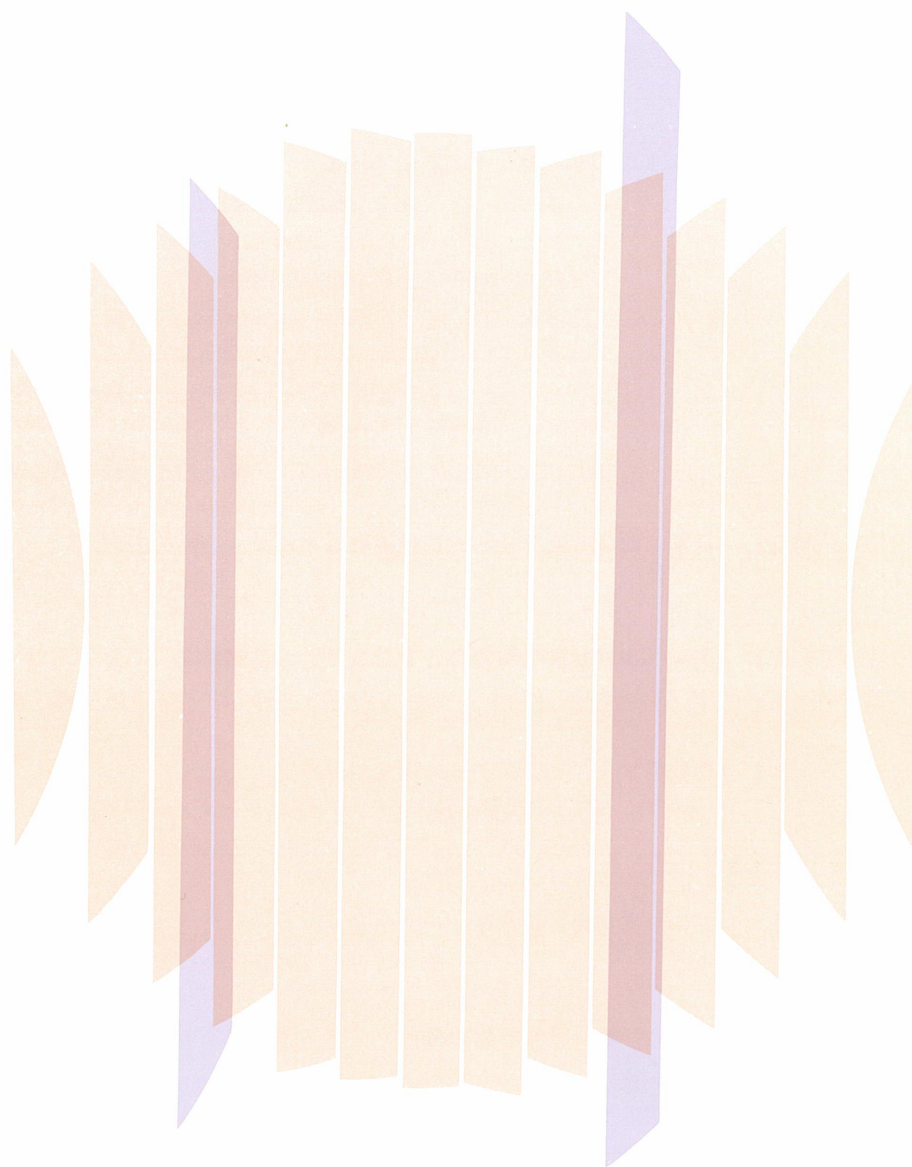


季報 エネルギー総合工学

Vol. 23 No. 1 2000. 4.



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

目 次

【巻頭言】	エネルギー市場の自由化に思う (財)日本エネルギー経済研究所 理事長 坂 本 吉 弘… 1
【座談会】	水素エネルギー時代への展望を語る 東京工業大学 工学部 教授 岡 崎 健 通商産業省 工業技術院 研究開発官 増 田 勝 彦 新エネルギー・産業技術総合開発機構 水素・アルコール・バイオマス技術開発室長 徳 下 善 孝 (財)エンジニアリング振興協会 研究理事 WE-NET推進室長 岡 野 一 清 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 WE-NETセンター プロジェクトマネージャー 福 田 健 三… 2
【内外技術紹介】	日本における廃棄物処理新技術とエネルギー利用の方向 東京都立大学 名誉教授 平 山 直 道…22
【内外情勢紹介】	高レベル放射性廃棄物処分を巡る最近の国際動向 副主席研究員 河 本 治 巳…34
【調査研究報告】	産業用MFCシステムの環境影響評価 —CO ₂ , SO _x , NO _x 排出量のライフサイクルアセスメント的分析— 主任研究員 鈴 木 昭 男…52
【技術解説】	プロセス開発とシミュレーター プロジェクト試験研究部 部長 片 山 優久雄…63
【事業計画】	平成12年度 事業計画の概要 (財)エネルギー総合工学研究所…74
【行事案内】	第17回エネルギー総合工学シンポジウム……………78
【研究所のうごき】	……………79
【第22巻通巻目次】	……………81
【編集後記】	……………85

巻頭言

エネルギー市場の自由化に思う

(財)日本エネルギー経済研究所

理事長 坂本 吉 弘



今年3月から電力、ガスの小売市場自由化が始まった。石油については既に自由化が進捗し、石油業法の廃止さえ議論されている。永らく「公益」の名の下に国が市場における事業者間の利益を予め調整する「護送船団方式」が終わろうとしている。

“ビッグバン”が最終段階にきた金融、証券界では、予想を越えた企業構造の大変化が生じている。情報通信の分野でも、接続料金のレベルの是非をつうじてこの産業分野の構造のあり方が内外で問われている。

一般論として市場に競争原理を導入することに誰も異論はない。しかし、現実の競争市場は「神の見えざる手」に導かれて均衡が得られるほどナイーブなものではない。現実には市場に参加するプレイヤーの力と力がぶつかりあうパワーゲームのフィールドであり、時に修羅場となる。また忘れてならないことは、たとえグローバルイズされた国際市場でも企業には明確に国籍がついてまわるということである。この修羅場で生き残る企業を持った国が今度は国際経済秩序の形成に際して発言権を持ち、イニシャティヴを取る。ここも国力と国力のパワーゲームとなる。どの国も1つの業種分野に1つでいいから国際競争力のある企業を持とうとしている所以のものである。

もうひとつ大切な点は自由な競争を行う市場には、常に公正な競争が担保されるメカニズムがなければならないということである。アメリカが徹底した自由競争原理を導入できるのは、一方で厳格な独占禁止法が存在し、また独占企業に対して果敢に斗かう強い司法省反トラスト局が存在するからである。永い歴史もある。アメリカは不公正な弱肉強食を容認する社会ではない。そのような制度的セイフティネットワークが弱いところで不用意に完全競争を導入すれば、社会的公正が破壊される。市場に公正さを維持するメカニズムが制度的に保証されなければならない。

エネルギー産業を自由化するにあたり留意しなければならない大切な二つの観点である。

水素エネルギー時代への展望を語る

岡 崎 健 (東京工業大学 工学部 教授)

増 田 勝 彦 (通商産業省 工業技術院 研究開発官)

徳 下 善 孝 (新エネルギー・産業技術総合開発機構
水素・アルコール・バイオマス技術開発室長)

岡 野 一 清 ((財)エンジニアリング振興協会
研究理事 WE-NET推進室長)

司会

福 田 健 三 ((財)エネルギー総合工学研究所
WE-NETセンター プロジェクトマネージャー)



はじめに

司会 はじめに、本日の座談会の趣旨を申し上げますと、地球環境問題からはCOP3 (地球温暖化防止京都会議) の国際公約により二酸化炭素(CO₂) 排出削減への対応が求められており、また「ミレニアムプロジェクト」がトリガーになって作動温度が80℃の高分子膜を使ったPEFC (固体高分子型燃料電池) 実用化に向けた研究開発プロジェクト再編の動きがあります。

そのような中で、水素エネルギーの重要性はますます高まり、ニューサンシャイン計画の「WE-NET (水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術)」プロジェクトも、昨年、第II期がスタートしました。

そこで、本日は関係者にお集まりいただき、水素エネルギーの将来展望について語っていただくという企画であります。

水素エネルギー技術開発の動向

WE-NET第Ⅱ期計画への移行

F Sから技術開発中心に

司会 わが国の水素エネルギー技術研究開発の現況紹介ということで、最初に、増田開発官よりWE-NETプロジェクト第Ⅱ期計画の概要を説明願います。

増田 近年、地球温暖化対策の重要性が認識され、CO₂をまったく排出しない水素が、将来の燃料として脚光を浴びています。

工業技術院のニューサンシャイン計画では、現在の動きに先駆けること6年、再生可能エネルギーにより製造する水素を軸とした、グローバルなエネルギーの製造、輸送、利用を行う水素社会の夢を描き（図1参照）、



岡崎 健氏
(東京工業大学 工学部)
(教授)

WE-NETプロジェクトの第Ⅰ期計画として平成5年度から10年度まで、実現に必要な要素技術の研究開発と、水素導入のグランドデザインのいわばフィージビリティスタディを実施しました。

エネルギーを取り巻く情勢は、第Ⅰ期開始

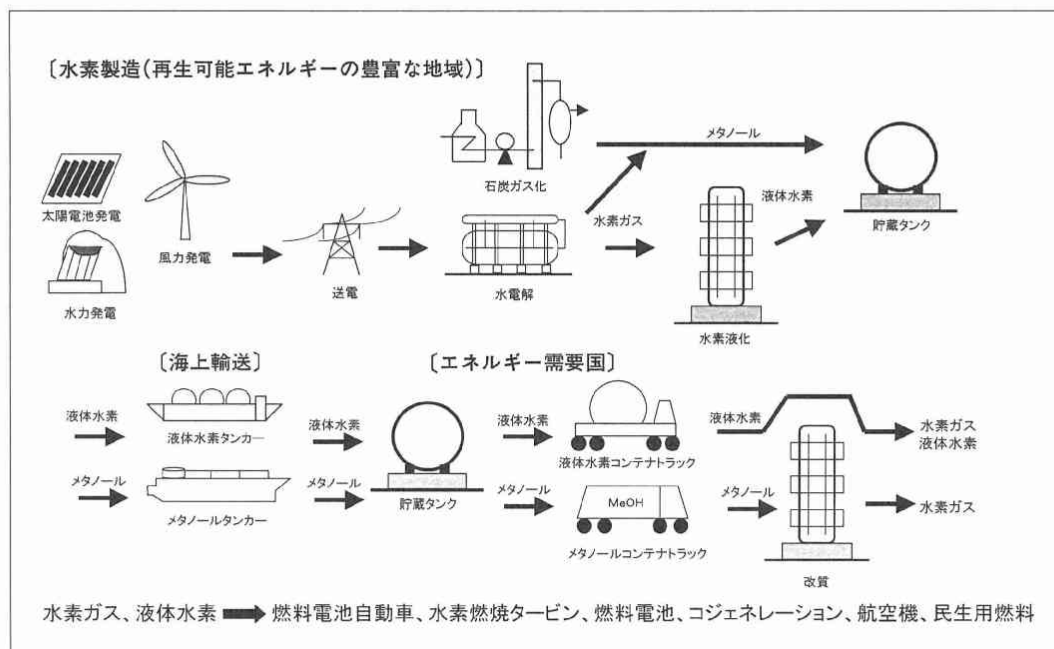


図1 WE-NETシステムの概念

表 1 WE-NET計画第Ⅰ期と第Ⅱ期の研究開発テーマ

WE-NET第Ⅰ期	WE-NET第Ⅱ期
(1)全体システム ①概念設計 ②安全対策・評価技術 ③その他（導入効果推定，国際協力） (2)水素製造技術（PEM*水電解） (3)水素輸送貯蔵技術 ①大量輸送・貯蔵技術（液体水素） ②分散輸送・貯蔵技術（合金） (4)水素利用技術 ①水素燃焼タービン ②その他利用技術（調査） (5)革新的・先導的技術	(1)水素利用技術 ①動力発生技術（水素ディーゼルコジェネ） ②水素自動車システム ③純水素燃料電池 ④水素供給ステーション (2)水素製造技術（PEM水電解） (3)水素輸送・貯蔵技術 ①液体水素輸送・貯蔵技術 ②低温材料 (4)分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金 (5)革新的・先導的技術 (6)システム評価 ①システム評価 ②安全対策
—	CO ₂ 回収対応型クロズドタービン 研究開発第Ⅰ期

* PEM：水素イオン交換膜

時の平成5年から現在までに大きく変化しています。水素エネルギーについても，当時はまだ「夢」のエネルギーであった段階から，現在は近い将来「現実」の世界に間違いなく入り込んでくる段階にきています。

平成11年度から始まったWE-NET第Ⅱ期計画ではこうした状況変化を踏まえて，第Ⅰ期のフィージビリティスタディ（FS）の段階から技術開発中心にシフトしています。表1は第Ⅰ期と第Ⅱ期の研究開発テーマの比較を，表2は第Ⅱ期の各研究項目の目標を示したものです。

また，第Ⅰ期から第Ⅱ期への移行に際しては，産業技術審議会評価部会に設置された水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発評価委員会による外部評価を受けました。第Ⅱ期計画ではこの評価委員会の提言を大きく取り入れております。

燃料電池自動車が牽引する

水素エネルギー利用

司会 WE-NETの展開は，今のお話のとおりですが，水素エネルギー利用技術の開発は，やはり水素燃料電池自動車の開発がトリガーになり，全体を引っ張っている状況かと思います。この辺りの全体像について簡単に紹介していただけますでしょうか。

岡野 最近，水素燃料電池自動車への期待は，過熱気味とも言えるほど高まっています。もっと冷静に見るべきでしょうが，確かに各国でその技術が著しく進んできています。

燃料電池自動車の燃料は，純水素，メタノール，ガソリンの3つに可能性が考えられますが，それぞれに一長一短があります。燃料源の多様化が叫ばれる中で何にするかは，それぞれの短所が今後の技術開発によりどれだけ改善できるかによって自動車メーカーが決めることになるでしょう。1996年以降，世界では純水素車とメタノール車を合わせて約25

表2 WE-NET第Ⅱ期研究開発項目および目標

研究開発項目	第Ⅱ期の目標	(参考) 最終的な目標【実用化時期】
(1)水素利用技術 ①動力発生技術	水素ディーゼルエンジン(100kW級単筒機)技術の確立	水素ディーゼルエンジン(600kW級システム) 送電端効率(HHV基準):約45% 総合効率(HHV基準):85%以上【中期】
②水素自動車システム	・燃料系システムの要素技術開発 ・供給ステーションと組み合わせて技術実証	同左【短期】
③純水素供給固体高分子型燃料電池	定置用30~50kW燃料電池 送電端効率:約45%(HHV基準)(LHV基準で約50%)	同左【短期】
④水素供給ステーション	供給能力:30Nm ³ /h (実用規模はこの10倍)	300Nm ³ /h【短期】
(2)水素製造技術	・水素供給ステーション(電極面積1000cm ² ,積層型)への応用 ・積層化電解槽 電極面積:2500cm ² 電流密度:1A/cm ² 効率:90%以上	同左【短期】 ・積層化電解槽 電極面積:10000cm ² 以上 電流密度:1~3A/cm ² 効率:90%以上【長期】
(3)水素輸送・貯蔵技術 ①液体水素輸送・貯蔵技術	(第Ⅱ期での内容) 要素技術開発	液体水素輸送・貯蔵技術の確立【長期】
②低温材料	(第Ⅱ期での内容) 低温材料データベースの拡充等	低温材料の開発【長期】
(4)水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金	有効水素吸蔵量:3重量% 放出温度:100℃以下 5000サイクル時の性能が初期の90%以上	同左【短期】
(5)革新的・先導的技術	(第Ⅱ期での内容) 革新的・先導的水素製造,輸送・貯蔵,利用技術の調査	
(6)システム研究 ①システム評価	(第Ⅱ期での内容) 水素導入戦略の検討	
②安全対策	(第Ⅱ期での内容) 安全評価手法の確立	

注) <実用化時期>:本研究開発において「最終的な目標」を達成した研究開発成果の実用化が期待される時期

<短期>:2010年頃までに成果の実用化が期待できるもの

<中期>:2010年~2020年頃の間に成果の実用化が期待できるもの

<長期>:2020年~2030年頃の間に成果の実用化が期待できるもの

種類の試作車が開発され発表されています

(参考 図2.1996年にトヨタ自動車が発表した燃料電池自動車)。しかし,燃料選択の結論

はまだ出てはいません。

海外では,試作実験車の開発だけでなく,水素燃料電池車を市内で実用する実証プロジ

エクトが増えてきています。ただし、圧縮水素を搭載した燃料電池車や水素エンジン車は走行距離が長くない、バスで250km程度、バン・小型車で200km以下が現状ですので、その範囲内で実用上問題ない用途に限り、一部実用化が始まっているところです。

海外における水素の実証プロジェクトの顕著な動向は、燃料電池バスと水素エンジンバスの導入です。燃料電池バスは、シカゴ、バンクーバー、ドイツのオーベルストドルフの3都市で既に市バスに使われており、今年中にはドイツのベルリン、エルランゲン、アメリカのパームスプリングス、サンフランシスコ、ペイリエリヤなど7都市に広がります。

さらに北欧、中南米にも広がる気運が出ています。

このような公共バスによる燃料電池車の導入は、都市の環境政策の一環として可能であり、また水素供給ステーションの数もさほど必要とせず建設が比較的容易ですので、小型

車も含めた、燃料電池車全体の市場導入の先導的な役割を果たす意味で、極めて重要と思います。

バス以外のややトピック的なプロジェクトとして、昨年末からロンドンで水素燃料電池のバンが公園管理用の実用車に使い始められており、ことしは郵便局、スーパーマーケットでも使用されます。アメリカでは、燃料電池車50台を使う、カリフォルニア・フューエル・セル・パートナーシップというプロジェクトが今秋からサクラメントを中心としてスタートします。心配されていた水素供給ステーションも、既に世界で10カ所ぐらい、来年には20カ所近くに増える予定です。

このような世界的動向の中で、日本がやや遅れているのが気掛りです。

増田 わが国でも、WE-NETにおける研究開発の短期目標としましては、自動車という切り口が中心です。



出所：トヨタ自動車資料

図2 燃料電池自動車の一例

一長一短ある車への水素搭載方式

WE-NETが進める水素吸蔵合金

司会 海外における燃料電池自動車の導入状況紹介の中で、燃料選択は未だ結論が出されていないとの話がありました。

そのため、WE-NETでは燃料電池自動車への燃料搭載は、水素ガスを多量に吸い込み、また必要に応じて取り出すことができる水素吸蔵合金による方式を想定して、関連技術の開発を進めています。

WE-NET第II期では、水素吸蔵合金の有効水素吸蔵量が3重量%、水素放出温度100℃以下を目標に新合金開発を進めています。それを含めて、水素貯蔵技術の最近の状況をお願いします。

岡野 燃料電池自動車に水素をどういう形で搭載するかは大きな問題でして、実用化の成否を握っていると思います。現在、世界で開発中の方法は、大別して4種類です。

1つは、一番簡便な圧縮水素ボンベによる搭載です。実用化が容易なので、世界で5種類の車が実用に供されています。しかし、水素の搭載量が少なく走行距離が制限されますので、海外では現状25メガパスカル(約250気圧)の基準圧力を35メガパスカル(約350気圧)に上げて、搭載量すなわち走行距離の増大を図る動きがあり、それができれば圧縮水素ボンベ方式はかなり有望になる可能性があります。

2つ目は、ヨーロッパで今盛んに行われている液体水素搭載です。これは、エネルギー密度が高く、長距離走行が可能という大きなメリットがある一方、 -253°C の液体水素を取り扱う上でボイルオフガスの処理とか、液体水素をつくる時に要する電力エネルギーとか

の問題があるわけです。ですけど、長距離走行のニーズが強く、液体水素に対するアレルギーが少ないヨーロッパでは、意外と早く実用化される可能性があると思います。

3つ目がWE-NETの水素吸蔵合金。安全性からいえば、最も理想的な貯蔵形態でして、特にわが国のような国情には合っていると思いますが、吸蔵量がいかにせん少なく、差あって現状の1.5倍ぐらいに増やさないと、搭載量不足の問題があります。しかし、少しずつ研究成果が出つつあり、3重量%の目標が必ずしも夢ではない見通しです。

4つ目の方法は、最近出てきているナトリウム化合物などの化学的水素化物で、水と反応させて車上で水素をつくる技術です。アメリカやわが国でも研究が行われています。

このように、多くの方法がありますが、いまだに決め手になるものはありません。我々としては、水素吸蔵合金に期待しています。先のこととしては、カーボンナノチューブなどの炭素系の吸蔵材料の研究が開始されています。

水素の搭載方法にはそれぞれ一長一短があり、1つで万能の方式はなく、最終的には車の用途に応じた使い分けになると思います。

司会 第II期では、水素エネルギーの導入を目指し、最終段階で水素自動車の公道走行試験が組まれています。わが国の場合、乗用車が主体にならざるを得なかったのですが、世界の動向から見て、別のオプションもあるように思うのですがいかがでしょうか。

岡野 デモンストレーションをやるとき、なにが一番やりやすいか、効果があるかということを考える必要があります。

一般大衆が購入する小型車は、自動車メーカーが死活をかけて開発を進めております



増田 勝彦氏
(通商産業省 工業技術院)
研究開発官

が、普及するにはまだ時間がかかると思います。水素自動車が一番早く市場導入され、かつ市民の啓蒙に役に立つのは、やはり公共機関で使われるバスだと思います。

海外の状況を見ますと、バスの開発とそのデモンストレーションに関しては、民間企業だけではなく国や州政府の環境管理部門と一緒にプロジェクトを実施しており、特にアメリカではDOE（エネルギー省）と、カリフォルニアのCARB（大気資源局）のような環境管理機構が、必ずペアになって推進しています。日本の場合は、導入の先導となるバスの開発が行われておらず、残念です。もっとも、アメリカでも、バスは開発費をかけて開発しても乗用車ほど量産されませんし、採算見込みが悪いことから、バス会社が自から進んではやっているわけではなく、政府が中心となっています。

このような状況を見ますと、わが国にとってもバスやゴミ収集車など公共性の高い車両のデモンストレーションを将来やれるとよいと思います。

各国政府レベルによる

水素エネルギー導入策

司会 世界では燃料電池自動車を牽引車にして、かなり多面的な展開が行われていますが、その中で、州政府も含めた政府レベルでの取り組みはどういう状況でしょうか。

徳下 国レベルでの取組で一番の話題は、アイスランドでしょう。自国の再生可能エネルギーを、水素を使って輸出商品にしたいということで、ヨーロッパのシェルを含めていくつかの企業が参画してやっており、私どもも大きな関心を持って見えています。

ドイツでは、連邦政府よりむしろバイエルン州などの州政府が活動に熱心です。例えば、先ほど岡野さんから話もありましたが、それ以外にもミュンヘン空港水素プロジェクトでは、水素供給ステーション、空港内でのバス、構内用の自動車などに、BMW、マンなどの企業が参画し、州政府の補助金をもらいながら、実用化に向けての実証試験などをやってきており、先日には、グイムラーも参加という情報も入ってきています。ドイツはこういう面では非常に熱心です。

アメリカの場合は、特にカリフォルニアで、先ほど話が出ました燃料電池パートナーシップのプロジェクトとか、ゼロエミッション・ピークル・プログラムともいえるPNGV（新世代自動車共同開発計画）を進めており、グリーン自動車の導入の一環で燃料電池自動車のプログラムを進めています。

カナダ自身は豊富な水力資源がある一方で、送電システムの安定性に若干の問題もあり、水素をエネルギーキャリアとして利用する新たな形も考えているようです。

フランス、イギリスも、それぞれ独自な形で進めています。欧州全体で“Car of Tomorrowプロジェクト”として、クリーン自動車の導入のための研究開発、普及事業等を実施しています。

司会 このように各国では、州政府レベルも含めて、政府支援のいろいろなプロジェクトが進んでいます。わが国の場合、WE-NETがありますが、水素エネルギーに対する政府政策の中での位置づけについてお願いします。

増田 政府は、いま、科学技術会議のもとで策定された「科学技術基本計画」の見直しを進めています。通産省では、その一環として、2010年を1つのターゲットに、さらにそれ以降も含めた「産業技術戦略」を作成しました。

その中では、重要技術課題として「水素エネルギー技術」が明示されています。しかし、技術開発段階以降の導入・普及対策の検討はこれからです。

通産省は、WE-NET以外にも様々な技術開発を既に進めており、あるいは始めようとしていて、今度の「ミレニアムプロジェクト」の中でも「燃料電池普及整備基盤事業」の計画があります。

水素エネルギー技術開発の特徴と課題

トータルで考えなければならない

水素の環境寄与

司会 次に、最近の水素エネルギー技術開発に関する特徴点、問題点をお話ししていただき、その後、若干のディスカッションをしたいと思います。

岡崎 水素は、化学エネルギーとして極めてユニークな性質があります。使い方による環境影響への差異をはっきりさせないまま、クリーンのイメージだけが一人歩きしている感があります。そういう意味で、水素エネルギーの技術開発を考えると、利用体系の中で水素エネルギーの位置づけをまず明確にしておく必要があります。「水素はクリーンなエネルギー源ですか」とよく聞かれる質問には、「状況によって評価は違います」と答えざるを得ません。「水素は燃えたら水になるからクリーンです」と、こういう単純なイメージでは決してありません。

水素は、2次エネルギーという視点が大切です。ということは、つくるときの1次エネルギーから考えたトータルで、従来以上に高効率なのかを議論しなければいけません。例えば、ガソリン燃料エンジン自動車を1次エネルギーから考えますと、トータルの効率では13%程度です。話題の燃料電池自動車の場合には、水素の固体高分子燃料電池の効率を50%ぐらいとしますと、トータルの効率は30数%で、燃費3倍が実現します。それでも30数%なのです。燃料電池が自動車の場合にこれほどホットになるのは、現在の自動車の効率が低いからなのです。

定置型発電装置としての燃料電池の総合効率が30%程度でしたら、CO₂削減の意味は出てきません。しかし、小型分散型利用ではコジェネと結びつけて、エネルギー利用率を上げた使い方が可能となり、水素を利用した地球環境保全への寄与が出て来ます。自然エネルギーで水素をつくれればいいと思われがちですが、当面は量的寄与はあまり期待できません。

このように、どのような視点で考えるかによって、水素利用の意味が大きく変わること理解しておく必要があります。

1つの町、村、島をきれいにするのであれば、ほかの所でつくった水素で自動車を走らせれば、その土地はきれいに、すなわちローカルクリーンにはなります。しかし、CO₂問題はグローバルな量の問題ですから、水素をつくるときからの正味の効率アップがなければなりません。

しからは、水素の製造に再生可能エネルギーを使えばいいとなりますが、量的寄与の有無が問題です。グローバルな量が問題で、再生可能エネルギーは、わが国の現状ですと、1次供給エネルギーのうちの1.1%、太陽光発電ですと、そのまた500分の1ぐらいです。現状の100倍になったとしても%のオーダーにいきません。これは再生可能エネルギーを否定するのではなく、極めて重要だという前提の上で、地球環境問題に関する水素の意義を考えると、やはり量的な寄与を正しく捉えておくことが重要ということなのです。

燃料電池自動車がホットな話題である大きな理由は、わが国のCO₂排出量のうち約20%が自動車起源で、大きな割合を占めていることです。もし効率が倍になりますと、10%の削減になり、大きな量的寄与が期待できるからです。

反面、水素エネルギーの開発では、岡野さんも言われましたが、燃料電池自動車だけが過熱して一人歩きし、あたかも水素利用技術のすべてのような印象を与えている面がありますが、WE-NETの当初に議論されたように、水素を使うからこそ総合的な高効率化が可能となるシステムを考えることが重要で

す。このような例はほかにもあるわけです。

いずれにせよ、水素の利用は、小型分散移動型である燃料電池自動車によりまず市場導入がなされると思いますが、大型集中定置型で水素を大量利用する水素燃焼タービンが、長期的な水素利用技術として大事なことを申し上げておきたいと思います。

徳下 WE-NETの研究開発では、当初、水素は再生可能な水力資源などからつくることを考えていましたが、最近の燃料電池自動車の開発では、天然ガスや石油系燃料の改質水素を利用する方向も進めていただければと考えています。そこでは、全体システムの絵姿が必ずしもまとまっていないようで、CO₂排出量やエネルギー効率といったLCA（ライフサイクルアセスメント）の検討・評価が少ないようです。コストに次いで検討すべき課題であり、熱心に研究されている方もいますので、WE-NETの作業と連係をとりながら進めていただければ幸いです。

燃料電池自動車は、やはり今日の社会の要請にかなったものであり、インフラ整備を含め、技術開発の速やかな推進が重要と思っています。

WE-NETの第Ⅱ期

水素社会への段階的移行の第一歩

増田 WE-NET第Ⅱ期の特徴は、前述の表2にありますように、水素の分散型利用で短期間に実用可能な技術の開発に重点を移行しています。水素の大量製造、大量輸送・貯蔵、大量利用に関する技術は、長期的課題といたしました。水素の大量集中使用の形をとる水素燃焼タービンの実用化には、水素供給のインフラ整備が海外を含めて必要になります

