であって、規制側と事業者側の間で未だ合理的なルールが未確立だったことを物語っている。

KKNの解体から発生した全廃棄物量は約81,000トンに達したが、そのうち95%は非放射性のものであり、さらにその大半は約75,000トンのコンクリートである。このコンクリートは、約2/3が原子炉の跡地埋め戻しに使用され、残りの1/3はサイト外の一般道の路盤材として使用された。非汚染金属約400トンは、スクラップとして市場へ出され、低汚染金属並びに低放射化金属の約2,300トンについては溶融後、カールスルーエセンター内で再利用された。汚染または放射化しているコンクリート約900トンと放射化金属約500トンについては、現在運開しているモスレーベンか、近い将来運開が計画されているコンラッドの処分場に輸送して処分される。

3.3 ジンペルキャンプ社による放射性金属廃棄物の溶融再利用

(1) ジンペルキャンプ社の業態

デュッセルドルフから北西に車で約40分程度のところにクレフェルトという小さな町があり、その町のジンペルキャンプ通りに面して、放射性廃棄物再利用のための溶融・製品化の認可を、独国内で唯一受けているジンペルキャンプ社がある。同社は、従業員規模が約380名、1976年から原子力分野の鑄造製品をつくっている機械鑄造メーカーで、現在ではその技術を活かして原子力機器の製造も行っている。

同社の主要製品は、1978年から製造している“CASTOR”と呼ばれる使用済み原子燃料の輸送・貯蔵容器（重量50～150トン）と放射性廃棄物の処分容器である“MOSAIKコンテナ”，さらに遮蔽扉などの遮蔽材である。

独国内の原子力発電所から発生する放射性金属廃棄物（解体廃棄物を含む）は、90%以上が原子力サービス会社（GNS, Gesellschaft für Nuklear Service）を通じてジ社に持ち込まれる。そして、ジ社で溶融後に製品化された金属は、GNSを介して再び発電所等の顧客に帰っていく。このような放射性金属リサイクルの環が独国内ではすでにでき上がっており、商業ベースで運用されている。このような例は、先進国のなかでも米国と独国の2カ国のみである。

(2) 放射性金属廃棄物の溶融処理

ジ社による放射性金属廃棄物の溶融処理量は、これまでに累計約8,000トンあり、この溶融金属の再利用先は、需要が多い原子力分野へのものが主で、表2のとおりである。

表2 ジンペルキャンプ社による放射性金属溶融と再利用先（1995年9月現在）

再利用先	使用量(トン)
ニュートリノ測定用遮蔽材 (カールスルーエ研究所)	約 4,000
MOSAIKコンテナ	約 3,000
遮蔽扉	100～200
一般市場への解放	少量

ジ社は、放射性金属廃棄物の溶融・再利用を1981年に開始、1989年には放射性廃棄物溶融専用設備（CARLA:Centrale Anlage zum Recyclieren Leichtaktiver Abfalle）を導入している。CARLAシステムは、放射性金属廃棄物の受け入れから溶融処理により生じる二次廃棄物に至るまで、取り扱う放射線量や物量を一括管理するシステムである。持ち込まれた放射性金属廃棄物は、管理区域内のCARLAシステム内の一部である第一溶融炉（中周波誘導炉）で溶融・精製が行われ、一次製品としてのインゴットが生成される。溶融炉の処理能力は表3のとおり。

表3 溶融炉の処理能力（実態）

日産	3.2トン/バッチ×3バッチ/日
年産	2,000トン (1シフト運転×200日/年)

ただし、ライセンス上は4,000トン/年・2シフトが認められている。

(3) 放射性金属廃棄物の解放

CARLAへの放射性金属廃棄物の受け入れ基準は、放射線防護令に基づき、比放射能が

200Bq/g未満となっている。第一熔融炉で熔融・精製された金属インゴットは、放射線防護委員会（SSK）の勧告による次の3段階の放出基準に基づき処理される。（表4）

表4 放射性廃棄物の放出基準

比放射能 (Bq/g)	処 理 方 法
0.1以下	無制限解放
1以下	一般工業用途に解放
1以上200以下	第2熔融炉にて他のスクラップと熔融処理 その後、原子力分野で再利用

独国内での法的規制は、原子力法その他の法令に基づくが、極低レベル放射性物質については、SSKの勧告を含めて、いくつかの規則と指針が存在する。放射性廃棄物は、原子力産業で極力再利用するのが基本的な考え方であるが、SSKによる解放基準（clearance level）の勧告に基づき、一般市場への解放も行われている。国内の原子力施設の運転や廃止措置から発生する多量の解体物質を適切に処理するため、首尾一貫した解放基準が検討されてきており、コンクリートなどの非金属材料についても解放基準の検討が行われている。連邦放射線防護局（BFS）が設定のための科学的根拠確立の責任機関であり、実際の解放基準作成は連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMU）の責任となっている。

3.4 グンドレミンゲン発電所A号機

の廃止措置

(1) 廃止措置の経過

ミュンヘンの北西、車で約1時間半ぐらいのところ、ドナウ川の畔（バイエルン州内）にグンドレミンゲン発電所がある。同発電所

にはA、B、C3基の商業用発電炉があり、廃止措置中のA号機以外は現在も運転中である。A号機は、独国内で最初に運転（1966年～1977年）された商業用原子炉で、出力250MWeの3ループ、3つの熱交換器を有するGE社設計の二重サイクルBWRである。

廃止措置の決定が1980年、解体開始が1983年、2000年に完了の予定となっている。廃止措置の現状は、タービン建屋内の機器等の撤去（1983年～1989年）、原子炉建屋内の主要機器などの解体撤去がほぼ終了（1990年～）し、現在は原子炉内の構造物を解体撤去中である。ただし、同号機の建屋は解体せず、そのまま廃棄物貯蔵庫として活用する予定である。A号機は、独国内で解体が行われている唯一の商業炉である。独国内でも、廃止措置は計画どおりの実施は難しいらしく、ここはその中でも順調に進行している例である。

(2) 「アイスソー切断」の採用

グンドレミンゲン発電所A号機解体における特筆すべき工法に、熱交換器を原位置のまま注水、氷結させた状態（-15℃）で、特殊なバンドソーにより輪切り切断するという新技術の使用がある。「アイスソー切断」といわれ、同発電所の特許になっている。この新工法の採用により、構造が複雑でかつ放射能汚染度が高い熱交換器の解体切断時における従事者の放射線被ばく量を格段に低減できた。

「アイスソー切断」の技術は、3基の熱交換器のうち2基に適用されたが、問題点は、3台の冷却機により冷風をチューブバンドルと水表面に吹き付けるという氷結方法のため、水の氷結に数カ月を要している点である。

輪切り切断は、高さ0.8mのスライス状10片

に分断している。切断した熱交換器の細管は、タービン建屋内に設置した圧縮機（スーパーコンパクター）により減容し、2001ドラム缶に取納している。

(3) 除染による廃棄物処分量の減量

解体廃棄物の最終処分量を減らし再利用を進めるため、A号機の建屋内に電解除染槽を設置し、表面が汚染した金属廃棄物を磷酸溶液により電解除染している。除染した金属は、確認測定した後、当局の許可を得て一般市場に開放される。一次系再循環ポンプのケーシング等は、最終的に、無制限解放レベルまで除染された。一方、小口径配管や弁など除染が難しいものは、溶融に回している。

(4) 炉内構造物の解体技術

原子炉内構造物の切断では、小型の水中プラズマアーク・トーチを用いて、スチーム・ドライヤー、モイスター・セパレーター等の切断を行う。これまでの解体、切断に用いられてきた技術は、機械切断、水中プラズマアーク・トーチ等既存の技術を改良して適用したものであるが、放射能が比較的高い炉内構造物の解体には、今後、遠隔解体技術の開発が必要となる。

4. 独国の廃止措置法規制，法手続の概要

(1) 廃止措置に関する法規制

独国の原子力法は、原子力に関する最も基本的な法律であり、原子炉設置許可の必要性、許可要件等を定めている。1976年以前の原子力法には、施設の廃止措置を法的にいかんにか扱うべきか、何ら規定されていなかった。そのため、規制体系上廃止措置の位置づけを明確

にすべく、1976年、第4次法改正を行って、原子力法第7条の施設許可規定に、廃止措置についての事前許可の必要性を規定した第3項が追加された。第3項には、

- ① 原子炉施設の停廃止(Stillegung)
- ② 最終的に廃止された施設の安全密閉(Sicherer Einschluss)
- ③ 施設または施設の一部解体(Abbau)を許可事項と定めている。

さらにこの許可の取得には、同法第7条第2項による要件の適用が規定されている。この要件は、元来、原子炉の設置許可に際して適用されるものであるが、具体的には、

- ① 申請者が施設の設置・運転・監視責任等に十分な信頼性、専門知識を持っていること
- ② 従事者等の要員が、安全運転、防護措置に関して必要な知識を有していること
- ③ 現在の技術水準に基づく十分な災害防止措置がとられていること
- ④ 損害賠償義務の履行が可能であること
- ⑤ 第三者の妨害に対して十分な防護措置がとられていること

となっている。これらの要件の満足を証明するための申請書類は、原子力法手続令の第3条により、申請書とその添付書類の2つになる。添付書類には安全報告書、その補足説明書、第三者妨害に対する防護措置、責任者の能力証明等の記述が必要と定められている。

(2) 廃止措置の許認可手続き

独国では、日本、英国および仏国と同様、廃止措置の許認可手続きを明記した固有の法律、規則は存在せず、既存法令等に定める施設の設置・運転について規定した条項や、基

準が準用されているのが実態である。許可申請の範囲を具体的に定めた規定はなく、その範囲は申請者の判断にゆだねられている。

規制当局である州政府は、事業者が提出してきた申請書類を、原子力法の許可要件や関連法規類、技術基準に照らして審査し、これらを満足していれば、原子力法手続令に従い、必要な付帯条件を付けて許可書を発給する。

州政府は、技術面の審査を独国内で権威のある技術検査協会（TÜV）に委託する。TÜVは、その審査結果をコメント及び勧告を付して州政府に提出する。TÜVの勧告を許可書の付帯条件に含めるかどうかの判断は、州政府が行う。許可書は、あくまで廃止措置活動の大枠を決めるものである。守るべき作業条件、実施前にTÜVの承認取得を必要とする作業、規制当局への報告事項等が、あらかじめ付帯条件として指定される。許可発給後、許可書に従った廃止措置実行の確認は、TÜVが事業者と密接な連絡調整を行いつつ監督を行うことになっている。（図3参照）

(3) 連邦政府の役割

連邦政府は、州政府に許認可権限を下しているが、申請に際しては、主な書類は申請者から連邦政府にも提出することになっている。連邦政府は、連邦の検査機関である原子炉安全委員会（RSK）に審査をさせている。連邦政府の役割は、各州政府間の法解釈、運用の標準化を行うとともに、各州政府が法に基づき正しく活動するよう監督することである。

(4) 公衆の参加

廃止措置の許可発給に際しては、一般に公衆の参加が必要とされている。ただし、環境

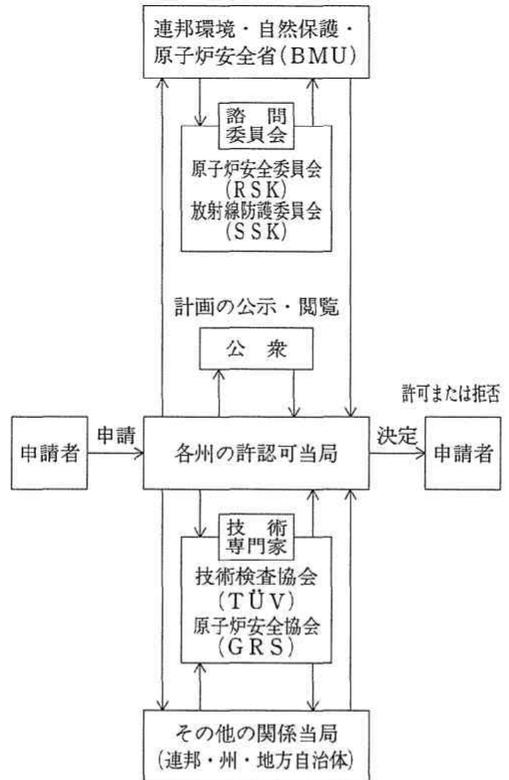


図3 ドイツ廃止措置許認可手続に関する諸機関

に悪影響を及ぼす恐れがないと州政府が判断した場合は、省略も認められている。バイエルン州のケースについては、最初のニーダーライヒバッハ発電所のときには、聴聞会を開催したが住民訴訟も起こり、廃止申請者側が勝訴するまで許可発給は留保になった。この一連の経緯の中で、廃止措置に関する安全問題については決着が付いたとして、次のグンドレミンゲン発電所A号機の廃止措置申請においては、公示もなされていない。

5. その他欧州主要国における廃止措置の状況

5.1 ベルギー

ベルギーは、7基の商用炉(PWR)と5基

の研究炉があり、商用炉の停止は2015年以後と考えられている。現在、ベルギー原子力センター(SCK/CEN)が所有する研究炉BR-3(PWR,容量11.7MWe,運転期間1962年~1987年)が、欧州連合(EU)が取り上げた4つの廃止措置プロジェクトの1つに指定され、1989年から解体が実施されている。

プロジェクトは、3つのフェーズで構成され、現在、フェーズ2の炉内構造物の解体撤去まで完了している。今後、フェーズ3の原子炉圧力容器/一次系配管の解体撤去に移行する計画である。BR-3廃止プロジェクトは、SCK/CEN,シーメンスKWU,フラマートム,ロールスロイス&アソシエイツ,ベルガトムの5社体制による実施になっているが、出資者側にEU(出資額は少ない)、ベルギー政府の他に電力会社も参画している。電力会社は、プロジェクトの企画、推進、作業の全分野に関与し、技術経験、知見等を直接入手できる。

ベルギーでは放射性廃棄物管理庁(ONDRAF/NIRAS)が、廃止措置からの廃棄物も含めて、国内で発生するすべての放射性廃棄物の収集、輸送、処理、貯蔵および処分までの管理責任を有している。将来、商用炉の廃止措置は、資金・技術とも電力会社の責任で実施されることになるが、必要な基金(Fund)は1985年から積み立てられている。基金の運用は電力会社であるが、ONDRAF/NIRASによる管理が行われている。

5.2 スウェーデン

スウェーデンにおける廃止措置および廃棄物処分に関する規制当局は、環境省になっている。具体的には、積立金制度(費用)、原子

力活動に関する許認可と規制はスウェーデン原子力発電検査局(SKI)が、放射線防護に関する規制と監視機能はスウェーデン放射線防護研究所(SSI)が持っている。

現在稼働中の商用原子炉は12基で、4つの電力会社により運転されている。商用炉の廃止措置は、目下スウェーデンの政治問題の一つになっている。電力会社の責任において実施されることになるが、すべての原子炉を2010年に停止することを想定した検討がなされている。

廃止措置の検討は、現段階では、廃止措置費用の評価を目標としたシナリオ評価が中心で、電力会社が設立したスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社(SKB)が実施している。廃止措置費用の積み立ては1982年から開始しており、評価に必要なデータは、解体技術等の開発を自国で実施していないため、他国(ベルギーBR-3等)との技術情報交換により入手している。

SKBによる廃止措置評価の範囲は、非放射性のものを含めた全施設の解体、グリーンフィールド化および廃棄物処分の全作業を対象としている。金属廃棄物の溶融、再利用、一般市場へのフリー・リリースも、独国と同様、自国の基準を設定し、すでに実施している。

5.3 英国

英国では、バークレイ発電所に代表される商用マグノックス炉の廃止措置が行われている。

ここで採用されている基本戦略は、原子炉から燃料を取り出して搬出し、次いでタービン建屋及び熱交換器建屋の解体撤去を含んだ

先行準備工事を実施する。その後、約35年間施設を維持管理（Care & Maintenance, フェーズ1）した後、安全貯蔵（Safestore）用の構造物で原子炉生体遮蔽体の外側を密閉する。さらにその後、約100年施設を維持管理（Care & Maintenance, フェーズ2）した後、はじめて全施設を解体撤去するという方針のようである。パークレイ発電所では、C&Mフェーズ1に移行するための準備工事がほとんど完了している。

英国の場合、他の国々と異なり、許認可が原子力施設に対してではなく、敷地（サイト）の利用に対してライセンス（原子力敷地ライセンス）発給の方式をとっている。原子力施設は、建設から廃止措置まで、一本の敷地ライセンスにより原子力施設検査局（NII）の規制を受ける。1990年、それまで発給済みの全ての敷地ライセンスの更新が行われ、敷地ライセンスの付帯条件として、保健安全執行部（HSE）発行の標準ライセンス条件が付加された。この結果、ライセンス取得者は、施設を廃止措置しようとする場合、「廃止措置に関する敷地ライセンス条件35」に基づきプラントごとに廃止措置プログラムを作成し、実施することが義務づけられた。

6. まとめ

独国では商用炉の廃止措置は、グンドレミンゲン発電所が最初であるが、現在、旧東独のロシア型原子炉（VVER）の廃止措置が喫緊の重要事となっている。研究用の原子炉とはいえ、ニーダーライヒバッハ（KKN）発電所の解体撤去を実施して、跡地の一般解放に漕ぎ着けたことは、世界的な観点からしても

注目すべき重要な先鞭をつけたと言えよう。

欧州各国の廃止措置の戦略には、大別して二つの流れがある。英国や仏国に見られるように、原子炉の停止後数十年もしくはそれ以上の安全維持期間を置いた後解体に移るやり方と、いま一つ別に、独国に見られるように、原子炉停止後の比較的短期間内に解体撤去に踏み切るやり方とがある。このような2つの基本路線のもとで、各国とも個別施設の廃止措置実施方法については、それぞれ相違する個有条件に従って、プロジェクト事業者が個々の責任で決定している。

原子炉の廃止措置をすでに着手し、多量の解体廃棄物が発生している国では、除染や溶融を行って、原子力分野における金属の再利用、さらに一般市場への解放を実施している。独国では、解体コンクリートについても同様に再利用に向けての道を拓き、放射性廃棄物としての処分量削減の検討が行われている。このような事例は、今後、わが国における廃止措置基本路線の検討に考慮すべき一つの重要な示唆を与えるものと考えられる。

欧州主要国における廃止措置実施のための法整備、規制措置は、既存の原子力施設について適用してきた関連法規・基準等を、各国の国情、経緯に応じて修正を行い、試行錯誤を重ねながら整備しつつあるというのが実状である。わが国の廃止措置の法手続検討においても、海外の事例から汲み取るべきものは吸収し、今後の商用炉の廃止措置に向け、これまで蓄積されてきた法規制の実績と経験を踏まえ、合理的かつ実用的な検討がなされることが望まれる。

重質油の処理技術

片山 優久雄 (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



1. はじめに

一般に重質油とは、石油精製工程で併産される常圧残油、減圧残油(別名アスファルト)、接触分解(FCC)残渣油や、石油化学プラントからのナフサ分解重油(別名エチレンボトム油)、タールサンドやオリノコタール等の天然アスファルト類、頁岩の乾留で得られるシェールオイル、石炭の熱分解タール(コールタール)や水素化分解生成油等の高沸点の油状溜分を指す。

これらの重質油の内、石油精製過程で副生される減圧残油は、灯軽油溜分で稀釈され、C重油として販売されてきた。しかし、環境規制の強化に伴う石油需要の白油化や石油火力のLNGへの燃料転換等によって、減圧残油が余剰し始めた。そこで、減圧残油を処理し不足がちなガソリン、灯油、軽油(含ジェット燃料)の中間3品の増産を図るための技術や、常温で固体状の減圧残油に安価に常温流動性を付与する技術等が求められている。

重質油の処理技術開発は、昭和40年代後半、重質原油である中国の大慶原油やメキシコのマヤ原油の導入のため、国家事業として行われた。

当時の技術を含め世界で用いられている主な重質油処理技術について、重質油の種類・

性状も含めて以下に概説する。

2. 重質油とは

重質油とは、通常、次の範囲のものの総称である。

- ① 原油の蒸留もしくは抽出分離で得られる残渣油
 - ・常圧蒸留で軽質溜分を除いた残渣油(常圧残油)
 - ・常圧残油を更に減圧蒸留にかけて得られた残渣油(減圧残油またはアスファルトと呼ばれる)
 - ・減圧残油をプロパン等の溶剤を用いて軽質溜分を抽出した残渣油(溶剤脱瀝残渣)
- ② 石油のある溜分の熱分解、接触分解、改質等の処理工程で副生する高沸点溜分
 - ・減圧残油の流動性を増すために行われる熱分解生成油(ビスプレーカー残油)
 - ・減圧残油の熱分解残渣(ユリカピッチ)
 - ・FCCデカントオイル
 - ・ナフサ分解重油(エチレンボトム油)等
- ③ 天然の瀝青物質(天然アスファルト)
 - ・タールサンド
 - ・オリノコタール等
- ④ 頁岩の乾留によって得られるシェールオイル
- ⑤ 石炭系重質油

- ・ コールタール及びコールタールピッチ
- ・ 石炭水素化分解生成油

2.1 重質油の性状

重質油は、炭素と水素を主要構成元素とした複雑な化学構造を有する高分子量の化合物の集合体で、黒色を呈している。重質油の性状を表す指標として、比重、残留炭素（コンラドソン炭素）、粘度、軟化点（ピッチ類）、針入度、発熱量、組成分析等が用いられる。

表1に代表的な重質油の性状を示した。表2には、一部の重質油の元素分析値、水素核磁気共鳴(H^1 -NMR)測定値、分子量測定値を示した。

15種類の重質油資料の内、 $20^{\circ}C$ で液状を保っているものはFCCデカントオイル（接触分解生成残油）のみで、タールサンドは水飴状、他は固体状態であるが、加熱すれば液状を呈し液体としてのハンドリングが可能となる。しかし、加熱・保温がコストアップの要因となり、かつ冷えると粘度が急激に増大し配管の閉塞等のトラブルを引き起こすことから、軽油溜分の割り戻し（カットバック）や熱分解、水素化分解または水を用いたエマルジョン化等によって、常温流動性の向上が図られているのが現状である。

熱分解系のピッチ・コークス類は、更なる熱分解や水素化分解等の処理よりは、コストアップ率の低い水エマルジョン化や水スラリー化による流体化方法等が用いられている。

2.2 重質油の性状因子の相関関係¹⁾

重質油の性状因子の内、比重、残留炭素、発熱量とC/H（原子数比）の関係、およびアスファルテン含有量、飽和分含有量、軟化点と

C/H の関係を図1¹⁾に示した。

直留系重質油（減圧残油、溶剤脱瀝残渣油類）は1本の線上にプロットされ、一方、分解系重質油は、これらと異なる線上にプロットされる。このことは、直留系重質油と分解系重質油とは構成成分の化学構造が大きく相異していると推定される。

次に、これらの重質油の化学構造の違いについて見てみよう。

2.3 重質油の化学構造

表1の比重、表2の元素分析値、 H^1 -NMRデータ、平均分子量データを電子計算機法化学構造解析ソフトSAAHシステム（MSDOS版²⁾）に入力し、得られた構造パラメーターを表3に示した。また、これに基づいて組み立てた各種重質油の化学構造モデルを図2に示した。

図2の化学構造モデルおよび表3の化学構造パラメーターから、

- ① 減圧残油は芳香族環に何本かの長いパラフィン側鎖が配位した構造を取っている。
- ② 溶剤脱瀝残渣油は減圧残油がより高分子化した構造となっている。
- ③ 分解系重質油は、芳香族性に富み構造単位ユニット数が小さく、パラフィン側鎖は短くかつ本数が少ない。

等の特徴がある。特にユリカピッチの構造モデルは、減圧残油が熱分解を受け、長いパラフィン側鎖が開裂分離したことを良く表している。

3. 重質油の利用技術

ここでは、重質油を利用し易くするために、常温流動性を向上させる代表的な技術（熱分

表 1 重質油の性状 (1)

性状データ	大慶 VR	スマトラライト VR	クウェート VR	ワフラ VR	タールサンド
比重 (15℃)	0.9268	0.9562	1.0148	1.0381	1.0221
残留炭素 (wt.%)	7.43	11.5	20.3	21.6	15.0
粘度 (cSt) at 140℃	27.5	40.1	134	367	28.1
at 160℃	18.1	25.2	66.3	160	16.8
軟化点 (℃)	31.0	53.0	36.4	52.2	—
針入度 at 25℃, 100g, 5 sec	1428	71	310	62	3400
発熱量 (cal/g)	10751	10580	10050	9920	10000
重金属 バナジウム (ppm)	1.7	1>	130	120	270
ニッケル	6.6	31	29	43	65
組成分析 (wt.%)					
飽和分	52.1	47.1	25.1	18.1	43.8
芳香族分	28.6	27.4	48.1	46.3	30.0
レジン分	19.3	23.3	19.3	16.8	16.3
アスファルテン分	0.0	2.2	7.5	13.8	9.3
ベンゼン不溶分	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6

性状データ	オリノコ タール	ギルソナイト	アガジャリ VR	バスラライト VR	バスラライト PDA
比重 (15℃)	1.0127	1.0508	1.011	1.020	1.065
残留炭素 (wt.%)	16.8	28.4	18.6	20.9	26.0
粘度 (cSt) at 140℃	719	—	96	131	1045
at 160℃	—	—	50	66	385
軟化点 (℃)	22.3	159.0	34.8	36.0	63.0
針入度 at 25℃, 100g, 5 sec	767	0.0	360	290	10
発熱量 (cal/g)	9900	9870	10160	10120	9820
重金属 バナジウム (ppm)	474	5.4	159	81	141
ニッケル	80	180	44	20	33
組成分析 (wt.%)					
飽和分	32.2	5.8	30.6	22.9	3.9
芳香族分	34.5	6.0	42.5	51.2	60.7
レジン分	21.0	25.8	21.7	19.3	25.9
アスファルテン分	12.2	61.9	5.2	6.5	9.4
ベンゼン不溶分	0.1	0.5	0.0	0.1	0.1

性状データ	クウェート SDA	FCC	FCC	エチレンタール ピッチ	ユリカピッチ
		デカントオイル	デカントオイルピッチ		
比重 (15℃)	1.108	1.014	1.229	1.111	1.228
残留炭素 (wt.%)	26.5	—	42.6	21.4	—
粘度 (cSt) at 140℃	5910	—	250	—	—
at 160℃	2240	—	9	—	—
軟化点 (℃)	—	—	—	—	120
針入度 at 25℃, 100g, 5 sec	—	—	—	—	—
発熱量 (cal/g)	9440	9810	9200	9780	9240
重金属 バナジウム (ppm)	318	0.37	0.27	0.03	0.59
ニッケル	79	0.48	0.82	0.06	0.32
組成分析 (wt.%)					
飽和分	2.4	60.6	0.2	14.3	5.8
芳香族分	20.3	37.6	40.3	31.8	6.0
レジン分	24.5	2.2	5.4	5.0	25.8
アスファルテン分	52.7	0.2	53.7	48.8	61.9
ベンゼン不溶分	0.1	0.0	0.4	0.1	0.5

注) VR：減圧残油，PDA：プロパン脱瀝残渣油，SDA：溶剤脱瀝残渣油，FCC：接触分解

表 2 重質油の性状 (2)

性状データ	アガジャリ VR	バスラライト VR	バスラライト PDA	クウェート SDA
元素分析値* (wt.%)				
C	85.1	84.2	83.7	82.8
H	10.6	10.2	9.3	8.4
N	0.5	0.7	0.5	0.7
S	4.6	4.6	5.8	6.7
H ¹ -NMR** (%)				
H _a	5.81	6.16	8.21	9.25
H _α	16.84	16.27	21.58	24.02
H _β	59.80	60.53	56.32	52.72
H _γ	17.55	17.04	13.89	14.01
平均分子量***	830	950	1130	1900

性状データ	FCC デカントオイル	FCC デカントオイルピッチ	エチレンタール ピッチ	ユリカピッチ
元素分析値* (wt.%)				
C	86.9	90.6	92.8	91.1
H	8.6	5.8	7.2	5.5
N	0.1	0.1	0.1	0.2
S	4.0	3.1	0.1	3.1
H ¹ -NMR** (%)				
H _a	23.69	43.05	44.13	51.73
H _α	30.73	49.75	38.35	39.37
H _β	36.51	6.66	15.34	7.85
H _γ	9.07	0.54	2.18	1.05
平均分子量***	240	380	360	490

* : JIS M 8813

** : H_a = 芳香族水素, H_α = α位の脂肪族水素, H_β = β位または β位以上のメチン・メチレン基の水素, H_γ = γ位または γ位以上のメチル基の水素

*** : 蒸気圧平衡法 (V.P.O)

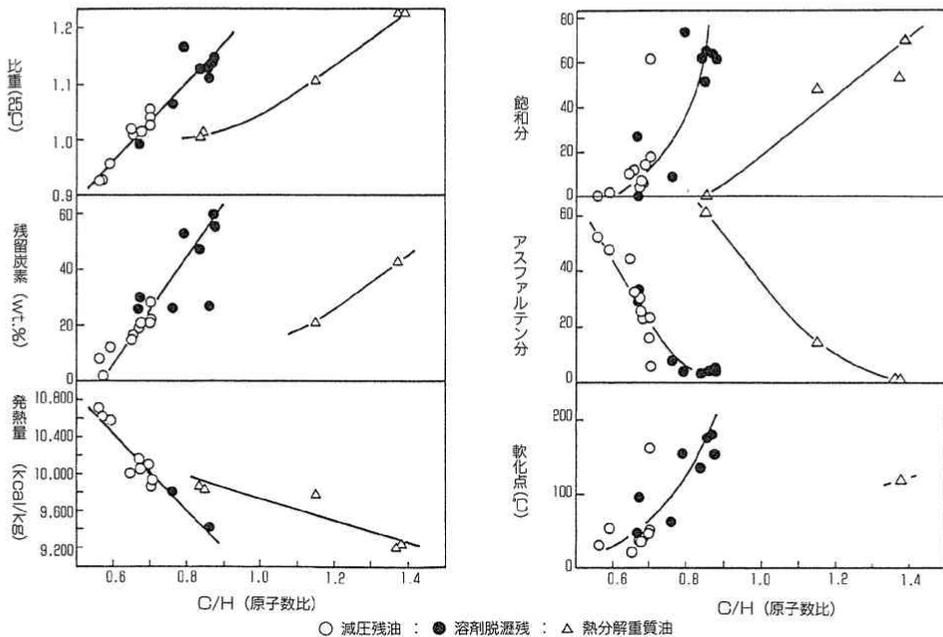


図 1 重質油の各種性状因子と C/H との関係¹⁾

表 3 電子計算機法 (SAAH システム)²⁾ で求めた重質油類の構造パラメーター

	平均 重合度 M	芳香族性 指 数 fa	芳香族 環 数 Ra	ナフテン 環 数 Rn	芳香族 炭素数 Ca	ナフテン 炭素数 Cn	パラフィン 炭素数 Cp	パラフィン 鎖 の 数 N
アガジャリ VR	1.0	0.367	5.0	0.0	22.0	0.0	38.0	7.0
バスラライト VR	1.0	0.348	6.0	1.0	24.0	2.0	43.0	7.0
バスラライト PDA	2.0	0.395	8.0	0.0	32.0	0.0	49.0	10.0
クウェート SDA	2.0	0.478	17.0	2.0	65.0	6.0	65.0	18.0
FCC デカントオイル	1.0	0.581	2.0	1.0	10.0	4.0	4.0	2.0
FCC デカントオイル ピッチ	1.0	0.814	6.0	1.0	24.0	3.0	3.0	3.0
エチレンタールピッチ	2.0	0.793	5.0	0.0	23.0	0.0	6.0	3.0
ユリカピッチ	1.0	0.842	8.0	1.0	32.0	3.0	3.0	3.0

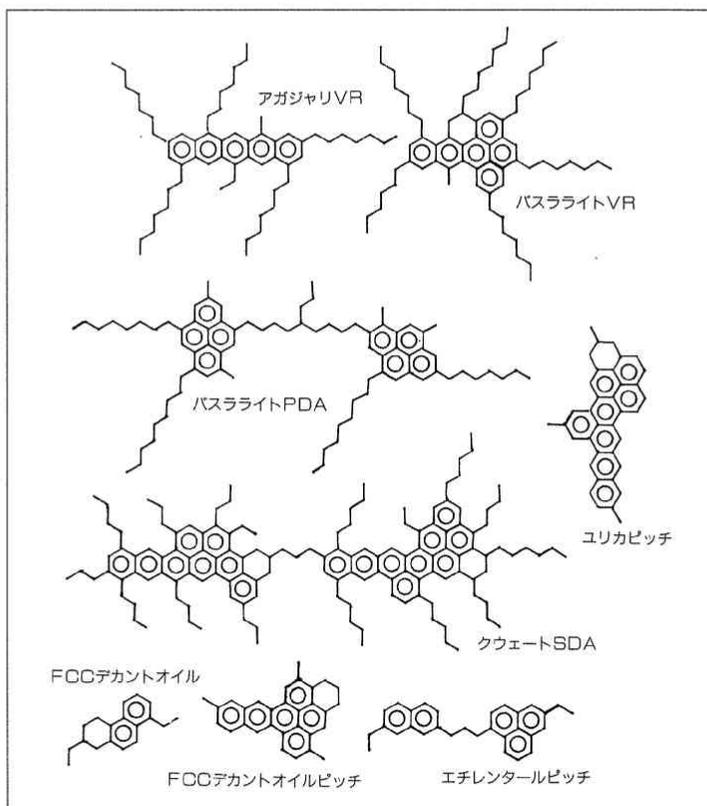


図 2 各種重質油の平均的な化学構造モデル

解技術、水素化分解技術、エマルジョン化技術)や接触分解等の軽質化技術、ガス化技術について概説する。

半固体状減圧残油を利用し易い重油並みの流動性を確保する簡単な方法は、直溜の軽油溜分や熱分解軽油をカットバックする方法で、高価な設備を必要としないため一般的に用いられている。

しかし、原油の3割強を占める減圧残油を有効利用するために開発された技術として、熱分解、接触分解、水素化分解等の分解技術やガス化技術、エマルジョン化技術等がある。

3.1 常温流動性向上化技術

3.1.1 熱分解技術

減圧残油を熱分解処理し燃料油を得るプロ

セスについて、以下に紹介する。

重質油の熱分解プロセスには、

- ① 流動性の確保を主目的としたビスブレーキング
- ② 軽質燃料油の取得を目的とした
 - ・ディレドコーキング、フルイドコーキング
 - ・フレキシコーキング (フルイドコーキングの改良型)
 - ・ユリカ

等のプロセスがある。

各種熱分解プロセスの反応条件を表4に、製品バランスを表5に示した。反応条件としては、ビスブレーキングが一番マイルドで、ついで、ユリカ、ディレドコーキング、フルイドコーキング (フレキシコーキングも同

表 4 熱分解プロセスの反応条件

プロセス名	反 応 条 件		
	分解温度 (°C)	圧 力 (kg/cm ²)	熱処理時間
ビスブレーキング	450 ~ 480	10 ~ 25	1 ~ 20 分
ユリカ	350 ~ 430	常 圧	約 1 時間
ディレドコーキング	450 ~ 510	0.4 ~ 1.7	5 ~ 20 時間
フルイドコーキング	510 ~ 540	常 圧	数 秒
フレキシコーキング	510 ~ 540	常 圧	数 秒

表 5 熱分解プロセスの製品バランス (クウェート VR ベース: 推定)
(wt, %)