が、それには数10年程度の年月がかかります。

また、水素が使われていない今日の社会から、一足飛びに水素社会への移行は考えられません。水素が燃料として社会に浸透していく過程は、例えば工場からの副生水素や天然ガスを改質した水素を利用した、燃料電池を始めとした分散型電源から始まると思われます。多地点で独立に水素が使われ、それが面的に広がり、徐々に社会に浸透したあとの必然的結果として水素の大量供給体制の基盤が整うことにより、真の水素エネルギー社会に移行していくものと考えられます。

第II期計画をご覧になれば、このようなシナリオの下での計画であることがわかりいただけたと思います。

徳下 WE-NET第I期、6年間の成果の特徴を挙げますと、1つが水素燃焼タービンの技術開発において、将来の水素エネルギー社会につなぐ端緒の技術開発をなしたこと。2つ目には国内に水素エネルギーに関する技術的基盤が整理され、いくつかのシナリオ分析により議論を喚起するベースをつくったこと。3つ目が、高い国際的評価を博したことであります。

その意味で、WE-NET第II期では水素エネルギーの導入、普及へ一層の足掛かりをつかみたいと思っています。

岡野 水素エネルギー導入の初期には、1次エネルギーに化石燃料を使うにしても、とにかく実績をつくっていくことが必要と考えます。一般にメタノールとか、天然ガスからの水素を当面使用することが考えられていますが、いつまでもその体制のままで進めるのは問題で、究極的にはクリーンな水素の使用に向けて努力をする必要があります。まさに



徳下 善孝氏

(新エネルギー・産業技術総合開発機構
水素・アルコール・バイオマス技術開発室長)

WE-NETの思想で、これを忘れてはいけないと思います。

水素燃焼タービン技術開発の今後のあり方

ニーズを先取りする研究開発

実現させたい水素燃焼タービン

司会 水素燃焼タービンは、水素の特徴をうまく使った技術で、WE-NET第I期の大きな成果との話がありました。その扱いが、第II期ではCO₂回収対応型クローズドタービン(以下、CO₂タービン)の開発に移行する展開になっています。その辺の経緯、今後の技術開発のあり方について伺いたいのですが。

増田 WE-NET第I期で進めてきました水素燃焼タービン要素技術の研究成果を基にして、燃料は水素から入手が容易な天然ガスに切り替え、クローズドサイクル、純酸素燃焼などの基本コンセプトはそのまま引き継ぐ形で、平成11年度より、CO₂タービンの研究開発

をWE-NETとは別プロジェクトとして着手しております。基本的には、将来はこのCO₂タービンで得た研究開発成果を水素燃焼タービンに生かしていくことを考えています。(図3参照)

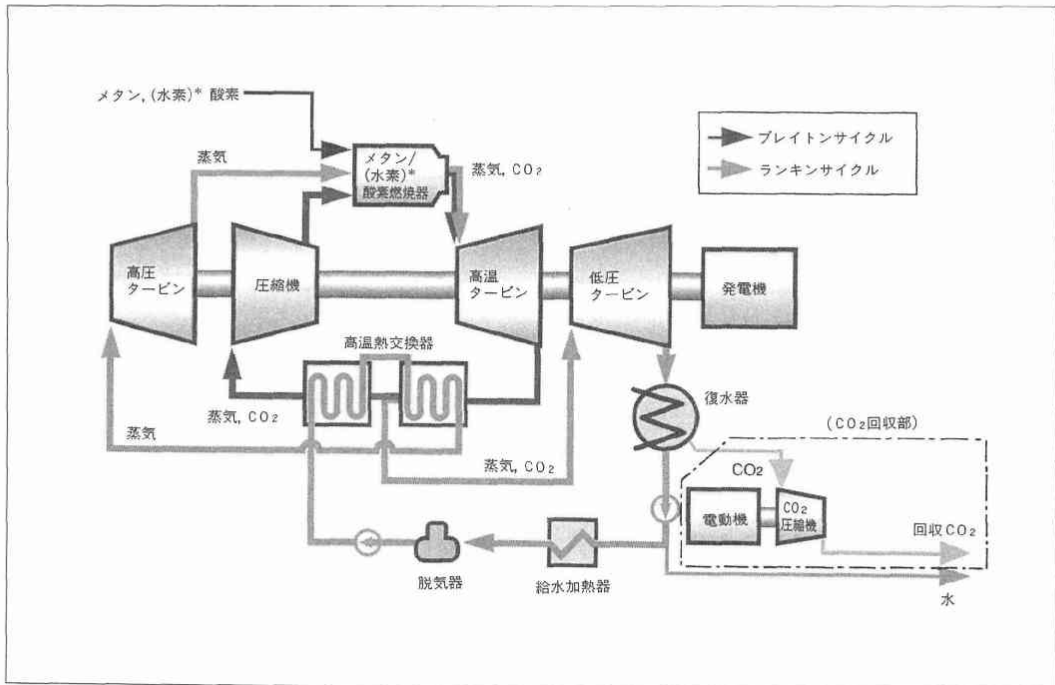
そこで、水素燃焼タービンの研究開発を中断してCO₂タービンへ移行した理由をお話します。

1つは、COP3対応が政府のエネルギー政策の最優先課題になっており、2010年までに実現させるためです。水素燃焼タービンに使用する大量の水素が入手可能になる時期は、水素供給基盤の制約から最大限の努力をしても2030年から40年ごろと見込まれ、2010年には実現困難と考えられます。一方、CO₂タービンでは燃料が現在でも出回っている天然ガス

なので、早期に実用化することができます。

第2には、CO₂タービンのシステムには、純酸素—天然ガス燃焼制御、非凝縮ガスを含む水蒸気凝縮器など、天然ガスを燃料とすることによる独特の開発要素はありますが、タービン翼冷却技術、遮熱コーティング(Thermal Barrier Coating, TBC)技術、クローズドシステムの成立性の検証など、このCO₂タービンで研究開発する技術の水素燃焼タービンの開発に引き継いでいけるためです。(図4参照)

司会 第I期における水素燃焼タービンの開発成果は世界的に評価され、WE-NETプロジェクトがブエノスアイレスで開催され第12回世界水素エネルギー会議において国際水素エネルギー学会賞を受賞する元になりました。



注：(水素)*は水素燃焼タービンのとき

出所：NEDO資料

図3 CO₂回収対応クローズド型高効率ガスタービン

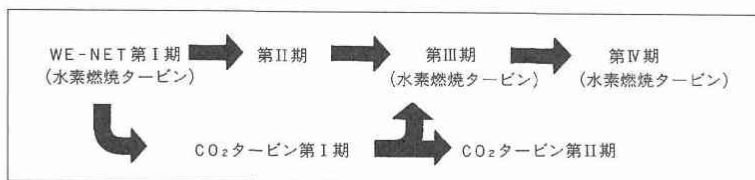


図4 水素燃焼タービンとCO₂回収クローズドタービンの研究構想

このような水準にまできているWE-NETの基本コンセプト、それに第I期で上げた要素技術開発の成果も、できるだけ早期にWE-NETの研究開発の中に戻し、水素燃焼タービンの完成までやってみたい気がします。

岡崎 第I期の成果を早期に本来のWE-NETに結びつけたいということ以上に、第II期中断があっても、第I期でせっかく挙げた成果を忘れることなく持続してほしいことです。

水蒸気雰囲気下での水素－酸素安定燃焼、生成ガス中の非凝縮ガス、つまり残留酸素あるいは水素の低減などの技術について得られた成果を、忘れないようにすることが重要だと思います。

徳下 プロジェクトとしては水素燃焼タービンからCO₂タービンに実質変更になったわけですが、WE-NETが指向する社会は当然ながら水素燃焼タービンを必要としています。そして、WE-NETが世界水素エネルギー会議より賞をいただいたのは、水素燃焼タービンの研究成果とその世界的貢献への期待の高さからであり、この水素燃焼タービン技術は、ひとりWE-NETの誇りにとどまらず、日本の誇りです。この実現を図るためのドライビングフォースといいますか、決定要因は、社会が必要とする水素エネルギーの姿にあります。技術開発は、本来、社会のニーズに合致したものであらねばならず、それにはニーズ

のあと追いでなく、先取りが求められます。

司会 燃料電池自動車をトリガーにして、水素利用を燃料電池が先導しているという話ですが、過熱の言葉がありましたようにあまりに強過ぎますと、発電技術すなわち燃料電池と受け取られかねません。燃料電池の導入が始まる段階で、大容量のタービン技術の存在や重要性が忘れられるような状況にならないかと危惧していますが。

岡野 タービンは、大量の水素エネルギーを使って発電をする唯一の大容量発電装置です。燃料電池は、確かに数多くつくればある程度のパワーにはなりますけれども、普及するものはただか数1000kW程度かそれ以下のユニットです。将来の電力需要を賄うという意味では、集中発電用数10万kW級の大容量のタービンと、分散発電用燃料電池の双方を適所に配置して、電源の多様化を図ることが必要だと思います。そうすることにより、水素エネルギーを発電分野において極めて有効に利用することができると思います。

実用化への課題

水素の特徴を生かした利用に向けて

司会 水素エネルギーの実用化のために克服

すべきバリア、課題、問題についてのお考えを伺いたいと思います。

岡崎 水素エネルギー実用化のために解決すべき課題は、利用サイドと供給サイドとに分けられます。

利用サイドでは、まず固体高分子燃料電池の高性能化と長寿命化です。いま、技術がかなり進んできており、巴拉ード社で出力密度が6年間に12倍の向上というブレイクスルーがありました。そうしますと、電気化学的な問題だけではなく、熱的な問題もネックになってきており、固体高分子燃料電池では、膜の性能アップと長寿命化とともに、熱除去の問題を含めたシステム技術の高度化が重要になると思います。

固体高分子燃料電池では、先ほどの繰り返しになりますが、自動車でこれほどクローズアップしてきましたのは、今の自動車でのエネルギー利用効率が極めて低いことによります。

発電装置として見た場合、石炭火力の効率が40%程度にきていますから、燃料電池の高効率化といっても、1次エネルギーから計算しますと、とても40%には届かず、そこでのメリットは出てきません。

ですから、小型分散型の固体高分子燃料電池が、家庭用、病院用、ホテル用の規模で出てくるとすれば、それはコジェネと結びついた形でしかあり得ません。そのとき、固体高分子燃料電池の廃熱は80℃程度ですから、給湯には適していますが、吸収式冷凍機による冷暖房の使用には使いやすい温度レベルではないわけです。小型分散移動型と呼ばれる自動車用に対して、小型分散定置型では、コジェネと組み合わせたシステムの開発が大きな

テーマになってくると思います。

長期的な利用サイドでもう1つ重要なのは水素燃焼タービンです。この技術は、完成はしていませんが、大きく進歩しました。大事にしてほしいという程度ではなくて、すべきだと思っています。

供給サイドでは、水素供給ステーションが第II期の1つのメインテーマになっています。メタノールやガソリンの形での自動車への供給ではなくて、最終的には純水素供給でいかなければ、水素の本来のメリットが出てきません。水素供給ステーションにおける水素の製造は、水電解と天然ガスからの改質の2つの方式で進めています。また、実際にステーションをつくって自動車に水素を供給してみれば、改めていろんな問題が発生してくると思います。さらに、大量供給システムの具体的な考え方についても着手すべき段階にきていると思います。

さらに水素の供給量増大に対応して、ステップ・バイ・ステップでいかなる供給システムを描いていくか、そこにハード的な問題があるのかないのか、これこそ国のやるべき仕事だと思っています。

今までは燃料としての水素利用についてお話しましたが、それとは別に、例えば、電力負荷平準化システムの媒体としても利用可能で、余剰電力により水電解で水素を製造し貯える。ピーク時にはこの水素で燃料電池を使用して発電する。水電解と発電の両方ができる固体高分子可逆セルを用いれば、システムの小型化も可能となる。これは水素をエネルギー源として使うのではなく、水素が物質として持つ特異な性質を生かした電力負荷平準化システムです。



岡野 一 清 氏

(財)エンジニアリング振興協会
研究理事 WE-NET推進室長

水素の特徴を生かせば、水素利用技術にいろいろな広がりがあり、その辺まで視野に入れて考えていくべきと考えています。

水素エネルギー導入に不可欠な

コストの低減

司会 コストの問題が次の話題になります。実はWE-NET第II期計画づくり議論の中で、開発目標としてのコストの概念をどう入れるかという議論がありました。水素の実用化のための水素エネルギーコストと研究開発上のコスト目標の問題の両方を含めて、コストの問題をどう考えるべきかを伺いたいと思います。

岡野 普及に向けての最後の課題は、製品コストです。コストは、技術と関連深いもので、自動車用燃料電池を例にとりますと、現時点では、キロワット何百万円ですけど、量産すればキロワット1万円になることを期待して、そこで止まっていますが、実際には量産効果のみでなく技術改良を伴わなければ100分の1までのコストダウンはできないでしょ

う。技術改良のアイデアは、私の経験ですと、実際に製品をつくり、動かしてみるところから生まれます。フィールドテストを何回も繰り返し、改良し、動かし、また改良する。この繰り返しによって問題点が抽出され、また新しいアイデアが生まれてきて、コストも下がり、実用に供しうる技術が確立できると思っています。

技術そのものは、ある程度試行を繰り返せば実用域に達しますが、最後に残るのはコスト低減で、そこは技術改良とフェーズを合わせていかないと達成が難しいと思います。

増田 コストについては、本来は環境対応も含めたLCA的な発想の広義のコストと合わせて評価しなければいけませんが、いま岡野さんが言われた、環境負荷コストを考慮しない狭義のコストを下げなければ、現実問題として市場には入り得ません。

技術開発によるコスト低減とともに、導入のインセンティブを与えて導入普及を促進し、狭い意味でのコストに何らかの形で補助する制度、これは長期継続は無理ですから、量産効果が期待できる価格のところまで補助することは必要でしょう。

先ほど、100分の1のコストダウンは容易ではないと言われましたが、実は太陽電池では25年間に100分の1の低減を達成しています。量産効果のみならず大きな技術的ブレークスルーがいくつもあったことによるもので、容易ではありませんが、決して無理だとは思っていません。

徳下 国には、導入促進のための補助金制度があります。

商品化当初の高コストは、補助金がその一部を負担することで実質の市場価格も低下

し、普及への大きな力となっています。普及拡大が進めばコストダウンが図られ、補助金なしでも市場性のある商品になります。国がNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）を通して実施している導入促進事業は、そこに着眼点があるわけです。我々研究開発側は、そこに至るために必要な技術や研究開発をやらねばならないと思っています。

増田 要するに、普及拡大とそれによるコストダウンの良循環が始まるまでもっていかねばいけません。補助金でそれを加速して、あとは自立的に補助金なしで進むまで、技術で何とかもっていきたいと思っています。

WE-NETは、そもそも研究開発のプロジェクトでして、実用化はもちろん念頭に置っていますが、実用化段階になってからの施策までは含まれません。このため、将来は研究開発と普及促進の有機的連携が必要になってきます。

実用化を目指した戦略

定量的で具体的な

最終目標とマイルストーンの設定を

司会 今までにWE-NET第Ⅰ期の成果に対して、中間評価、プレ最終評価、最終評価の3段階の評価を受けており、そこでは目標に到達するマイルストーンの設定が重要という指摘を受けています。その辺についてのお考えを伺いたいのですが。

増田 評価では、WE-NETの計画には最終目標となる水素エネルギー社会の絵はあるけれども、具体性に欠けるとしています。評価

で指摘されているのは、まず達成すべき最終目標を挙げ、次いでそこに至るマイルストーンごとに解決すべき研究課題を示すことです。一般の人にもわかりやすく、定量的な提示が求められています。

そして、最終目標となる水素エネルギー社会は、既存の技術の敷衍ではなくて、新たな構想による理想像であるべきで、そこから途中の各段階では何を開発すべきか、そして最終的に、現在は何をなすべきかという具体的なシナリオを書くことを求めています。まず目標ありき、という意識改革です。

司会 水素エネルギー社会は30年ぐらい先の話で、かなりの不確定要素があります。一方、WE-NETは1つのシステムイメージを描いているわけで、その限りでは極めて定性的なわけです。構想そのものは極めて前向きにとらえられていますが、最終目標に至るロードマップを明確に描きづらいつながりのないのが、現実的な我々の悩みでもあるわけです。

徳下 第Ⅰ期の最終評価で方向が示されましたが、一方で我々はWE-NETの研究開発を与えられた条件の枠内でやらなければなりません。先ほども述べましたが、社会のニーズに先んじて研究開発しなければ、ニーズに応えられないし、ニーズに間に合いません。そういう意味では、第Ⅱ期では、目標とする水素エネルギー社会、例えば日本のエネルギー需要量に占める水素の割合、それにより削減可能なCO₂排出量、そして社会構造の中に水素エネルギーを利用した燃料電池、自動車、さらには水素燃焼タービンなどをどの程度導入することになるのかを描いていかなければいけないし、それによって第Ⅲ期マイルストーンができていくと思っています。

岡野 目標を立てるには、技術開発の所要期間、必要なインフラ整備などが関連します。水素利用の研究開発は、地球環境対策に向けたものですから、何年ごろにどれだけの水素を導入するかをまず決めるべきでしょう。そうすると、それまでに、どのような技術を開発して利用するかになるわけです。その目標が今のところありません。アメリカには、2010年までに0.2Quad*の水素を都市ゴミのガス化とバイオマスからつくる計画になっています。それに合わせて、DOE（米国エネルギー省）のプロジェクトで都市ゴミのガス化の技術開発をやっているわけです。このように、何年にどれだけ水素を入れるという目標があれば、それに間に合わせて技術開発をやることになります。技術開発のスピードは、開発資源の投入の仕方によって、ある程度調整は可能ですから、元になるエネルギーの導入スケジュールがはっきりすれば、マイルストーンはうまく設定できるかと思います。

岡崎 第Ⅰ期の「サブタスク7—水素利用技術」の中で、極端な例のケーススタディを1つやっています。人口30万人、エネルギー的にも経済的にも独立性の高いある地方中核都市を例にして、置換が可能なエネルギーをすべて水素に変えた都市像をスタディーしてみたわけです。CO₂の正味削減量はどのぐらいか、海外から港にタンカーで水素が運ばれてきたときのボイル・オフ量、港湾にある水素貯蔵施設から今のガソリンスタンドに相当する水素供給ステーションへの水素配送方法、タンクローリーなのかコンテナなのかも全部

含めてやりました。

マイルストーンは、不確定要素が多いと明確に描けないということで、極限的な例としての水素社会都市像を定量的に描いてみたわけです。この結果は、水素社会に至る中間シナリオを考える上で役に立つと思います。

徳下 今、日本での水素の供給可能量とか、受け入れ可能な社会構造などの基本的データづくりや分析を体系的にやっているところは、残念ながら、WE-NETしかありません。

となれば、WE-NETは研究開発、技術開発が主のプロジェクトですが、そういうデータ整備、システム提案などもこれから取り入れるべきかと思います。通産省の産業技術戦略の中で水素エネルギーの研究開発の推進は謳われていますが、「水素」をエネルギー需給構造の中でどう位置づけるかは明確ではありません。私どもは、水素プロジェクトとして米国DOEの「水素プログラム」のような明確な政策の下でWE-NETを実施することを希望しますが、我々自身がまずそのための地道な努力を重ねることが大切なのだと思います。

WE-NETの長期構想と課題

実証したいハードの安全性

環境付加価値のコスト認識も

司会 WE-NET第Ⅱ期計画では、短期、中期の実用化を目指したテーマが中心になりましたが、水素をキャリアとする再生可能エネルギーの供給利用システムを構築していくという長期構想については、WE-NETの課題の点からどうお考えでしょうか。

* Quad（クオッド）は米国特有の熱量単位
1Q = 10¹⁵Btu = 1.055ExaJ
= 1.055 × 10¹⁸J



福田 健三氏

(財)エネルギー総合工学研究所
(WE-NETセンター
プロジェクトマネージャー)

岡崎 短期・中期なら目標を具体的に定量的に定めて技術開発を進めることができますので、中間シナリオをきちんとつくることが重要だと考えています。第Ⅱ期は確かにその線で希望にかなった方向といえます。

問題としては、実用化にはフィージビリティスタディーだけではだめで、ハードを含めたデモンストレーションをやることにより、新たなシステム上の問題点を抽出する方法論が、単に技術開発上だけでなく、社会的にも重要と考えています。一般の人たちは、「水素は怖い」というイメージを持っており、それを払拭するためにもデモンストレーションが必要で、自動車が何の問題なく、クリーンに動くことを示せば、ずいぶん印象が変わってきます。

ですから、第Ⅱ期で一番大事なものは、事故を起こさないことで、そのため、安全サイドの設計でいくべきだと思います。

戦略的には、短期・中期のマイルストーンを置くにしても、やはり重要なのは長期の目標です。そこでは地球温暖化問題への対応と

しての水素利用技術の導入があります。すぐにコスト面を云々する人がいますが、このコストはCO₂の削減、地球温暖化防止という付加価値取得のための投資という考え方で当面は認識すべき問題だと思います。燃料電池自動車からの導入が始まるのでしょうか、導入量が増えればコストが低下し、それに見合った社会が成立していくというストーリーになると思います。

未利用エネルギーに商品価値を

世界に向けたWE-NETの紹介も

徳下 WE-NETシステムにおける水素は、エネルギー資源ではなくエネルギーキャリアです。その1次エネルギーをどこからいかに持ってくるのかの議論はよくされますが、具体的なものをWE-NETでは示せない訳です。そのため肝腎な水素エネルギー社会構築のための資源確保という課題に議論が到らない場合が多いのです。この点について見方を変えますと、自然エネルギー資源は地球上に偏在しており、今まで地域的に未利用だったエネルギー資源を、水素をエネルギーキャリアとして日本にもってくることにより、1次エネルギー源として商品価値が生まれる国も世界にはあるわけです。WE-NETの仕事の範囲を越えると思いますけど、そういう所と、ODA（政府開発援助）とか、国際協力のレベルに止まることなく、純粋に商行為としてエネルギー売買ができるところまで、これからはやっていかなければならないと思います。そういう意味で、このWE-NETプロジェクトの活動の紹介と国際協力の観点を広く世界に発信していくのが重要だと思っています。

可能なものから取り組みたい

国際間のデモンストレーション

司会 岡崎先生がおっしゃったデモンストレーションという観点からは、国際間に跨るエネルギー輸送システムのデモが日本には必要です。やはりできるだけ早い時期に、そういうモデル実証をやっていきたいと思います。第Ⅰ期でも、対カナダの関係であるところまでいきましたけれども、先方の事情で潰れたケースもありました。今のところ、現実には、例えばアルゼンチンのパタゴニアの風力開発で、フィージビリティ・スタディ・レベルですが、共同研究の申し入れがきています。WE-NETの枠組み内でどのように取り組めるかは検討を要しますが、現実にはその可能性はゼロではありません。できれば早い時期にそういう可能性も追求したいと思います。

岡崎 かりに量的には少なくとも、そういうグローバルなシステムをできるところから取り組んでいくべきではないでしょうか。ただその場合、自然エネルギーで水素をつくって、CO₂排出が減りますよという単純なストーリーではなく、量的にどのぐらい導入したらどのぐらいの寄与があるかをきちんと押さえておくことが大切です。

徳下 そのような議論が本当に必要であり、量を含めた議論が大切だと思います。

水素エネルギー時代への展望

司会 それでは、最後に、水素エネルギー時代への展望を、それぞれの方のお考えをまとめるといふ意味合いで、一言ずつお願いします。

早期の実現に 規模の縮小や

市民が肌身で感じる安全利用の体験も

岡野 一般の多くの方々は、WE-NETが描くような世界的規模で水素導入が果して可能なのかと、懐疑的だと思います。ですから、水素導入の現実的な、具体的な方策、例えばエネルギー源の具体的調査を行って、短期導入のタイミングの予測、水素の利用可能量とか、また、実現可能な水素製造法や輸送・貯蔵法などを示すことが必要だと思います。

また、WE-NETの最終構想の実現までには30年を越す年月を要するとか、システムの建設コストは何千億円、あるいは、1兆円近くかかるとかの問題があります。思想は同じでもシステム規模をいまい少し縮小し、実現が容易なやり方があるのではないかと思います。20万m³のタンカーをつくらずとも、5万m³でもいいわけです。開発費を節減し、できるだけ早期に、小規模でいいからクリーンな水素エネルギー社会を実現する道を考えたらと思います。そして、自動車や燃料電池の大々的デモンストレーションをやって実用化技術を育成すると同時に、多くの市民に水素が安全に利用できる実用可能なエネルギーであることを見せ、身をもって体験してもらうことができれば良いと思います。

安全、クリーンのイメージづくりに

定量的・科学的な説明を

岡崎 先ほどから話に出ています社会的受容性は、安全にしてクリーンのイメージづくりに尽きると思います。そのクリーンなイメージというのは、目先の、水素が燃えたら水になるからクリーンだというだけの説明ではな

く、WE-NETの研究開発により得られた成果から、CO₂の削減量を定量的に、科学的に易しく説明して一般の人々に納得してもらえるような努力をすることが必要だと思います。

洗い直したいバイオ・石炭からの水素製造 水素が核となるシステムづくりの夢も

岡崎 わが国の水素エネルギーは、自動車から入ってくるのは確かですけれども、それに伴って、水素の導入量が増えていきますと、水素の製造、供給をどうするかの問題で、まず水力というストーリーがあり、それから再生可能エネルギー利用を組み合わせなければなりません、水素製造の他のオプション、例えば、バイオマスや石炭からの水素製造なども含めて、きちんと考えておく必要があらうと考えます。

なお、私の研究室では特にバイオマスからの水素製造を可能にするためのガス化の研究を行い、計算によればよい反応条件が見つかっています。実験で実証しようとしているところです。

水素社会では、水素利用を核として、新しいエネルギー源としてだけではなく、マテリアルのリサイクルまで含めて化学物質として水素を利用する必要があると考えます。水素を化学物質だとか、クリーンなエネルギー媒体だとか分けるのではなく、2つの使い方を相互に行き来した、しかもいろいろな産業をそういう形で有機的に結びつけたようなシステムができないか。そうならば、その中で水素を核にした社会のイメージづくりが可能になると思います。突拍子もない話になりましたが、そこまで発展させて、水素利用の技術開発の位置づけを考えますと、夢が出てきます。

将来的には負荷の大きい環境分野 身近な効果の期待にごみ収集車

徳下 ひとつの事例として、ジェット機の燃料をすべて液体水素にしたいという夢を持っています。これは、超長期のテーマの1つであり、航空機による地球環境への影響はあまり議論されていませんけれども、多数の航空機が成層圏を含めて飛行しますと、早晩いろいろな問題が発生してくると思います。今は事例的に申したもので、環境負荷の大きな分野に積極的に水素を取り込むシステムを築きたいと思っています。

バスに利用する話がありましたが、都市ではむしろ燃料電池使用のゴミ収集車が面白いかと思っています。というのは、都市部のゴミ収集は、いずれ早朝、深夜になると思いますが、現在のごみ収集車は結構うるさいので、そのとき静かな自動車が求められ、ゴミ収集車の社会的受容性に対して結構大きな効果があるかと思っています。そうなれば、多くの人が水素自動車に対する親近感を増すようになり、大きな期待感を寄せています。

また、先ほども話がありましたが、都市ゴミやバイオマスから水素を製造するような、少量でもいいから水素をキーワードとした1つのシステムを構築していきたいと考えています。それが、ヘビーデューティーなところにつながるのであれば、大きないいインパクトを与えていけるとと思います。

「夢」から「現実」へ

増田 水素の認知は、科学者、技術者の世界ではWE-NETプロジェクトの展開により広まっているのですが、やはり社会一般にはま

だ夢のものと思われています。道のりは長いですが、とにかくにも水素が認知されていくことが必要で、それによって、将来、水素の大量導入に結びつく大きなドライビングフォースになるものと考えます。したがって、水素を世の中で何とか認知してもらうためにも、WE-NETが各段階でなし得た技術開発の成果を実用化することが必要です。

地球にやさしい再生可能エネルギーは、残念ながら地域に偏在する、気象条件に左右される、密度が低い等それぞれに固有の欠点があります。再生可能エネルギーをメジャーなエネルギー源として使うためには、これらの欠点を補うため、何らかの形で貯蔵し、輸送し、高密度で利用するすべが必要となります。

このためには、人類は水素というものを利用していかなければなりません。WE-NET

第Ⅱ期計画は、第Ⅰ期計画と比べ短期での実用化を目指した研究が中心になっています。しかし、WE-NETでは最終的には水素をメジャーな2次エネルギーとして使用する水素社会を念頭に置いていることに変わりはありません。水素が段階的に社会に浸透することによって、将来の真の水素社会に到達する現実的な道筋に沿った研究開発を実施することにしたものです。

この意味で、WE-NETは「夢」から「現実」に方向転換したのです。短期での分散利用技術の実用化はその第一歩であると考えています。

司会 そろそろ時間が参りました。申し残されたことも多々あろうかと存じますが、この辺で終りにさせていただきます。

本日はどうもありがとうございました。



〔内外技術紹介〕

日本における廃棄物処理新技術と エネルギー利用の方向

平 山 直 道 (東京都立大学 名誉教授)



1. 廃棄物行政・処理技術の目標の変遷

廃棄物処理の近代化は昭和30年代後半に始まったが、そのころの第一の目標は処理・処分設備の充実と公害の防止であった。その後、これだけでは使い捨ての習慣はなくならないとの反省から、環境・資源保護、エネルギー回収を目標に加えるようになった。それでも不十分で、廃棄物の減量・資源化・再利用を問題にするようになり、さらにそれを可能にするには、生産の段階までメスを入れ、廃棄時を考えて製造することを目標とするようになった。そのような観点から家電製品や自動車にリサイクルの義務を負わせようという考えに発展し、最近では消費者とともに結局廃家電や容器包装のリサイクルも含めて、製造者処理責任を負わされる時代となったのである。

とはいっても全ての廃棄物が再利用できるわけでないので、依然として一部の廃棄物に対して、あるいは数回リサイクルされた後の廃棄物に対して処理が必要となる。このような条件下で現在考えられるうちで最も環境に負荷の少ない新しい技術としてガス化溶融が浮上し、同様にエネルギー回収の新技術も切望されている。本報告は、この線に沿って述べられている。

2. ガス化溶融開発の狙いと経過

焼却に関連する環境影響のうち排ガス中の有害物質は極力減少させることが可能となったが、排ガスの処理に乾式を用いようと湿式を用いようと、排ガス中から除去された有害物は結局ばいじん（電気集塵器、ろか式集塵器、機械集塵器、湿式集塵器に捕集された灰やスラッジ）に集まる。従来、これらは焼却灰（焼却ばいじん以外の主として炉下部から取り出される灰）と混合排出され処分されていたが、なかに含まれる重金属類は適当なアルカリ性のため水酸化物などになって安定化されている場合も多かった。しかし、従来から酸性雨の影響で溶出する心配があったが、近年、塩酸ガス除去のためアルカリ性の粉末を混入するようになってから、ばいじんもアルカリ性が強くなり過ぎ、特に鉛などが溶出する例が多く見られるようになった。欧州各国では1990年前後から、ばいじんはそのままの埋立処分が禁止されるようになり、厳しく管理されることになった。わが国においても、焼却炉の排ガス処理装置から排出された飛灰やスラッジ、いわゆる“ばいじん”が’91年に特別管理廃棄物に指定された。ただし、この時点では灰に吸着されたダイオキシ

ンへの対策が十分でなかったので、現時点で言えば重金属、ダイオキシン等全ての有害物を考慮した包括的な対応が必要となる。

ばいじんの処理基準によると、その処理方法としてはセメント固化、溶融固化（溶融の結果生じたばいじん — 溶融飛灰 — や汚泥の処理を含む）、薬剤による溶出防止、および酸その他による重金属抽出安定化などとされている。

しかしながら、これら処理の方法には留意すべき点も多い。セメント固化あるいは薬品処理については、処理後の製品が長期間酸性雨に曝されたとき、あるいはそうでなくても一般の経年変化に対して、フォローする必要がある。薬品による重金属抽出もその抽出効率によっては残った重金属、あるいは、抽出沈殿物に吸着含有されるダイオキシンの問題がある。溶融固化についていえば、固化物は安定である場合が多いが、溶融物の冷却水の処理が重要であり、また高濃度の重金属を含む揮散物質の処理法を確立することを忘れてはならない。

しかし、飛灰安定化法の4方法中、溶融がもっとも信頼性が高い。溶融飛灰が発生するがその処理・資源化も見通しがついた。焼却灰まで溶融すれば減量化の効果は目覚ましく、溶融物も再利用すれば埋立て面積が極小化できる。しかも現在処分地入手難の自治体が多く、今後も処分地の獲得難は好転しそうにない。溶融ガス化の元になった熱分解技術は、元々ダイオキシンの制御も楽でしかも廃ガス量が少ない特徴があるが、開発当時ダイオキシン問題も表面化せず、溶融の要求もなかったので実現に至らなかった。しかし、今や利点がはっきりと浮かび上がってきた。

3. 初期（'70から'80年頃）における開発 あるいは技術導入の状況

日本において廃棄物処理の近代化が効果を上げ中都市以上には焼却炉が整備された昭和45年（'70）頃から、廃棄物を資源化すべしとの世論が高まり、全国的に主として燃料化を目的とした熱分解技術の自己開発あるいは国外からの技術導入（導入後日本のごみで実証し、部分的に自己開発する例が多い）が開始された。

日本における開発の1つの中心は通産省工業技術院の資源再生利用技術システムに関する大型プロジェクト⁽¹⁾で、①荏原製作所の二塔流動層によるガス化プラントと、②日立製作所グループの単塔流動層による油化のプラントが含まれていた。

なお、民間の開発で実用まで漕ぎ着けたものとして、③月島機械は下水汚泥への応用から出発し、40t/dの宮城県岩沼プラントでごみを用いて実証した後、'79年に船橋市に450t/dのプラント⁽²⁾（図1）を建設した。④それと相前後して製鉄の高炉技術に近い溶融熱分解技術（直接溶融）が出現し、日本における新日鐵方式（釜石市に建設）⁽³⁾、⑤米国の環境保護庁（EPA）が推進し昭和電工（後昭和ユノックス）が導入したピューロック・システム（秩父市に建設）⁽³⁾がそうである。

4. 灰溶融技術⁽⁴⁾

まず、従来技術のうち焼却灰を燃料、電気等のエネルギーを用いて溶融する技術を概説する。一般に言えば、エネルギーを使う欠点はあるながら安定な設備となっている。

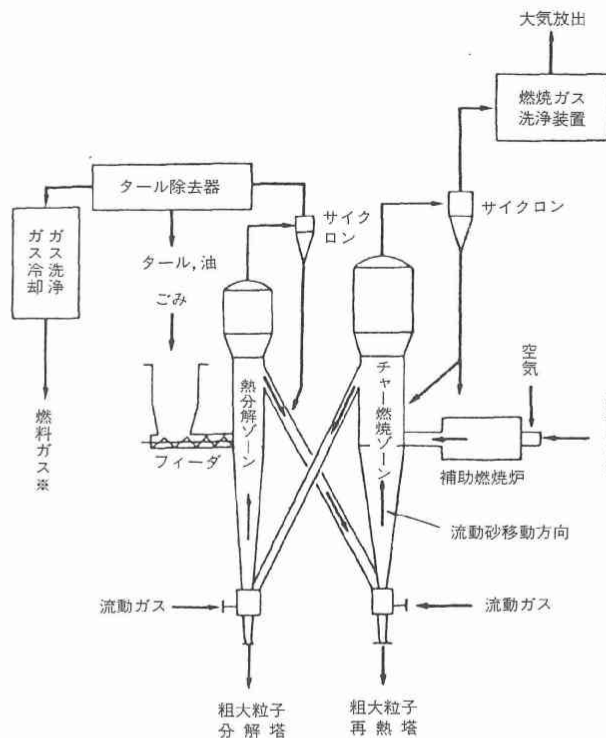


図1 月島機械二塔流動層式ガス化炉⁽²⁾

4.1 燃料による灰溶融固化

前節においてもコークスなどを用いた直接溶融炉を説明した。これも燃料を用いる方法であるが、ごみをそのまま直接溶融燃焼させる設備に属する。本節では、燃料を使う溶融炉のうち焼却後の集じん灰や焼却灰を溶融する設備について述べる。コークス・ベッド式溶融設備は、もともと下水スラッジの溶融のために開発された方式である。これが新日鐵によって焼却灰溶融に適用され、愛知県東海市の焼却炉の灰溶融用に建設された(15t/d×2)。その他の例も多いが省略する。コークスのほかに必要に応じて石灰石を入れて塩基度を調整する。

フィルム溶融方式は、灰溶融設備としてもっとも早くから実際に用いられた設備であ

る。主要なものはクボタの回転円錐面式(図2)と、タクマなどの傾斜面式である。いずれの場合も灰層の表面で溶融が行われるので、灰に接する炉壁は耐火物の損耗が起これにくい。

4.2 電気エネルギーによる溶融方式

電気エネルギーを用いて溶融する方式にはアーク炉、電気抵抗炉、誘導加熱炉、プラズマ炉がある。最初に実用になったのは、東京都で長期運転中のアーク炉(図3)である。その他の炉もそれぞれ特徴があり、各社は焼却灰用に開発し実用になり、あるいは実用に備えている。

独自の堅型二重円筒構造

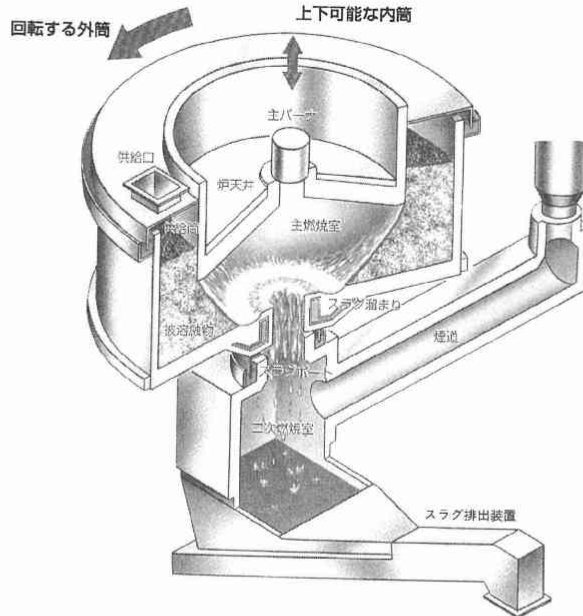


図2 クボタ式回転溶融炉

5. ごみの持つエネルギーによる溶融炉

5.1 溶融焼却炉

(1) 灰溶融炉付き焼却炉

フォン・ロール社などで開発した方式では、第1次燃焼段階（通常の機械式ストーカーやキルン）において酸素不足で高温炭化燃焼を行わせ、第2次の燃焼段階における未燃ガス

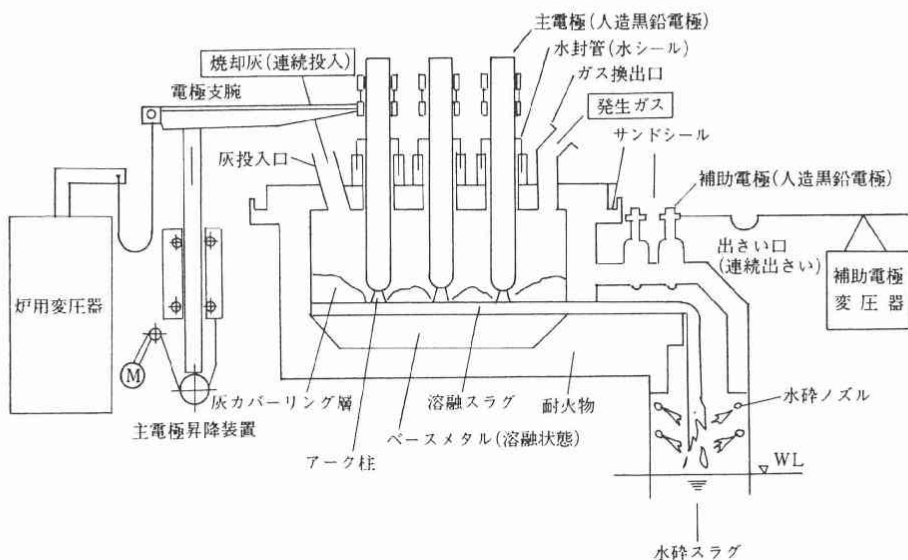


図3 アーク式溶融炉

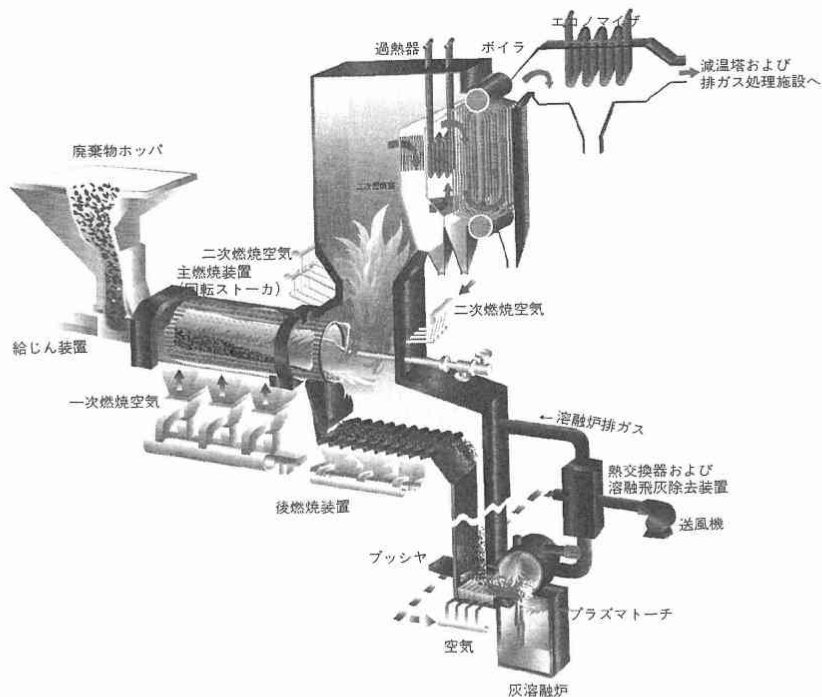


図4 IHI式回転ストーカ炉および内部溶融炉

と、残った炭素と灰の混合物を酸素によって溶融燃焼させるが、溶融のエネルギーとしてごみの保有熱を用いることになる。従って、焼却灰も含めて全量溶融するのに向いている。日本で石川島播磨重工業 (IHI) によって開発され、愛知県衣浦において実稼働中の溶融炉付きのロータリー・コンバスター (図4)⁽⁵⁾もこの種類に属する。このほかにロータリーキルン式で燃焼から溶融まで一気に行う方式もある。産廃等でカロリーの高い場合あるいは熱量を補給すれば、適用可能である。

5.2 熱分解ガス化溶融炉

熱分解にはごみを外部から加熱する方式 (外熱式) と、ごみ内部で部分燃焼させる方式 (内熱式) とある。

(1) 外熱式乾留ガス化溶融炉

三井造船—シーメンズ方式 (図5)、タクマ

—シーメンズ方式がもっとも早く導入され、ごみは予備的な破碎処理をした後、ロータリーキルン状の乾留ガス化設備に入る。キルン中には間接加熱用の多くの管群があり、LPG等の燃料を用いた燃焼ガス (ドイツ、シーメンズ) あるいは後述の溶融炉廃ガスによって加熱された空気 (日本、三井造船) を通して廃棄物を450℃程度の温度まで間接加熱乾留する。そこで発生した可燃ガスは溶融炉に導かれて燃焼し、乾留物は金属、瓦礫類を分離した後、微粉炭の燃焼装置と同様のバーナーを用い溶融炉中で燃焼し、溶融炉内は1300℃に達し灰分は溶融スラグとなって排出される。廃ガスの処理は種々の選択が可能であるが、ばいじんと酸性ガスに対して2段の乾式処理をした後、乾式の触媒脱硝を行うようになっている。同じ処理量の焼却炉より排ガス量が40%程度少ないので有利である。三井造船の実証プラントにおいては、既にドイツで

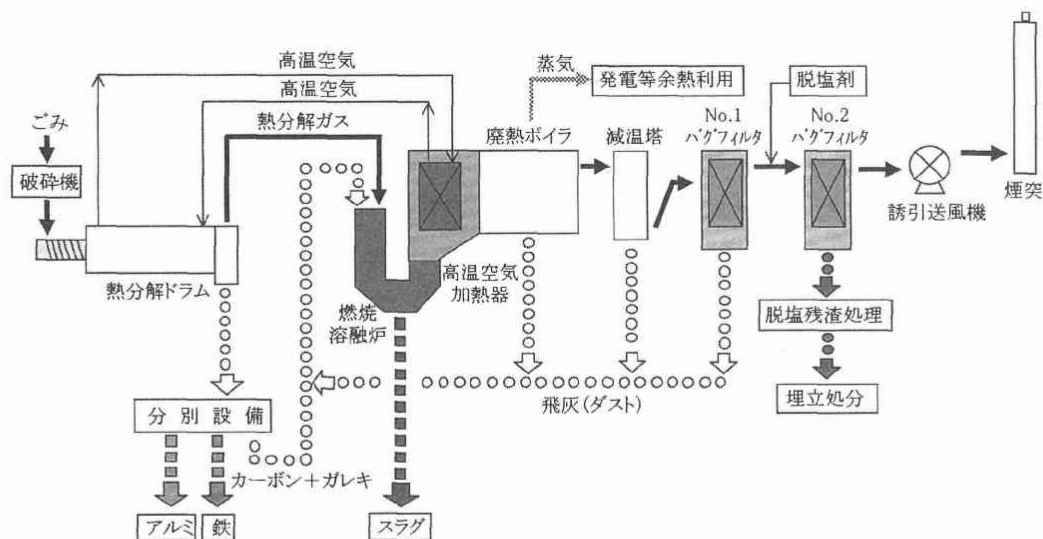


図5 三井・シーメンス方式ガス化溶融実証設備

実証された熱分解や溶融の特性を日本のごみで実証するとともに、新しい試みとして、熱分解熱源としての高温空気の加熱用に安定したセラミック熱交換器（二重管構造で外管がセラミックス製）を採用して自熱溶融を目指し、排ガス再循環により廃熱損失の軽減と排ガス量の減少をねらった⁽⁶⁾。溶融炉は、内面に耐熱キャストを持つボイラー水冷壁に保護されている。また、ドイツでは事故が報道されたのに対し、三井造船においては実証試験の経験によりチャー冷却設備を水冷式ドラムタイプとし、不燃物分離設備中のチャー微粉碎設備を付加し、チャー・レベル計を改造する等、種々の変更が必要なが分かったが、他は概して問題はなく、溶融は極めて安定し、公害防除もダイオキシンを含めてドイツにおける規制値と同等以下であったという。日本において既に2基受注し建設中である。九州八女市の240t/dプラントは完成試運転中である。

三井造船の他にタクマ（株）もシーメンス

社と提携し、既に熊本に廃車のシュレッダー・ダストの溶融熱分解炉を完成し実稼働中である。また、福岡市に一般廃棄物用の実証炉を作り、既に実証は完了した。熱的にはほぼシーメンス社と同様であるが、チャーの冷却、レベル計測、運転制御などにはタクマ独自の改良が多い。いずれも安定な運転が得られたといえる。

キルン式ガス化溶融熱分解方式に属する方式で、純国産のIHIとクボタとの共同開発によるものがある。キルン部分の開発はIHIによるもので、3個のドラムを内蔵して伝熱面を増やし、効率を上げる方式である。溶融部分はクボタが既に燃料式溶融炉に開発したもので、ガス化溶融炉用としても十分の性能を発揮している。愛知県の知多市に実証炉が建設された結果によると、全体として安定運転性能が優れ、システムの熱効率もよい。通常の都市ごみでエネルギー無添加単独の長時間運転の実績もある。ごみの予備乾燥装置が付いているので、ごみ質が少々変動しても安定な

運転が可能であった。実証段階を終え、実炉への応用を準備している。同様のキルン炉で東芝—PKA方式は実証が進行中である。

もう一つの外熱式として川鉄—サーモセレクト方式がある。サーモセレクト社は、外熱式のシリンダー内にごみを圧入加熱する方式で、シリンダー中で外熱により熱分解を行い、ガスと炭化した物を直接熔融炉に供給し、必要に応じて天然ガスや酸素を用い、主としてCOと水素よりなる燃料を生成し、不燃物を熔融金属とスラグにする方式を開発した。北イタリアのフォントチェに処理能力100t/dの実証炉を作り、既に3年以上の運転実績がある。最近、千葉市の川鉄工場内に300t/d(150t/d×2)のプラントを建設し、実証と実稼働を目指している。

(2) 流動層(内熱)式ガス化熔融炉

もう一つの熱分解炉の選択として流動層方式がある。流動層を持つ熱分解炉において部分的な燃焼を行い、層温を500ないし600℃程度にして燃焼加熱用空気の一部だけを送ると熱分解が行われる。廃棄物の持つ発熱量の一部を熱分解炉で使うので、熔融炉本体の熱収支上はいくらか不利である。しかし、流動層から発生する可燃ガスとチャー(未燃炭素分と微粒子の灰分)はともに飛び出し分解炉外に取り出され、不燃物は篩によって砂から容易に分離でき、キルン式のように高温のチャーの着火を防止しながら分離する必要がないのは流動層式熱分解炉の利点である。可燃ガスとチャーは熔融炉に導かれ、おおむね1300℃程度で灰は熔融される。

本方式の特徴と計画上の重要な諸点を列記すれば、次のとおりである。

- ① ガスに比較してカーボン粒子は着火も遅く、高温でないと燃焼にも時間がかかるので、熔融燃焼室のできるだけ上部で早く1000℃に達するよう計画するのがよい。
 - ② 熱分解炉で部分燃焼し放熱もあるので、熔融炉周りの熱バランス上は不利になりやすい。つまり、熱量不足になりやすいので、ごみの水分を調整する乾燥炉を備え、熱源として熔融炉以降の排ガスあるいはボイラーの蒸気を用いるのがよい。また、特殊材料(炭化珪素その他の耐熱材料)を使ってでも燃焼用の予熱空気の温度(可能なら500℃程度まで)を高めた方が熱バランス上は好ましい。
 - ③ 粒子が微細なため熔融時間は短い、排ガスの滞留時間は十分にとってダイオキシンの分解をはかるとともに灰が熔融してから高温のままある程度(15ないし30分)の滞留時間を取って、安定した熔融物の性質(重金属の溶出特性など)が得られるようにすることが重要である。
- 荏原式流動ガス化熔融炉(図6)⁽⁷⁾は、上述の留意事項をほぼ満足して予想どおりの性能を発揮している。最も早期に開発に着手した本設備は、藤沢において既に都市ごみによる実証を終え、分別ごみやシュレッダーダストなど、多角的な廃棄物の処理に用いた場合の特性についても適用性が確かめられている。ダイオキシンの発生も少なく、排ガス量も焼却炉に比較して6割程度に減少させることが可能といわれる。最近、産廃用の大型設備(450t/d)を青森県に建設、また酒田、川口で一般廃棄物用を受注したという。また、化学系の他社と共同して熔融以降のガスをたとえばメタノール等利用価値の高い化学製品に転換す

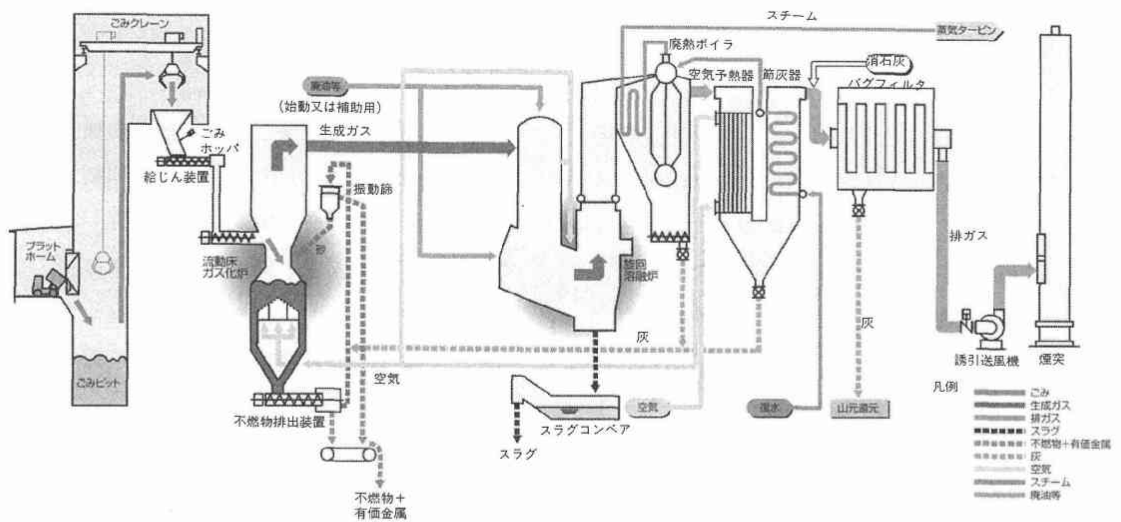


図6 荏原式流動ガス化方式溶融炉

る研究もなされているという。ともに性能が明らかになる日が期待される。

同様の原理による流動床式ガス化溶融炉が川崎重工、神戸製鋼所(青森県において受注)、日立造船、4社連合(栗本、三機、東レ、ユニチカ)、その他数社の企業によって別個に開発され実用に備えている。

6. ガス化溶融炉(灰溶融炉との関連を含む) についての評価・留意事項

以上、灰の溶融について現存するもの、あるいは開発の目途のついた設備について解説したが、纏めとして全体にわたる留意事項を述べておく。

- ・燃料や電力を用いる溶融炉は、灰を貯留すれば焼却炉と独立に運転時間を選ぶことができ、複数の炉に対応することもできる。
- ・表面溶融の場合は、クボタ方式のように溶融物のある時間滞留させ、品質の均一化や、

重金属類の溶出防止を計ることが重要である。

- ・縦型シャフト炉やコークス炉においては燃料の確保は重要であるが、出来れば灰だけでなく、粗大ごみ、分別ごみ、また場合によっては都市ごみそのものを投入する等、多角的な用途に対応することが特徴と考えられる。
- ・電気式は運転時間、対応する炉数などでは自由度があるが、一般にエネルギー料金が低いと考えられている。しかし、発電設備を持つ焼却炉の場合は必ずしも不利にならない。しかも運転制御の面で優れ、電極等の交換も炉を停止することなく可能の場合が多い。スラグの性質を良くするために高温を維持することも容易である。その中でアーク炉、抵抗炉、プラズマ炉については一長一短あるが、判断のポイントは、電力消費量、炉から排ガスとともに排出される溶融飛灰の処置、炉内に入れる不活性ガス

の種類、炉内から発生する可燃ガスの処置、排ガス中の可燃ガスや窒素酸化物への対応などである。

- ・ガス化溶融炉、即ちごみの持つエネルギーによる溶融方式は、溶融のコスト、排ガス処理のコストまで考えて理論的にはもっとも有利な筈であるが、安定運転のためには熱分解から溶融まで揃って正常運転が行われる必要がある。特に溶融燃焼炉の耐火材の補修時期、方法の選定は勿論のこと、不燃物の冷却や取り出し装置に至るまで、安定した運転管理が必須である。
- ・各方式に共通な事項として①灰の性質（特に溶出特性）の安定、②溶融物の有効利用、③溶融飛灰の処理を解決することが重要である。

7. ユーザーとしての自治体に望むこと

以上ガス化溶融炉について、その開発の経過を述べ、通常の焼却＋灰溶融方式と比較して得失を論じてきた。結論として、それぞれに特徴のある方式であると思う。筆者個人としては永年焼却炉の改善に努力してきたが、昭和50年代に従来のガス化炉開発のナショナル・プロジェクトに参加した経験から、ガス化溶融炉をダイオキシン対策と溶融方式を兼ね備えた将来方式と考え、多くの各社の開発、提携等を応援してきた。従って、筆者はガス化溶融炉に対してはそれなりの思い入れがある。

しかし、多くの技術がそれ自体独特の無視できない長所を持ち、一律に決め付けられないのが廃棄物処理分野の特徴である。焼却炉においても廃ガス処理技術が進歩した現在、

現代式に改造された焼却＋溶融方式も、永い間の実績に支えられた安定性のある方式として正当に評価する必要がある。

自治体各位は、目標とする廃棄物の種類、採用している資源化システム、収集体制、処分地の条件、近隣自治体との協力状況、施設の数、規模の大きさ、自治体内の技術体制、各方式の性能、処理の信頼性、等を良く考慮して、実情に合う処理施設を判断して貰いたいものである。

8. ごみのエネルギーの有効利用の方策⁽⁸⁾

8.1 発電効率上昇のための技術上の諸対策

日本においても、今後焼却炉、ガス化炉において熱利用、特に発電の効率上昇を目標としなければならないが、その対策として考えられることは下記のとおりである。

- ① 場内でやむを得ず用いる蒸気、たとえば白煙防止用の空気の加熱に用いる蒸気にタービン抽気を用いるとか、あるいは触媒脱硝後の高温ガスの熱回収を行うなど、熱利用に用いられる蒸気の増加に努める。
- ② 従来発電所でサイクル効率上昇のために用いられてきた再熱、再生（原子力で用いられる湿分分離再加熱を含む）などの手段を併用する。
- ③ 焼却炉の燃焼ガスには塩酸ガスが入っている、特に蒸気過熱器の材料の問題があるが、ボイラーの蒸気条件をできるだけ高温・高圧化する。
- ④ 異種燃料を用いて蒸気の過熱を行う。異種燃料としては塩化ビニール以外の廃プラ等、塩酸ガスを発生しない他の廃棄物、あるいは石油や石炭によって、独立に造られ

た過熱器（独立過熱器という）で過熱する。あるいは、ガスタービンの排気を蒸気の過熱に用いる方法等が考えられる。なお、これら各項を組み合わせると数多くの改善法が可能になる。

ここで、まず蒸気過熱器における可能な過熱温度が問題になる。公刊の文献にはないが、使用実績に基づく蒸気温度と平均寿命の関係を实地に調査すると、高価なボイラー鋼管を使っても450℃以上では寿命が極端に短い。塩酸を含む燃焼ガスの場合は我々の研究結果⁽⁸⁾によっても、材料と維持管理に異常な出費を覚悟しない限り、450℃以上を設計値として用いることは経済性や維持管理性からいって困難である。