プロセス名	製 品 収 率			
	ガ ス	軽 質 油	軽 油	残 渣
ビスブレーキング	2 ~ 3	~ 5	15 ~ 20	~ 80
ユリカ	5	15	50	30
ディレドコーキング	5	~ 15	~ 60	~ 20*
フルイドコーキング	15	~ 10	~ 45	~ 25*
フレキシコーキング	15	~ 10	~ 45	~ 10*

*: コークス

じ)の順に厳しくなっている。

(1) ビスブレイキング

ビスブレイキングは、Viscosity Breakingの略称で、重質油の低粘度化、低流動点化と若干の軽質油の製造を目的とする温和な熱分解プロセスである。

高粘度、高流動点の減圧残油は、コークを生成しない条件下で液相熱分解され、適度な粘度、流動点を持つ分解残油と少量の分解軽質油になる。分解残油は、流動点が低下しているため、重油にする場合の稀釈用軽油の使用量が軽減される。図3³⁾にコイル型の系統図を示す。

(2) ユリカ

ユリカは、呉羽化学工業(株)が開発した中東系減圧残油を原料とする熱分解プロセスで、約6.5割の分解油とコークス製造用粘結材としての約3割のピッチを生成する。分解

反応缶は、3系列(運開当初は2系列)あり半連続式のプロセスで、現在も稼働中である。初期のプロセス系統を、図4⁴⁾に示す。

(3) コーキング法

コーキング法には、半連続式のディレードコーカーと連続式のフルイドコーカーおよびフレキシコーカーがある。

① ディレードコーカー

減圧残油を加熱炉で短時間に450~510℃に昇温し、分解反応が進行するコークドラムに張り込み、コークドラム内で熱分解を進行させ、ガス、分解軽油、コークスを生成する。コークドラムは2系列あり、交互に切り替えコークスを取り出す半連続式プロセスである。プロセス系統は、図5⁵⁾に示す。

② フルイドコーカー

フルイドコーカーは、加熱コーク粒子が流動している流動床式反応塔に、減圧残油を

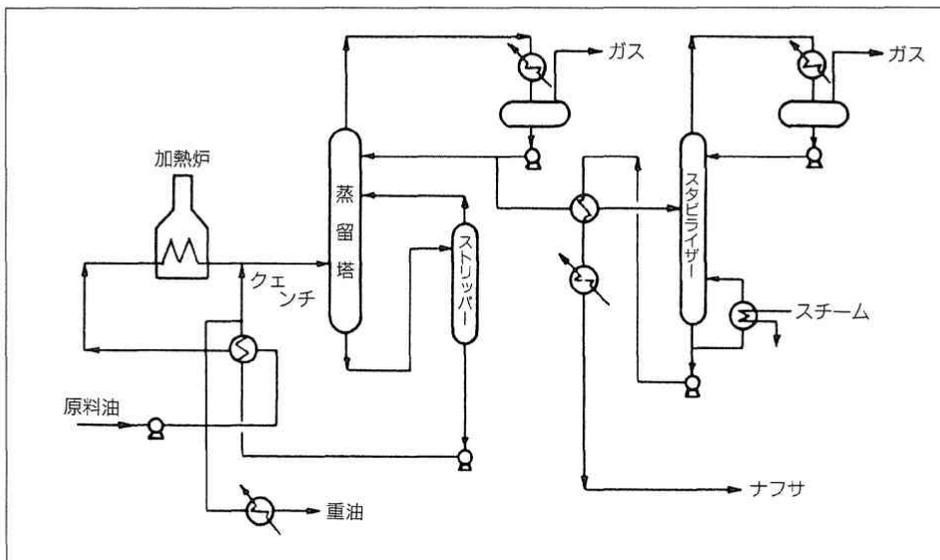


図3 ビスブレイキング装置系統図³⁾

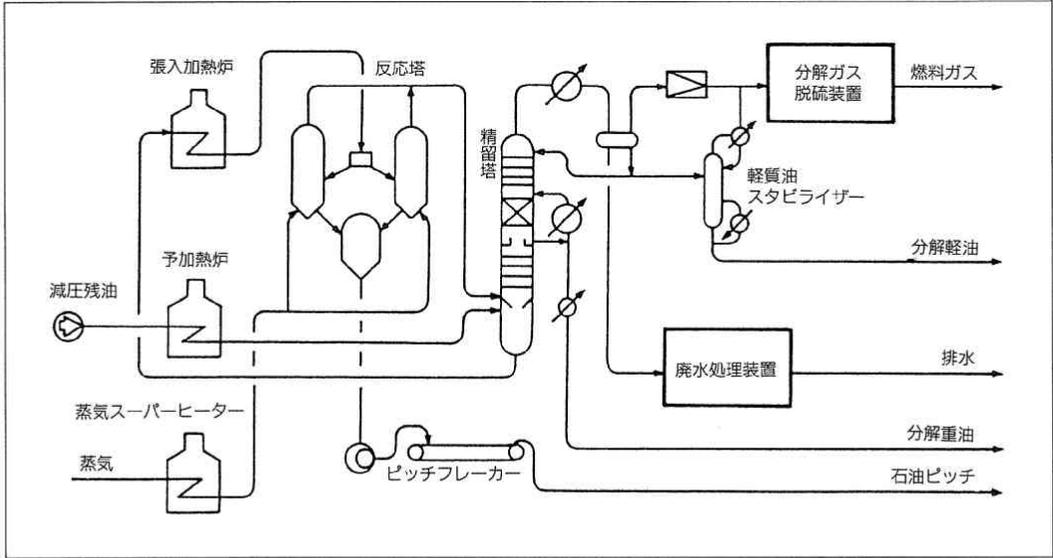


図 4 ユリカプロセス系統図⁴⁾

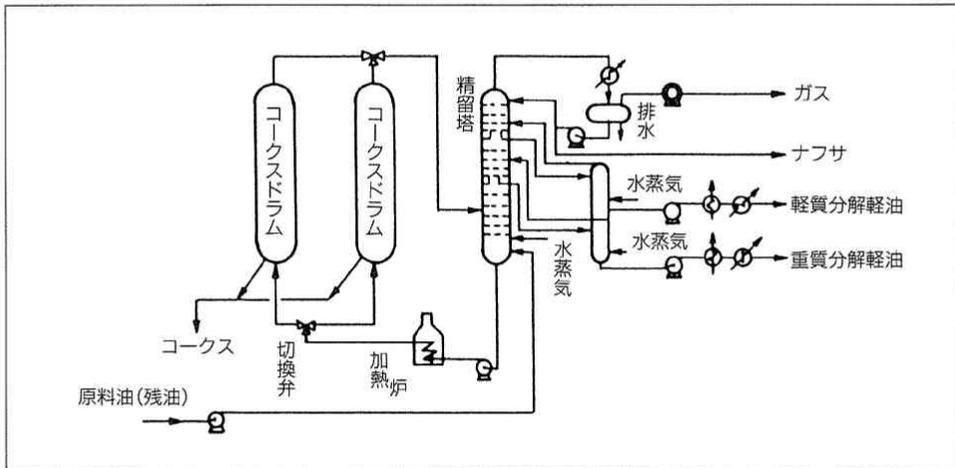


図 5 デイレードコーカー系統図³⁾

張り込み熱分解を進行させ、コークスとガス、分解ナフサ、分解軽油を生成するプロセスである。熱分解過程で生成するコークスは、コークス粒子上に沈積する。反応塔上部のスクラバーで、生成物と同伴コークス粒子と重質溜分が分離され、リサイクルスラリーとして反応塔に返される。コーク

スが付着して重量が増しかつ温度が低下したコークス粒子は、反応塔底部のスチームストリッパーで油分を除去された後、バーナーに送られ表面のコークスを空気で流動燃焼させ、高温となったコークス粒子は、再び反応塔に戻される(図6³⁾参照)。バーナーで燃焼されるコークス量は、生成コー

クスの2～3割で、余剰の кокス はバーナーから抜き出される。

③ フレキシコカー

フルイドコカーに余剰 кокスの連続ガス化装置と生成ガスの脱硫装置を加えたものが、フレキシコカーである(図7³⁾参照)。ココスのガス化温度は、925～975℃

である。1977年に世界最初の実装置が我が国で稼働した。

3.1.2 水素化分解技術

減圧残油の水素化分解は、原料油中にアスファルテン、重金属等の不純物を多量に含むために長期に渡る安定運転が非常に困難であ

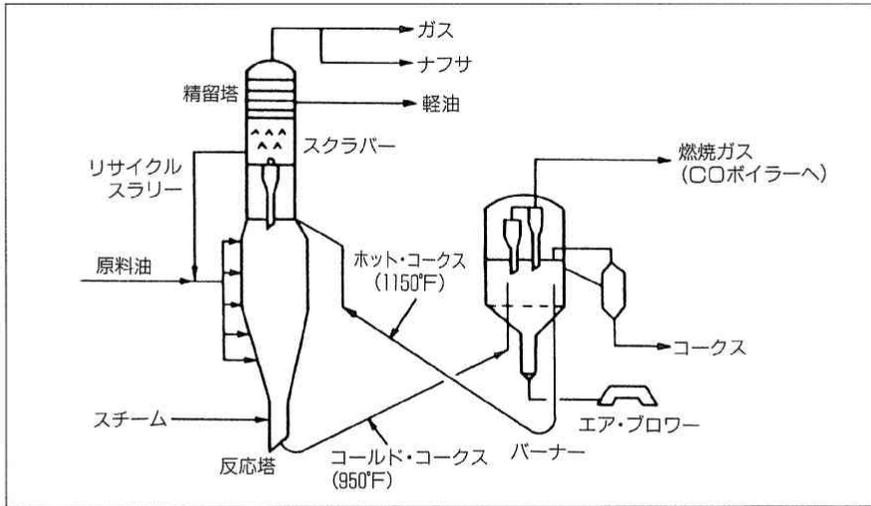


図6 フルイドコカー系統図³⁾

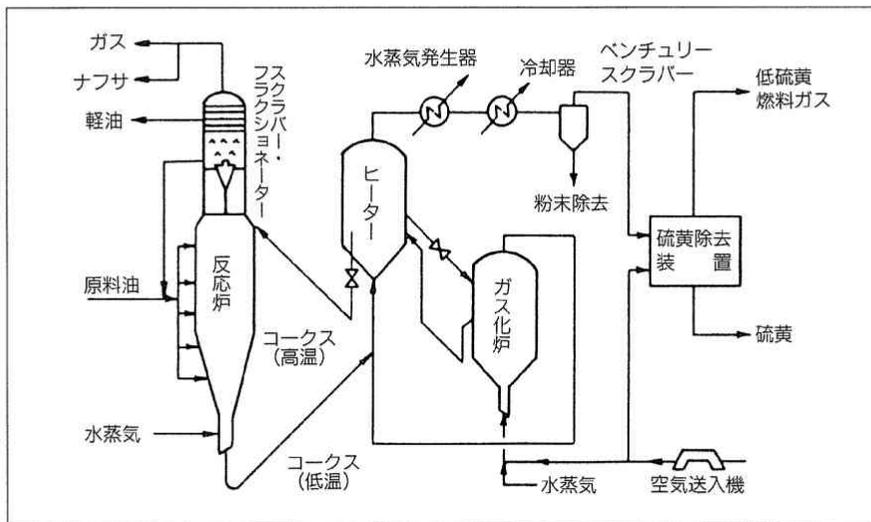


図7 フレキシコカー系統図³⁾

る。このため水素化分解反応塔の前に、重金属とコーキングし易い不安定なアスファルテンを除去する目的で、ガードリアクターを設置したり、コーキングや重金属の沈積で分解活性の低下した触媒を抜き出し、新しい触媒の補給が可能な沸騰床式反応塔を利用するなどしている。触媒床の形態によって沸騰床式と固定床式とに分類される。表6に代表的な水素化分解プロセスの製品バランスと反応条件を示す。

(1) 沸騰床式水素化分解プロセス

沸騰床は、気体(水素ガス)、液体(原料油)、固体(触媒)が3相流動状態にあり、触媒粒子は常に気液混合流体中に浮遊した状態となっているのが特徴である。また、触媒の抜き出し、補給が可能のためにガードリアクターが不要である。代表的なプロセスとしては、H-OIL プロセスと LC-Fining プロセスがある。

図8⁴⁾に H-OIL プロセス系統図を示す。

(2) 固定床式水素化分解プロセス

固定床式で現在稼働中のプロセスは、UOP 社の BOC (Black Oil Conversion) Process のみである。基本的なプロセスフローは、直接脱硫プロセスと殆ど同じであり、

分解率を上げるために使用される触媒が違っていただけであるといえる。コークスや重金属類の沈積による触媒の劣化のため、長期連続運転には限度があると言われている。

図9⁴⁾に BOC プロセス系統図を示す。

3.1.3 エマルジョン化技術

高粘度、高流動点で、常温では固体状態にある減圧残油やオリノコタールの様な天然アスファルト類を、分解を伴わずに流動性を持たせ重油と同等の取り扱いを可能とする技術がエマルジョン化技術である。原料油2に対し、少量の界面活性剤を加えた水1を加え、80℃前後の温度下で高速攪拌し水エマルジョンを作る。得られた水エマルジョンは、C重油と同等の流動性を持つ。この水エマルジョン燃料は、既に天然アスファルトのオリノコタールで実用化されており、オリマルジョンの商品名で販売され、我が国においてもボイラ燃料として用いられている。

図10⁵⁾に水エマルジョンの構造イメージを、図11⁵⁾にはオリマルジョンの製造工程を示す。また、オリマルジョンの標準的な性状値を表7⁵⁾に示した。

(財)石油産業活性化センターにおいても、アスファルトのエマルジョン化技術の開発が進められている。

表6 水素化分解プロセスの製品バランスと反応条件 (クウェート VR ベース: 推定)

プロセス名	製品収率				反応温度 (°C)	水素消費量 (m ³ /Bbl)
	ガス (wt.%)	軽質油 (wt.%)	軽油 (wt.%)	残渣 (wt.%)		
H-OIL	~ 10	~ 40	~ 40	~ 10	400~450	40 ~ 55
LC-Fining	~ 10	~ 40	~ 40	~ 10		40 ~ 55
BOC Unibon	~ 10	~ 10	~ 40	~ 40		30 ~ 40

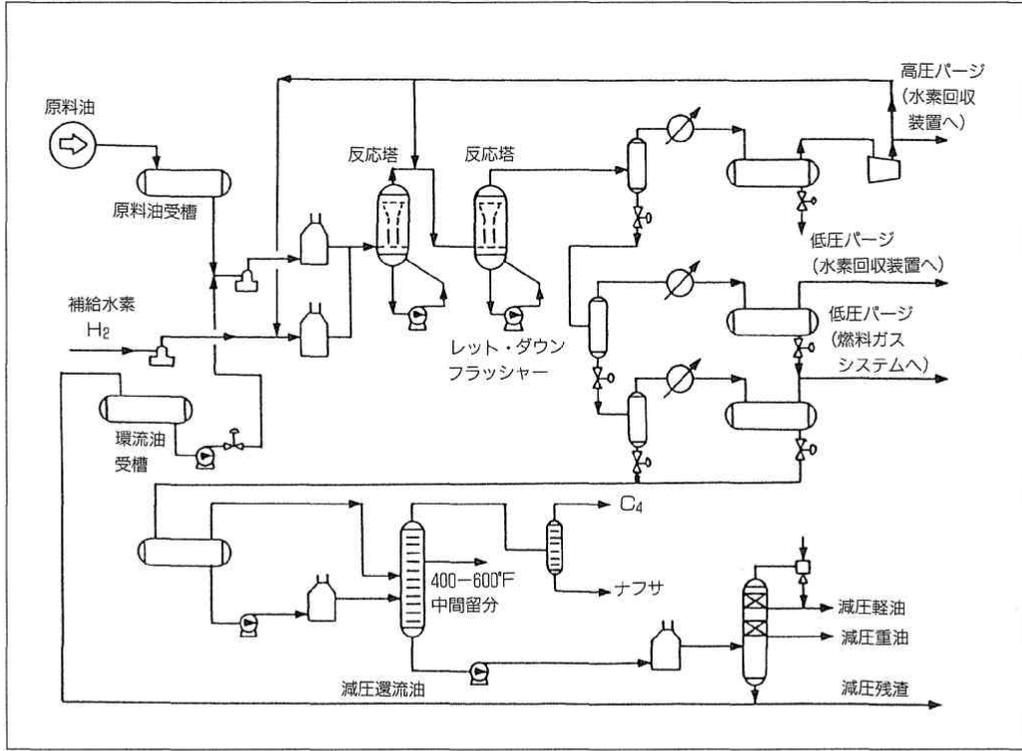


図 8 H-OIL プロセス系統図⁴⁾

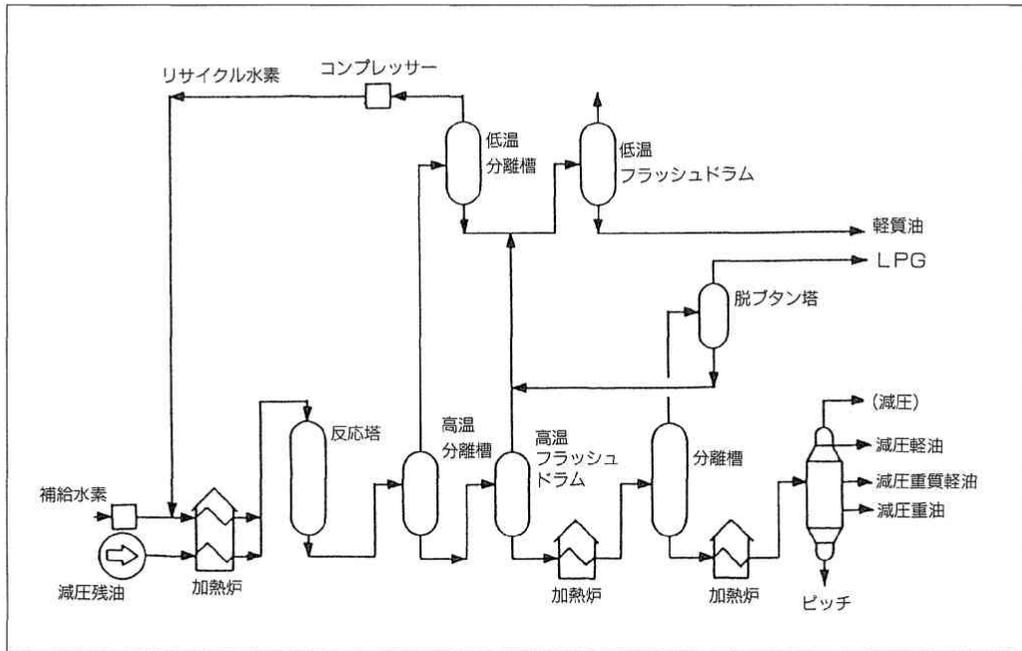


図 9 BOC Unibon プロセス系統図⁴⁾

これまで、紹介した重質油の常温流動性向上技術の他に、石油コークス、ユリカピッチに代表される石油ピッチ・コークス等の固体物質を、重油同様のハンドリングを行うために、水でスラリー化させる技術についても一部で実用化されている。