8.2 種々の発電効率改善案の比較

前述ごみ発電効率改善案を考慮して次の諸ケースについて検討する。

- ① 従来の蒸気条件（28ata, 300℃の程度）で脱硝，乾式あるいは湿式ガス処理，タービン排圧0.25ata全量発電。（J₀）
- ② 蒸気条件を改善（40ata, 400℃）し，再生，抽気等のサイクル改善も実施する。（J₃）
- ③ 異種燃料を独立過熱器にて蒸気を過熱する（88ata, 510℃）。（H）
- ④ 前記の独立過熱器の代わりにガスタービン・コンバインドサイクルと併設する。
（C3—40ata, 400℃；C5—88ata, 510℃）

なお、④においては通常ガスタービン燃焼器から多量のNO_xを排出することが懸念されるので、ガスタービン燃焼器に蒸気の一部を噴射する低NO_xバーナーを採用することとしたが、ガスタービン排ガス系統には特に触媒脱硝は適用しないこととした。

計算にはボイラー，蒸気タービン，ガスタービンの単体の効率など，多くの仮定を必要とするが，現在における平均的な値を採用した。詳細は文献⁽⁹⁾を参照されたい。

なお，熱効率の定義を2通り区別して用いたので補足説明する。ガスタービン併用の場合，焼却炉を含む設備全体の熱効率 η_1 とした。ガスタービンと蒸気タービンの出力をあわせた設備全体の出力を，設備全体の入力（燃料ガスのエネルギーとごみによって供給されたエネルギーの総和）で割った値である。即ち，

$$\eta_1 = (\text{蒸気タービンとガスタービンの発電端出力の総和}) / (\text{燃料とごみの熱量の総和})$$

ガスタービン・コンバインドサイクルは焼却炉単独の場合より熱効率が高いので，熱効率 η_1 についていえば，併設するガスタービンの出力が大きいくほど当然効率がよい。しかし，我々はごみの持つ熱量の利用率を高めるために異種燃料を用いるのであるから，新たにその目的にあう効率 η_2 を定義する。即ち， η_2 は施設全体の出力からガスタービン・コンバインドサイクル単独の場合の出力を差し引いた値（分子）をごみの熱量（分母）で割った値と定義した。即ち，

$$\eta_2 = \{(\text{施設全体の総出力}) - (\text{コンバインドサイクル・ガスタービンの出力})\} / (\text{ごみの熱量})$$

この条件で計算した結果を図7に示す。横軸は施設全体の出力を示す。従って，ガスタービン・コンバインドサイクルの（C3, C5）の場合，もっとも左の点が焼却炉からの蒸気を過熱するのに必要最小限のガスタービンをつけた場合を意味し，右に移動するほどガスタービンの出力が大きいことを意味する。施設

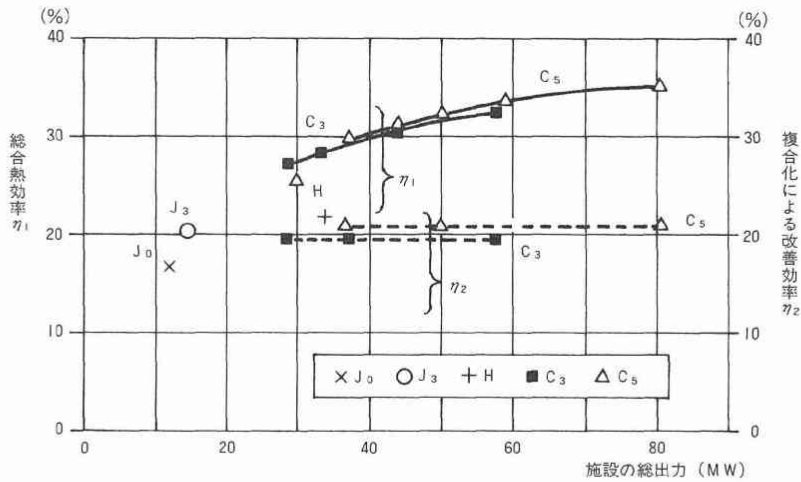


図7 施設規模と熱効率

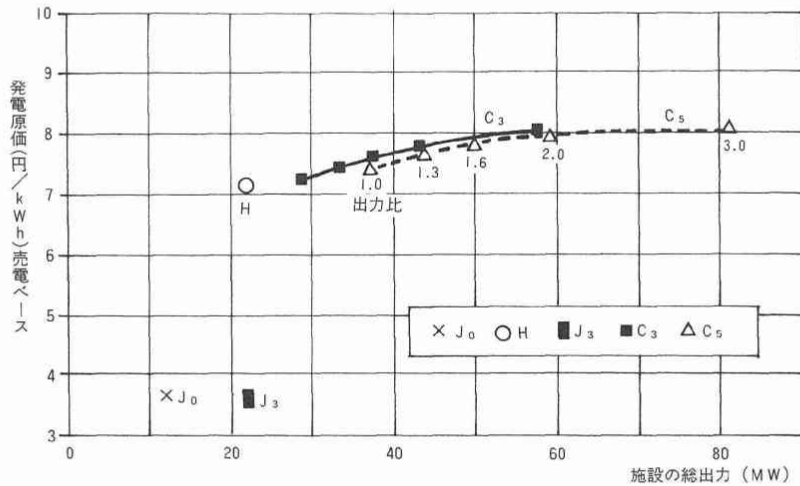


図8 各方式の発電原価

全体の効率 η_1 は、従ってガスタービンの出力が大きいくほど高くなる。一方、廃棄物の熱利用効率を表す η_2 は、ガスタービンの出力によっては効率はあまり変動しない。しかも、焼却炉だけのJシリーズもガスタービン付きのCシリーズも効率は蒸気の過熱温度によってほぼ決定され、ガスタービンの有無によらない。最近、ガスタービンもそれ自体の効率改善のため排気温度が550℃程度と低く、これを

焼却炉ボイラーの過熱に用いても蒸気条件の改善は小幅に留まる。

次に、経済試算のために、燃料(天然ガス)コスト、電力の売買価格、発電関係施設のボイラー、蒸気タービン、ガスタービンの価格、人件費、維持費、償還年額を実状に合うように仮定した⁽⁸⁾。

前と同様300t/d 2 炉, 600t/dプラントについて検討した。発電原価を求めたのが図8,

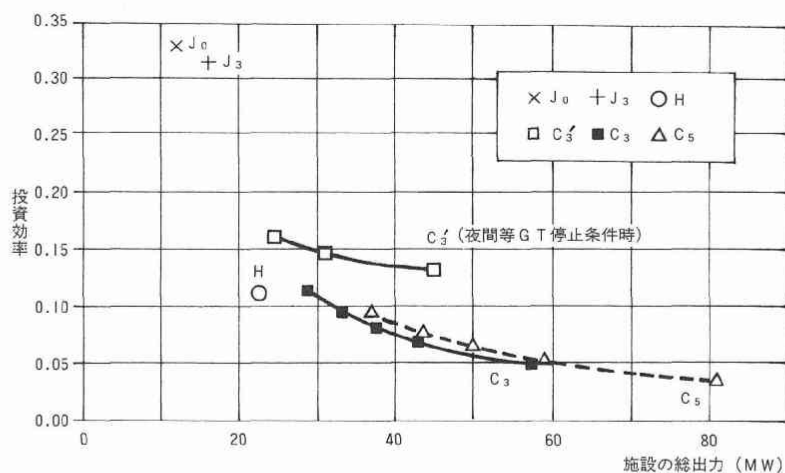


図9 各方式の投資効果

また投資効率（年間収支額を設備投資額で割った値，従って投資効率の逆数は投資の回収にかかる年数）の変化をプロットしたのが図9である。

発電原価はガスタービンなしの方が安く，ガスタービンが大きくなるほど増大してガスタービン・コンバインドサイクル単独の発電原価に接近する。また，投資効率はごみ焼却炉単独の場合が最高で（3年程度で投資回収できることを意味する），ガスタービン・コンバインドサイクルを併設すると却って投資効率が落ちる（投資効率0.05は，投資回収に20年かかることを意味する）。

以上を総合すると，次のような結論になる。

- ① ごみの熱の利用率から考えると，蒸気条件の改善が最も有効である。
- ② 異種燃料を用いる方法では，独立過熱器を用いる方法もガスタービン・コンバインドサイクルとの併用も，ごみの熱の利用率から判断すると蒸気条件の改善による程度で多くを期待することはできない。
- ③ 経済的検討によると，通常の条件では異

種燃料を用いる方式は発電原価を引き上げ，投資回収に必要な期間を増大させる。

- ④ ただし，以上の結論は熱の直接利用を考えない場合で，立地を工夫し都市計画に焼却炉を熱供給センターとして繰り入れた場合については，規模を大きくしてガスタービン等異種燃料のエネルギーを同時利用することが必要で，採算的にも有利になりうる。別途検討が必要である。

参考文献

- 1) 昭和57年度工業技術院委託研究報告書，資源再生利用システムの評価研究（2/2分冊）－資源再生利用システムの総合評価WG－，（財）日本産業技術振興協会，昭和58年3月，pp56-112.
- 2) 平山直道編著，ごみ処理施設の構造と管理，（財）日本環境衛生センター，'77年5月，p340.
- 3) 平山，我が国における焼却灰処理技術の現状と課題，プラスピア，（財）プラスチック処理促進協会，No.91，'95年Summer，pp27-28.
- 4) 厚生省監修，（財）廃棄物研究財団編，特別管理一般廃棄物処理マニュアル，化学日報社，pp109-144.
- 5) 石川島播磨重工業資料による。
- 6) 三井造船資料による。
- 7) 荏原製作所資料による。
- 8) ウェイストイノベーション21Cプロジェクト：焼却施設におけるエネルギー転換推進研究，平成5年3月，（財）廃棄物研究財団，pp.105-165

高レベル放射性廃棄物処分を巡る 最近の国際動向



河 本 治 巳 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部
副主席研究員

1. はじめに

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会は、平成9年4月に取りまとめた報告書で、わが国における地層処分の技術的信頼性並びに処分予定地の選定および安全基準の策定に資する技術的拠り所を示すため、核燃料サイクル開発機構に対し、関係研究機関の協力を得て、平成12年(2000年)前までに「地層処分研究開発の第2次取りまとめ」を公表することを指示した。サイクル機構は、これに従い平成11年11月、第2次取りまとめを原子力委員会に提出した。

一方、原子力委員会高レベル放射性廃棄物(HLW)処分懇談会は、平成10年5月の報告書で、事業資金の確保、実施主体の設立、深地層の研究施設の実現や安全確保の基本的考え方の策定等に関して、具体的方針を示して早急に進める必要があると提言した。これらの状況を踏まえ、高レベル放射性廃棄物の処分にかかる安全規制の基本的考え方について調査審議する一方で、2000年の処分実施主体の設立に向けて、処分事業をめぐる制度整備の検討が進められている。

このように、日本では研究開発の推進とともに処分の円滑な実施に向けてその対策の全

体像を明らかにする努力が行われているが、高レベル放射性廃棄物処分は、日本のみならず原子力発電を進めている各国共通の課題とも考えられ、当初から技術開発を始め国際的な協力が幅広く行われて来ている。設置される実施主体を中心に今後予定される事業活動を考えると、世界の高レベル放射性廃棄物処分関係者の認識を常に念頭に置きつつ、この共通課題に取り組んで行くことはますます重要になってくると思われる。

本報告では、各国の高レベル放射性廃棄物処分計画の状況、これに対する国際機関による現状評価および昨年末米国で開催された国際会議の議論を紹介し、今後に資することとしたい。

2. 主要国の高レベル放射性廃棄物管理国家計画

原子力発電を進めている欧米主要国はそれぞれナショナルな高レベル放射性廃棄物管理計画を展開しているので、全体の国際的評価に入る前に、個別の状況を簡単にレビューする。

2.1 カナダ

1977年の国家諮問委員会(通称ヘア委員会)

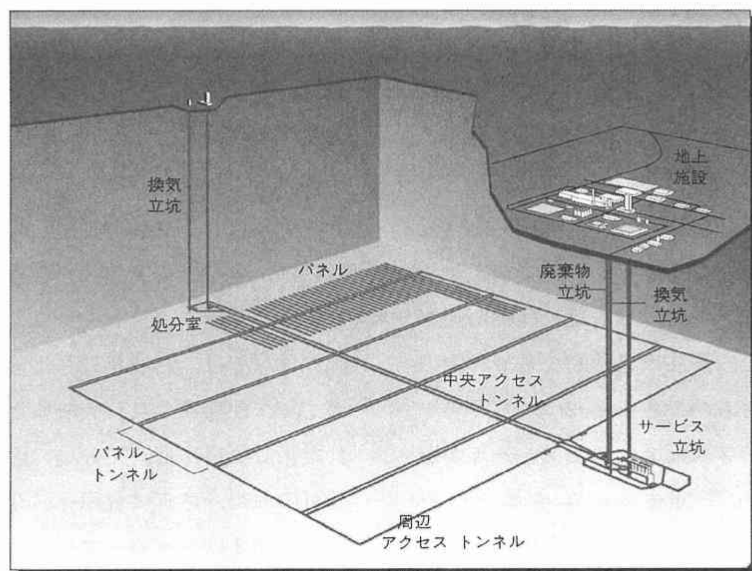
勧告を踏まえて、カナダで発生する使用済燃料の安全で恒久的な処分を確保するために、1978年に核燃料廃棄物管理計画が策定された。ここでカナダ原子力公社（AECL）が「火成岩層内への深地層処分」の研究開発を、オンタリオ州の電力会社であるオンタリオ・ハイドロ社が使用済燃料の貯蔵と輸送に関する技術開発を分担した。

連邦政府は、1989年に核燃料廃棄物処分概念の安全面、環境面および社会経済面への影響を評価するために、核燃料廃棄物管理・処分概念環境影響評価パネルを設置している。

AECLは、パネルの策定した指針に基づき15年にわたる研究開発成果を環境影響評価報告書（EIS）に集約し、これを1994年9月に評価パネルに提出した。図1にカナダの処分概念を、図2にウラン鉱床との比較について示す。パネルは、1996年3月から1997年3月に

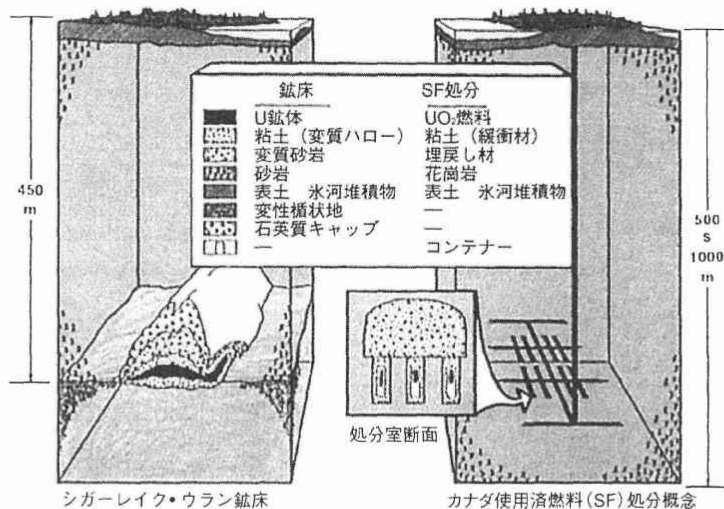
公衆によるレビュー・プロセスに付した後、1998年3月に処分概念の安全性と受け入れ可能性、さらにカナダにおける核燃料廃棄物長期管理の次の段階に関する勧告をまとめ、連邦政府に提出した。パネルの結論は、AECLが開発した処分概念は技術的には安全であるが、広範な公衆の支持は得られていないというものであった。

連邦政府は、これを受けて、処分概念を現実の立地プロセスに進めていくかどうかについて検討し、1998年12月に、「パネルの勧告を尊重しつつ、1996年に設定した長期的核燃料廃棄物管理の3つの基本政策目標（廃棄物基金の設立、廃棄物管理機関の設立、政府の監督）を達成するため、関係者と協議を重ね1年以内に優先オプションを提示する」との決定を公表した。1999年12月現在、新たな進展はまだ明らかでない。



出典：AECL-10711, COG 93-1

図1 カナダ廃棄物処分場概念図



出所：AECL 10856, 1994

図 2 シガーレイク・ウラン鉱床とカナダ使用済燃料
処分概念の対比

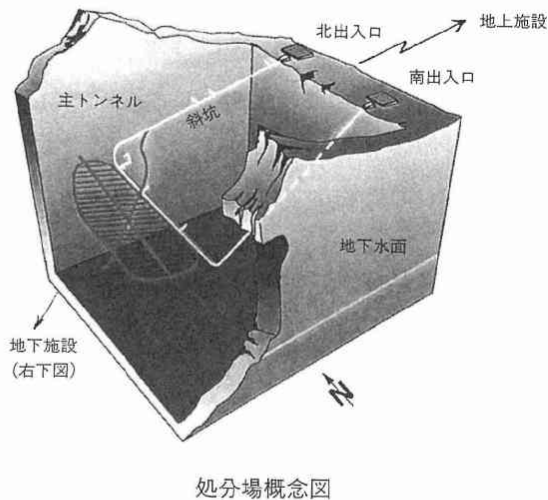
2.2 米 国

高レベル放射性廃棄物を地下深くの地層中に処分する構想は、1955年にプリンストンで地質学者、地球物理学者らが集まって開催された会議で初めて議論され、1957年に米国科学アカデミーの報告書「陸地における放射性廃棄物の処分」で、概念として公表されている。

1960年代には岩塩層への処分に関する検討が続けられ、1970年代にはより系統的な研究開発が進められた。1982年に核廃棄物政策法(NWPA)が制定され、地層処分計画に大きな転換が起った。同法は包括的な処分計画の骨格を提示するものであるが、2つの処分場を選定するためのプロセスとスケジュールが定められた。処分実施主体のエネルギー省(DOE)は、9つの候補サイトを特定し、最終環境評価書を作成した後、大統領に対してこの内の3サイトを第1処分場の選定のため

の特性調査を実施すべきとする勧告を行った。しかし、サイト特性調査には当初よりも時間と経費がかかることが明らかになったこと等により、核廃棄物政策法は制定5年後の1987年に修正されることとなった(NWPAA)。ここで、議会により第1処分場としての適性を調査するサイトをユッカ・マウンテンのみとする決定が行われた。

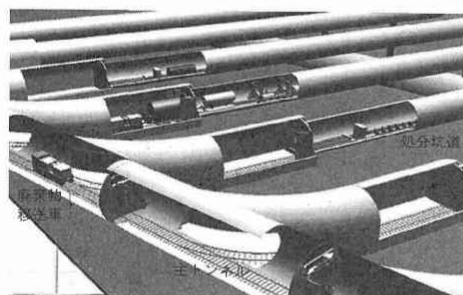
DOEは、1988年に最終的なサイト特性調査計画を作成し、これを推進しつつ1997年の4月には、主要な研究施設を含め地下トンネルを完成させた。ユッカ・マウンテン処分場計画の進展では、1998年12月に適合可能性評価書(VA)が作成され、大統領と議会に提出された。評価書には、処分場の設計、機能、許認可の取得、さらに費用見積り等が含まれている。図3にユッカ・マウンテン処分場の概念図を示した。その後、公衆のコメントを求めて1999年8月に環境影響評価書(ドラフト



出所：VA オーバービュー



処分場の地上施設の概念図



処分場の地下施設の概念図

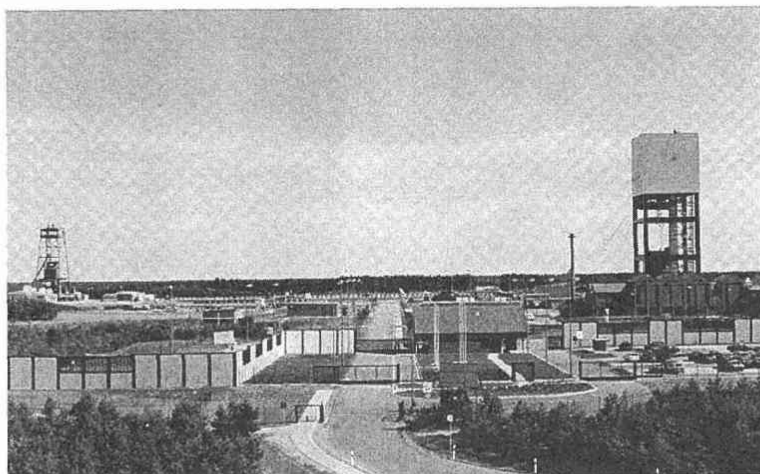
図 3 ユッカ・マウンテン処分場概念図

版)を公表し、2000年にその最終版が作成される。2001年には評価に基づき大統領へのサイト勧告が予定されるが、サイトの適合性が承認されれば、2002年に処分場建設の許認可申請が、以後2005年の建設許可取得を経て、2010年に処分場操業開始が予定されている。

2.3 ドイツ

ドイツでは、廃棄物を発熱性および非発熱性の2つに分類して、地層処分する計画が進行している。適切な地層を選定する研究は1960年代に始まった。1965年からは、廃棄物に対する処分場の建設と操業に関する科学・技術的課題を解決する目的で、アッセ岩塩鉱において研究開発が進められた。発熱性の放射性廃棄物に対しては適切な岩塩ドーム中に

処分場を開発する計画とされ、1979年にドイツ北部ニーダーザクセン州のゴルレーベンを唯一の候補地として選定し、掘削計画がスタートした。第1段階の調査計画ではボーリングとともに水文学的調査が実施された。1994年からは、水文学的調査とともに、地震探査、延長掘削の実施、地下水計測のための掘削などが実施されている。図4にゴルレーベン・サイトの全景を示す。高レベル放射性廃棄物の深地層処分場候補サイトでは、廃棄物は地下880mにおいて定置され、岩塩層は放射能崩壊熱と圧力勾配により時間とともに変形していくことが見込まれている。2番目の定置レベルは地下約900mになるものと考えられている。開発に遅れが生じているが、目標は2008年の処分場の操業開始に置いてきた。



出所：DBE HP

図 4 ゴルレーベン・サイト

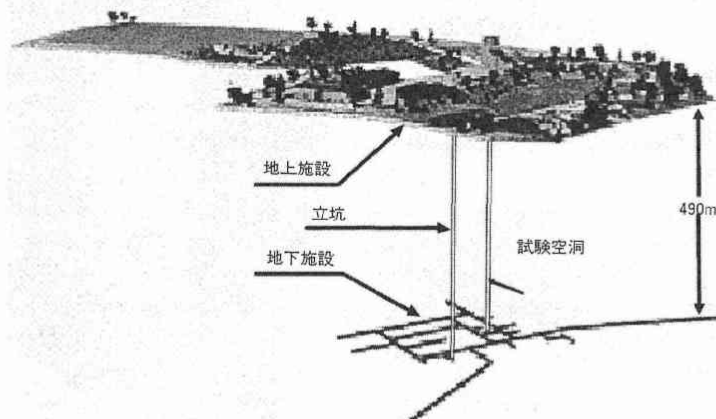
ドイツ社会民主党・緑の党の間で1998年に締結された連立協定に従い、ゴルレーベンでの調査は停止状態にある。現在の処分場計画に変更があれば、高レベル放射性廃棄物の中間貯蔵をどうすべきかが短期的課題として浮かび上がると考えられている。

2.4 フランス

放射性廃棄物管理機関(ANDRA)は、1979年に原子力庁(CEA)の下部に独立した機関として設立された。高レベル放射性廃棄物の地層処分に関するANDRAの初期のサイト選定計画は公衆の反対により1990年に凍結されたが、広範な再検討の後、1991年末に放射性廃棄物の管理研究に関する法律が制定され、新たな活動が開始されるに至った。この中で、ANDRAはCEAから独立した公的な産業および商業機関として再編された。1991年12月30日に公布された法律では、フランス政府は3種類の高レベル放射性廃棄物処分研究オプション(①核種の分離・変換 ②深地層

処分 ③長期貯蔵)を実施することとしている。また、放射性廃棄物管理に対する国家評価委員会(CNE)を設置し、3種類の高レベル放射性廃棄物処分オプションに係わる研究の進捗状況について政府に毎年報告するとともに、15年後の2006年に総合評価を行う責任を負わせている。

ANDRAの地層処分関連の研究では、法律の生みの親のバタイユ議員が廃棄物調停官となり、1993年末に4ヶ所の地下研究所候補サイトを公表したことで再スタートした。その後の調査で近接サイトの統合があり候補地が3ヶ所になったが、引き続き地質調査の結果、1996年の半ばに、各候補サイトで地下研究施設を建設、操業すべく、許認可申請がなされた。公聴会や政府の検討などを経て、1998年12月に、政府により東部サイトの粘土層への地下研究施設の建設が承認されたが、他の2ヶ所の候補サイトは却下された。フランス政府はANDRAに対して、2番目の地下研究施設建設を想定した新たな花崗岩層の候補サイ



出所：ANDRA HP

図 5 仏東部サイト地下研究所概念図
(粘土層)

トを探すように指示した。東部サイトでは1999年8月に建設・運営の政令が公布されている。図5に想定される東部サイト地下研究所の概念図を示した。

一方、CNEは、1998年6月に廃棄物の回収可能性に関する報告書を公表した。処分場閉鎖前後のレベルで廃棄物の回収可能性を取り入れるという段階的なアプローチの採用を提起している。

2.5 スウェーデン

原子力発電所を所有する4電力会社は、放射性廃棄物の管理に責任を持つスウェーデン原子燃料・廃棄物管理会社を1972年に設立した(1985年にSKBに組織変更)。SKBは、法により3年毎に政府に研究開発計画を提出し、承認を得ることとなっている。放射性廃棄物管理に関する基本は、研究開発計画'86においてガイドラインとして整えられたが、

ここでは、使用済燃料を中間貯蔵した後に地層に最終処分することが明記され、以後地下研究施設を中心にした研究開発が進められている。図6にスウェーデンの放射性廃棄物処分フローを示す。

オスカーシャム原子力発電所近傍にあるエスポ硬質岩石研究所(HRL)では、それまで蓄積されてきた知見に基づき処分技術の実証を行うとの位置づけになり、1992年に作成された第3次3ヶ年計画から実証機能が加えられることになった。

使用済み核燃料およびその他の長寿命放射性廃棄物の処分施設の立地は、SKBの廃棄物管理計画における今後の中心課題の1つである。実証処分場の開始は、2012年頃が想定されているが、その建設や操業などを通じて得られる知見を評価した後、将来世代の人々がその施設の容量を実物大にスケールアップするかどうかの決定を行なう。この段階では、

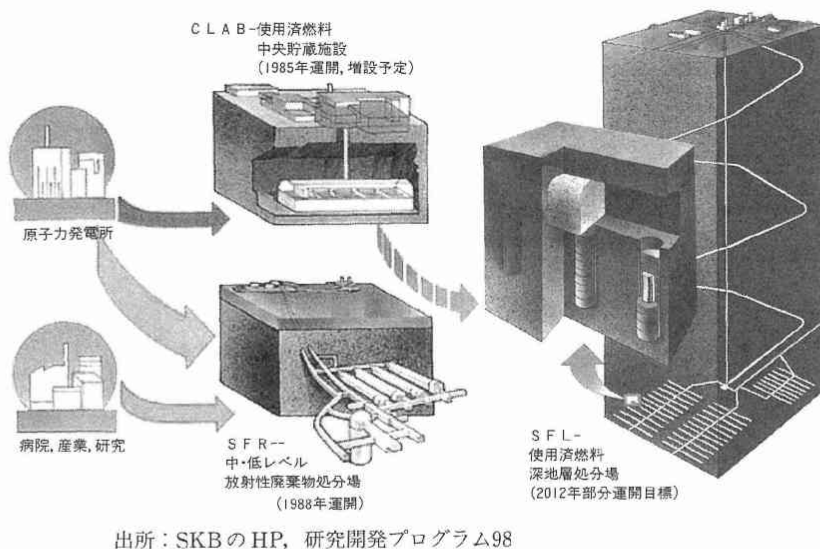


図 6 スウェーデンの放射性廃棄物処分フロー

一時保管した廃棄物を取り出して、別の方法で管理する選択ができる余地も残している。スウェーデンでは、処分場の候補サイトを指定して適切なシステム設計を行い、サイトの特性を調べ、処分場を当該地域の地質等の条件に適したものとするのには、現在の知識で十分であると考えている。これらを踏まえ、2001年末までにサイト特性調査を行う2サイトに絞り込むことを当面の目標として、サイトのフィジビリティ調査を、オスカーシャム、ニーチェピング、エストハンメル、ティーエルプ、ハルツフレッドおよびエルブカーレビーの6ヶ所で進めている。

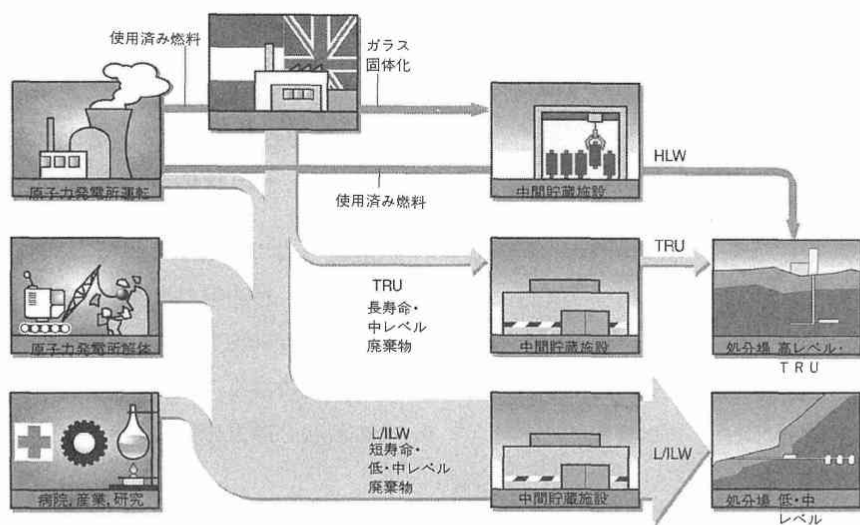
2.6. スイス

スイスにおける放射性廃棄物処分に関する最初の構想は、電力会社と放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）が1978年に作成し公表した。最終処分に対する最大の要求事項は、処分場閉鎖後の長期的安全性をいかに保証す

るかであった。処分の対象は、使用済核燃料の委託再処理に伴って発生し、スイスに返還される廃棄物であり、使用済核燃料の直接処分は留保されていた。

1979年に、政府は原子力発電所の運転許可更新の条件として、廃棄物の安全処分の保証を要求した。これに応じてNAGRAは、1985年に処分の実現可能性を評価した報告書（保証計画'85）を作成し、公表した。その後の技術的發展や社会的要請に合わせて変更も加えられてきているが、基本的な部分は1978年の構想を基礎にしている。スイスにおける深地層処分場の概念は、人工バリアと天然バリアによる長期の人間と環境の保護を基本に、将来世代への負担軽減、廃棄物再取り出しを要求も禁止もしない方法で放射性廃棄物を処分するというものである。図7にスイスの放射性廃棄物管理システムの流れを示した。

高レベル廃棄物および長寿命の中レベル放射性廃棄物、あるいは使用済核燃料の処分に



出所：Focus 01 (NAGRA 1998)

図 7 スイスの放射性廃棄物管理システム

表 1 海外主要国の高レベル廃棄物地層処分計画

	カナダ	アメリカ	ドイツ	フランス	スウェーデン	スイス
実施主体	未定 (AECLは研究開発)	米国エネルギー省 (DOE)	連邦放射線防護庁 (BfS)	放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)	スウェーデン原子燃料廃棄物管理会社 (SKB)	スイス放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA)
廃棄物の形態	使用済燃料	使用済燃料 ガラス固化体	ガラス固化体 使用済燃料	ガラス固化体 使用済燃料	使用済燃料	ガラス固化体 使用済燃料
候補地層	花崗岩	凝灰岩	岩塩	粘土/花崗岩	花崗岩	花崗岩/ 堆積岩
処分深度	500~1000m	約350m	660~900m	400~1000m	約500m	約1000m/ 約800m
R & D方針・現状	- 地下研での研究継続 - 環境影響評価書の評価を踏まえ、対応方策を検討中	ユッカマウンテンでサイト特性調査	ゴルレーベンの岩塩ドーム特性調査	廃棄物管理研究法での主要オプションとして推進	- 地下研での研究継続 - サイトの予備的調査中	- 地下研での研究 - スイス北部での地質環境調査中
スケジュール	成立性判断の後、実施主体を設立し、サイト選定を開始	2001年に大統領にサイト勧告	原子力政策見直し中	2001年地下研運転開始 2006年にオプション総合評価	2001年末までに2候補サイト 2012年の実証処険を開始	2000年にサイト存在の証明と連邦評議会の承認

関して、母岩層としては結晶質岩系の地層と
 オパール粘土層の検討が行われてきている。
 しかし、廃棄物の冷却貯蔵期間の40年を考慮
 して、処分場は2020年頃から2050年頃までは
 不要と考えられている。

スイスでは国内処分の実証が法的に要求さ
 れているが、ヨーロッパで発生する廃棄物量
 を勘案して、長期的には国際処分プロジェクト
 も視野に入れている。なお、最近廃棄物の
 回収可能性に関する検討も行われている。

表1に各国の計画を、また表2に日本も含

めて過去の経緯と今後の予定を横並びの形で
 示す。

3. 放射性廃棄物の地層処分に向けた 進展——現状の国際的評価

経済協力開発機構・原子力機関 (OECD/
 NEA) は、1999年の報告書の中で、加盟諸国
 の放射性廃棄物専門家から集めた情報・見解
 および他の情報の検討に基づいて、深地層処
 分の現状と過去10年間の展開に関する評価を

表2 主要国の地層処分：経緯と今後の予定

	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	備考
カナダ																								政府決定 に対する 対策待ち
米 国																								2001年の サイト勧 告に対し 大統領が 決定
ドイツ																								連立政権 の政策に より先行 き不透明
フランス																								法に基き 2006年に 管理方法 の総合評 価見込み
スウェー デン																								2012年の 部分運開 目標
スイス																								フェーズ 4：建設 運転 2020以降
日 本																								運開は 2030年代 ～2040年 代半ば

示している。ここでは、技術的側面と社会的側面の両方を検討して世界の共通課題に対する到達点を示すとともに、今後の課題も明らかにしている。その評価の概要は以下のとおりである。

3.1 主要点に関する広範な技術的合意内容

① 長寿命放射性廃棄物が存在する。深地層処分が最適な処分オプションである。
：多数の代替案のうち地層処分は、倫理的問題、技術的な実行可能性、高い安全性、短期・長期両方の環境保護を提供する。

② 地層処分に関する科学的知識と技術に著しい進展がなされた。
：プロセスの科学的知識、安全性に関する改善と定量的評価、サイト候補調査、地下工学と実現の経験が含まれる。

③ 処分場の建設・運転技術は十分成熟し展開可能である。
：世界中の地下研究所、既存の地下施設での放射性廃棄物処分経験。特に、長寿命廃棄物の最初の専用地層処分場が、1999年3月に米国で運転を開始した。

④ 地層処分の実現に向けた過去の計画は、楽観的すぎた。
：処分プロジェクトに関し、政治的次元、公衆次元、規制次元で過小評価があった。中間貯蔵施設の安全認識、少量の廃棄物発量、処分前の冷却貯蔵期間の必要から、処分施設は緊急に必要ではなかった。

⑤ 科学・技術コミュニティは、地層処分

の技術的安全性に高い確信を持つ。

：多くの専門家による多年の研究の結果、技術コミュニティには、地層処分の安全性と利点について幅広い合意がある。

⑥ 公衆は科学・技術コミュニティの持つ高い確信を必ずしも共有していない。

：公衆の信頼がないことは、原子力の安全性の信頼の不足に結びつくことがあり、無条件の反対や科学的発展への全般的な信頼不足さえも招くことがある。

⑦ 継続的な高品質の科学・技術研究が必要である。

：地層処分の技術はかなり開発されているが、改善、試験、実証、実現、品質管理は何十年にもわたる難しい課題である。

⑧ 公衆の意見も考慮し、首尾一貫した政策と厳密な規制の枠組みが必要である。

：地層処分の実現に向けて段階的に進め、最終的に、政府が、適切に公衆の支持を満たす決定を行う責任を持ち、必要な措置を行える枠組みを提供すること。

3.2 深地層処分概念—安易な選択ではない

長寿命放射性廃棄物の地層処分概念は、他のオプションの検討も含め、十分時間をかけた熟考と討論および広範囲に及ぶ調査の後に策定された。長期間の安定性、廃棄物処分施設を受け入れる能力、起こり得る放射能の漏れを防止する能力、および漏れを著しく減らす能力に対応する母岩地層候補が選ばれる。

この天然の安全バリアは、主として廃棄物

の物理的・化学的格納が出来るように設計された工学システムによって補足され、強化される。システム全体は、廃棄物からの有意な放射能が地表環境に一切戻らないことを保証し、非常に長期の安全性と環境保護を、将来の世代に負担をかけない方法で提供するように設計される。

長寿命放射性廃棄物が問題となっている国の大半は、最終的に廃棄物を地層処分施設に埋設する放射性廃棄物管理プログラムを作成しているが、他の管理オプションは可能性としてまだ考察の対象である。今日、科学的な討論が行われているオプションは、廃棄物の長期貯蔵と廃棄物内の長寿命放射性核種の分離と変換である。このうち数世紀にわたる長期貯蔵は、すでにいくつかの国で計画されている。しかし、どちらのオプションも、地層処分を完全に代替できるとは考えられていない。

1995年NEAのコレクティブオピニオンに発表された、国際的な放射性廃棄物管理専門家の最新の見解は、以下のとおりであり、地層処分の有効性を再確認している：

- ① 将来の世代に対する我々の責任は、監視を必要とし、長期間の管理責任を残し、将来には人々が忘れてしまう可能性のある貯蔵への依存ではなく、最終処分戦略によって免除される。
- ② 陸上の地層への深地層処分は、長寿命廃棄物にとっては現在のところ最も好ましい戦略である。

3.3 科学的・技術的進展の達成

処分を実現するには、広範囲にわたる技術的活動が必要である。廃棄物の処理・貯蔵、

格納容器の開発、処分サイトの選定と特性調査の実施、安全性の評価、許認可申請・取得、処分施設の建設・運転、最終的には閉鎖しなければならない。過去10年にわたり、これらの活動、特に、地層処分の安全性評価とその実施を支えるのに必要な科学・技術分野において進展が見られた。

(1) 廃棄物の処理および中間貯蔵のための施設の開発または建設

たとえば、スウェーデンの使用済燃料中央貯蔵施設(CLAB)およびスイスの放射性廃棄物中間貯蔵施設(ZWILAG)のような、高レベル再処理廃棄物と使用済み燃料のための貯蔵技術部門と集中貯蔵施設の建設部門で特に顕著である。

(2) ナチュラルアナログの研究を含む経験および現場実験

地層処分場に関連する可能性のある特定の条件の下で、安全関連プロセスを研究するための総合的な科学研究プログラム(金属腐食、粘土属性の変化、さまざまな媒体への溶質の移動、化学的収着、長期的な気候変動等)が策定された。

ナチュラルアナログ研究には、処分場の長期的挙動を決定する可能性のあるプロセスに類似した、自然に発生するプロセスの調査が含まれる。

(3) 地下岩石研究所の建設・運転

処分場サイトとはみなされていない場所であるが、関連情報を提供できる可能性のある世界中の10を超える地下施設で研究・開発業務が実行されている。さらに、数カ所の地下

岩石研究所が深地層処分場サイト候補にある。こうした研究所は、地下工学手法を開発・実証するための環境を提供するとともに、安全性評価に使用される科学的・数学的モデルを試験するための貴重なデータを提供している。参考までに表3に地下研究所の実績例を示す。

(4) サイト特性調査の経験

10年前、地層処分場サイト候補および環境から入手できるデータはわずかであり、データ収集の戦略および手段はほとんど作成されていなかった。今日、地球物理学を使用した詳細な特性調査、多数の試錐孔、開発用シャフトとランプを含む広範囲なプログラムが複数の国のサイトで実行されている。

(5) 人工バリアの設計開発

特定の地層環境の適切な特性調査は難しいという認識があることに対応して、ここ10年にはいわゆる堅牢な人工バリアシステムの開発に多くの関心が寄せられた。これらは、物理的バリアと化学的コントロールを組み合わせることによって、高いレベルの長期的閉じ込めを行うことができる一方で、母岩の特性をわずかしき要求しないことが期待できるシステムである。

(6) 安全性評価技術の改良

科学的知識の向上と実験研究からのデータに加え、数学的モデルの改良と計算技術の進歩により、地層処分場システムとその構成要

表 3 海外主要国の地下研究所の実績等

	カナダ	アメリカ	ドイツ	フランス	スウェーデン	スイス
施設名 (場所)	URL (マニトバ州)	ユッカマウンテン (ネバダ州)	ゴルレーベン (ニーダーザクセン州)	(フランス東部サイト、他1つ未定)	HRL (エスポ島)	GTS (グリムゼル)
実施機関	AECL	DOE	BfS	ANDRA	SKB	NAGRA
岩種	花崗岩	凝灰岩	岩塩	粘土/花崗岩	花崗岩	花崗岩
深度	実験エリア： 240m, 420m	300m	探査レベル： 840m	—	465m	450m
目的	●他層処分概念の実証 ●カナダ楯状地の熱特性、地質構造等の知見取得	●処分場候補地としての適合性評価	●処分場候補地としての適合性評価	●法により廃棄物管理オプション研究 ●処分の実現可能性評価	●地層処分概念の技術実証 ●処分安全裕度の理解	●処分サイト探索技術開発 ●処分概念のプロセス調査
スケジュール	ササイト評価： '80~'83 建設 240m：'83~'87 420m：'87~'90 運転：'89~'00	87年にユッカマウンテンが候補地に決定 評価/設計 '90~'93 建設：'93~'98 運転：'98~	地表調査： '79~'85 調査立坑掘削： '86~'97 地下探査： '97~	候補4サイト選定：'93/12 サイト調査・絞り込み： '94~'98 建設：'99~'01 運転：~'05	サイト事前調査：'86~'90 建設：'90~'95 運転：'95~	サイト調査： '79~'82 建設：'83~'84 運転：'83~'01 (フェーズ1~フェーズ5)

素の潜在的挙動をよりリアルに表現できるようになり、より高い信頼性が置かれるようになった。総体的には、このような方式、モデル、データを使用する評価の結果は、安全性の観点から、処分場サイトと設計を受容できるかどうかを判断するための信頼のおける基準であるという確信が高まっている。

(7) サイト特性調査、設計、安全性評価の統合の改良

データ収集、科学的知識、定量的モデル作成の進展により、地層処分システム要素の性能と、さまざまな種類の岩石およびサイト固有のさまざまな環境におけるその個々の役割の理解を向上させることができた。

(8) 準拠要件を含む、規制枠組みの策定

最終的な地層処分の必要性がある大半の

国々では、地下処分の原則と具体的な要件を定める規制ガイドラインが設定されている。

いくつかの国では、サイト特有の要件が設定されている。処分場開発者の研究活動と繰り返される安全性評価のレビューを含めた、規制者-開発者の交換プロセスも多くの国で設定されている。

3.4 地層処分の実現—進展と後退

地層処分の科学的・技術的側面で成し遂げられた進展は、地層処分のための必須技術を今日利用できることを示している。使用済み燃料および高レベル放射性廃棄物の処分のための深地層施設は、まだ実現されていないが、低レベル放射性廃棄物の処分のための地下施設は、数カ国で運転実績がある。

この状況を低中レベルと高レベルに分類して表4に取りまとめて示した。

表 4 地層処分の実現——進展と後退

	カナダ	アメリカ	ドイツ	スウェーデン	スイス	フィンランド	イギリス
低・中レベル放射性廃棄物処分等	—	●廃棄物隔離パイロットプラント：運開 '99/3 ●深度：650m	●アッセ岩塩層 運転：'67～'78 ●モルスレーベン岩塩層 '81～'98 ●深度：500m超	●フォルスマルク原発サイト SFR ●運転：'88～ ●深度：海底下60m	●ベレンベルグ処分場 開発計画：州の住民投票で拒否、オプション検討中	●オルキルオト原発、ロビーサ原発での運転：'98～ ●深度：100m	●セラフィールド岩盤特性調査施設 計画却下：'97
高レベル放射性廃棄物処分	●評価パネルが処分概念をレビュー勧告：技術は良いが社会的許容に課題 ●組織改革と協議プロセス検討へ	●ユッカマウンテン計画で実行可能性評価書作成：'98 ●環境影響報告書作成：'00 ●サイト勧告：'01	●ゴルレーベンの岩塩調査進展 ●現政権が廃棄物管理オプションの再評価意図を表明	●2001年を目処に処分候補サイトを2ヶ所に絞り、調査開始の予定 ●2012年に実証処分を開始予定	●2000年にサイト存在の証明と連邦評議会の承認	●2000年に最終的なサイト決定の見込み	●議会上院委員会報告で地層処分を支持'99 ●政府が新政策を検討発表の見込み

要約すると、幾つかの国では実現に向けて著しい進展がみられるものの、進展速度は10年前に予測していたよりも遅く、幾つかの国ではかなり後退している。

一部の国の進展が遅くなっているのは、たとえば地層特性調査の難しさや実際のサイトに関する適切な理解を広めることの難しさに関連した初期の技術的楽観主義に一部根ざしている可能性がある。重要なことは、主として放射性廃棄物の地層処分に関する公衆次元および政治的次元の問題の過小評価から生じている後退である。

3.5 技術的信頼—必要であるが十分でない

近年、廃棄物管理機関は、地層処分の概念に関する技術的知識と技術的信頼が、それだけでは廃棄物管理の解決策として地層処分が妥当であることを広く一般の人々に知らせ、実現の成功に向けての助けとなるには不十分であるとの認識を急速に持つようになっていく。処分実施の決定が受け入れられるためには、より広範囲な人々に信頼が広がっていかなければならない。

(1) 広範囲な信頼のための要件

処分場の技術的安全策への信頼だけではなく、以下の信頼が必要とされる。

- ① 広範囲な技術コミュニティおよび公衆の側における、地層処分場の適切さに関する倫理的、経済的、社会的側面に対する信頼
- ② 組織体制、法的枠組み、規制のレビュープロセスが、明確な、論理的な、確かな意思決定経路を提供するという、公衆の信頼

(2) 方針および法的枠組み—公衆の参加

重要な原則は、地層処分開発の長期的なタイムスケールにわたって意思決定を行う経路を設定するために、安定した国家政策と法的枠組みを確立することである。そのような枠組みはフィンランド、フランス、米国など数カ国に存在するが、この段階では、その他の諸国ではあまり明確でない。

方針の策定または意思決定経路に組み入れべき公衆レベルの協議は、全国的に考慮すべきことがらである。すべての国は、放射性廃棄物および他の環境問題に関する論争が国際的な話題になることが増えていることを認識する必要がある。対策が国家の枠組み内でなされているかどうかに係わらず、そうした討論は国の見解に影響を与えることがある。

(3) 段階的实施—段階的な意思決定の機会

地層処分施設に関する計画立案、技術開発、関連する研究、立地、建設、最終的な許認可取得および操業は、数十年の期間にわたって行われる予定である。処分場開発の各段階に資源を充当する決定には、適切なレベルの信頼が伴うべきであり、段階的な規制上のレビュープロセスそして社会的なレビュープロセスの機会が提供されるものと考えられるようになってきている。

高い評価を受けている規制者が指導する、公開の段階的な規制レビュープロセスは、公衆のために開発者のプロポーザルは詳細な技術検査を受けているという信頼を与えることができる。ある特定の中間目標で、より直接的な公衆の協議が必要になることがある。この協議は、特定サイトの開発を考慮するときには、国家組織との広範囲な戦略関連の事項に関する協議から、直接影響を受ける共同体と

その代表者との詳細な討論にまでわたることがある。

(4) 倫理的問題とその他の関心事

原子力発電およびその他の放射能の利用から利益を受ける世代は、結果として生じる廃棄物の安全かつ恒久的な処分手段を提供すべきであるという倫理的な問題に取り組む必要がある（世代間の公平原則）。

ごく最近、我々の世代は将来の世代に対してオプションを排除したり、決定を行う権利を妨害するべきではないという、倫理問題が生じている。一方、廃棄物管理に従事している人々は、少くとも将来の世代の管理負担を必要としない、受動的な安全性をもつ地層処分の実現を最優先すべきであると、また段階的な処分場開発プロセスの採用で将来への非常に長期間にわたってオプションを開いたまま維持できると指摘している。

また、世代内の公平問題、特に現世代内での資源の扱いおよび意思決定プロセスへの公衆の参加の扱いに対する倫理的アプローチを特定する社会の問題もある。詳しい情報に基づいた社会的判断が必要である。いかなる社会も完全な合意に達することはない。最終的に適切なレベルの公衆の支援を受け、必要な措置を取れる枠組みを提供する決定を行う責任は、政府にある。

(5) 地層処分の概念の柔軟性—公衆の懸念の傾聴

地層処分は受動的な安全対策として考案されているが、その概念は現世代と将来の世代による処分場のモニタリングおよび保守を除外してはいない。社会は、サイトの保護とモニ

タリングを含めた、長期的な制度化した管理の導入を選択するかもしれない。これらの措置は、地層処分の重要な目標の1つである信頼を確実に強化できるが、そうした管理がもし失敗した場合でも、人間の健康と自然環境は保護されるということを保証するべきである。

地層処分も、取り消すことが難しいステップは延期するという段階的なまたは柔軟性のあるやり方で実現することができる（スウェーデンの実証処分場計画、スイス、米国等のトンネル埋め戻し/閉鎖の延期検討）。

廃棄物管理機関が伝えることが難しい重要なメッセージは、安全に疑念があれば、廃棄物が地下施設に埋設されることはなく、廃棄物は必要であれば採掘によって回収できるということである。

(6) 廃棄物管理の専門家と機関の役割

廃棄物管理の専門家と機関は、長期的な廃棄物管理のための安全かつ経済的な手段を提供するために必要な科学的・技術的研究を続ける必要がある。社会および政府は解決策を導入するかを決めなければならないが、適切な解決策を確実に利用できるようにするのは廃棄物管理専門家と機関の責任である。国際会議は、廃棄物管理組織の将来の必要性に応じるため、また、多くの人々とのコミュニケーションのために引き続き重要なものとなる。協力プロジェクトにおける見識と知見の共有は、実行者と規制者の双方にとって貴重なものであると立証されている。公共問題および政治的問題の最終的な責任は、社会および政府にある。ただし、廃棄物管理専門家も技術的問題、公共問題、政治的問題の接点で

の活動に進んで関与すべきであることを認識しなければならない。

3.6 要約および結論—回顧と将来

- ① 国家プログラムの実行でここ10年の間に地層処分の実現に向けてかなりの科学的・技術的進展がなされた。この進展は、国際会議での情報交換による支援、促進、指導を受けている。
- ② 高レベル廃棄物の地層処分場プロジェクトで建設開始の決定がなされる可能性のある時点に近づいている国があるが、まだ処分場は操業されていない。大半の国では、プロジェクトの実現はまだ何年も先である。計画の後退や遅延が見られるが、地層処分を追求する決定を撤回する国はない。
- ③ 廃棄物管理専門家は、地層処分の概念に対して信頼を置いている。安全な深地層処分の実現可能性に対する信頼は、以下によって強化されている。
 - ・サイト特性調査と研究・開発を通じた安全関連プロセスの理解の向上
 - ・多数の国における詳細な処分場概念の作成
 - ・厳密な安全評価方法の適用による処分場概念の安全性の実証
 - ・国および専門家の国際グループによるこれらの評価の独立したレビュー
 - ・深地層処分場の実現のために必要な技術の開発、実証
- ④ 専門家が直面する最も困難な課題は、地層処分に対して持つ信頼を確実に広く公衆に伝え、共有することである。公衆全般は、安全な処分の実行可能性について、技術的な合意が広く普及しているということに気

づいていないことが多い。

- ⑤ 長期的な廃棄物管理問題には、倫理的、社会的、政治的次元のものがある。地層処分のような長期的な管理戦略の容認は、広範囲にわたる適切な組織との協議の後、公衆の意見を考慮に入れて社会的レベルまたは政治的レベルでのみ決定される。

論議の多いプロジェクトという性質がある以上、地層処分を選択しようとするすべての国で適切な社会的意思決定プロセスが必要になる。

- ⑥ 廃棄物管理専門家とその機関は、技術的に健全で、安全かつ経済的な解決策を策定し、公開討論でそれらの解決策について保証する責任を遂行しなければならない。

社会は、全体として、放射性および非放射性を問わず長期的にあらゆる廃棄物を管理するための方法の選択、およびバランスのとれた資源の割当てに参加する権利と義務を持っている。

4. 最近の国際ワークショップでの議論

米国科学アカデミー (NAS) は、地層処分について、各国の技術的進展、プロジェクト自体の推移などの経験を踏まえ、社会的解決がそれほど容易ではないこの問題をいかに展開させていくかなどの点について広く関係者の意見を取り入れた報告書の作成を計画し、その一環として、昨年11月に「地層隔離による放射性廃棄物の処分：開発、現状、および技術と政策の挑戦」と題する国際ワークショップを開催した。内容、タイミングともに前述の国際的評価で触れた共通の課題に今後どのように取り組んで行くのかに密接に関連し

ているように思われる。その意味で、具体的議論の枠組みおよび概要を簡単に紹介する。

4.1 ワークショップの概要——目的と内容

米国科学アカデミー/研究協議会 (NAS/NRC) は、国内外の政策作成者に対し、高レベル放射性廃棄物の地層処分オプションの実施に対する開発、現状並びに技術と政策の挑戦に関する客観的な情報を提供しようとしている。ワークショップは、分科会 (セッション) の作業方式で行われたが、国内外の、政策担当機関、研究機関、産業界、非政府組織、およびメディアからの参加を期待し、さらに公衆に対してオープンにされた。その取りまとめは、運営委員会によりワークショップの議論を勘案し、2000年の夏あるいは秋頃にNRC報告書として刊行される予定となっている。

4.2 セッションの構成と主要な議論

① セッション1—「地層処分場の受容可能性の確立における総合システム性能評価 (TSPA) の役割」

廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) の成功と、英国の地下研建設失敗の例を振り返り、単純でない処分地層では、解明されていない過程が関与してくる可能性を排除できないとし、ユッカ・マウンテンのような地層では、安全評価の根本でもある地下水移行機構の解明に至るまでには、まだ重要な課題が残るとしている。

② セッション2—「処分概念から実施までの段階的開発における技術的および社会的バランスの維持」

廃棄物の再取り出しの問題が、将来世代の

選択、社会的合意、およびモニタリング対応の観点から議論された。また、開発の段階的進め方について各国の事例や認識の紹介がなされた。

③ セッション3—「規制者のジレンマ：不確実性が存在する条件下での意思決定」

④ セッション4—「社会的不信状況下でのパブリック・アクセプタンス」

英国のセラフィールドにおける地下研建設失敗事例についての議論があり、英国の教訓を踏まえて今後先に進むにあたり、総合的な関連、プロセスや人に対する信頼／信任、コミュニケーション (反対派、安全とリスク、調停) の重要性が指摘された。

⑤ セッション5—「国家計画からの教訓：成功あるいは後退へのルートを辿る」

幾つかの主要問題について整理が行われた。立地に関する特定の国の経験は他国には余り役に立たないであろうこと、信頼は個人によるところが大きいが、堅実な計画およびプロセスも重要であること、段階的アプローチでは、全体像を見通し各ポイントで決定すべきことを、段階ごとに押さえていくのが重要であること、信頼のために、関連する意見を設計に反映できるようにすること、規制は全て統合的かつ一貫性が重要であること、また、廃棄物の再取り出しは将来世代のオプションであるとの認識が示された。

⑥ セッション6—「地層処分は必要か」

地層処分の将来オプションと見られている核種分離・変換技術について、核種分離・変換および加速器での核種変換 (ATW) が実施された場合であっても、地層処分場は依然として必要であろうとの合意が得られた。

⑦ セッション7—「国際協力を通じての進

展」

海洋底下処分に関する発表、核不拡散の提案に関する発表、国際的な貯蔵あるいは処分
の提案に関する発表及び国際処分場に関する
プロジェクトの発表が行われた。特に国際処
分場計画については、スウェーデンの代表が、
国の計画を壊してはならないと強く指摘し
た。

5. おわりに

ここまで、OECD/NEAによる地層処分の
現状評価を軸とした国際動向を辿ってみた。
深地層処分場の概念は、倫理的な考察とその
他のオプションの検討を踏まえて、研究、開
発と討論の上に出されたものである。近年、
各国で概念そのものがほぼ取り入れられてい
る一方で、一部では処分の延期と、廃棄物管
理の代替オプションのさらなる検討を求める
意見が表明されている。廃棄物管理専門家は、
地層処分の概念の技術的知識と技術的信頼

が、それだけでは廃棄物管理の解決策として
地層処分が妥当であることを広く一般の人々
に知らせるのに不十分であるという認識を急
速に抱くようになっている。処分を実施する
決定が受け入れられるようになるには、より
多くの人々に全幅の信頼が広まらなければな
らない。高レベル放射性廃棄物の処分問題の
解決に向けて、国際評価で示された課題への
挑戦が今後とも続くことになろう。

出典

1. Progress Towards Geologic Disposal of
Radioactive Waste: Where Do We Stand?
An International Assessment OECD/NEA
(1999, Oct)
2. Nuclear Waste Bulletin
Update on Waste Management Policies
and Programmes No.13, (Dec., 1998)
3. Virtual Repository of Radwaste
Information by Geosciences for Develop-
ment and the Environment National Profiles
(Webb Site)



〔調査研究報告〕

産業用MCFCシステムの環境影響評価

—CO₂, SO_x, NO_x 排出量の

ライフサイクルアセスメント的分析—

鈴木 昭 男 ((財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員)



1. はじめに

地球環境問題に関しては、平成9年度の地球温暖化防止京都会議(COP 3)における温室効果ガス削減に関する合意等を受け、わが国においても喫緊の課題として取り上げられている。