水スラリー化も水エマルジョン同様、微粉砕した原料2に対し界面活性剤を含む水1と混練してスラリーを製造する。この水スラリーは、オリマルジョン同様ボイラ燃料とし

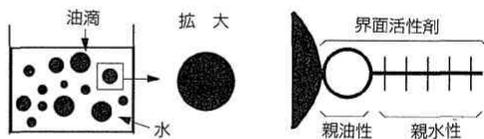


図 10 アスファルトエマルジョンの構造イメージ⁵⁾

て用いられる。

また、最近の電気事業の規制緩和を受けて、石油精製会社の卸売り電気事業への参入に向け、減圧残油や石油コークスをボイラ用燃料とする発電設備が計画されている。

3.2 ガス化・軽質化技術

重質油を酸素を用いて部分燃焼させ一酸化炭素 (CO)、水素 (H₂) を生成するガス化技術、重質油を触媒存在下で選択的に分解反応を行わせ、ガソリンを製造する接触分解技術について、以下に概説する。

3.2.1 ガス化技術

重質油を酸素で下記に示す部分酸化反応によって H₂ と CO を主成分とするガスを生成

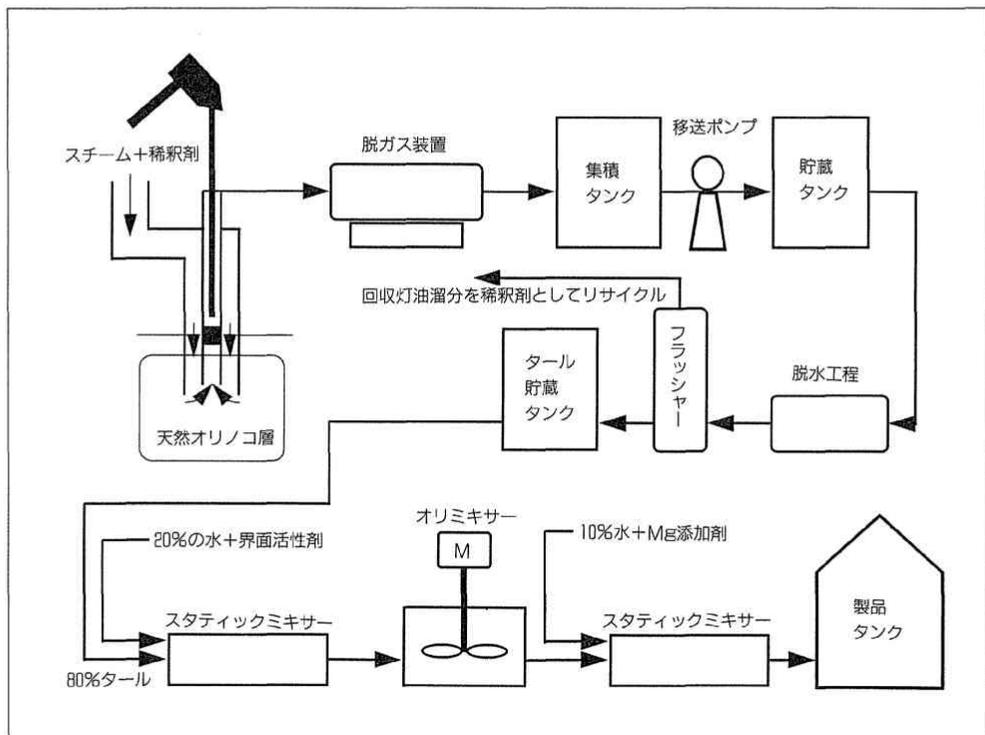
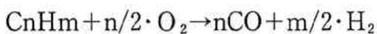


図 11 オリマルジョンの製造工程⁵⁾

表 7 オリマルジョン/オリノコタールの性状⁵⁾

項目	単位	オリノコタール	オリマルジョン
比重	API 比重	7.5~9.5	10未満
油分 (%)	wt. %	—	71±1
平均粒径	μm	—	30以下
粘度	Cp	25℃ : 100,000~800,000	30℃ : 900以下
引火点	℃	120以上	122以上
流動点	℃	21以上	2 以上
発熱量	HHV kcal/kg	9,500~9,900	7,000~7,500
水分	wt. %	1.0%以下	29±1
灰分	wt. %	0.10~0.13	0.2以下
残留炭素	wt. %	15~17	10~12
元素分析 炭素	wt. %	84.0~86.0	59.~60.5
水素	wt. %	10.0~10.8	7.2~7.8
窒素	wt. %	0.6~0.8	0.43~0.58
硫黄	wt. %	3.0~3.8	2.1~2.9
金属分 バナジウム	ppm	400~500	320~340
ニッケル	ppm	80~110	68~80
鉄分	ppm	10~15	12~17
ナトリウム	ppm	40~70	80以下

する方法である。



代表的な部分酸化プロセスとしては、シェル法 (Shell 社)、テキサコ法 (Texaco 社) がある。部分酸化法の概略についてテキサコ法をベースとして概説する。

重質油は、先ず水蒸気と混合後予熱され、バーナーで酸素と共に炉内に噴射され、部分酸化反応によって H_2 と CO を主成分とする発生ガスを生成する。ガス化温度は $1,100\sim 1,500^\circ\text{C}$ 、反応圧は $20\sim 85\text{kg}/\text{cm}^2$ である。

ガス化炉 (Gasifier) からの生成ガスは、シンガスクーラー (Syngas Cooler) を通り冷却

され、スクラバー (Scrubber) を通り未燃カーボンが水洗除去される。洗浄水は、炭素回収装置 (Carbon Recovery) でナフサによって炭素分が分離回収される。回収された炭素分は、原料の重質油と混合してガス化原料として再使用される。

未燃カーボンが除去された生成ガスは、酸性ガス除去装置を通り、硫化水素 (H_2S) と炭酸ガス (CO_2) が除去される。代表的な酸性ガス除去法として、冷メタノールを吸収剤とするレクチゾール法が用いられている。

テキサコ法ガス化プロセスの製品バランスと反応条件を表 8 に、図 12²⁾ にプロセス系統図を示す。

表 8 テキサコ法のごガス化反応条件
及び製品バランス

ガス化反応条件		
圧力	(kg/cm ² G)	20 ~ 85
温度	(°C)	1100 ~ 1500
原料性状		
比重 (15/4°C)		1.03 ~ 1.04
粘度 (160°C)	(cSt)	120 ~ 300
残留炭素	(wt.%)	22 ~ 30
灰分	(wt.%)	0.05
元素分析値		
C	(wt.%)	83.5
H	(wt.%)	10.0
S	(wt.%)	6.0
Ni	(ppm)	40
V	(ppm)	100
生成ガス組成 (乾ガスベース)		
H ₂	(vol.%)	43.7
CO	(vol.%)	47.5
CO ₂	(vol.%)	6.0
CH ₄	(vol.%)	0.6
H ₂ S+CO _S	(vol.%)	1.5
N ₂ +Ar	(vol.%)	0.7

3.2.2 接触分解技術

接触分解法は、FCC (Fluid Catalytic Cracking) と呼ばれており、一般には減圧軽油を触媒を用いて選択的に分解反応を行わせる方法で、現在ガソリン製造法の主流となっている。

FCC法は、その名の示すように流動性に優れ、分解反応活性が高く、かつガソリン得率の高いゼオライト系触媒を反応塔内で流動化させ、分解の際に副生するコークスの付着によって活性の低下した触媒を焼成賦活する再生塔を有している。また、省エネルギー化のために再生塔塔頂にガスタービンを設置し、圧力を持った高温排ガスからのエネルギー一回収を行っている。

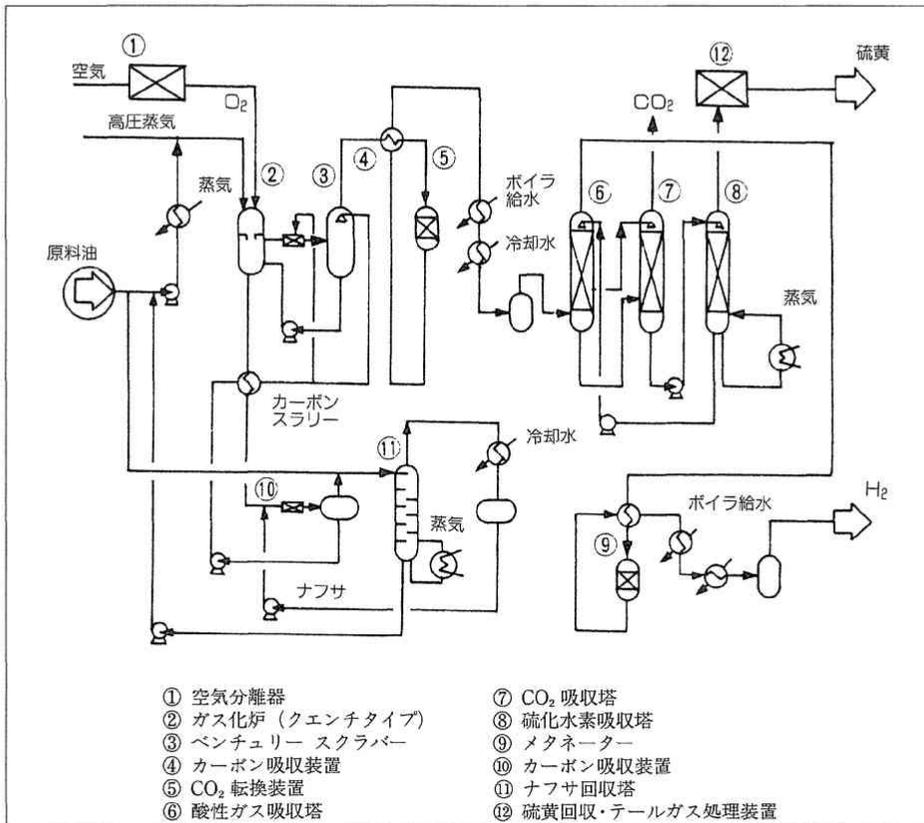


図 12 テキサコガス化プロセス系統図⁴⁾

しかし、ガソリン、軽油等の軽質油不足、重油余剰という情勢から、重質な残渣油を分解しガソリンを製造する残渣油 FCC の開発が行われた。残渣油は、アスファルテン分、ニッケル、バナジウム等の金属分を多く含んでおり、接触分解触媒へのカーボンと重金属の沈積による分解活性低下対策がキーポイントである。カーボン沈積については、再生炉での燃焼除去で対応できるが、重金属分の沈積は触媒被毒となり、新しい触媒の補給による対策しか現在のところ解決策はない。そこで常圧残渣油の直接脱硫（脱硫の前処理として脱メタルプロセスがある）後の残渣油を原料としている。原料油中の脱メタル法として、前述の直接脱硫プロセスでの前処理脱メタルの他にアンチモンを FCC 装置に注入しニッケル、バナジウムを不活性化させ触媒被毒作用を無くす Phillips 社のメタルパッシベーター法や、イオン交換樹脂を用いて触媒上に沈積したニッケル、バナジウムを連続除去再生する方法（DEMET-III法）が A R C O 社で開発された。

代表的な残渣油 FCC には、HOC プロセス（Heavy Oil Cracking 法；M. W. Kellogg 社と Phillips 社の開発）、U O P 社と Ashland 社の開発した R C C プロセス（Reduced Crude Oil Cracking 法）、I F P 社と T O T A L 社の開発した R 2 R プロセス等がある。

代表的な残渣油 FCC 反応装置として H O C の反応塔の概略を図 13⁴⁾ に、H O C の製品バランスを表 9 に示した。

4. おわりに

重質油の種類、性状と、現在実用化されて

いる重質油を有効利用するための技術概要を紹介したが、特に重質油の処理技術は完成された技術ではなく、まだまだ改良の余地を持つ技術である。

とりわけ重質油の分解技術は、エネルギー

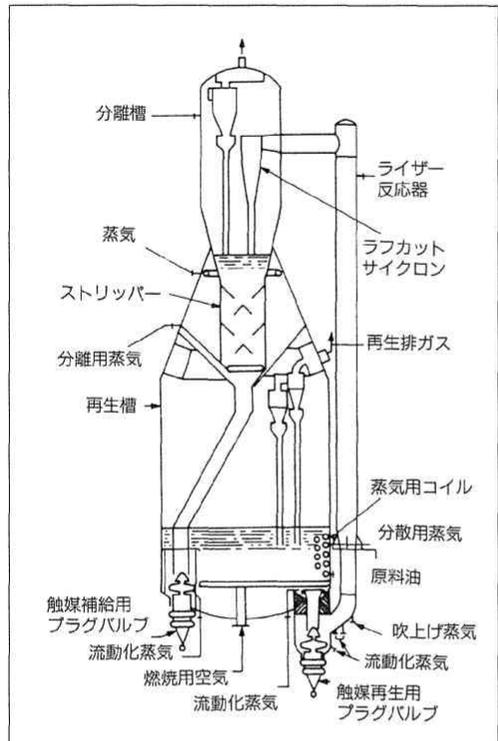


図 13 HOC 反応塔概要図⁴⁾

表 9 HOC の製品バランス

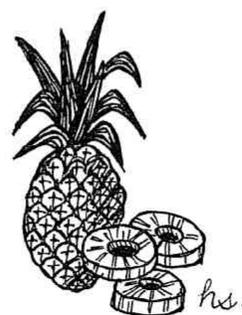
原料性状（常圧残渣油）		
比重（15/4℃）		0.93
残留炭素	(wt.%)	3.6
S	(wt.%)	0.4
Ni+V	(ppm)	25
製品得率		
転換率	(vol.%)	80
～ C ₂	(wt.%)	4.2
～ C ₄	(vol.%)	21.9
C ₅ ～204℃	(vol.%)	64.0
軽質軽油溜分	(vol.%)	14.6
重質軽油溜分	(vol.%)	2.1
蒸留残渣	(vol.%)	3.0

消費の大きいプロセスであり、炭酸ガス削減対策上からも、省エネタイプのプロセス開発が望まれるところである。

エネルギー資源の有効利用上からも、重質油対策技術開発は、昭和50年代後半から60年代前半で完了したのではなく、また、新たに始めなければならない技術開発課題であると言える。

参 考 文 献

- 1) 石油学会精製部会重質油分科会, 石油学会誌, 27, 74 (1984).
- 2) SAAH システム(重質油類の化学構造解析ソフト), KEM(有). (基本計算式: 片山他, 日本化学会誌, 1975, 127).
- 3) 石油便覧, 燃料油脂新聞社, 1994.
- 4) Katayama Y., et.al., "Heavy Oil Processing Handbook", The Chemical Daily Co. Ltd., 1982.
- 5) 三菱商事(株), 技術資料



原子力における放射性廃棄物処分

和 達 嘉 樹 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 専門役)



1. はじめに

我が国においては、原子力エネルギーの平和利用、すなわち原子力発電は、今や主力電源として着実に定着している。また、我が国はウラン資源を有効に利用し、原子力発電の供給安定性を高めるため、核燃料リサイクルを基本方針としており、関連する事業が本格化しつつある。これらに伴い、放射性廃棄物の発生量の増大が見込まれており、その安全な処分は重要な課題である。

本稿は、原子力における放射性廃棄物処分について、一般の人々の理解に資するため放射線廃棄物の特殊性、処分の考え方など基礎的な記述を中心としており、テキスト的な性格のものとなっている。

2. 放射性廃棄物の特殊性

放射性廃棄物は、放射性核種を含む廃棄物であり、したがって放射能を有する。そのため、一般廃棄物や産業廃棄物と区別して取扱われている。放射性廃棄物の特殊性としては、次の①～③が挙げられる。

- ① 廃棄物の放射能は含まれる放射性核種の半減期に従って減少
- ② 廃棄物に含まれる放射性核種の量は微量

③ 廃棄物の発生量は少量

以下、これらの特殊性について説明する。

特殊性①：

放射性核種には多くの種類があるが、代表的なものを表1に掲げる。各々 β 線、 γ 線、あるいは α 線を放出し、それぞれ固有の半減期を有している。例えば、原子力発電所から出る放射性廃棄物の主要な放射性核種のコバルト-60 (^{60}Co) は、半減期が5年ほどである。そのため半減期の10倍、つまり50年ぐらい経つとその廃棄物の放射能は千分の一に減ることになる。一方、マンガン-56 (^{56}Mn) は半減期が2時間半と短いため、2日も経つと放射能は事実上なくなってしまう。しかし、プルトニウム-239 (^{239}Pu) は半減期が2万4千年もあるので、放射能が十分減少するには数十万年もかかる。この半減期というものがある点、放射性廃棄物は他の廃棄物とは大きく異なる。