一方、燃料電池は、高効率で環境負荷が少ない発電技術として技術開発が着実に進められており、地球環境問題解決の1つのツールとして期待されている。

なかでも、熔融炭酸塩型燃料電池(以下MCFC)は、その特性からより高効率が要求される中規模以上の定置式発電用として期待されており、通商産業省工業技術院のニューサンシャイン計画第2期計画において、1,000 kW級パイロットプラントの運転研究が平成11年度に実施され、所期の性能が確認される等、着実に技術開発が進められている。

MCFCが火力発電所の代替として導入される時代は、遠からず到来するものと見込まれている。

このような背景の中、当研究所は熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合の委託により、MCFCの市場導入・普及促進の支援を目的とした調査研究を実施してきた。

平成8～9年度の調査研究結果から、数MW程度の産業用需要家がMCFCの先行導入市場として可能性が高いと判断し、平成10年度には産業用市場に導入するMCFCシステムを具体的に試設計し、MCFCが同市場に適応性が高いことを確認してきた。

平成11年度実施の本調査研究では、ライフサイクルアセスメント(以下LCA)の手法を用いて産業用MCFCシステムの環境影響を定量的に評価し、同システムが環境にやさしい発電システムであることを示すことで、わが国におけるMCFCの開発・導入促進の一助となることを目的とした。

2. 調査研究の進め方

(1) 検討項目

本調査研究では、産業用MCFCシステムについて、以下の検討を行った。

- ・ 素材重量・組立加工時使用エネルギーなどの製造データ、燃料使用量などの運転データの概要を明らかにした。
- ・ ライフサイクルにおける環境負荷(CO₂, SO_x, NO_x)の排出量を定量的に明らかにし、内訳について評価した。

- ・単位電力量当りの環境負荷排出量について、他発電方式と比較評価した。
- ・産業用需要家に MCFC システムをコジェネとして導入する前後で、需要家トータルの環境負荷排出量を比較評価した。

(2) 評価手法

環境影響を定量的に評価する理想的な手法として、製品のライフサイクルすべてを対象とする LCA が注目されている。

本調査研究では、環境負荷が人体へ与える影響まで定量的に評価するという本来の LCA までは踏み込まず、一般的に LCA として行われているライフサイクルインベントリ分析(ライフサイクルにおける環境負荷の排出量を算出し、その量で評価する分析)を行ない、他発電方式と比較することで相対的に評価した。

環境負荷排出量は、積み上げ法により算出した。

(3) 評価対象

平成10年度に電力使用量が数MW程度の産業用需要家に試設計した MCFC システムの中で、代表的なケースを評価対象として設定した。

設定した需要家のエネルギー利用状況を表 1 に、適用する 7 MW 級 MCFC/GT システムの鳥瞰図を図 1 に、さらに同システムのスペック概要を表 2 に示す。

(4) 評価対象範囲

図 2 に評価対象範囲を示す。

LCA は、ゆりかごから墓場までといわれるとおり、本来原料調達から設備廃棄・リサイクルに至る製品の生涯における全ての工程を対象にすべきだが、今回評価する MCFC システム等の発電設備においては、 CO_2 、 SO_x 、 NO_x の排出量は運転時が支配的となっており、計算の簡略化のため設備廃棄・リサイク

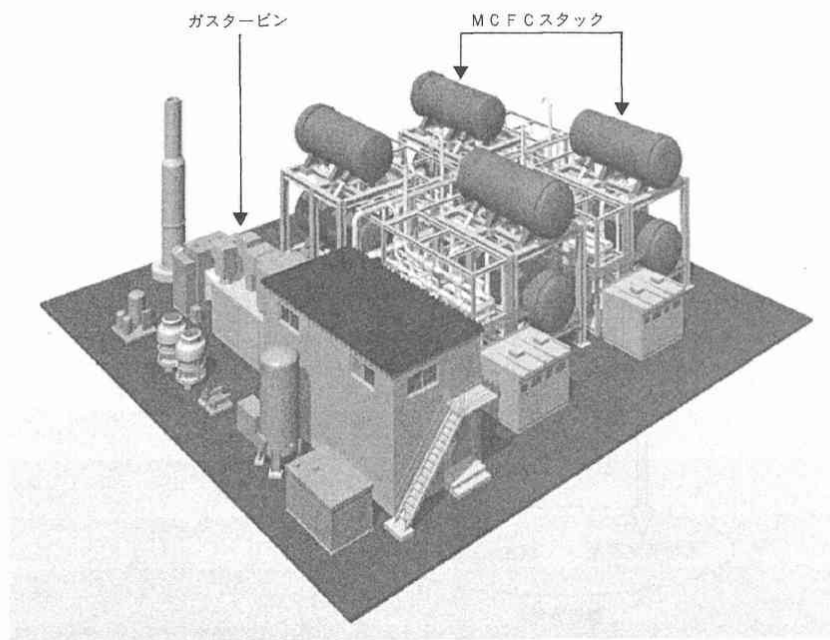


図 1 7 MW 級 MCFC/GT システム鳥瞰図

表 1 設定需要家のエネルギー利用状況

業 種	電子機器（半導体）の製造工場
工場運転形態	24時間操業
電力利用状況	夏期17,400kW, 冬期15,000kW
熱利用状況	温度170℃, 圧力 8 kg/cm ² , 流量12t/h の蒸気 (7740Mcal/h)
現状コージェネ	ガスタービン 1,500kW×3 基
使用燃料	天然ガス（パイプラインから供給）

表 2 設定MCFCシステムのスペック

構 成	MCFC 1.5MW×4 基, GT 2 MW×1 基
送電端出力	6.9 MW
送電端効率	53.6% (HHV)
SO _x	0 ppm
NO _x	5 ppm

ル時などは無視した。

MCFCシステム製造に必要な原料を採掘してから工場に調達するまでに発生する排出量を「素材調達誘発」とし、これに工場での組立加工・工場試験などに伴ない発生する「組立加工誘発」を合わせて「製造誘発」の対象範囲とした。

また、運転燃料の天然ガスからの排出については、液化工程、海上輸送・国内輸送での排出を「燃料調達誘発」とし、これに発電時に直接排出される「直接排出」を合わせて「運転誘発」の対象範囲とした。

なお、今回無視した設備廃棄・リサイクル等に関しては、産業廃棄物を削減する観点からは別途詳細に検討すべきである。

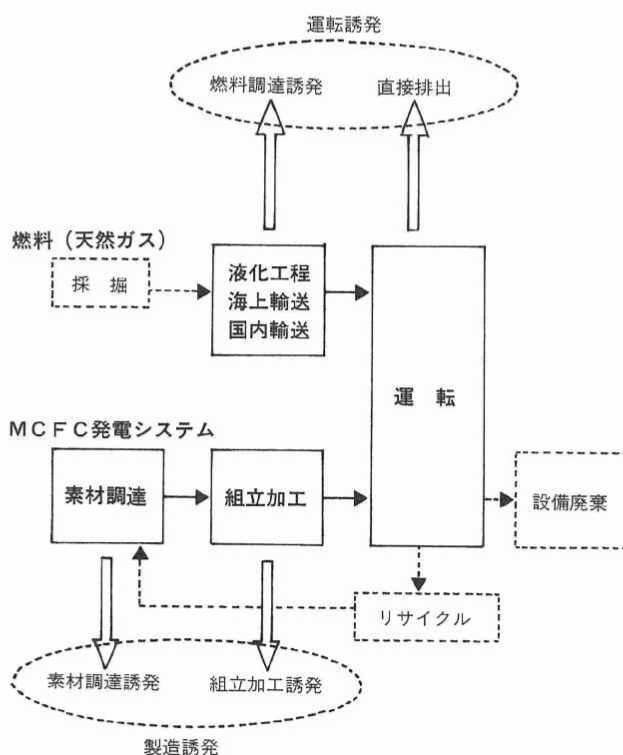


図 2 MCFCシステムのLCA的評価対象範囲図

3. LCAに使用する製造・運転データ

LCAに使用されるMCFCシステムの製造・運転に関する諸データは、国内でMCFC

表 3 素材調達に必要な資源量

(MCFCシステム1基製造当り)

機 器 名		使用材料種類	重量(ton)
燃料電池 スタック	圧 力 容 器	クロームモリブデン鋼	160
		ステンレス鋼	48
		ケイカル（保温材）	3
	燃 料 極	Ni-Al 合金	9
	空 気 極	NiO	6
	電 解 質	LiAlO ₂	3
		Li ₂ CO ₃ /Na ₂ CO ₃	6
	セパレータ	ステンレス鋼	32
Ni クラッド		5	
ガスター ビン	ケーシング	ステンレス鋼	4
		インコネル	4
	ローター	インコネル	4
	発 電 機	銅	3
		鉄心	3
		圧延鋼板	3
改 質 器	ケーシング	ステンレス鋼	56
	触 媒	Ni／アルミナ	1.5
排熱回収 熱交換器	ケーシング	クロームモリブデン鋼	10
	伝 熱 管	炭素鋼鋼管	5
ブ ロ ア	カ ソ ード	ステンレス鋼	4.4
		鉄心	3
		銅線	3
	ア ノ ード	ステンレス鋼	2.4
		鉄心	2
		銅線	2
起動用空気圧縮機		圧延鋼板	2.1
		ステンレス鋼	2.1
空 気 貯 槽		圧延鋼板	2.6
煙 突		圧延鋼板	6
純 水 装 置		圧延鋼板	2.5
		イオン交換樹脂	2.5
電気制御 ユニット	インバータ	半導体	1
		トランス	12
	導 体	銅	13
周辺配管	配 管	ステンレス鋼	300
	保 温 材	ケイカル（保温材）	60
基 礎		コンクリート	500

を開発しているメーカ3社より提出された推定値を基に、当研究所で設定した(表3～5)。

表 4 組立加工に必要な資源量

(1基製造当り)

工 程 ・ 資 源		必要エネルギー・資源量
MCFC 組立加工	組立機械等	電気量 230MWh
	雰囲気ガス加熱用	都市ガス 10kNm ³
MCFC 工場試験	電気ヒーター等	電気量 2,500MWh
	雰囲気ガス加熱用	都市ガス 170kNm ³
GT組立加工		電気量 77MWh
その他雑動力(工場クレーン等)		電気量 61MWh
N ₂ (液体窒素供給)		2400kg/回

表 5 運転時に必要な資源量

資 源 種 類		重 量	用 途
通常 運転時	天然ガス (パイプ ライン供給)	846kg/h	発電用燃料
	N ₂ (液体窒素供給)	40kg/h	圧力容器内の圧力を維持するための雰囲気ガス
停冷 止間 1起 当動 り・	N ₂ (液体窒素供給)	2,400kg	停止保管用
	天然ガス (パイプ ライン供給)	2,000kg	スタックを反応温度まで昇温するために使用
	N ₂ (液体窒素供給)	40kg	ページ用に使用

4. 環境負荷排出量の試算

(1) 試算方法

MCFCシステムがライフサイクルを通して排出する各環境負荷(CO₂, SO_x, NO_x)排出量は表6の計算式を元に試算した。

表6にある素材・エネルギー・燃料の使用量は、前項で求めた製造データ、試設計結果の運転性能データ・運転条件等を適用した。

また、各排出原単位は、資源環境技術総合

表 6 環境負荷排出量試算式

環境負荷 排 出 量	製造 誘発	素材調達誘発 = Σ (素材使用量 $\times$ 排出原単位) [素材別]
		組立加工誘発 = Σ (エネルギー使用量 $\times$ 排出原単位) [エネルギー源別]
	運転 誘発	燃料調達誘発 = Σ (燃料使用量 $\times$ 排出原単位) [燃料別]
		直接排出 = Σ (燃料使用量 $\times$ 設定直接排出原単位) [燃料別]

研究所の蓄積したデータベース (NIRE-LCA) 等より設定した。

(2) 試算結果

評価対象に設定した 7 MW 級 MCFC システムについて、電池性能劣化率を 2.5%/10000 h とし、5 年毎に電池本体を交換するものとして、15 年間のライフサイクルにおける各環境負荷排出量を試算した結果を表 7 に、内訳を図 3 示す。

表 7 ライフサイクルにおける
MCFC システム環境負荷排出量試算結果

	CO ₂ (10 ³ kg)	SO _x (10 ³ kg)	NO _x (10 ³ kg)
素材調達誘発	4	4	3
組立加工誘発	5	4	5
製造誘発	9	8	8
燃料調達誘発	14	32	20
直接排出	283	0	38
運転誘発	297	32	59
合 計	305	41	67
排出原単位 (kg/kWh)	3.76×10^{-1}	5.00×10^{-5}	8.20×10^{-5}

ライフサイクルを通した各環境負荷排出量は、運転誘発によるものが CO₂ で 97% 程度、SO_x で 79% 程度、NO_x で 88% 程度と圧倒的に多い試算結果となった。

環境負荷排出量を削減するためには、発電

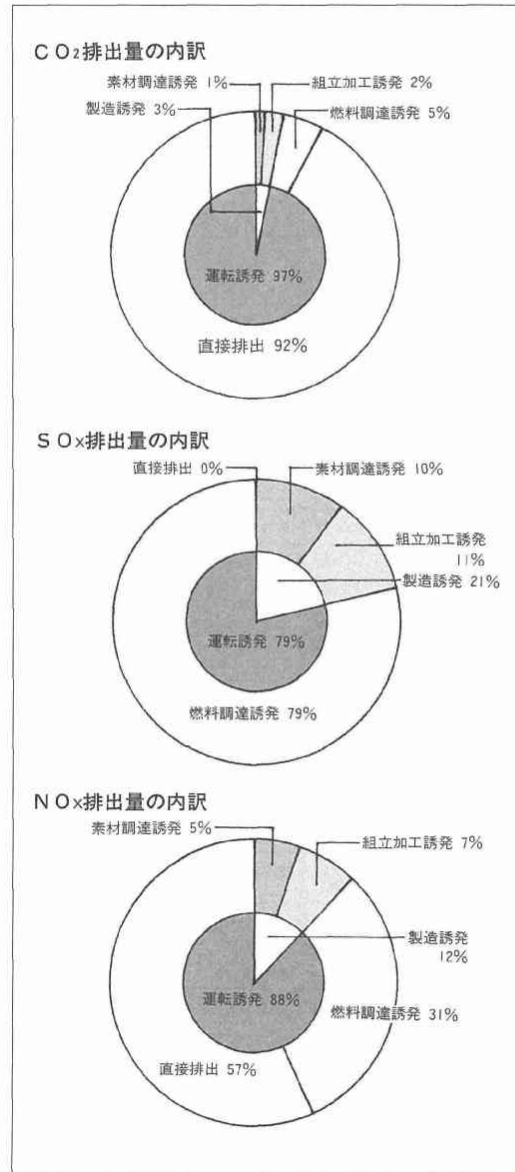


図 3 ライフサイクルにおける
環境負荷排出量の内訳

効率をいっそう向上させること等により、燃料使用量を削減することが重要であることがわかる。

なお、素材調達誘発の内訳においては、圧力容器や周辺配管等の重量を占めるステンレス鋼等の金属の調達による環境負荷排出量が多く、組立加工誘発の内訳においては、工場試験に必要な資源による環境負荷排出量が多いことが明らかになった。

5. 他発電方式との比較

産業用 MCFC システムの環境特性を客観的に評価するため、単位発電量あたりの環境負荷排出量（運転誘発のみ考慮）を表 8 に示した他の発電方式と比較した。

(1) CO₂

図 4 に CO₂ 排出の比較を示す。

MCFC システムは、発電効率が高く、潜在的に CO₂ 排出の少ない天然ガスを燃料として使用するので、石炭火力の 37% 程度、石油火力の 51% 程度、LNG 火力の 74% 程度、PAFC（リン酸型燃料電池）の 66% 程度と、既存の火力電源より CO₂ 排出量が少ない。

表 8 各発電方式の設定

発電方式	発電効率 (%HHV)	備 考
石炭火力	36.5	国内 9 電力会社の平均値
石油火力	35.8	
LNG火力	38.1	
P A F C	36.7	200kW クラスの例
M C F C	53.6	試設計値
購入電力	—	1995年の統計データ (構成：石炭14%、LNG 24.8%、石油14.9%、高炉 共同火力1.7%、水力9.8%、 原子力34.9%)
新鋭火力	52.0	1500℃級 LNG ガスター ビンコンバインドサイクル (脱硝装置設置)

また、原子力や水力等が含まれている購入電力と比較しても 81% 程度となっており、産業用 MCFC システムを導入することは、CO₂ 削減に確実に効果があることが確認された。

なお、今後の集中型電源の主流といわれている表 8 に挙げた新鋭火力と比較すると、MCFC システムの方が発電効率が多少高いにもかかわらず、CO₂ 排出量は同等となっている。これは、MCFC の性能劣化や運転中に使用する N₂ (将来不要になると推測される) からの排出まで考慮しているためであるが、

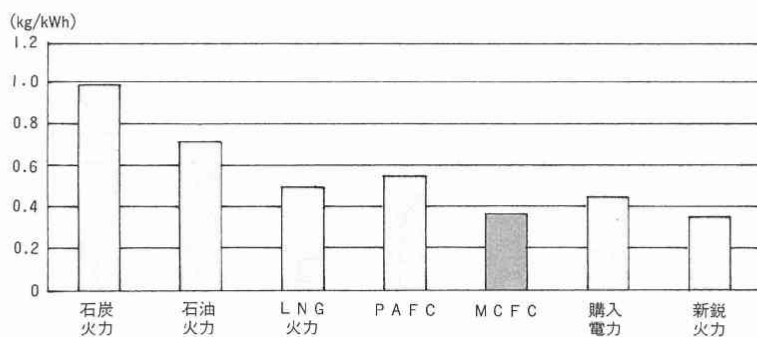


図 4 他発電方式との CO₂ 排出量の比較

集中型電源の新鋭火力は、遠隔地から需要端に送るための送電ロスが数%あり、需要端近くで発電する産業用 MCFC システムは、その分 CO_2 削減が期待できる。

(2) SO_x

図 5 に SO_x 排出の比較を示す。

LNG 火力、新鋭火力と同様天然ガスを燃料とする MCFC システムは、燃料自体に含まれる S 分がほとんど無いため、運転時の直接排出がほとんど無く、非常に少ない SO_x 排出量となった。

石炭火力、石油火力と比較して数%程度、購入電力との比較でも 8% 程度の排出量となっており、産業用 MCFC システムなどの天然ガスを燃料とする発電方式の導入は、 SO_x 削

減に大きな効果があることが確認された。

(3) NO_x

図 6 に NO_x 排出の比較を示す。

MCFC は発電反応システム自体で燃焼を伴わないので、 NO_x の排出は G T 補助燃料の燃焼から発生する程度で非常に少ない。そのため、石炭火力の 11% 程度、石油火力の 17% 程度、LNG 火力の 25% 程度と、非常に少ない NO_x 排出量となった。

また、購入電力と比較しても 15% 程度で、産業用 MCFC システムの導入は、 NO_x 削減に大きな効果があることが確認された。

なお、新鋭火力と比較するとあまり差はないが、需要端近くで発電するため、送電ロスの少ない分 NO_x 削減効果は期待できる。

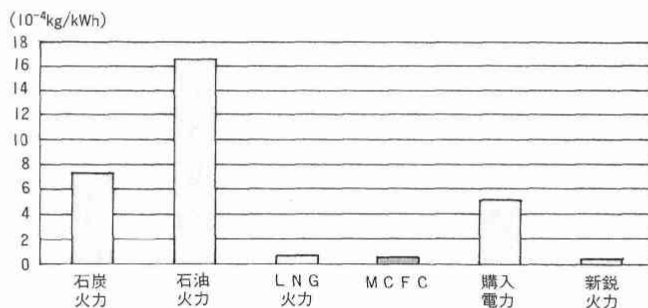


図 5 他発電方式との SO_x 排出量の比較

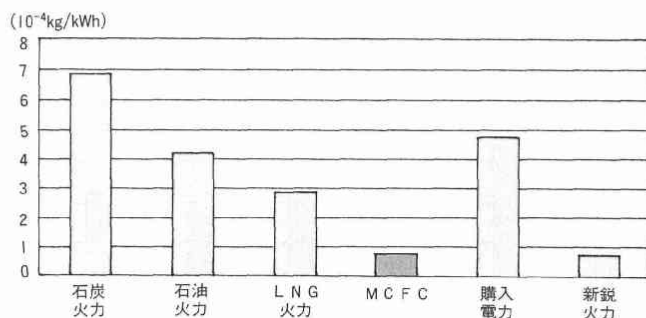


図 6 他発電方式との NO_x 排出量の比較

6. 需要家にMCFCシステムを導入した場合の環境負荷排出量削減効果

評価対象に設定した需要家に産業用MCFCをコジェネとして導入した場合、需要家トータルとしての環境負荷排出量が削減できるかを評価するため、電力・蒸気を購入電力およびボイラーで供給していた状態の「コジェネ導入前」、現状のガスタービンコジェネ(以下GTコジェネ)を導入した状態の「既存GTシステム」および試設計した産業用MCFCシステムをコジェネとして導入した後の状態の「MCFCシステム導入後」の3ケースについて比較評価した。

各ケースの必要電気・蒸気の供給方法を表9に、各ケースのエネルギー入出力図を図7に、また需要家における環境負荷LC排出量の比較を図8に示す。

表9 各ケースの必要電気・蒸気の供給方法

ケース	供給方法	
コジェネ導入前	電力	全て購入電力。
	蒸気	全て天然ガス焚き炉筒煙管ボイラー。
既存GTシステム	電力	GTコジェネで発生した電力、不足分は購入電力による。
	蒸気	全てGTコジェネで発生した蒸気。
MCFCシステム導入後	電力	MCFCシステムで発生した電力、不足分は購入電力による。
	蒸気	MCFCシステムで発生した蒸気。不足分は天然ガス焚き炉筒煙管ボイラーによる。

(1) CO₂

「MCFCシステム導入後」のケースを「コジェネ導入前」のケースと比較すると、もし

MCFCシステムで設定した需要家に必要な蒸気量を全て賄えば、MCFCシステムが購入電力(原子力・水力等を含む)より排出原単位が少ないことから、購入電力量がMCFCシステムからの供給で減った分(6.9MW)に応じて需要家トータルのCO₂排出量は減少するはずである。しかし、MCFCシステムからのみでは必要な蒸気量を全て賄うことができず、不足分を賄うための追焚ボイラーによって誘発されるCO₂排出量があるため、需要家トータルとしては7%程度の削減となっている。

また、「既存GTシステム」のケースと比較すると、MCFCコジェネ(6.9MW)がGTコジェネ(4.5MW)よりコジェネの電気出力が大きいのに、コジェネ誘発部分のCO₂排出量が3割程度減っており、MCFCシステム単体のCO₂削減効果は十分確認できる。しかし、「MCFCシステム導入後」のケースが必要蒸気量を満たすために追い焚きボイラーを必要とすることから、GTコジェネで発生する蒸気量が必要蒸気量とマッチしている「既存GTシステム」のケースに対し、需要家トータルとしてのCO₂排出量削減効果はほとんど期待できない。

環境負荷排出量においても需要家に必要な熱量とコジェネ機器の熱供給量のバランスが重要なことが再認識された。

(2) SO_x

MCFCシステム、GTコジェネともS分の無い天然ガス燃料を使用しており、運転誘発によるSO_x排出量が非常に少ない。そのため購入電力がコジェネ機器からの供給で減った分(MCFCシステム<6.9MW>)、GTコジェ

ネ(4.5MW) だけ需要家トータルのSO₂排出量を削減でき、「MCFCシステム導入後」のケースは「コジェネ導入前」のケースの65%程度に、「既存GTシステム」のケースの87%

程度に削減できることが確認された。

(3) NO_x

「MCFCシステム導入後」のケースを「コ

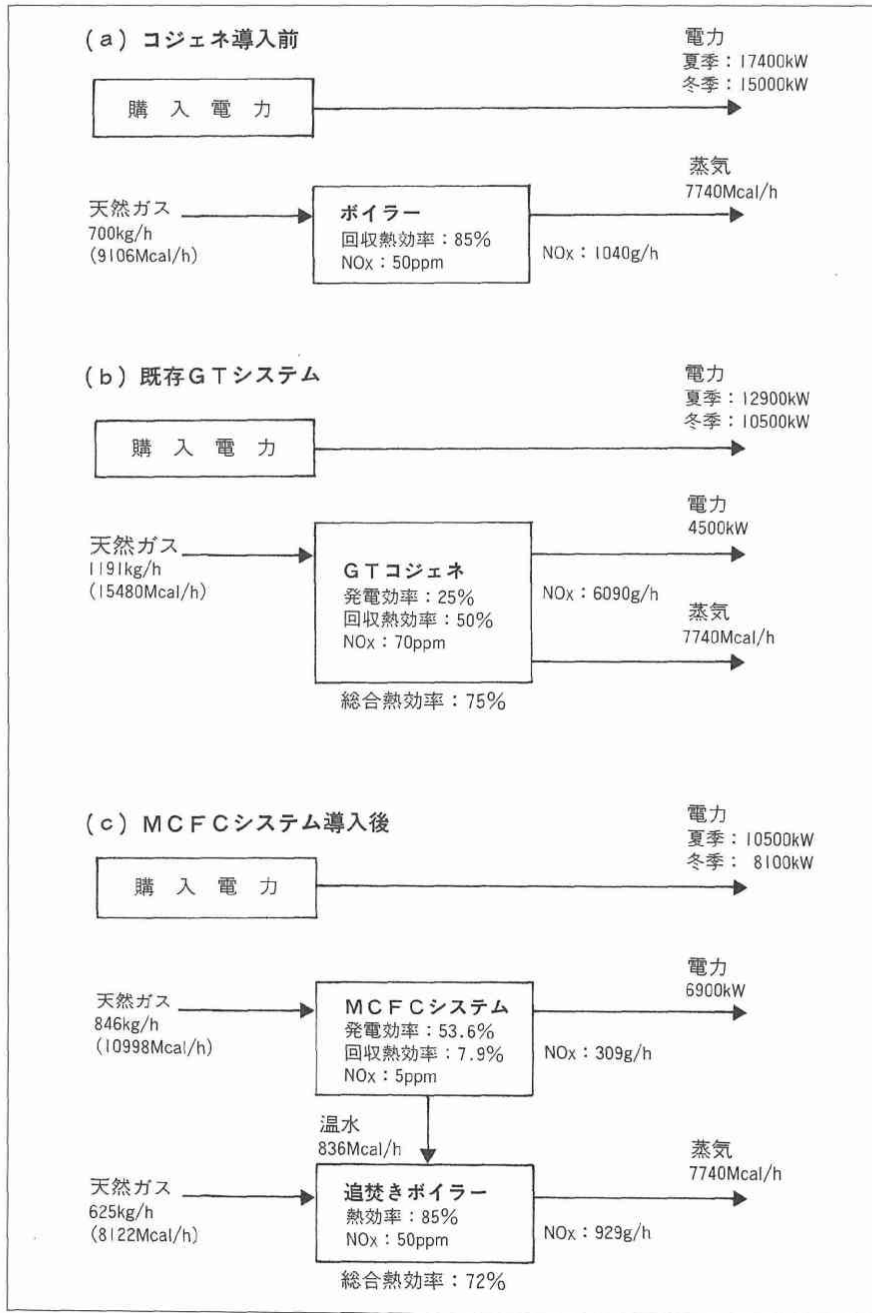


図 7 各ケースのエネルギー入出力図

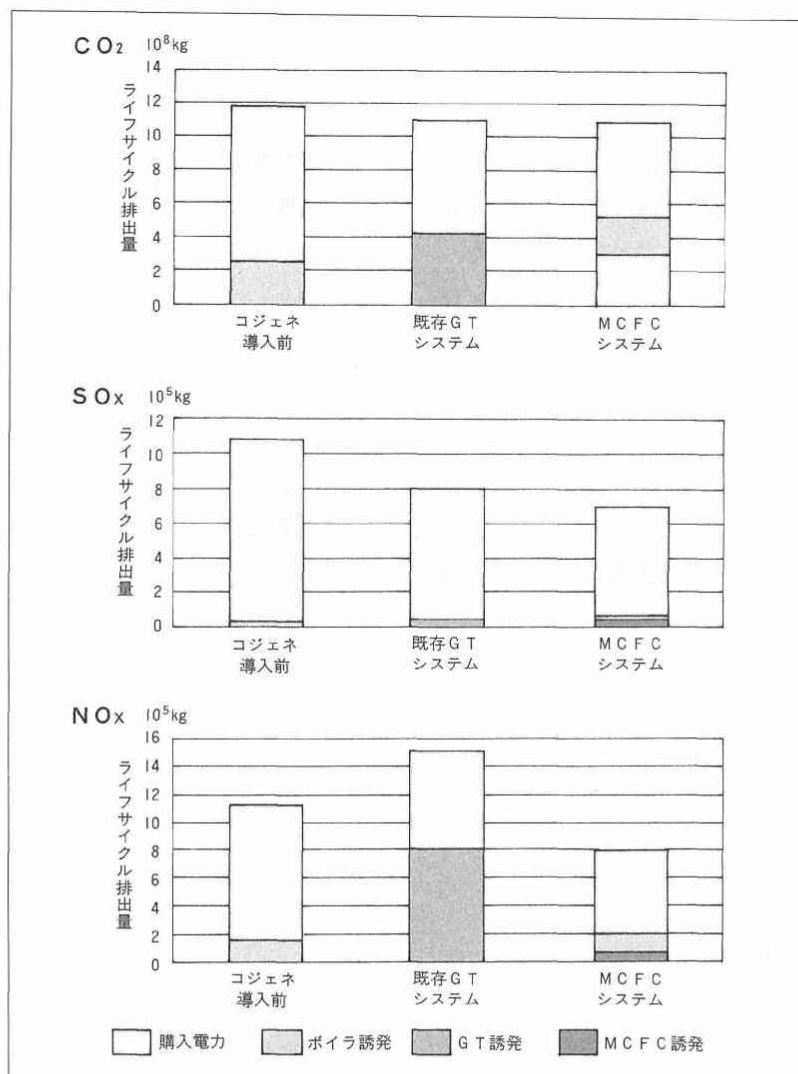


図 8 需要家における環境負荷ライフサイクル排出量の比較

ジェネ導入前」のケースと比較すると、MCFCシステムは運転誘発によるNO_x排出量が少ないため、購入電力量がMCFCシステムからの供給で減った分だけ需要家トータルのNO_x排出量が削減でき、「MCFCシステム導入後」のケースは「コジェネ導入前」のケースの71%程度に削減できることが確認された。

また、「既存GTシステム」のケースと比較

すると、MCFCシステムはGTコジェネと比較してNO_x排出量が大幅に少なく、MCFCシステムに追焚きボイラーによる誘発を加えても需要家トータルのNO_x排出量を十分削減でき、「MCFCシステム導入後」のケースは「既存GTシステム」のケースの52%程度に削減できることが確認された。

7. ま と め

今回の検討により、産業用 MCFC システムの環境特性の概要がつかめ、MCFC システムは、他発電方式と比較し環境影響負荷が非常に少ない発電方式ということが確認できた。

また、MCFC システムをコジェネとして導入することで、需要家トータルとしても各環境負荷排出量を削減できることも分った。

MCFC は環境負荷排出量が少なく、環境にやさしいシステムであることが定量的に評価できたといえる。

なお、MCFC は開発途上の技術であり、現

時点では詳細な製造データ等は不明確である。本検討では、現時点で可能な限り収集した情報を基に検討を実施しているが、今後より具体的な情報が収集できれば、最新の情報を基に詳細検討していただくことを希望する。

謝 辞

本調査研究実施につき、ご多忙の中、快くご指導いただいた溶融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合、資源環境技術総合研究所、製造データの推算をいただいた各メーカー等、関係各位のご協力に心から感謝いたします。



プロセス開発とシミュレーター

片 山 優久雄 (勸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. 緒 言

プロセスとして完成途上にある装置の設計において、温度、圧力、プロダクト構成などの反応状態を予測できるシミュレーターの開発が装置設計に先行して行われれば、設備または設備構成の選択が容易で、かつ十分な設備の耐圧・耐熱性や耐薬品性についての対応を取ることができる。さらに、完成度の高いシミュレーターでは、部分負荷運転における反応率変化（総合熱効率変化も含む）等も予測でき、前もって精度の高いプロセスの経済性検討も行うことができる。

以下に筆者が、現在までに開発したシミュレーターを紹介する。

2. 炭化反応シミュレーター開発と 炭素材用原料ピッチの選択

筆者は、1970年代の10年間、石油系ピッチを原料とした炭素材料開発のわが国における先導的企業である呉羽化学工業（株）において、重質油の処理技術開発に従事し、炭素繊維原料ピッチの製造方法の開発や、ユリカピッチに代表されるコーク・バインダー・ピッチの開発等に従事した。

当時、球晶が良く発達しX線（002）回折スペクトルがシャープに尖った形状を呈するソフトカーボン原料ピッチと、球晶の発達が悪くX線（002）回折スペクトルがブロードな形状を呈するハードカーボン原料ピッチの分類は、400℃程度で長時間の球晶生成反応を行い、偏光顕微鏡による観察と、その熱変性ピッチの炭化処理後のX線回折によって行われていた。

この黒鉛化性の善し悪しは、炭化原料ピッチの化学構造に起因していると考えられていたが、どの種の化学構造因子が支配的要因となっているかは明確化されていなかった。そこで筆者は、バン・クレベリン¹⁾、ブラウンとラドナー²⁾、ウイリアム³⁾等の構造解析法を用いて、ピッチの化学構造因子と炭化特性との関連付けを試みたが関連付けを行えなかった。

ちょうどその頃(1970年)、ハーシュとアルトゲルト⁴⁾のコンピューターを用いた構造解析法が出てきた。この構造解析法は、未完成であり使用上の多くの制約を有していた。この未完成な構造解析方法を、一般的に使用可能とするために種々の分子構造モデルから新たな化学構造関連式を作成することによって不備な個所をなくし、かつ計算を収束させるためにフローティング・パラメーターを利用

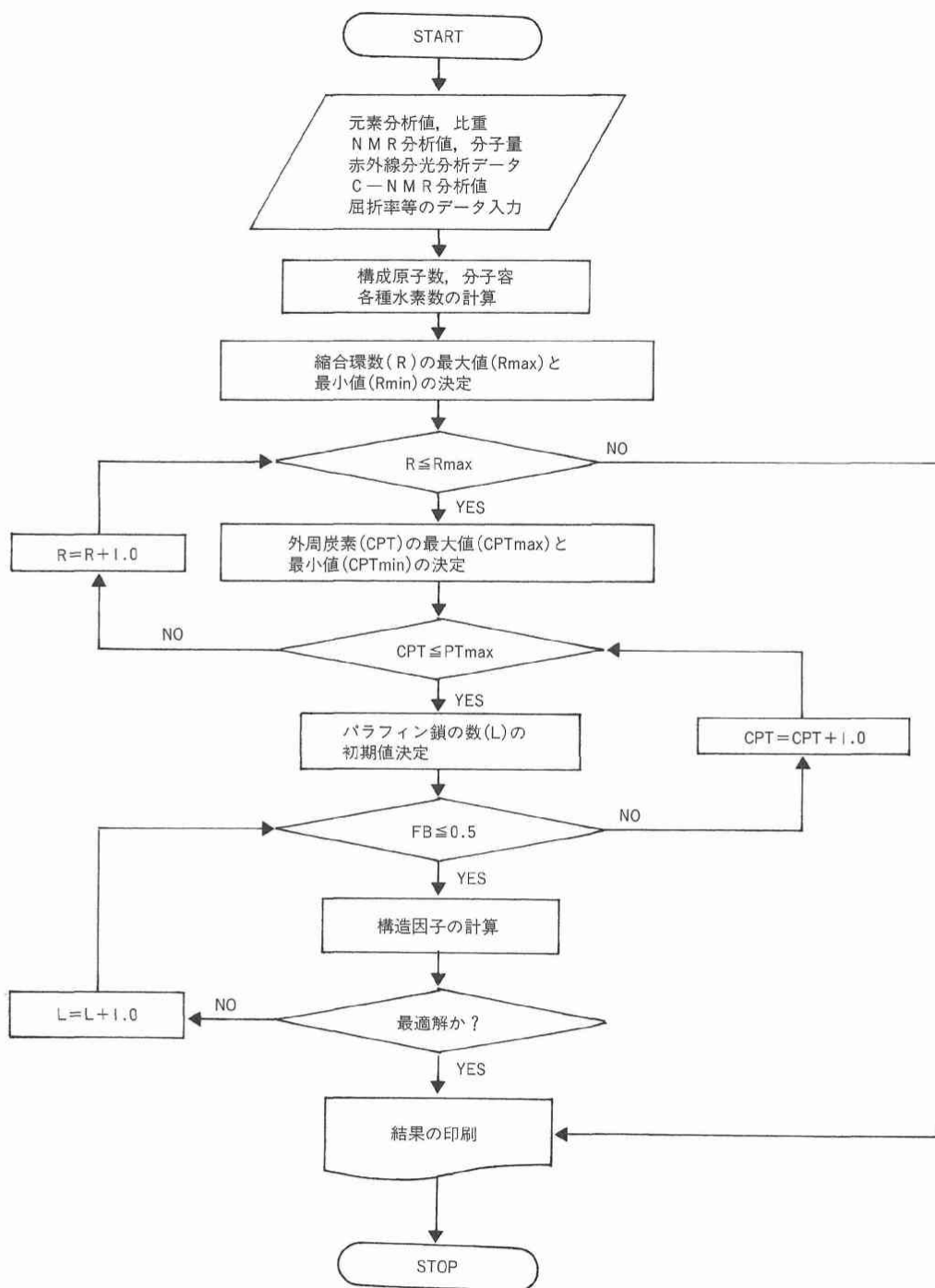


図1 構造解析計算プログラムのフローチャート

する収束計算方法を用いるなどして、図1の計算フローに示す重質油の構造解析プログラムを完成させた。この構造解析プログラムは改良を加えられ、図2に示すSAAH(=Structural Analysis of Aromatic Hydrocarbon)システム^{5)~7)}となり現在も販売利用されている。この新しい構造解析法を用いて多くの芳香族系重質油類の構造解析を行い(表1参照)、解析によって得られた芳香族性指数、芳香族縮合環数、ナフテン環数等の構造因子と固定炭素を用い、炭化処理(1,000℃焼成)後の炭素構造を示唆するX線(002)回折図形から回折強度指数(=ピーク高 I_{max} /半価巾 B)をシミュレートする式の開発を行った。炭化処理(1,000℃焼成)後の炭素構造を示唆するX線(002)回折図形から回折強度指数(= I_{max}/B)を求める方法を図3に示した。図4には、表1に示したピッチ試料の炭化物のX線(002)回折結果を示した。この回折強度と構造解析結果から求められた因子とを次元解析手法を用いたシミュレーションによって関連付けを行い、次に示す簡略化された数式を

得た⁸⁾。

$$f(\emptyset C, fa, RA, R, Q, FB) = a \times \{(1 + \emptyset C) \times fa^2 \times RA^2 \times Q \times 100\} \div (R^2 \times FC) \quad (1)$$

$$f(\emptyset C, fa, RA, R, Q, FB) - I_{max}/B = 0 \quad (2)$$

ここで、表1と上記数式に用いられている記号についての説明を行う。

- C：分子を構成する炭素原子の数
- H：分子を構成する水素原子の数
- fa：芳香族性指数(全炭素数に占める芳香族炭素数)
- CR：全縮合環を構成する炭素数
- CA：芳香族炭素数
- R：全縮合環数
- RA：芳香族縮合環数
- CP：パラフィン炭素数
- FB：パラフィン側鎖の置換可能位置の割合
- $\emptyset C$ ：縮合環のタイプを示す指数
- FC：固定炭素%

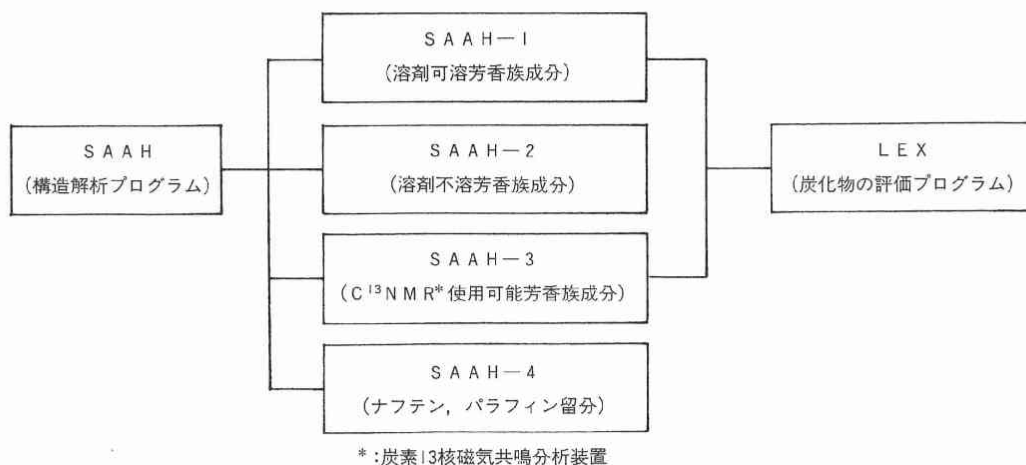


図2 SAAH構造解析・炭化物評価システムの構成

表1 炭化原料ピッチの構造因子とピッチ炭化物のX線(002)回折強度因子

試 料		構 造 因 子							
		C	H	fa	CR	CA	R	RA	CP
シミュレー ション用	A	88	49	0.943	83	83	23	23	5
	B	99	54	0.929	92	92	27	27	7
	C	95	74	0.842	80	80	19	19	15
	D	139	80	0.935	130	130	35	35	9
	E	118	101	0.703	94	83	27	23	24
	F	166	159	0.560	128	93	41	27	38
	G	46	29	0.935	43	43	11	11	3
比 較 参 照 用	H	80	53	0.888	71	71	19	19	9
	I	125	82	0.880	110	110	30	30	15
	J	124	116	0.581	107	72	31	17	17

表1 炭化原料ピッチの構造因子とピッチ炭化物のX線(002)回折強度因子(つづき)

試料		構造因子			固定炭素%	LE*	X線(002) I _{max} /B
		FB	QC	Q	FC		
シミュレーション用	A	0.12	0.186	3.49	52	3.5	3.6
	B	0.11	0.083	3.26	50	3.1	2.9
	C	0.21	0.857	4.65	53	5.8	6.2
	D	0.13	0.438	5.38	59	5.7	5.5
	E	0.15	0.406	4.15	54	1.9	1.8
	F	0.21	0.192	4.89	55	0.6	0.7
	G	0.12	0.286	2.22	49	2.5	2.7
比較参照用	H	0.18	0.214	3.87	51	3.6	3.5
	I	0.19	0.280	5.53	54	5.1	5.3
	J	0.16	0.829	5.14	52	0.9	1.3

* : $LE = f(QC, fa, RA, R, Q, FB)$

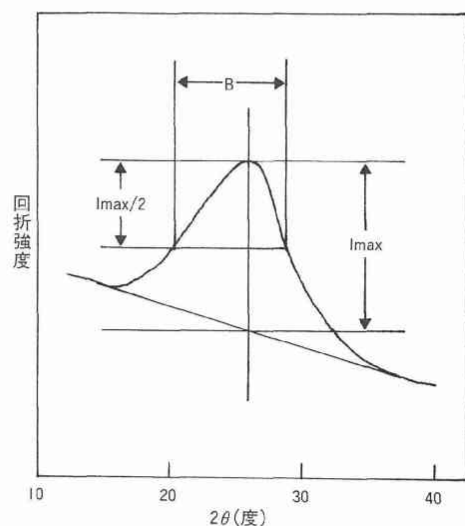
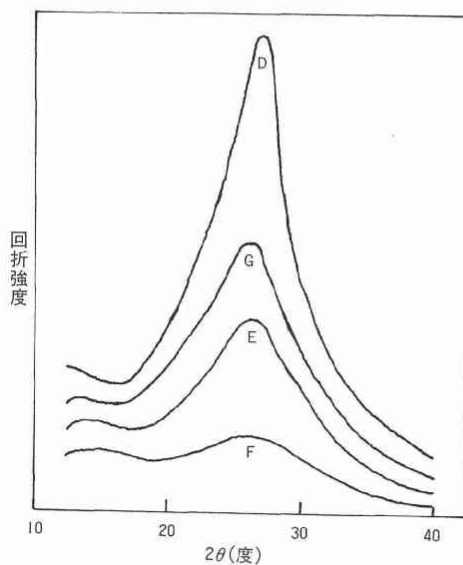


図3 半値幅(B)とピーク高(I_{max})の関係



(注) D,E,F,Gはシミュレーション用
試料番号(表1)

図4 X線(002)回折パターン

Q：重合度に相当する値

Imax：X線（002）回折ピーク高

B：X線（002）回折ピークの半価巾

この関係式（2）を用い、炭化原料ピッチの構造解析結果から得られる構造因子と工業分析の固定炭素（％）とから、炭化処理後の炭素の結晶性を知ることができるようになった。このため、それ以前において困難を極めていた炭化処理以前の段階でピッチの篩分けが容易に行えるようになり、また熱処理過程におけるピッチの構造変化並びに炭化特性の解析によって適切な熱処理が行えるようになり、炭素材料用ピッチの製造が以前と比べ格段に簡略化されることとなった。

3. 石炭ガス化反応シミュレーターの開発

3.1 石炭ガス化反応シミュレーターによるガス化炉部分負荷運転におけるIGCC発電特性予測

筆者は、かつて米国ボストンのエネルギー・リソース社において完成したガス化の主生成物であるCO、H₂、CO₂の生成比率、冷ガス効率、及びガス化炉からの回収可能熱量を計算するガス化反応シミュレーターをリバイスするために、東北大学工学部阿尻雅文助教授の協力を得て、新たなシミュレーターの開発を行った。

まず、ガス化炉入口と出口の炭素、水素、酸素のマスバランスを合わせる。かつ、入口と出口のエンタルピーバランスを合わせ、ガス化温度、生成物組成を決定する。計算のフローを図5に示す。

石炭の炭素、水素、酸素量または空気量、スチームの水素、酸素量等の供給速度と炭素転換率が与えられるため、ガス化温度さえ決まれば、生成ガス組成が決定できる。

一般に、炭素転換率は、燃焼反応速度定数、ガス化の反応速度定数、ガス化反応温度及び石炭粒子の滞留時間から計算される。しかし、気流相ガス化炉では、灰の溶融点以上の非常に高い温度で運転することが多く、この場合、炭素転換率は98％以上と極めて高い。このように、炭素転換率が高い範囲においては、炭素転換率を速度論的に評価する必要もない。実際、この値を0.98から0.99にふっても、装置全体のパフォーマンスに大きな影響を与えることはない。そこで、炭素転換率に実測値を用いた。また実測値が与えられていない場合、炭素転換率は0.99とした。

ガス化反応におけるエンタルピーバランス式は、石炭、水蒸気、酸素等の供給速度並びに出口のガス流量、未燃炭素流量及び灰の流量が与えられれば、反応温度が決定できる。すなわち、マスバランス、シフト平衡、エンタルピーバランスを連立させれば、石炭、水蒸気、酸素等の供給速度のみから、反応温度、生成ガス組成、流量を決定できる。したがって、実装置における定格運転性能の解析のみならず、部分負荷を行った場合についても、ガス化炉高温部温度、ガス組成、ガス流量を評価できるようになる。

ガス化炉高温部での成績のシミュレーション結果を、表2に示した。表2に示されたように計算値と実炉の生成ガス組成はよく一致しているといえる。そこでIGCC（石炭ガス化複合発電）に各種タイプのガス化プロセスを組み込んだ場合のプラント効率等を求め図

6, 図7に示した。

IGCCの構成は、ガス化炉1基にガスタービン1基とした場合としてプラント効率等を計算した。

図6は、各種タイプのガス化炉の負荷変動が発電設備に与える影響について検討を行ったものである。図6よりガス化炉の負荷変動が発電設備に与える影響が大きいことがわか

る。

図7は、送電端効率とガス化炉負荷の関係についての計算結果である。この図からガス化炉の負荷率70%以下での操作は難しいことがわかる。この様に、一般性を持つガス化シミュレーターは、負荷変動をも予測することが可能となる。

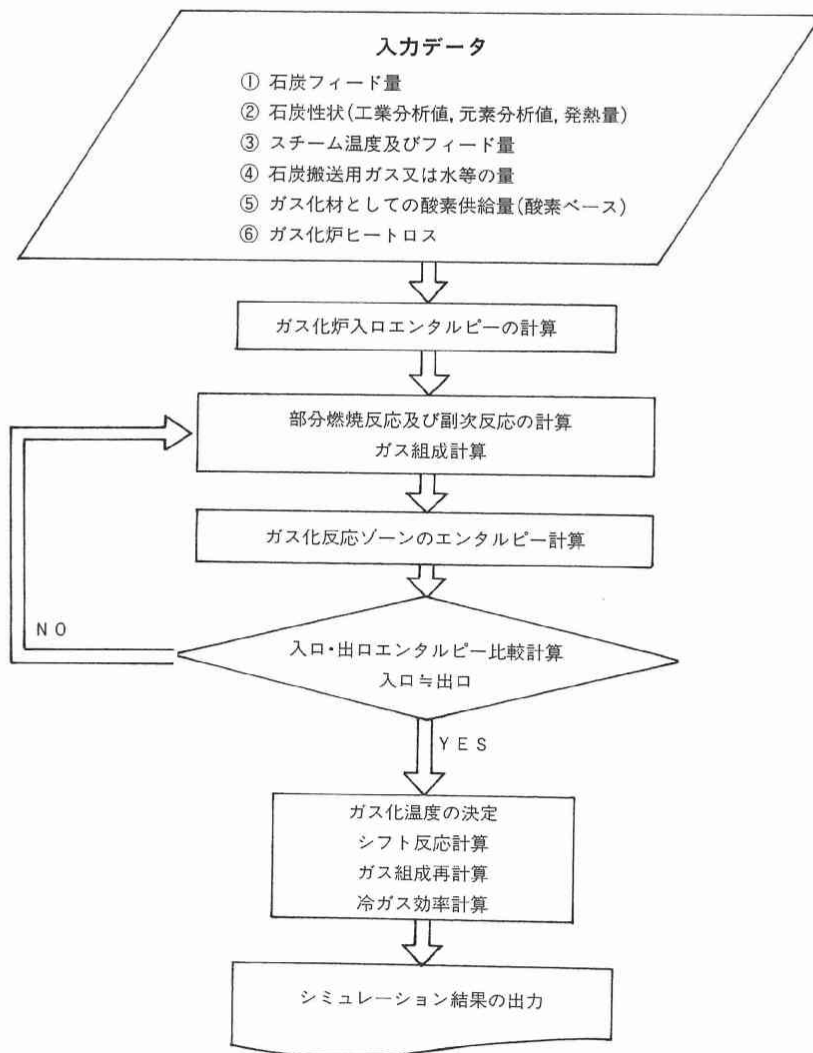


図5 噴流層部分燃焼ガス化反応シミュレーターのフローチャート

表2 実装置とシミュレーター結果との比較

		シエル実炉	シエル計算	テキサコ実炉	テキサコ計算
原料	・石炭供給量 (t/h)	28.1	28.1	50	50
	分折値：C (%)	83.98	83.98	77.91	77.91
	H	5.45	5.45	5.23	5.23
	N	1.80	1.80	0.09	0.09
	S	1.58	1.58	1.13	1.13
	O	7.12	7.12	15.64	15.64
	灰分	6.47	6.47	10.30	10.30
	水分	5.0	5.0	7.9	7.9
	発熱量 (kcal/kg)	7,600	7,600	6,420	6,420
	・酸素供給量 (t/h)	26.0	26.0	36.5	36.5
	余剰酸素量 (%)	0.8	0.8	4.7	4.7
	・噴霧用蒸気 (t/h)	5.6	5.6	0.0	0.0
	・圧送用窒素 (t/h)	7.8	7.8	0.0	0.0
反応条件	・原料フィード方式	乾式	乾式	湿式(65%スラリー)	湿式(65%スラリー)
	・ガス化温度 (°C)	—	1,910	1,440	1,440
	・ガス化圧 (kg/cm ²)	20	20	35	20
反応生成物	・生成ガス (%) (Dry Base)				
	CO	60.41	58.90	36.28	36.90
	CO ₂	4.85	4.78	20.93	22.86
	H ₂	27.68	29.30	42.48	40.00
	N ₂	7.06	7.02	0.31	0.24
	・冷ガス効率 (%)	75.8	75.84	69.80	70.14

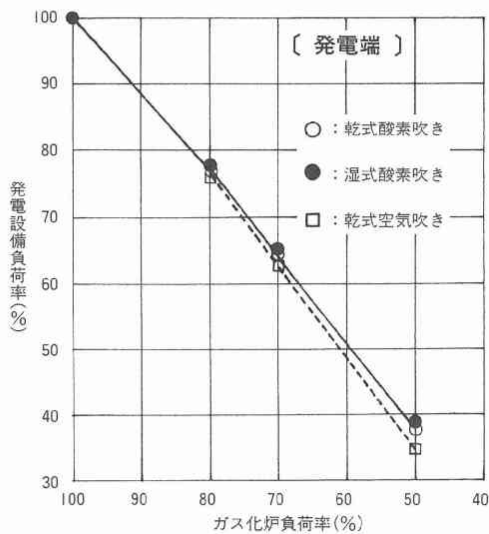


図6 各種タイプ別ガス化炉負荷率と発電設備負荷率の関係

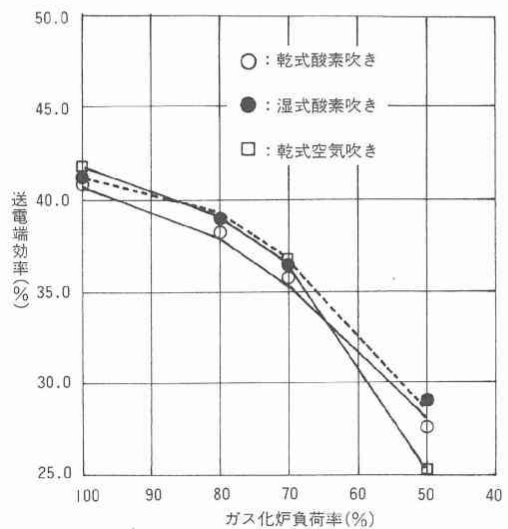


図7 各種タイプ別IGCC発電効率比較

表3 シェル部分燃焼酸素吹き石炭ガス化プロセス

		実 炉		計 算 値	
		(kg/h)	(kg・mol/h)	(kg/h)	(kg・mol/h)
ガ ス 化 原 料	石灰(DAFベース, 25℃) %	93.530		93.530	
	C = 79.49	74.347	6.190	74.347	6.190
	H = 5.75	5.380	2.669	5.380	2.669
	N = 1.70	1.594	0.057	1.594	0.057
	S = 1.50	1.399	0.044	1.399	0.044
	O = 11.56	10.810	0.338	10.810	0.338
	灰 分 6.47	6.470		6.470	
	水 分	0.000		0.000	
	合 計	100.000	9.297	100.000	9.297
	燃焼用 酸素 (25℃)	94.140	2.942	94.140	2.942
	窒素 (25℃)	0.008	0.000	0.008	0.000
	アルゴン (25℃)	2.388	0.060	2.388	0.060
	噴霧用窒素 (25℃)	28.000	1.000	28.000	1.000
	噴霧用蒸気 (300℃)	25.000	1.388	25.000	1.388
	合 計	149.536	5.389	149.536	5.389
生 成 ガ ス 組 成		(kg/h)	(kg・mol/h)	(kg/h)	(kg・mol/h)
	Cロス	0.745	0.062	0.745	0.062
	H ₂	5.344	2.651	5.341	2.649
	CO	158.848	5.671	158.884	5.672
	CO ₂	20.069	0.456	20.003	0.455
	CH ₄	0.000	0.000	0.000	0.000
	COS	0.060	0.001	0.066	0.001
	H ₂ S	1.465	0.043	1.455	0.043
	O ₂	0.000	0.000	0.000	0.000
	N ₂	29.610	1.057	29.596	1.057
	Ar	2.388	0.060	2.388	0.060
	NH ₃	0.000	0.000	0.003	0.000
	H ₂ O	24.555	1.363	24.584	1.365
	合 計	243.083	11.364	243.064	11.363
ガス化ゾーン温度 (℃)		約2,000		2,105	
ガス化炉ヒートロス		原炭の2.5%		原炭の2.5%	
冷ガス効率 (%)		78.43		78.42	

Note: 実炉のガス化温度はエンタルピー計算より求めた。

3.2 石炭ガス化反応シミュレーターによる石炭水素添加ガス化プロセスの効率予測

(1) ガス化反応シミュレーター

3.1で紹介した石炭ガス化シミュレーターをベースにして、メタンやH₂S, COS, NH₃等の生成比率も計算でき、酸素吹き乾式ガス化炉(バブコック日立(株)のHYCOLガス化炉, シェル, プレンフローガス化炉等), 空気

吹き乾式ガス化炉(CEや勿来のガス化炉), 湿式酸素吹きガス化炉(ドウやテキサコの石炭水スラリー供給ガス化炉)等すべての噴流床式ガス化炉に適応できるガス化反応シミュレーターを完成した。

このガス化反応シミュレーターの精度は, 実炉との比較において, シフト反応温度との関連から, 表3に示すように, ガス成分比率

については最大±5%以内、冷ガス効率（生成ガス発熱量を原料発熱量で割った値）では、±0.5%以内の誤差範囲に収まっており、充分使用可能なシミュレーターといえる。

（2）石炭水素添加ガス化プロセス（ARCHプロセス）の効率予測

京都大学大学院工学研究科の三浦孝一教授により、実験によって得られたデータを元に開発されたARCH（石炭水素添加ガス化）炉の反応シミュレーターを用いた計算結果である物質・熱バランス値（計算結果は大阪ガス（株）より入手）と、残渣のチャーの組成データを用いて、部燃ガス化反応シミュレーション計算を実施した。計算によって得られた結果を用い、熱回収系統、ガス精製・分離系統、増熱系統等の消費動力や熱ロスを求め、プロセス全体の効率計算を実施した。