特殊性②：

我が国では放射性廃棄物の処分が1992年末から開始されており、原子力発電所から出る放射能レベルが低い廃棄物、いわゆる低レベル廃棄物が浅地中に埋設されている。この場合、無制限に処分すると安全上問題なので、浅地中埋設可能な放射能濃度上限値を主たる放射性核種（放射性物質）について、廃棄物

1 t 当りの放射エネルギーとして政令で定めている (表 2 参照)。

表 1 放射性核種の特性

放射性核種	放射能	半減期	比放射能 (KBq/g)
トリチウム (^3H)	β	12.33年	3.58×10^{11}
炭素-14 (^{14}C)	β	5730年	1.65×10^8
マンガン-56 (^{56}Mn)	β, γ	2.579時間	8.03×10^{14}
コバルト-60 (^{60}Co)	β, γ	5.271年	4.18×10^{10}
ニッケル-63 (^{63}Ni)	β	100.1年	2.10×10^9
ストロンチウム-90 (^{90}Sr)	β	28.78年	5.11×10^9
ヨウ素-131 (^{131}I)	β, γ	8.021日	4.60×10^{12}
セシウム-137 (^{137}Cs)	β, γ	30.07年	3.21×10^9
プルトニウム-239 (^{239}Pu)	α, γ	24110年	2.30×10^6
アメリシウム-241 (^{241}Am)	α, γ	432.2年	1.27×10^8

表 2 埋設濃度上限値

放射性物質	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{63}Ni	^{14}C	α 線を放出する放射性物質
放射能濃度 (Bq/t)	11.1T	74G	1.11T	1.11T	37G	1.11G

* G (ギガ) = 10^9 , T (テラ) = 10^{12}

廃棄物に含まれる放射性核種の量 (g 数) がいかに微量であるかは、例えば表 2 の ^{60}Co と ^{137}Cs の埋設濃度上限値を表 1 の比放射能を用いて換算すると、廃棄物 1 t 当り ^{60}Co は 0.265 g, ^{137}Cs は 0.345 g である。放射能レベルが高い廃棄物になると含まれる放射性核種の量 (g 数) も多くなるが、やはり微量が特殊性に挙げられる。

特殊性③：

日本人 1 人が 1 年間に発生させている廃棄物量を、一般廃棄物、産業廃棄物、原子力から出る放射性廃棄物について比較すると、表 3 のように放射性廃棄物の量は桁違いに少な

い。放射性廃棄物のうち、低レベルと書いてあるのが原子力発電所等から出る放射能レベルが低い低レベル廃棄物、高レベルと書いてあるのが再処理工場から出る放射能レベルが高い高レベル廃棄物であるが、いかにこれらの量が少ないかが分かる。

表 3 日本人一人が 1 年間に発生させている廃棄物量 (1990年度) (kg)

一般廃棄物		産業廃棄物		放射性廃棄物	
一般	し尿	汚泥	その他	低レベル	高レベル
410	290	1400	1800	0.082	0.0029

一般・産業廃棄物の合計：約 3900kg
 放射性廃棄物の合計：約 0.085kg
 (高レベル放射性廃棄物：2.9g)

出所：「原子力」図面集，1994年版，電気事業連合会

3. 放射性廃棄物の種類と発生源

我が国はウラン資源の有効利用のために、核燃料リサイクルを方針としている。核燃料リサイクルを図にしたものが図 1 である。

原子力発電所 (軽水炉) から出た使用済燃料を再処理工場で再処理し、回収したプルトニウムを MOX 燃料加工工場に燃料にして再び用いるというリサイクルである。将来、開発中の高速炉が実用化されると、下段のリサイクルもできる。

図に見られるように、各施設からいろいろな放射性廃棄物が出てくる。原子力発電所等から低レベル廃棄物、再処理工場から高レベル廃棄物、それから、再処理工場、MOX 燃料加工工場から TRU 廃棄物というのが出る。TRU は Transuranium (超ウラン) の略で、TRU 廃棄物は超ウラン元素 (ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウムなど) による廃棄物である。

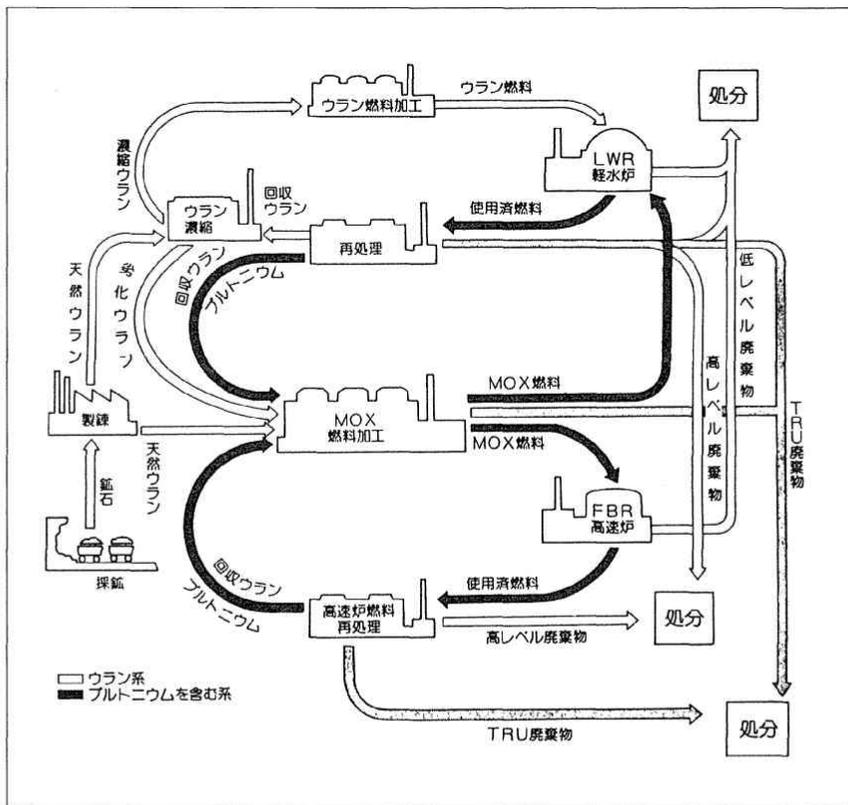


図1 核燃料リサイクル

放射性核種についていうと、気体の形、液体の形で種々の放射性核種が出てくる。主だったものを原子力発電所と再処理工場に關して表4に掲げておく。

4. 放射性廃棄物処分のための処理

処理の目的は、処分のために放射性廃棄物の容積を少なくする、つまり減容し、減容したものを安定化、すなわち固化することから成り立っている。原子力発電所から出てくる低レベル廃棄物については、蒸発缶で濃縮したり、焼却炉で焼却したりして減容したものをセメントなどで固め、ドラム缶に詰める。一方、再処理工場からの高レベル廃棄物（廃液）の場合は、蒸発濃縮により減容して、そ

表4 原子力施設からの主要放射性核種

原子力発電所	<p>液体：トリチウム(^3H)、ナトリウム-24(^{24}Na)、クローム-51(^{51}Cr)、マンガン-54(^{54}Mn)、コバルト-58, 60(^{58}Co, ^{60}Co)、亜鉛-65(^{65}Zn)、ストロンチウム-89, 90(^{89}Sr, ^{90}Sr)、セシウム-134, 137(^{134}Cs, ^{137}Cs)</p> <p>気体：トリチウム(^3H)、炭素-14(^{14}C)、アルゴン-41(^{41}Ar)、キセノン-133(^{133}Xe)、ヨウ素-131(^{131}I)</p>
再処理工場	<p>液体：ストロンチウム-90(^{90}Sr)、ジルコニウム-95(^{95}Zr)、ニオブ-95(^{95}Nb)、テクネチウム-99(^{99}Tc)、ルテニウム-106(^{106}Ru)、アンチモン-125(^{125}Sb)、ヨウ素-129(^{129}I)、セシウム-134, 137(^{134}Cs, ^{137}Cs)、セリウム-144(^{144}Ce)、ユロビウム-154(^{154}Eu)、ウラン(U)、ネプツニウム-237(^{237}Np)、プルトニウム-238, 239, 240, 241(^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu)、アメリカシウム-241(^{241}Am)</p> <p>気体：トリチウム(^3H)、炭素-14(^{14}C)、クリプトン-85(^{85}Kr)、ヨウ素-129, 131(^{129}I, ^{131}I)</p>

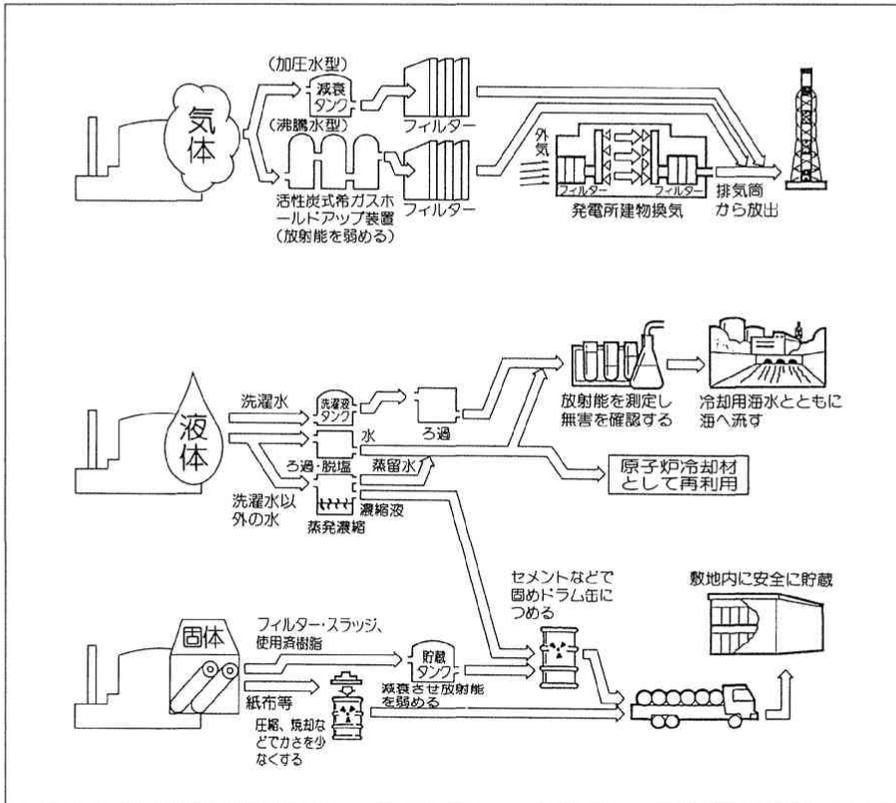
れをガラス固化する。

具体的に、どのように処理が行われているかを述べる。原子力発電所での処理の場合(図2参照),気体のものは多くは半減期が短い放射性核種から成り立っており,減衰タンクや活性炭を用いたホールドアップ装置で放射能の減少を待ち,それから大気に放出する。液体の場合は,蒸発缶で濃縮あるいはイオン交換樹脂等で放射性核種を除去し,きれいになった水は再利用するか,さらに希釈して海に放出する。そして放射能が濃縮した方ものは,セメントやアスファルト,あるいはプラスチックで固化し,ドラム缶に詰めるという方法である。他方,固体の場合は,可燃性

のものは焼却,不燃性のものは圧縮処理をして,ドラム缶に詰めることを行っている。

我が国の場合,処理に非常に力を入れており,今や原子力発電所の放射性廃棄物の処理システムは,世界の水準に比べてトップクラスとの評価を得ている。

再処理工場の気体,液体,固体廃棄物の処理は,基本的には原子力発電所の場合と同じようなものである(図3参照)。ここで一つ特別なのは,高レベル廃液の処理である。蒸発濃縮した後ガラスで固化し,放射能で発熱するので冷却しながら30年から50年ぐらい貯蔵する。それから処分を行うが,依然として放射能レベルが高く,長半減期の放射性核種を



出所:「原子力」図面集1994年版,電気事業連合会

図2 原子力発電所の廃棄物処理方法

含むため、いかに安全に処分するかが課題である。

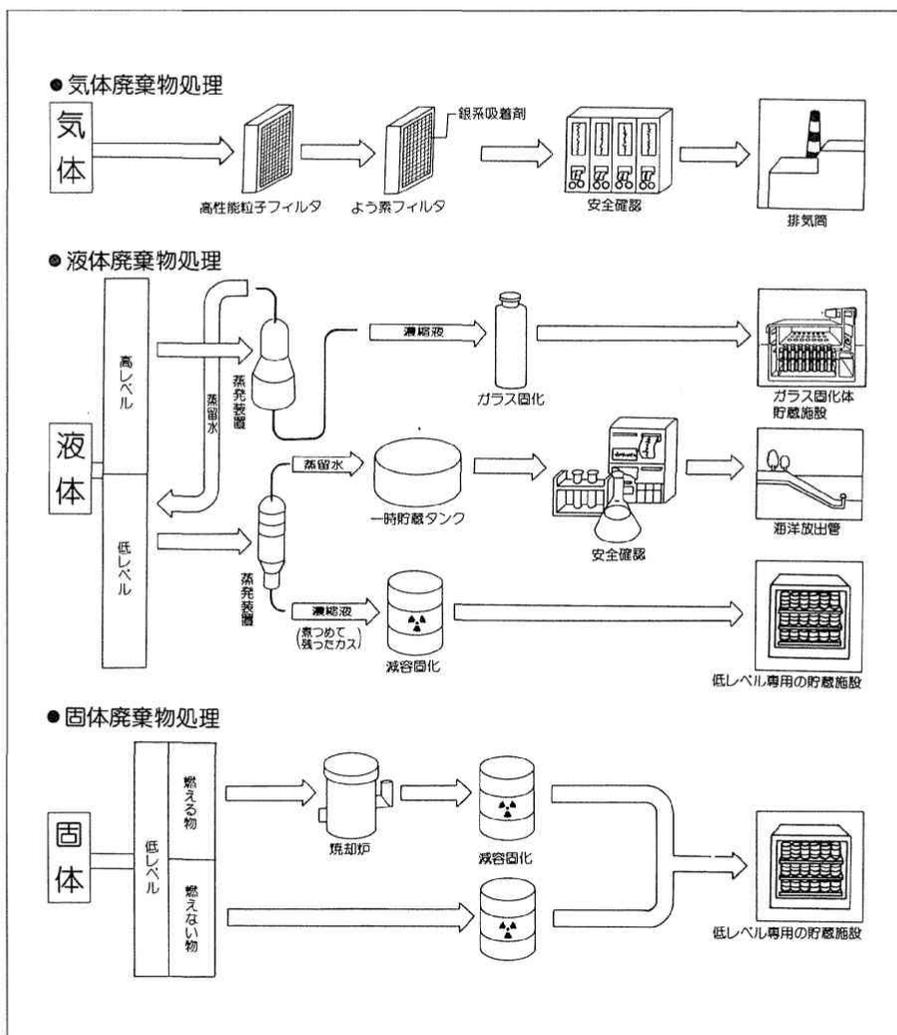
5. 放射性廃棄物処分の考え方

放射性廃棄物処分の目標は、いかに環境を汚染させず、人間に対して将来とも放射線影響を与えないように安全に処分するかということにある。放射線防護ということでは、国際放射線防護委員会（ICRP）は原則を示

している。この原則を、放射性廃棄物の処分にも適用しようというのが、国際原子力機関（IAEA）の考えである。

ICRPが提示している放射線防護の3原則は、Justification（正当化）、Optimization（最適化）、Dose limits（線量限度）である。

1番目の正当化を分かりやすく言うと、医学でX線診断する場合、放射線を浴びるが、それで病巣が発見できたり、治療法が決まっ



出所：「原子力」図面集1994年版，電気事業連合会

図3 再処理工場の廃棄物処理方法

たりするということが利益がある。結局、プラスの利益がなければ、被曝を伴う行為をしてはならないということである。放射性廃棄物についてみると、何の利益もないのでこの正当化はこのままでは成り立たないが、原子力発電まで含めて考えるとそこにはいろいろな利益があり、それらを一括して、正当化が放射性廃棄物についても成り立っているのだという解釈である。

2番目の最適化は、経済的、社会的なファクターを考慮し、合理的に達成しうる限り低く放射線被曝を抑えなければならないとしている。

3番目の線量限度は、放射線に関し個人に対する線量限度が設定されているが、これを放射性廃棄物の処分にも適用するという考えである。

また、IAEAは、かねてから放射性廃棄物の処分方法について提案しているが、結局、比較的安全なものは地中の浅いところ、危険なものほど深いところに処分するということである。具体的に言うと、放射能レベルが低く、短半減期の放射性核種からなる放射性廃棄物は、浅いところに処分してよく、放射能レベルが高く、長半減期の放射性核種からなる放射性廃棄物は、深いところに処分すべきであるという考えである。

それでは、我が国の処分方策の現状を示す。図4で実線で囲ってあるのは処分方策が定まっているもの、点線で囲ってあるのは未だ処分方策が定まっていないものである。

極低レベル廃棄物は、放射能レベルが極めて低い廃棄物で、これについても浅地中埋設可能な放射能濃度上限値が政令で定められて

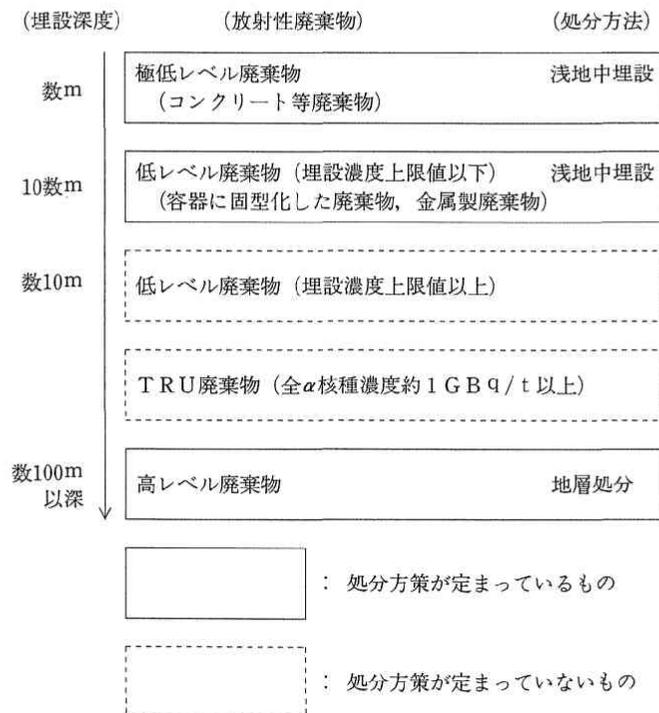


図4 放射性廃棄物の処分方策

いる。原子炉の耐用年数が過ぎて解体する時、多く生じるあまり汚染していないコンクリートなどであり、そういうものは、浅いところで簡易な処分でよいということである。

原子力発電所から出てくる表2に示す埋設濃度上限値以下の低レベル廃棄物（容器に固形化した廃棄物）は、いま青森県六ヶ所村で浅地中埋設として、地下10数mのところに処分されている。

高レベル廃棄物については、地層処分として数100m以上の深い地層中に処分することが決まっている。結局、処分方策が定まっていないのは、今のところ埋設濃度上限値以上の低レベル廃棄物とTRU廃棄物（全 α 核種濃度約1GBq/t以上）である。

放射性廃棄物の処分の安全性をどの様にして確保するかについては、人工バリアと天然バリアによる多重バリアシステムによって安全性を確保するというで、国際的にコンセンサスが得られている。図5は低レベル廃棄物に適用される図である（基本的には、高レベル廃棄物についても同様である）。

青森県六ヶ所村の低レベル廃棄物処分の場合では、処理済廃棄物をセメントやアスファルトで固化したものが固化体、容器はドラム缶である。処分構造物がコンクリートピットで、ドラム缶を入れると間隙が生じるので、充填材としてのセメントで間隙を埋めてしまっって一体化する。それから埋め戻し材として、処分構造物の側面、上部をベントナイト混合土で埋め戻す。この場合、ここまでが人工的につくったバリアで人工バリアである。一方、天然バリアは、天然によるバリアということで地層である。このような人工バリアと天然バリアによる多重バリアシステムで、

処分の安全性を確保する。

しかし、高レベル廃棄物の処分になると、何万年、何十万年という長期の安全性が要求される。一般に廃棄物の放射能は時間とともにだんだん減少するが、長半減期の放射性核種があるとなかなか減少しない。例えば、 ^{239}Pu は半減期2万4千年、 ^{237}Np にいたっては2百14万年で、長期間減少しない。それではどうするかというと、多重バリアシステムで安全性を確保するという考えでは、最初の千年ぐらいは人工バリアにより安全性を確保する。しかし、いずれ人工バリアも腐食され機能を果たせなくなる。したがってそれ以降は、天然バリアである地層によって安全性を確保するという概念が代表的なものとして挙げられる。

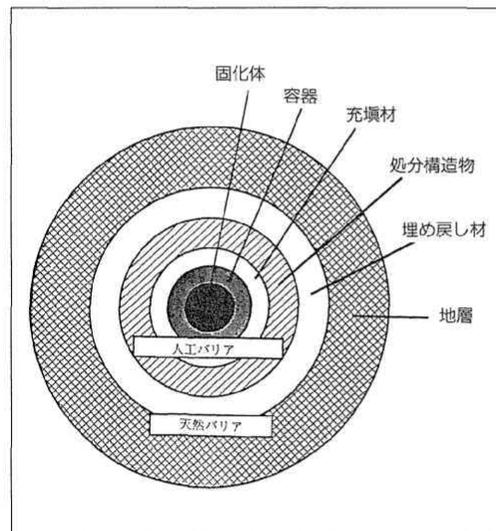


図5 多重バリアシステム

6. 各国における放射性廃棄物処分の現状

以下に、簡単ではあるが各国における放射性廃棄物処分の現状について記す。表5は原

子力白書（平成7年度版）からのもので、主として原子力発電所から出た低レベル廃棄物の処分を行っている国について示してある。

初期には簡易な浅地中埋設を行う国もあったが、現在は環境保全を考慮し、人工バリア

（構造物）中に処分する方法が主流となっている。

このうち、スウェーデンの場合は、独特な処分方法である。海岸からトンネルを掘り、海底下に処分場を設けている。この利点は、

表5 世界の主要な低レベル放射性廃棄物処分施設

国名	処分施設名	処分場規模(m ²)	運営者	対象廃棄物(種類・形態)	施設主要構造(方式・処分深さ)	備考	
米	バーンウェル(サウスカロライナ州)	約140万	ケム・ニュークリアシステム社	200ℓドラム詰固化体、木箱詰雑固体、高性能廃棄物容器入廃樹脂等	大きな素堀の穴を掘って、廃棄物を埋設処分する。	1995年まで受け入れ予定	
	リッチランド(ワシントン州)	約87万	USエコロジー社	200ℓドラム詰固化体、金属箱入り雑固体	大きな素堀の穴を掘って、廃棄物を埋設処分する。		
	新規サイト	ウォードヴァレー(カリフォルニア州)	—	USエコロジー社	—	—	1993年許認可を承認
		ウェイカ(ノースカロライナ州)	—	—	—	—	1993年に候補サイトを決定
英	ドリッグ	約150万	BNFL(英国原子燃料公社)	200ℓドラム缶詰雑固体(可燃物を含む)	・大きな素堀の穴を掘って、廃棄物を埋設処分する。 ・地下のコンクリート施設に廃棄物を埋設処分する。		
仏	ローブ	約100万	ANDRA(放射性廃棄物管理機構)	コンクリートコンテナ詰固体、角型金属容器入雑固体、400ℓドラム缶圧縮雑固体	地下のコンクリート施設に廃棄物を埋設処分する。		
スウェーデン	SFR-1	約6万(最終的約9万)	SKB(スウェーデン核燃料廃棄物管理会社)	コンクリート角型コンテナ詰金属箱入雑固体、200ℓドラム缶アスファルト固化体等	原子力発電所の沖合3kmの水深5mの海底下(深度60m)に作られたサイロ(1基)及びトンネル空洞(4基)に廃棄物を入れ、埋め戻す。		
ドイツ	コンラッド	約50万	BfS(連邦放射線防護庁)	200ℓドラム缶詰固体化、廃炉廃棄物等	鉄鉱山の地下1,000~1,200mの水平坑道内に廃棄物を入れ、埋め戻す。		
日本	六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター	約4万(最終的約60万)	日本原燃(株)	200ℓドラム缶詰均質固化体、(セメント、アスファルト、プラスチック固化体)	地下のコンクリート施設に廃棄物を埋設処分する。		

簡単には人間が侵入できないということと、安全評価をする場合に、放射性核種の移行を支配する水の流れが限定されていることから、安全評価がしやすいということにある。

日本の場合は、青森県六ヶ所村で、浅地中に設けたコンクリートピット中に廃棄物を処分している。これは、仏国の方法とよく似ている。つまり、コンクリートピット中に廃棄物の詰まったドラム缶を定置し、間隙をセメントで一体化する。さらに、ポーラスコンクリート層が設置してあり、これにより、放射性核種が漏れた場合に点検路で検出できるようになっている（図6参照）。

次に、高レベル廃棄物処分についての現状を述べる。高レベル廃棄物には2種類ある。1つは、使用済燃料を再処理し、そこから出てくる高レベル廃液を固化（ガラス固化）したものだ。もう1つは、再処理をせずに、使用済燃料を廃棄物と見做す。

現在、未だどこの国も高レベル廃棄物は処分していない。しかし、数百mより深いところ

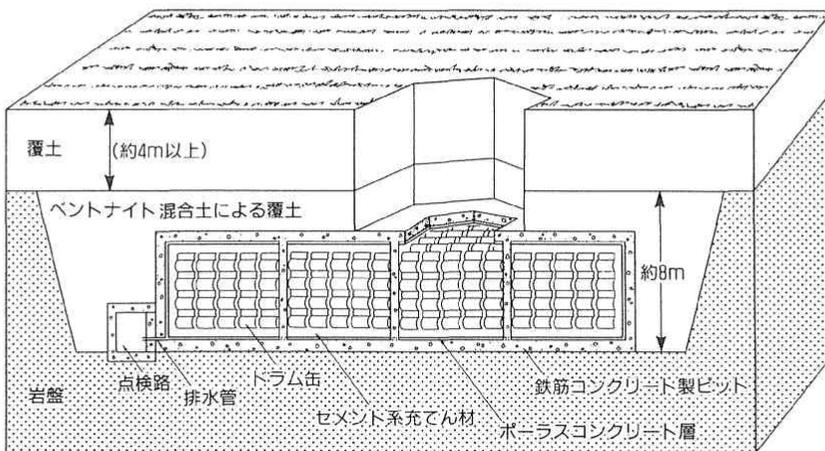
ろに処分するということになる。処分場の概念は大体似たようなものになる。深いところなので立坑（シャフト）で廃棄物を降ろす方法を取り、地下の水平坑内（トンネル）に処分施設を設ける方法である（図7参照）。

表6（放射性廃棄物データブック、財原子力環境整備センター（1995年））により、各国の高レベル廃棄物の地層処分計画を示す。

候補地層も処分深度も国により様々である。スケジュールによると、処分作業開始は早くとも2010年頃であり、各国とも開発中の状態にある。

このうち、イギリスの場合は、TRU廃棄物などの中レベル廃棄物は貯蔵していても放射能の減少のメリットがないことから、高レベル廃棄物よりも先に処分すべきであるという考えのもとに処分計画を進めており、高レベル廃棄物はしばらく貯蔵するというだけで、処分概念、スケジュール等を示していない。

日本の場合は、ガラス固化体を30年から50



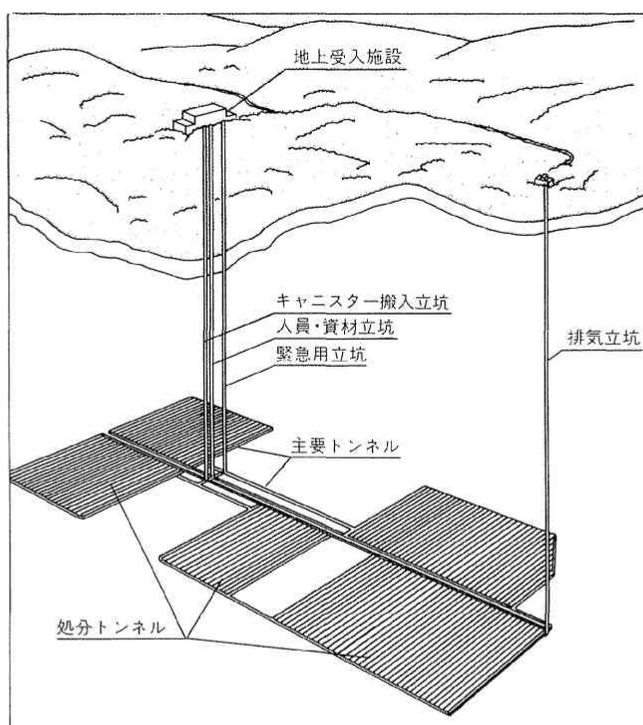
出所：「原子力」図面集1994年版，電気事業連合会

図6 低レベル放射性廃棄物埋設施設概念図

表6 世界各国における高レベル放射性廃棄物の地層処分計画

項目	国	米 国	カ ナ ダ	イ ギ リ ス	フ ラ ン ス
実 施 機 関 (主たる研究開発機関)		エネルギー省 DOE (民間廃棄物管理局 OC RWM)	カナダ原子力公社 A E C L (ホワイト シエル原子力研究 所)	未定	放射性廃棄物管理庁 A N D R A (原子力庁 C E A)
規 制		原子力規制委員会 N R C 環境保護庁 E P A	原子力管理委員会 A E C B	国立放射線防護局 N R P B 環境省 D O E	原子力施設安全局 D S I N
対 象 廃 棄 物		使用済燃料 ガラス固化体	使用済燃料	ガラス固化体	ガラス固化体
候 補 地 層		凝灰岩	花崗岩	未定	花崗岩, 粘土
ス ケ ジ ュ ー ル		1998年までサイト特 性調査 2001年建設申請 2010年頃操業	2025年操業		2006年地下研究活動 のまとめ 2010年~2020年処分 場建設
処 分 概 念		・ 水平坑内ボアホー ル1孔に廃棄物1 本定置 ・ 100年間再取出可 能	・ 水平坑内の処分ル ームに定置またはボ アホールを施工し廃 棄物定置する2案 ・ 操業期間のみ再取 出可能		・ 水平坑内ボアホー ル1孔に5本の廃 棄物定置 ・ 300年間の管理を 行う
処 分 深 度		350m	500~1,000m	1,000m	400~1,000m

項目	国	ド イ ツ	ベ ル ギ ー	ス イ ス	ス ウ ェ ー デ ン
実 施 機 関 (主たる研究開発機関)		連邦放射線防護庁 B f S (連邦研究技 術省 B M F T)	放射性廃棄物・核分 裂性物質国家機関 O N R A F (原子力研 究センター C E N)	放射性廃棄物貯蔵全 国組合 N A G R A	スウェーデン核燃料 廃棄物管理会社 S K B
規 制		連邦環境・自然保 護・原子炉安全省 B M U		連邦エネルギー局 原子力施設安全本部 H S K	原子力検査局 S K I
対 象 廃 棄 物		ガラス固化体 使用済燃料	ガラス固化体	ガラス固化体 使用済燃料	使用済燃料
候 補 地 層		岩塩	粘土	花崗岩 堆積岩	花崗岩
ス ケ ジ ュ ー ル		2000年までサイト特 性調査 2008年操業	2030年建設開始 2050年本格操業	2000年までに選定 2020年以降操業	1996年サイト選定 2005年デモンスト レーション試験 2020年操業
処 分 概 念		・ 水平坑内ボアホー ル1孔に廃棄物多 数定置 ・ 再取出不要	・ 水平坑内に定置 ・ 再取出不要	・ 水平坑内に定置 ・ 再取出不要	・ 水平坑内ボアホー ル1孔に廃棄物1 本定置 ・ デモンストレー ション試験では再 取出を考慮
処 分 深 度		700~900m	220~230m	花崗岩：1,200m 堆積岩：850m	500~550m



出所：「原子力」図面集1994年版，電気事業連合会

図7 地層処分場の概念図

年ぐらい冷却のため貯蔵した後，地下数百mより深い地層中に処分することが決まっている。国の計画では，2030年代から遅くとも2040年代半ばまでに処分を開始したいということであり，現在，動力炉・核燃料開発事業団が中心となって，地層処分開発研究を進めているところである。

なお，米国は核兵器等の開発の結果，TRU廃棄物が大量に発生した。そのため，TRU廃棄物専用の処分施設（WIPP）を建設した。ニューメキシコ州の岩塩層地下655mにそれが完成しており，1998年半ばから操業開始が予定されている。岩塩層が存在することは長期間水がなかったことの表れであり，放射性核種の地層中移行を支配する水がないこ

とが安全につながるのである。高レベル廃棄物処分の候補地層に岩塩が選ばれるのも，同様な理由からである。

7. おわりに

原子力における放射性廃棄物処分について，一般の人々の理解に資するために本稿を著したので，全般的にやさしい解説になっている。

放射性廃棄物の今後の大きな課題は，非常に長期の安全性が要求される高レベル廃棄物の処分である。これについては，我が国も目下開発・検討中であり，誰れもが納得でき，安心できる処分方法の確立が期待される。

〔随 想〕

クリーンエネルギー自動車レポート(第1報)

— 低公害車フェアを訪れて —

蓮 池 宏 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長補佐)



低公害車フェアが、去る5月25日(土)、26日(日)の両日、東京都渋谷区の代々木公園で開催された。同公園内のイベント広場に各種の低公害車が展示され、一般の人々がこれを見てまわる。会場の一角では試乗会も行われていた。筆者は数年前から、ほぼ毎年このフェアを見物に行っている。レポートの第1回は、今年の低公害車フェアを見て考えたことなどを述べてみたい。

まず全体を見渡して印象に残ったのは、天然ガス自動車の躍進である。特に、中小型ト

ラック、ごみ収集車、大型路線バスといったもともとディーゼルエンジン車だったものを天然ガス自動車に転換した車が増えてきたことである(写真1)。各メーカーは、注文生産販売を始めており、バス、トラック、ごみ収集車を合わせて150台近くが既に導入されているという。都市の大気汚染の低減には、ディーゼル車のクリーン化が不可欠であり、天然ガストラックや天然ガスバスの今後の普及を期待したい。

天然ガス自動車関係でもう一つ目に付いたのは小型ガス充填機(写真2)である。



写真1 天然ガストラック



写真2 小型天然ガス充填機(車の左)

筆者は、ここ10年ほど各種の代替エネルギー自動車や新型エンジン自動車の調査研究に携わってきた。自動車用エネルギーの問題は、エネルギーの面からも都市の大気汚染面からも地球温暖化の面からも、今後ますます重要になっていくであろう。さまざまな情報が錯綜する中で、それらのポイントを整理し、クリーンエネルギー自動車の今後を展望してみるという意味でこのレポートを書くこととした。1回の紙数は多くないが、できる限り続けていきたいと考えている。ここで述べることは筆者個人の見解であり、間違った認識もあるかと思う。読者諸兄のご批判を仰ぎたい。E-mail: hasuike@iae.or.jp

小型といっても写真のように小ぶりの洗濯機ほどの大きさであるが、小型車用のタンクを数時間で満タンにできるくらいの能力がある。国内外のメーカー1社ずつが市販機を出品しており、数十台程度の販売実績が上がっているという。

小型充填機の普及については、技術的な問題もさることながら、むしろわが国の「高压ガス取締法」による規制の問題が大きかった。高压ガス取締法によれば、一般的な容量の小型充填機は第一種高压ガス製造設備に該当するため、住宅などとの離隔距離の確保、都道府県知事の許可取得、保安管理責任者の設置などが必要となる。このため、一般ユーザーが設置することは実際上、困難であった。しかし、平成7年3月に関係法規が改正され、これをガス事業法に基づくガス工作物として扱うことで高压ガス取締法の適用対象外となり、保安点検はガス事業者が行うことになった。つまり、安全性確保の義務を製造メーカーとガス事業者が引き受けることによって、ユーザーの負担を減らしたわけだ。

個々の車がこの充填機を車庫に備えれば、町中の急速充填スタンドの不足をかなり補える。しかしそれには、現在まだ100万円近くするという価格が問題で、今後のコストダウンが必要である。

筆者は6年ほど前に、シドニーで開催された天然ガス自動車の国際会議に参加した。その参加報告¹⁾の中で、天然ガス自動車に関する技術的な課題として次の4点を挙げた。

- ①ディーゼルエンジンへの対応
- ②天然ガスの特徴を生かしたエンジン開発
- ③燃料タンクの軽量化

④小型ガス充填機の実用化

わが国では、当時、天然ガス自動車はそれほど注目されておらず、日本からの参加者はわずか3名であった。その後、通産省の補助によるプロジェクトがガス業界が中心となって開始され、天然ガス自動車の研究開発と普及促進の動きが活発化した。

ディーゼル車の天然ガス化と小型ガス充填機は先に書いたとおりであるが、圧縮比を高めた天然ガス専焼エンジンや、アルミとFRP（繊維強化プラスチック）を組み合わせた複合軽量タンクもすでに実用化されていて、関係の方々の努力により上記の課題はほぼ全て解決されたと言ってよい。

わが国での天然ガス自動車の普及台数は、もうすぐ1,000台を超えようとしており、この勢いでは2,000台あるいは3,000台を突破するのは時間の問題であろう。もっとも、平成6年に政府が発表した「新エネルギー導入大綱」では2000年までに20万台の導入を目指しているので、それから見れば3,000台程度は単なる通過点かもしれない。

昨年12月には天然ガス自動車に関連した道路運送車両の保安基準の改正が行われるとともに、関連の構造基準や検査方法も整備された。これにより、圧縮天然ガス自動車はナンバープレートを取得するのに1台ごと運輸大臣の認定を受けていたのが、一般のガソリン車などと同じ型式認定の方式に変わった。つまり、型式認定を受けようとする車種については、メーカーが代表車両のデータを提出して合格すれば、同じ型の他の車両は新規登録の際の検査を受ける必要がなくなったのだ。天然ガス自動車の大量普及のネックとなって

いた問題が一つ取り除かれたと言ってよい。

それでも、普及目標の20万台という数は半端な数ではない。ちなみに、タクシーなどに使われているLPG自動車の数は30万台である。20万台の天然ガス自動車に本当に普及するかどうかは燃料価格の設定にかかっている、と筆者はみている。数十万という台数が普及するためには、経済性が非常に重要になる。単なる新しいもの好きや高邁な精神だけでは限界がある。現在は、主にガス会社の保有車に導入されていることもあって、燃料のガスには値段がつけられていないという。ガス会社として、自動車用の都市ガスにどのような値段をつけるのか、大いに注目したい。

さて、上昇カーブを描く天然ガス自動車とは裏腹に、メタノール自動車の勢いは下降傾向にあるように見えた。1990年前後には大いに注目されたメタノール車であるが、今年は展示スペースは一番はずれで、台数も一時期より減ったように思う。

理由は二つ考えられる。一つは、技術的な問題でエンジンの燃料噴射弁や点火プラグの耐久性・信頼性の問題が依然として十分には解決されていないことである。もう一つは、CO₂問題がクローズアップされるようになったことである。メタノールは大半が天然ガスから製造されているが、その場合には、メタノール自動車はガソリン車やディーゼル車と比較してCO₂排出低減のメリットがほとんど得られないために、環境にやさしい車としての魅力が薄れたのではないだろうか。

このように、メタノールを内燃エンジンで燃やす自動車はやや苦しい状況にある。しかし、おそらく数年内に別のタイプのメタノール

自動車に注目されることになるであろう。それは燃料電池自動車である。

次に電気自動車である。こういった催し物では、やはり電気自動車が主役を演じることになる。会場の中心のいわばS席に30台ほどが展示されていたが、この中で、ソニーのリチウムイオン電池を積んだ日産の「ブレイリージョイEV」(写真3)、松下のニッケル水素電池を積んだトヨタの「RAV4 EV」、米国オボニック社のニッケル水素電池を積んだ本田の「HONDA EV」が注目の3台である。



写真3 日産ブレイリージョイEV

このフェアの1ヶ月前に、本田は米国でHONDA EVを市販する計画を発表した。トヨタもRAV4 EVを米国で発売するとともに、国内でも実用試験を行うと発表し、さらにフェアの直前には、松下グループと組んでニッケル水素電池を手始めに電気自動車の開発を行う合弁会社を設立する、という発表があった。その後の報道によると、日産も来年にはブレイリージョイEVの販売を始める計画という。ニッケル水素電池、リチウムイオン電池という期待の新型電池を使った電気自動車が揃い踏みといったところである。いずれも発売は来年になってからの予定である

が、高価な新型電池を使うので、車両としてどのような値段がつけられるのかが気になるところである。

電気自動車の今後については、まず米国の動向をよく見据える必要があり、また、技術の進歩という面では本年10月に大阪で開かれる第13回国際電気自動車シンポジウムがある。このシンポジウムの内容などを含めて、電気自動車の将来見通しに関しては回を改めて報告したいと思う。

低公害車フェアに話を戻そう。天然ガス、メタノール、電気の低公害車御三家の他に展示されていたのは、LPG自動車、ハイブリッド自動車、水素自動車などである。この中で、今回はLPG自動車について触れておきたい。

LPG自動車はタクシーですでに大量に使われているという実績があるが、それらはガソリン車と同レベルの排ガスということで、従来は低公害車の中には入っていなかった。しかし、前出の「新エネルギー導入大綱」の策定の際に、ディーゼル車を代替するものについては排ガスの低減効果があると認められ、クリーンエネルギー自動車として扱われることになった、という経緯がある。

現在、生活協同組合が配送用小型トラックへの導入に力を入れており、フェアでは小型トラック3台とごみ収集車1台が展示されていた。いずれも、実用化されているものである。LPGの燃料スタンドは全国に2,000カ所以上あり、CNG(圧縮天然ガス)スタンドや充電スタンドに比べればはるかに数が多く、経済性の面でも大きなデメリットはないなど、導入促進の条件は一番整っている。排気ガス低減のために、とにかく早く実効の上が

る対策をとるという観点からは、小型ディーゼル車をLPG車に替えるというのは、最も現実的な路線であると思う。先に、天然ガス自動車の躍進ぶりを述べたが、天然ガス自動車にとってLPG自動車は、先輩であると同時に強力な競争相手になるに違いない。

LPG自動車だけでなく、天然ガス自動車でも電気自動車でも共通して言えることであるが、最近になって大手自動車メーカーが自ら開発したクリーンエネルギー自動車が目立つようになってきた。

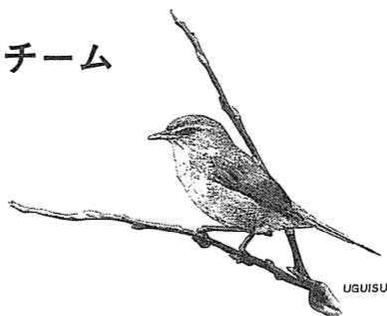
大方の人には、低公害車を自動車メーカーが開発するのは当たり前の話に聞こえるであろうが、10年前は必ずしもこうした状況ではなかった。メタノール自動車や天然ガス自動車は、市販ガソリン車をディーラーや町工場で改造したものが多く、電気自動車もベンチャー企業が開発したものが中心だった。

もちろん、このような開発に携わった方の努力には敬意を表するところである。しかし、大手メーカーが本格的な開発に乗り出して、試作だけでなく市販も始めるということになり、クリーンエネルギー自動車も新しい段階を迎えた、という見方ができるのではないだろうか。一般ユーザーとしての感覚で言えば、「試しに作ってみた」というような車よりも、「値段さえ折り合えば買ってほしいんじゃないか」というような車が多くなった、ということだ。

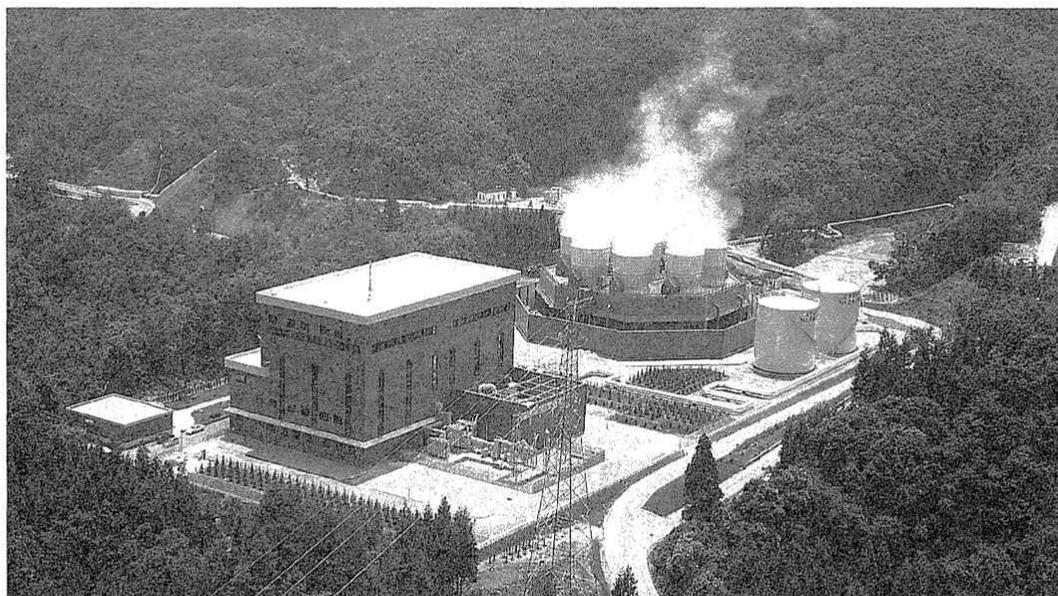
紙面の切りもよいので第1回はここまでとして、今回は今回取り上げなかった自動車についてレポートしたいと思う。

- 1) 蓮池,「天然ガス自動車の最近の海外動向」,『季報 エネルギー総合工学』, Vol. 11, No. 4, 1989.

地熱発電所



柳津町西山地区は、その会津若松市から車で1時間余り。新潟県との県境に近い自然豊かな丘陵地帯です。私たちが伺ったのは、新緑の頃。地域の特産という桐の花や山藤が満開で、薄紫と若葉の緑の美しいところでした。



柳津西山地熱発電所

《沿革》

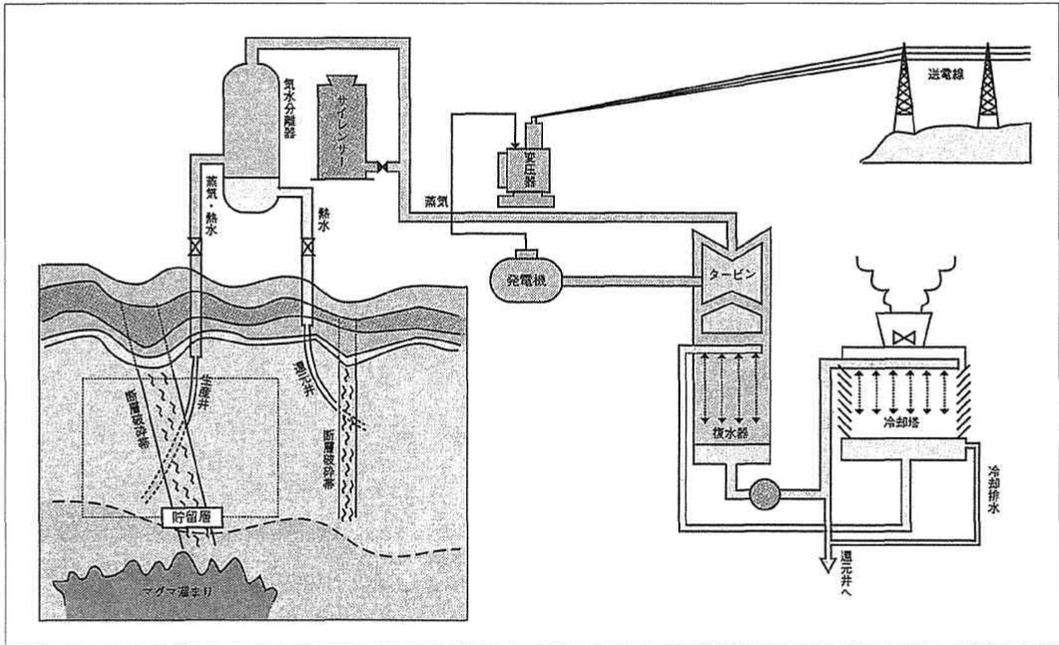
柳津西山地熱発電所は、昭和49年三井金属㈱により基礎調査が始められ、その後、国による基礎調査、地熱開発促進調査が行われ、成果を引き継ぎ蒸気を供給する奥会津地熱㈱と発電部門を受持つ東北電力㈱との協力プロジェクトとして、平成7年5月25日に営業運転を開始しました。出力65,000kWというのは、国内の地熱発電所の単機容量としては最大で、それだけ西山地区の地下には豊富な地熱エネルギーが存在するわけです。

《地熱発電所のしくみ》

それでは、この豊富な地熱エネルギーからどのように電気をつくっているのでしょうか。
(下図参照)

地下深部にはマグマ（高温溶岩）の溜まりがあり、周辺の岩石を加熱しています。そこに地下水が浸透し、高温岩石によって加熱され、高温熱水となり地熱貯留層に貯えられています。このグツグツと煮えたぎった熱水を生産井（せいさんせい）から地上に取り出して気水分離器で蒸気と熱水とに分け、その蒸気の圧力でタービン・発電機をまわして電気をつくるのが地熱発電です。使用済みの蒸気は復水器で凝縮されて温水となり、さらに冷却塔で冷やされ、また復水器に戻されて冷却水として循環使用されます。一方、蒸気と分離された熱水と余った冷却水は、還元井（かんげんせい）から地下深部へ戻されます。

このように、地熱発電は自然の恵みをムダなく利用した優秀な新エネルギーなのです。



柳津西山地熱発電所では、地下1,500m～2,600mにある熱水を、14本の生産井から取り出し、3本の還元井で戻していますが、輸送管を通り気水分離器を経て得られた蒸気を奥会津地熱株から購入しています。つまり、同じ敷地に見えても、ここは電気会社、この管から向こうは蒸気会社というように分かれています。

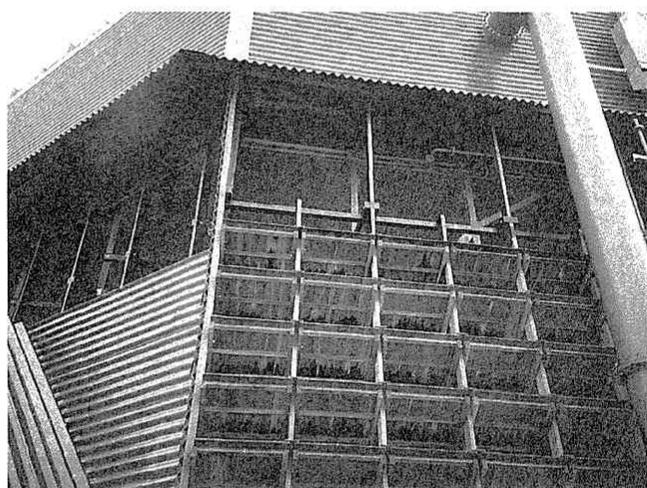
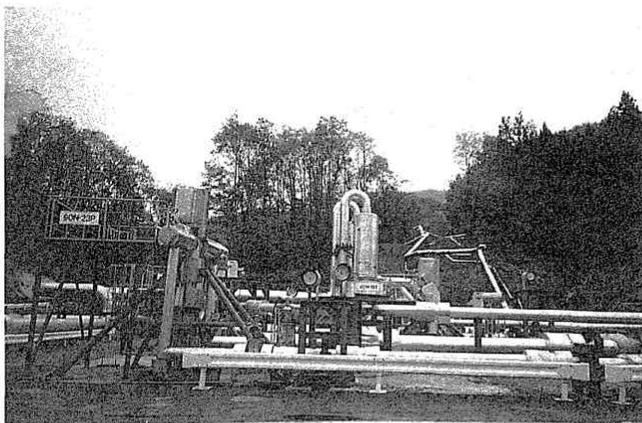
《新緑とチョコレート色の発電所》

こちらの発電所に向かう途中、印象的だったのは意外にも輸送管でした。自然景観を考慮して低めに設置されているので、車からは真新しい銀色の管が、発電所へと道案内をしているようにくねくねと横たわっているのを見ることができます。

新緑の山道をさらに進むと、チョコレート色の発電所が見えてきました。その色のせいか、唐突に目に飛び込んできたという感じは受けませんでした。今回私たちを案内して下さった小幡さんが、「私もセンスがいいなあ、と思っているんですよ（笑）。地域の皆さんにも好評なんです」とちよつとうれしそうにおっしゃっていました。

P1基地にある気水分離器

ここから輸送管を通して蒸気が送られてきます。



冷却塔

カラーでお見せできないのが残念！
この水しぶきには圧倒されます。

《蜂の巣型冷却塔》

発電所本館に隣接する冷却塔は、蒸気中に含まれる硫化水素を大量の空気で薄めて上昇拡散させる効果もあるため、集合型（蜂の巣型）です。また、比較的音がもれやすいことから、山側に設置されています。とはいえ、防音壁でしっかりガードされているのでそれほど気にはなりません。

ところでこの防音壁、写真ではわからないかもしれませんが、トタンのように波うっています。何か特別な配慮があるのでは？と思い、小幡

さんに質問すると「熱膨張対策」とのこと。その後冷却塔に上ってみると、床や階段、手すりなどが木で作られているのにびっくり。これもやはり腐食対策だそうです。蜂の巣型に波うつ壁、木目の床は機能性と同時にデザイン性にも富んでおり、一見の価値があります。

《地熱からシンビジウム》

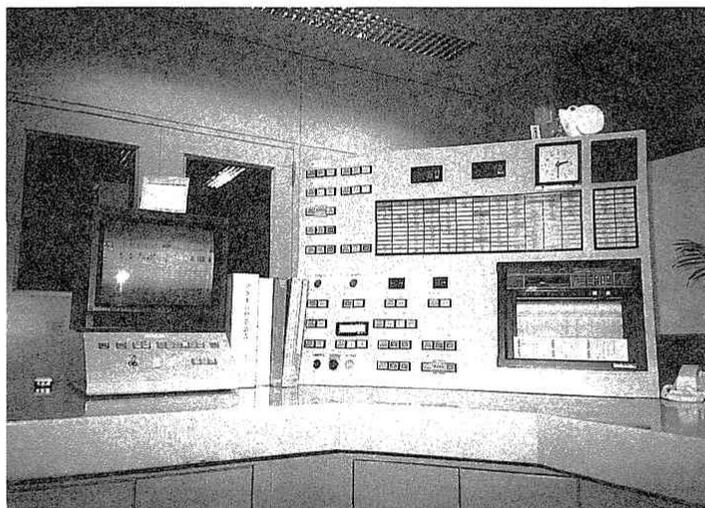
発電所の敷地の一角に、蒸気を凝縮してできた温水を利用した「パイプハウス」が設置されています。ここではシンビジウム栽培が2月から行われています。まだ花は咲いていませんでしたが、気持ち良さそうに葉を伸ばした鉢植えがたくさん置かれてありました。

柳津町では今後3～5年をかけて実証試験を行い、地域の活性化に役立てようとしているそうです。



パイプハウス内のシンビジウム

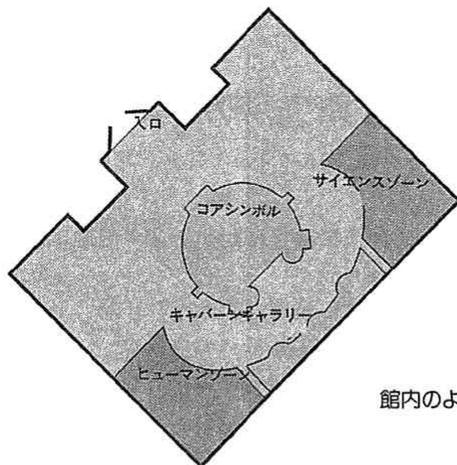
《遠方監視室》



発電所を見学後、15km離れた場所にある遠方監視室を見せて頂きました。発電所内に設置された5台のカメラを通して、職員の方が3交替で24時間運転を監視しています。発電所へも交替で1人がパトロールに向かうそうですが、雪の日はさぞ大変だろうな、と暖かい陽差しの中、思いをはせました。

《PR館》

発電所に隣接してPR館があります。内部は、地底の様子と地熱発電のいろいろな設備を説明したコアシンボル、柳津地方の文化を紹介したヒューマンゾーン、地底のしくみや自然エネルギーを解説したキャバーンギャラリー、「ねつ」の世界を学べるサイエンスゾーンというコーナーを設けています。いずれもやさしく、楽しく、遊びながら学べるコーナーで、昨年5月末のオープン以来、冬期(1月～3月)を休館したにもかかわらず、1年足らずで5万人もの来訪者があったそうで、小林所長も喜んでおられました。



館内の様子



小林所長，小幡さんを囲んで

最後になりましたが、お忙しいなか快く取材に応じて下さった小林所長，楽しい説明をして下さった小幡さん，東京支社の佐藤さん，会津若松支社の二瓶さん，大変お世話になりました。

皆様に心より厚くお礼申し上げます。

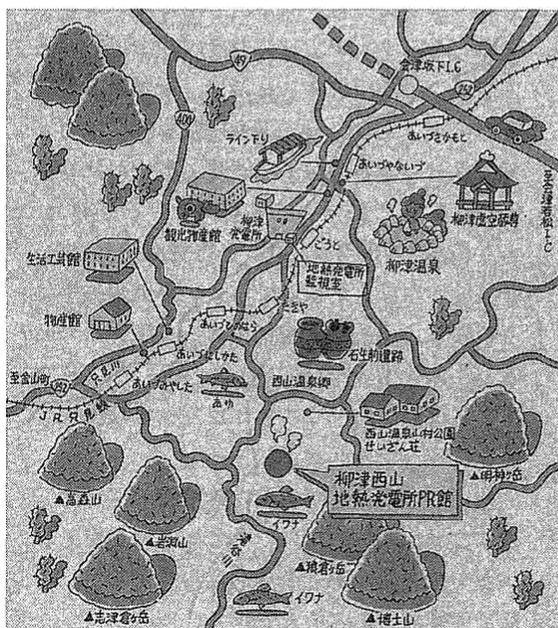
《Information》



柳津西山地熱発電所PR館

〒969-73 福島県河沼郡柳津町大字黒沢
TEL. 0241-43-2634

- 開館期間 4月～11月
- 開館時間 9：30am～4：00pm
- 休館日 毎週月曜日



別の機会にお話しさせていただくことにいたしました。ただいまはこの研究所についての私なりの所感と言いますか、自分で十分に心しなければいけないことを一言だけ申し上げたいと思います。それは山本先生にこれまで率いていただいて大変立派な業績を挙げてこられたこの研究所にとって、私のこれからの仕事は将来的に何らかのプラスとして役立つものでありたいということでありまして、この点について何と言いますか、非常に強い気持を持っております。

研究所の取組みの内容に関しましては、いろいろなエネルギー資源をどのように確保するかを一つの座標軸といたしまして、また、それらの使い方ですとか環境との調和などといったようなところを次の座標軸といたしまして、それから、もう一つの座標軸といたしますか、あるいは次元といたしましては、やはり現在から遠い未来までも含めた今後のことを、そしてまたわれわれの身近なところから世界各国、さらには地球全体までも見渡していくという、そういう三次元座標の上でこの研究所として適切なテーマを採り上げ、成果を挙げていきたいと念願しております。

皆様方は、今申し上げたような多岐にわたるエネルギーの諸課題について、総合工学にふさわしい知識とご経験のもとに、鋭意お仕事を進めておられるわけですが、今後ともご関心のところを中心に、力強くそしてまた巾広く取組んでいって頂きたいと存じます。それらの成果を通じて、これからも一層社会に貢献できますよう、また併せてこの研究所の発展が続きますよう期待しております。

私はもとより微力ではありますが、皆様からいろいろとご教示をいただき、またご注文をいただきながら、なにがしかのお役に立ちたいと、そのように思っておりますので、どうかよろしく願いいたします。

山本前理事長には今後ともご指導たまわり

ますよう、この機会に重ねてお願い申し上げます。次第です。

○吉澤 専務理事

職員を代表して、まず山本前理事長に対しまして感謝の言葉を申し述べさせていただきます。

山本前理事長におかれましては、昭和53年の当研究所設立以来、18年間にわたり当研究所運営のご指導を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。

いまや当研究所は「基盤確立の時代」から「実力強化と対外展開の時代」に移ってきていると、当研究所「第2次中期ビジョン」（平成5年3月策定。対象期間：平成5年度～9年度＝5年間）では述べています。

当研究所の発足に当たりまして、先に発足しておりました(財)日本エネルギー経済研究所との間の業務の分担の問題につきましては、(財)日本エネルギー経済研究所においてはエネルギー及び経済情勢一般を対象とされていることから、当研究所ではエネルギー技術の調査研究を行うこととされました。

また、この研究所の発足を早めるために、当時通産省で進んでおりました現在のNEDO設立の構想を1年遅らせまして、当研究所がそのエネルギー技術に関するシンクタンクとして発足する時期を与えられたと聞いています。

現在、わがエネルギー総合工学研究所とNEDOとの間におきましては、NEDOの方がエネルギー技術の直接の技術開発を行い、政策分野は当研究所に委ねるという関係になっておりますが、このような18年間にわたる(財)日本エネルギー経済研究所、当研究所及びNEDOの三者の役割分担の関係は非常にうまく運営されているものと思っております。

また、原子力分野では通産省からだけでなく科学技術庁関係機関からも研究委託を受け

ていますが、このような通産省及び科学技術庁を中心とした国の行政機関との連携関係もうまく運営されてまいりましたのは、ひとえに山本先生のお人柄及びご人徳に対する行政機関並びに電力業界、石油業界、ガス業界等エネルギー関係業界における信望と信頼が非常に深かったためであると思われま

す。また山本先生は、当研究所の運営に当たりましては、各研究員の自主性を尊重され、大学の頃の山本研究室の春風駘蕩とした雰囲気

を極力維持されたと、聞いています。お蔭をもちまして、学問の自由とエネルギー政策に関する自主独立性、それらが完全に担保されてきたことがこの研究所が大胆なエネルギー政策の提言を可能とした基盤であると考えています。

また、当研究所が、「基盤確立の時代」から「実力強化と対外展開の時代」に展開するに当たりましては、人員が増える、そして費用が増えるという情勢に合わせまして、組織運営の効率化と権限の委譲を強く指示されたところでございます。そういう意味で、業務のシステム化という見地からは、各種規程類の整備、プロジェクト試験研究部の執務マニュアルの改定など、組織としての業務運営の効率化がようやくその目処がついたというところでございます。

また、男女雇用機会均等法の施行に伴いまして、女性職員の積極的な活用をご指示になりました。お蔭をもちまして、OA化、情報化の進展に見合

ってまいりました。お蔭をもちまして、女性職員の意識の向上と戦力強化に大きな成果が得られました。このような組織運営の効率化はまことに前理事長のご指導のお蔭と深く感謝しているところでございます。

また、4月以降、理事会のご推薦により、当研究所の「顧問」としてお残りいただくことになりましたことは役職員一同にとり大変うれしく思われるところでございます。私たちの研究所の行事とか、あるいは近くまで来られた際にはぜひとも研究所にお立ち寄りいただきまして、私どもに親しく声をかけていただければ大変幸いであると思う次第でございます。長年のご指導、ご鞭撻に対して深く感謝申し上げます。どうもありがとうございました。

続きまして、秋山新理事長に対しまして歓迎の言葉を申し述べさせていただきます。

先ほどの山本前理事長のご挨拶にもありましたように、このエネルギー総合工学研究所は、昭和51年に山本先生が東京大学の名誉教授となられて以来、同じ名称の任意の研究団体として発足したわけでございますが、産・学・官出合いの場、そこにエネルギー技術の総合的なシンクタンクをつくりたい、そういう理念に燃えて参画されましたのが秋山先生ほか東京大学の多くの先生方と聞いております。私どもの研究所の設立趣意書、そして寄付行為のご執筆もなされたと伺っておりますけれども、その理想がどの程度実現できているのか、若干の食い違いもあるかと思われる次第でございます。これから先、経営基盤の強化と再建を図りまして、さらに一層社会の付託に応えていけるよう職員一同力を合わせて取り組んでまいりたいと思いますので、今後とも引き続きご指導をよろしくお願い申し上げます。

以上をもちまして秋山新理事長に対しまして歓迎の言葉といたします。どうぞよろしくお願い申し上げます。有難うございました。

◇第45回理事会

日 時：6月24日（月）12：00～13：15
場 所：経団連会館（9階）902号室
議 題：
第一号議案 平成7年度事業報告書および決算報告書（案）について

◇ 月例研究会

第135回月例研究会

日 時：4月26日（金）14：00～16：00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. 米国の電気事業をとりまく規制緩和の現状（（社）海外電力調査会 調査部 主任研究員 飯沼芳樹氏）
2. 平成8年度の電力長期計画について（中央電力協議会 開発計画部長 松本博之氏）

第136回月例研究会

日 時：5月31日（金）14：00～16：00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. 高温ガス炉とエネルギー利用の拡大（東京大学 名誉教授 安成弘氏）
2. 新水素実証技術開発の中間報告（新水素エネルギー実証研究センター長 プロジェクト試験研究部部長 副主席研究員 松井一秋）

第137回月例研究会

日 時：6月28日（金）14：00～16：00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. メタノール発電の総合評価（主任研究員 平山智之）
2. 低質燃料利用高効率発電の概要（（株）日立製作所 日立工場 IGCC 開発センター 主任技師 長崎伸男氏）

◇ 主なできごと

5月21日（火）・第4回原子炉安全数値解析高度化委員会
24日（金）・第1回石炭灰溶融燃焼評価委員会
28日（火）・第1回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究WG
6月5日（水）・第1回WE-NET全体システム概念設計-安全対策・評価技術委員会

12日（水）・第1回高温ガス炉プラント研究会
20日（木）・第1回石油活用型スーパーごみ発電システムの普及促進に係るモデル調査委員会
21日（金）・第2回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究WG
25日（火）・第1回ガソリン低ベンゼン化技術調査委員会

◇ 人事異動

○4月26日付（昇任）
山口 健一 プロジェクト試験研究部 主任研究員
○6月25日付（出向解除）
藤間 健一（プロジェクト試験研究部長 副主席研究員）
（採用）
竹内 章悟 プロジェクト試験研究部長 兼企画部長 副主席研究員
浜谷 正忠 副主席研究員（海外調査担当）
○6月25日付（委嘱）
稲葉 裕俊 研究顧問
○6月27日付（退任）
吉澤 均（専務理事）
（出向解除）
寺崎 太二郎（プロジェクト試験研究部 主管研究員）
高瀬 哲（プロジェクト試験研究部 主任研究員）
（採用）
兼子 弘 プロジェクト試験研究部 主管研究員
田中 良昌 プロジェクト試験研究部 主任研究員
○6月30日付（出向解除）
本多 敏郎（経理部長）
藤倉 明（プロジェクト試験研究部 主管研究員）
土田 達（プロジェクト試験研究部 主任研究員）
○7月1日付（採用）
山下 高志 経理部長
眞弓 正美 プロジェクト試験研究部 主管研究員

編集後記

本号冒頭の新旧理事長のご挨拶は、お二人がそれぞれ歩まれた経緯と立場に照らして、過去を思いまた今後活動の方向性を述べてあり、いわば当所の過去と将来展望の凝縮版ともいえるものではないかと思う。本号末尾の「研究所のうごき」に掲載した所内挨拶と併せて読んで頂ければ、更に理解を深めて頂けるのではないかと考える。

本号は、当所の研究活動紹介に力点をおき、その執筆は全て所内関係者によることとした。その中でも異色ものが、藤間前企画部長の「「インデネカ文明」のルーツを求めて」である。執筆依頼時同氏が近々当所から移られることが判っていたので、去るにあたって何か当所へ残す言葉があれば一言とお願いしたところから出されたものであるが、このように豊富な話題を持っておられたのならもっと当所在任中依頼しておけばよかったと後悔するとともに、今後所内の隠れた才能発掘の必要を肝に銘じた次第である。

おそらく読者の方々への一服の清涼剤となったと思われる挿し絵は、筆者のご指名があり、当所の坂口弘子嬢に描いて貰った。万事に控え目な彼女は、誌上の匿名を強く希望したが、本欄での披露に辛うじて承知が出たので、ここに記した。

調査研究報告としては、平山主任研究員の「メタノール発電技術の総合評価—天然ガス利用の第2サイクルとして」と山口主任研究員と筆者の共同報告となった「廃棄物発電高効率化技術の検討」を掲載した。ともに最近話題のテーマであり、成果の概要を広く紹介することは意義あると考えまとめて貰った。

海外出張報告を含む技術紹介・技術解説としては、化石グループから片山部長に「重質油の処理技術」、さらに原子力グループから川野主管研究員の「欧州主要国における原子炉

廃止措置の状況」と和達専門役の「原子力における放射性廃棄物処分について」をまとめて貰った。それぞれ、丁寧に過去から現在にいたる技術の流れあるいは海外における当該テーマへの取り組み状況が報告されている。いずれも、現在重要なテーマであり関係者においては興味をもって読んで頂けるものと考ええる。また、本号より蓮池部長補佐の「クリーンエネルギー自動車レポート」を連載することとした。同氏のクリーン自動車への思い入れの一端を熱く、判りやすく語って貰おうと企画した次第である。

本号の女性訪問記は、地熱発電所を選んだ。地熱に関しては、本年(3月)は我が国の地熱発電総出力が50万kWを突破した記念すべき年になっており、これからの歩みが注目されている。この際、もっと一般の方に親しんで頂こうと国内の地熱発電単機出力としては最大の規模を誇る東北電力(株)柳津西山地熱発電所を選び訪問したものである。「・・自然の恵みを無駄なく利用した優秀な新エネルギーなので」と簡単な言葉で紹介しているが、現地を訪れた上での表現でもあり頼もしく感じられた。

過日開催(7月8日於ジュネーブ)の「気候変動枠組み条約」第2回締約国会議(COP2)では、先進国に対して法的拘束力を有する温室効果ガス削減目標を設定する旨の閣僚宣言が採択された。これから更に地球温暖化対策の論議が活発化すると思われるが、各種新エネルギーは例え規模は小さくとも集合したらその効果は大きく、今後益々その実用化拡大が期待される所となろう。ささやかながら、当誌がその普及と啓蒙の観点からもお役に立てればと思う次第である。

編集責任者 小川紀一郎 記

季報エネルギー総合工学 第19巻第2号

平成8年7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S Y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