計算結果を表4に示した。また、表4にはARCHプロセスにおけるベンゼンを併産する熱効率最大モードとメタンのみを生産するSNG（合成天然ガス）最大モードについて、さらに比較のために石炭の部分燃焼ガス化プロセスとメタネーターを組み合わせたプロセスについての評価結果を示した。また、各プロセスフローを図8～図10に示した。

表4に示すように、反応装置として開発途上にあるARCH炉をベースとしたプロセスの熱効率・生成物評価を、反応シミュレーターの開発利用によって行うことが可能となった。これらの計算結果を用い、各ユニットプロセスの建設コストを試算することによって、プロセスの経済性の検討を行うことも可能であり、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託により、（社）日本エネルギー学会でARCHプロセスの経済性評価

表4 SNG製造プロセスの熱効率評価

	項 目	使用量	熱 効 率 (%)	
			メタンベース	SNGベース
部燃メタネーター	原料			
	1 原料石炭(DRY) (t/h)	681.4		
	2 燃料石炭 (t/h)	56.6	65.2	68.6
	3 プロパン (t/h)	96.9		
	製品SNG (Nm ³ /h)	375,000		
ARCH-熱効率最大	原料			
	1 原料石炭(DRY) (t/h)	644.0		
	2 燃料石炭 (t/h)	122.6		
	3 プロパン (t/h)	94.1	69.8	76.6
	製品ベンゼン (t/h)	37.4		
	製品ナフタリン (t/h)	16.2		
	製品SNG (Nm ³ /h)	375,000		
ARCH-SNG最大	原料			
	1 原料石炭(DRY) (t/h)	558.2		
	2 燃料石炭 (t/h)	106.5	68.5	76.0
	3 プロパン (t/h)	94.1		
	製品SNG (Nm ³ /h)	375,000		

が実施されており、当シミュレーターの結果が用いられている。

このように、開発途上にある反応装置につ

いての一般性を持つシミュレーターの開発は、将来の完成時の生産物やプロセスコストについての評価を早い時点で行うことを可能とする。

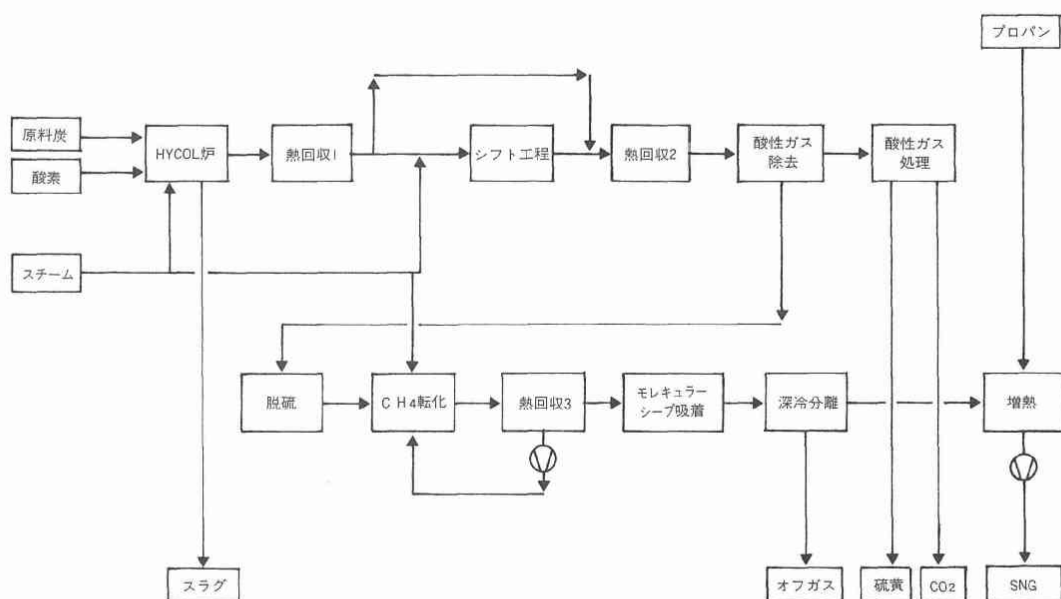


図8 部分燃焼ガス+メタネータースキーム ブロックフロー

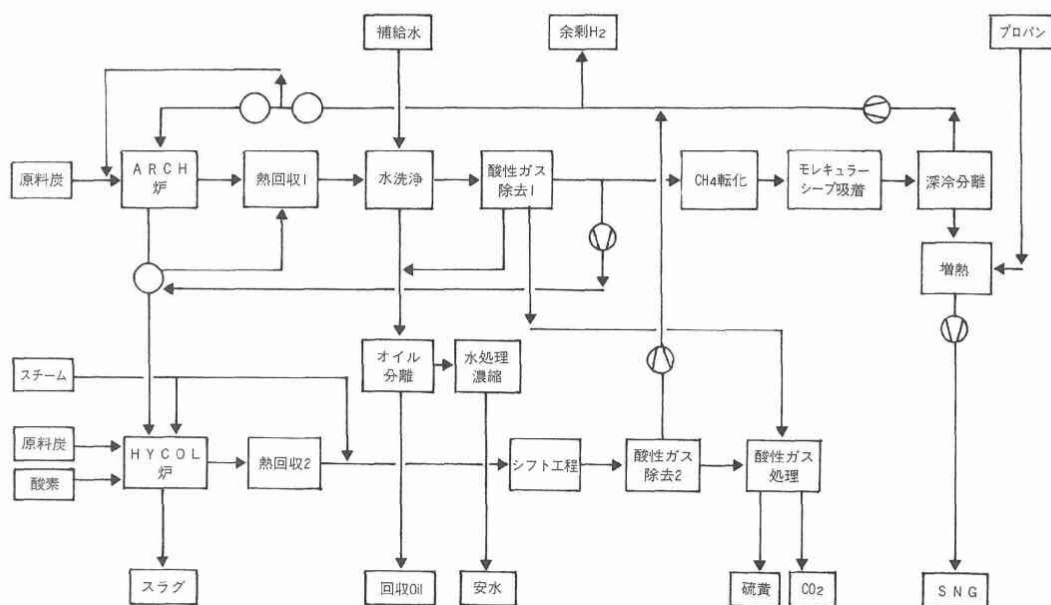


図9 石炭水素添加ガス化プロセス・ブロックフロー (メタネータースキーム/熱効率最大)



参考文献

- 1) van Krevelen, D.W.,Chermin, H.A.G.,
Fuel,33,79(1954) .
- 2) Brown, J.K.,Ladner, W.R.,Fuel,
39,87(1960) .
- 3) Williams, R.B.,Chamberlain, N.F.,Proc. 6
th World Petroleum Congress, Frankfurt, V.
No.17,217(1963) .
- 4) Hirsch, E.,Altgelt, K.H., Anal.
Chem.,42,1330(1970) .
- 5) 片山優久雄, 細井卓二, 武谷愿, 日化, 1975,127.
- 6) 片山優久雄, 細井卓二, 武谷愿, 日化, 1975,692.
- 7) 片山優久雄, 真田雄三, 大内公耳, 石油誌, 21,
(3),175(1978)
- 8) 片山優久雄, 日化, 1975.1551

平成12年度 事業計画の概要

(財) エネルギー総合工学研究所

本研究所は、エネルギーに関連する情報の収集、加工、提供およびプロジェクト調査研究を推進し、併せてエネルギー技術の普及啓発活動を進めることを基本方針とし、その事業活動の効率化を一層推進しつつ、平成12年度においては、次の各号の事業を行う。

1. エネルギーに係る科学技術に関する調査について

エネルギーに関連する各種情報を、国内および海外の諸機関との情報交流等を通じて広く収集し、技術的見地から区分、整理する。

- (1) エネルギー・環境技術データベース基礎資料の情報収集、分析、検索、処理
- (2) エネルギー・環境技術の実用化状況に関する情報の収集分析
- (3) 原子力開発国際情報の収集分析

2. エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報の分析法、評価法、体系化法の開発および応用に関する研究について

エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報に関して、それらの分析、評

価、体系化を行うための手法の開発研究を実施し、また、これら資料・情報の分析・評価、動的な変動予測、相関性の評価、目的に応じた体系化などを行い、その利用価値の向上を図ることとする。

- (1) 環境、経済等への影響を考慮した総合的エネルギー需給システム評価手法の開発研究
- (2) 各種エネルギー・システムの総合的評価手法の開発研究
- (3) エネルギー情報提供のための手法検討

3. エネルギーの開発、供給、利用に係る技術上の基礎的事項に関する部門的、総合的な研究について

エネルギー新技術の萌芽の発見と将来展望、エネルギー技術要素の特性向上、安全性・信頼性の評価、エネルギー開発・供給・利用のための各種システムの評価研究など、部門的、総合的な技術的見地からの研究を行う。

- (1) エネルギー関係技術開発動向およびその将来性評価に関する調査研究
 - ・燃料電池
 - ・マイクロガスタービン
- (2) エネルギー技術シーズに関する調査研

究

- (3) 電力技術開発の戦略的展開に関する調査研究
- (4) 原子力技術開発の革新的展開に関する調査研究
- (5) ニューサンシャイン計画における長期エネルギー技術戦略に関する調査研究
- (6) エネルギー研究開発についての総合的な戦略に関する調査研究
- (7) 「エネルギー学」の展開に関する調査研究
- (8) 先端シミュレーション技術などシステム工学に関する調査研究

4. エネルギーの開発、供給、利用に係る技術上の応用的事項に関する部門的、総合的な研究について

刻々と変化する社会的、経済的、技術的な多種多様な制約のもとで、エネルギーの開発、供給、利用に関して、安全性の確保を前提として、地球環境問題への対応を考慮しつつ、現実性のある最適なシステムを設計する。

さらに、これらの最適システムの設計研究の成果を具体的なプロジェクトに応用する研究を行い、プラント設備や機器の開発に資する等部門的、総合的見地からの研究を行う。

【原子力関係】

- (1) 核燃料サイクルに関する調査研究
 - ・プルトニウム等の利用方策に関する調査研究
 - ・使用済核燃料管理システムに関する調査研究
- (2) 高レベル放射性廃棄物の処理・処分に

関する調査研究

- ・社会的受容を念頭においた処分概念に関する調査研究
- ・教育および広報素材に関する調査研究
- (3) 次世代原子炉に関する調査研究
 - ・高速増殖炉の新概念、新技術に関する調査研究
 - ・高温ガス炉プラントの位置づけ、可能性に関する調査研究
 - ・次世代炉開発に関する調査研究
- (4) 将来型軽水炉に関する調査研究
 - ・将来型軽水炉の設計、要素技術に関する調査研究
- (5) 原子力施設の廃止措置技術等に関する調査研究
 - ・原子炉廃止措置実施の環境整備に関する調査研究
- (6) 原子力安全に関する調査研究
 - ・原子炉シミュレーション手法高度化に関する調査研究
 - ・BWRサブチャンネル解析手法に関する調査研究
 - ・原子力発電所の高経年化対策技術課題に関する調査研究
- (7) 原子力分野における情報技術の応用に関する調査研究
- (8) 原子力の社会的受容性に関する調査研究
 - ・放射性廃棄物処分の社会的合意形成に関する調査研究
 - ・原子力発電に対する公衆の意識構造に関する調査研究
- (9) 原子力災害対策強化に伴う防災・研修等に関する調査研究
- (10) 原子力開発利用政策に関する調査研究

- ・原子力技術開発政策に関する調査研究
- ・国際協力のあり方に関する調査研究

〔化石燃料関係〕

- (1) 石油系エネルギーに関する調査研究
 - ・大気改善に向けた自動車および燃料技術開発プログラムの評価に関する調査研究
 - ・低公害型自動車燃料の開発・利用等に関する調査研究
- (2) 石炭の利用技術に関する調査研究
 - ・石炭水素添加ガス化技術開発に関する調査研究
 - ・高温コークス炉ガス顕熱利用技術に関する調査研究
- (3) 天然ガスに関する調査研究
 - ・ガスハイドレートの利用に関する調査研究
 - ・メタンハイドレート利用の国際協力技術に関する調査研究

〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

- (1) 再生可能エネルギー・革新エネルギーに関する調査研究
 - ・水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) に関する調査研究
 - ・風力発電の出力変動の平準化に関する調査研究
 - ・沿岸地域における再生可能エネルギー（風力）発電システムに関する調査研究
- (2) 新発電技術に関する調査研究
 - ・ガス化熔融廃棄物発電技術に関する調査研究

- ・熔融炭酸塩型燃料電池の産業用途への適用性評価に関する調査研究
 - ・加圧型固体電解質型燃料電池の開発動向、評価に関する調査研究
 - ・固体高分子型燃料電池に関する調査研究
 - ・コジェネレーションの普及実態に関する調査研究
- (3) 電力貯蔵技術に関する調査研究
 - ・キャパシタによる電力貯蔵技術に関する調査研究
 - (4) 将来の電力需要等に関する調査研究
 - ・民生用電力需要における負荷平準化対策の影響に関する調査研究
 - (5) 省エネルギーに関する調査研究
 - ・高効率カスケード型エネルギー利用システムに関する調査研究
 - (6) 電気自動車等クリーンエネルギー自動車に関する調査研究

〔地球環境関係〕

- (1) 地球温暖化対策技術等に関する調査研究
 - ・地球温暖化問題に対する国際的な対応策
 - ・政策に関する調査研究
 - ・石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術に関する調査研究
 - ・超重質燃料油による環境影響と対策技術に関する調査研究
- (2) 廃棄物・リサイクルに関する調査研究

5. 前三号の研究に係る試験について

前三号の研究に伴う材料、要素、機器等の

試験を随時行う。

6. 前各号の調査, 研究, 試験の成果に係る資料の作成, 整備, 提供について

前各号の事業で得られた成果のうちから, 技術情報として有用度の高いものを目的に応じて速やかに編集し, 利用者に提供する。さらに, これらの研究成果は出版, 寄稿・投稿, 講演会, 学会発表等により公表し, 広く利用に供することとする。

また, それぞれの目的に応じたエネルギーの開発, 供給, 利用に係る技術指導を行い, 人材を養成するなどエネルギー技術に関する指導, 普及, 啓発に努めることとする。

- (1) 技術情報の編集, 整備, 提供 (新エネルギーの展望シリーズ等)
- (2) 定期刊行物 (季報) の出版
- (3) エネルギー技術普及講演会 (エネルギー

ー総合工学シンポジウム, 月例研究会等) の開催

- (4) 研究活動などのホームページによる紹介

7. その他

エネルギーの開発, 供給, 利用の円滑な展開を図るためには産・学・官一体となった協力体制を整え, 効率的に機能させることが重要である。本研究所は, このような観点に立って, エネルギー技術上の諸問題について, 各所の専門家による討論と情報交流を行う場を提供し, 責任ある, しかも時宜に適した新しいエネルギー技術政策について提言を行うこととする。

また, 海外の研究機関との交流・連携を深めるとともに, 国際プロジェクトへの参画等により, 国際協力事業の一端を担う。

● 行 事 案 内 ●

第17回 エネルギー総合工学シンポジウム

テーマ：『小型分散電源の時代は来るか』（仮題）
ーマイクロガスタービン，燃料電池の普及見通しー

〈基 調 講 演〉「21世紀のエネルギーシステムにおける分散電源の役割」

東京大学 名誉教授 茅 陽一

〈講 演〉「電力自由化と分散型電源」

(財)電力中央研究所 上席研究員 研究参事 矢島 正之

〈講 演〉「固体高分子型燃料電池の開発動向と実用化の見通し」

(財)燃料電池開発情報センター 常任理事 本間 琢也

〈講 演〉「マイクロガスタービンの開発動向と実用化の見通し」（仮題）

東海大学 工学部 教授 伊藤 高根

〈パネル討論〉「小型分散電源への期待と普及のための課題」（仮題）

〈司 会〉栗原 史郎（一橋大学 商学部 教授）

〈パネリスト〉伊東 弘一（大阪府立大学 大学院工学研究科 教授）

（五十音順）白土 良一（東京電力(株) 常務取締役）

松村 幾敏（日石三菱(株) 技術開発部長）

山口 靖之（東京ガス(株) 専務取締役）

（なお、パネリストについては変更の可能性があります）

日 時：平成12年7月6日（木） 10：00～17：00

会 場：東商ホール 東京商工会議所ビル4 F 千代田区丸の内3-2-2

参加費：無料

問合先：(財)エネルギー総合工学研究所 シンポジウム事務局

電話：03-3508-8894/E-mail: ykaneko@iae.or.jp/FAX：03-3501-1735

研究所のうごき

(平成12年1月1日～4月1日)

◇ 第9回評議員会

日 時：3月9日(木) 12:00～13:10

場 所：経団連会館(9階) 902号室

議 題：

第一号議案 理事および監事の選任について

第二号議案 評議員の一部交替について

第三号議案 平成12年度事業計画および収
支予算(案)について

第四号議案 その他

◇ 第53回理事会

日 時：3月15日(水) 12:00～13:10

場 所：経団連会館(9階) 901号室

議 題：

第一号議案 平成12年度事業計画および収
支予算(案)について

第二号議案 理事4役の互選について

第三号議案 評議員の一部交替について

第四号議案 顧問の委嘱について

第五号議案 事務局長の委嘱について

第六号議案 その他

◇ 第44回企画委員会

日 時：2月9日(水) 10:00～13:00

場 所：新橋SYビル 7階会議室

議 題：

(1) 最近の事業概要について

(2) 最近の調査研究の状況と今後の展開に
ついて

(3) その他

◇ 月例研究会

第176回月例研究会

日 時：1月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 日本における廃棄物処理新技術とエネルギー利用の方向

(東京都立大学 名誉教授 千葉工業大学
機械工学科 教授 平山直道氏)

2. バイオマスエネルギーの現状と将来

(㈱三菱総合研究所 科学技術研究セン
ター エネルギーシステム研究部 研究
員 井上貴至氏)

第177回月例研究会

日 時：2月25日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 新エネルギーの課題と展望

(㈱電力中央研究所 経済社会研究所
上席研究員 内山洋司氏)

2. 日本の長期エネルギー需給見通しと課題

(㈱日本エネルギー経済研究所 計量分
析部 計量分析グループ 主任研究員
石田博之氏)

第178回月例研究会

日 時：3月31日(金) 14:00～16:00

場 所：東海大学校友会館 朝日・東海の間
(霞ヶ関ビル 33階)

テーマ：

1. 電力自由化に関する海外の動向

(㈱海外電力調査会 調査部 主管研究員
井上 寛氏)

2. わが国における電力市場自由化の動向と
課題

(㈱電力中央研究所 経済社会研究所
研究参事 矢島正之氏)

◇ 主なできごと

1月5日(水)・第2回IPCC等における地球温
暖化対策技術に関する調査検討
委員会

17日(月)・第2回沿岸地域再生エネルギー
研究委員会

18日(火)・第2回産業構造変化が電力需要
に及ぼす影響分析調査委員会

25日(火)・第2回民生用電力需要動向分析
調査委員会

1月28日(金)・第2回WE-NET革新委員会
 31日(月)・第2回電力技術戦略策定委員会
 2月10日(木)・第3回高温ガス前処理技術調査委員会
 15日(火)・第2回資源・エネルギー総合技術戦略研究会
 ・第4回エネルギー環境予測検討委員会
 22日(火)・第3回温室効果ガス実測調査委員会
 24日(木)・第3回WE-NET革新委員会
 29日(火)・第1回長期エネルギー技術戦略調査委員会
 ・第1回中期エネルギー技術戦略調査委員会
 3月8日(水)・第2回WE-NET安全委員会
 9日(木)・第2回WE-NETシステム評価委員会
 ・第2回DSM技術検討委員会
 10日(金)・第2回長期エネルギー技術戦略調査委員会
 13日(月)・第3回電力技術戦略策定委員会
 15日(水)・第3回超重質燃料油利用技術調査委員会
 21日(火)・第3回沿岸地域再生エネルギー研究委員会
 22日(水)・第1回含酸素燃料に係わる調査委員会
 23日(木)・第3回電力負荷平準化用キャパシタシステム実証調査作業会
 ・第3回民生用電力需要動向分析調査委員会
 ・第3回廃棄物ガス化熔融発電技術開発評価委員会
 24日(金)・第3回産業構造変化が電力需要に及ぼす影響分析調査委員会
 ・第3回資源・エネルギー総合技術戦略研究会
 28日(火)・第2回大気改善のための自動車及び燃料評価委員会
 29日(水)・第2回非在来型天然ガス基礎調査委員会
 ・第3回長期エネルギー技術戦略調査委員会
 ・第2回長期エネルギー技術戦略調査委員会

◇ 人事異動

○1月31日付
 (出向解除)
 楠野 貞夫 (プロジェクト試験研究部 副主席研究員)

○2月1日付
 (採用)
 楠野 貞夫 プロジェクト試験研究部 専門役

○2月15日付
 (出向解除)
 高柳 英彰 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

○2月15日付
 (出向採用)
 山中 康慎 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○3月31日付
 (出向解除)
 兼子 弘 (プロジェクト試験研究部 副主席研究員)
 津田 潤 (プロジェクト試験研究部 主管研究員)

(退職)
 村野 徹 (プロジェクト試験研究部)
 松沢 忠弘 (プロジェクト試験研究部 専門役)

○4月1日付
 (出向採用)
 長谷川 清 プロジェクト試験研究部 主管研究員
 松下 和海 プロジェクト試験研究部 主管研究員

(昇任)
 蓮池 宏 プロジェクト試験研究部 主管研究員兼部長補佐

第 22 卷 通 卷 目 次

VOL. 22, NO. 1 (1999. 4)

【巻頭言】	智恵と技術で	(社)日本鉄鋼連盟 専務理事 弘 津 匡 啓…	1
【新任挨拶】	新任のご挨拶	常務理事 杉 井 喬…	2
【退任挨拶】	退任のご挨拶	前常務理事 相 馬 昭 典…	3
【理事長講演】	21世紀のエネルギーと関連の課題 ——グローバル・フロンティア・カルチャーを目指して—— (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守…		4
【関連施策紹介】	電気事業における規制緩和の動きについて ——電気事業審議会基本政策部会報告より—— 通商産業省 資源エネルギー庁 計画課 技術班長 高 畠 昌 明…		20
【調査研究報告】	地球環境問題の統合評価 ——炭素排出権取引と原子力フェイズアウトの影響—— 主任研究員 黒 沢 厚 志…		30
【内外情報紹介】	欧州の原子力に係わる最近の状況 コレンコ・パワー・エンジニアリング社 日本プロジェクト開発営業部長 ヤン・コツレック…		44
【事業計画】	平成11年度 事業計画の概要 (財)エネルギー総合工学研究所…		55
【行事案内】	第16回エネルギー総合工学シンポジウム メイン・テーマ：21世紀社会と原子力…		59
【訪問記】	でんぱつ 若松総合事業所 I A E 女性研究員取材チーム…		60
【研究所のうごき】			68
【第21巻通巻目次】			71
【編集後記】			75

【巻頭言】 電気事業は変革期 中部電力㈱ 代表取締役 副社長 蓮 見 洸 一… 1

【座談会】 今後の電力技術開発のあり方について

—— 電力技術開発検討会フェーズII報告を踏まえて ——

東京大学 大学院工学系研究科 助教授 横 山 明 彦

通商産業省 資源エネルギー庁

公益事業部 電力技術課 開発振興室長 伊 藤 敏

電気事業連合会 技術開発部長 有 井 良 和

司会 (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 高 倉 毅… 2

【関連施策紹介】 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化に向けての検討

—— 総合エネルギー調査会原子力部会中間報告より ——

通商産業省 資源エネルギー庁

原子力産業課 廃棄物係長 小山田 巧…16

【内外情勢紹介】 欧米諸国における電力自由化の動向

(社)海外電力調査会 調査部 主管研究員 飯 沼 芳 樹…27

【調査研究報告】 A H A T サイクル発電システムの概要

—— コンバインドサイクルに勝る高効率と経済性 ——

主任研究員 田 宮 久 史…40

【調査研究報告】 ガスハイドレート船による天然ガス輸送

—— L N G 船方式を凌ぐエネルギー効率と環境調和性 ——

副主席研究員 兼 子 弘

主管研究員 松 尾 和 芳…59

【内外情勢紹介】 地球温暖化対策に関する

C O P 3 以降の動向と適応策について

プロジェクト試験研究部 部長 吉 江 照 一…69

【技術解説】 クリーンエネルギー自動車レポート (第5報)

—— 水素燃料電池自動車の導入シナリオ (I) ——

主任研究員 蓮 池 宏…77

【研究所のうごき】……………85

【ホームページ開設案内】……………87

【編集後記】……………88

VOL. 22, NO. 3 (1999. 10)

【開会挨拶】	理事長 秋 山 守… 1
【来賓挨拶】	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官(当時) 佐々木 宜 彦… 4
【基調講演】	21世紀社会における原子力 ― 期待と責任 ― 東京大学 大学院工学系研究科 教授 近 藤 駿 介… 7
【特別講演】	21世紀の日本社会における原子力広報のあり方を考える 学習院大学 法学部 教授 田 中 靖 政…18
【講演】	電力自由化と原子力 勸電力中央研究所 研究参事 矢 島 正 之…30
【講演】	21世紀の原子力技術戦略 東京大学 大学院工学系研究科 附属原子力工学研究施設 教授 岡 芳 明…41
【パネルディスカッション】	
	テーマ：21世紀の原子力を語る……………52
	司 会 鈴 木 篤 之 東京大学 大学院工学系研究科 教授
	パネリスト 榎 本 聰 明 東京電力㈱ 常務取締役 原子力本部長
	(五十音順) 末 次 克 彦 アジア・太平洋エネルギーフォーラム 代表幹事
	谷 口 富 裕 東京大学 大学院工学系研究科 客員教授
	鳥 井 弘 之 日本経済新聞社 論説委員会 論説委員
【総括とりまとめ・閉会挨拶】	専務理事 稲 葉 裕 俊…76
【研究所のうごき】	……………78
【編集後記】	……………80

VOL. 22, NO. 4 (2000. 1)

【巻頭言】	年頭所感	通商産業省 資源エネルギー庁 長官 河 野 博 文… 1
【理事長対談】	21世紀とエネルギー戦略	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 藤 富 正 晴 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 4
【内外情報紹介】	分散型電源としてのマイクロガスタービンの開発状況について	東海大学 工学部 教授 伊 藤 高 根…19
【調査研究報告】	低品位炭改質技術に関する調査 ——豪州ビクトリア褐炭の 発電用燃料としての利用に向けて——	主任研究員 井 上 岳 史…35
【調査研究報告】	原子力発電プラント高経年化対策の新しい取組み	主管研究員 津 田 潤…55
【調査研究報告】	バイオマスエネルギー資源量の評価 ——バイオマスプランテーションを含めた推算——	主任研究員 上 西 勝 彦 (財)地球環境産業技術研究機構 化学的CO ₂ 固定化研究室 主席研究員 丹 羽 宣 治…66
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート (第6報) ——水素燃料電池自動車の導入シナリオ (2)——	主任研究員 蓮 池 宏…76
【訪問記】	でんばつ 沖縄やんばる海水揚水発電所 I A E 女性研究員取材チーム…86	
【研究所のうごき】	……………	94
【編集後記】	……………	96

編集後記

本号の巻頭言は、日本エネルギー経済研究所の坂本吉弘理事長に、寄稿いただいた。部分的ながら電力小売自由化が去る3月実施された時期でもあり、実に大切な点をタイミング良くご指摘いただいた。座談会は、「水素エネルギー時代への展望を語る」という題目で、関係者に参加頂いた。東京工業大学の岡崎健教授、工業技術院の増田勝彦研究開発官、NEDO/HAB室の徳下善孝室長、エンジニアリング振興協会の岡野一清研究理事、それに当所より福田健三マネージャである。WE-NETの第II期成果を踏まえて、水素エネルギー全般の位置づけ、展望が紹介されている。

外部からは、平山直道東京都立大学名誉教授に「日本における廃棄物処理新技術とエネルギー利用の動向」を寄稿いただいた。近年廃棄物ガス化溶融技術が注目されているが、同技術の中から代表的方式が同氏の見解とともに紹介されている。当所からは、原子力関係では、河本治巳副主席研究員の「高レベル放射性廃棄物処分を巡る最近の国際動向」、新エネルギー関係では、鈴木昭男主任研究員の「産業用MCFC発電の環境影響評価」、化石エネルギー関係では、片山優久雄部長の「プロセス開発とシミュレーター」を掲載した。いずれも、当所におけるこれまでの検討、研究成果からその一部を紹介するものである。

さて、近年地球の気温が上昇しつつあることは、今や事実として認識されるようになってきた。1999年度の気象庁異常気象レポートでも、「過去100年間に世界で0.6℃、日本では約1℃上昇した」と報告されており、またIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が現在とりまとめ中の第3次報告書(発行2001年予定)でも、21世紀末の温度は従来予測より高くなる可能性が検討されているといわれる。更に、3月に発行されたワールドウォッチ2000年地球白書(日本版)においては、温暖化傾向とその影響は、同書発刊時(1984年)予測に比べ悪化していること、特に今回は水の大量汲み上げ等により世界規模で地下水の減少傾向が見られ、このままでは食料不足が早晚大きな問題となることを懸念している。日本は、食料自給率約40%、また一次エネルギー輸入依存度は実に81%にも上る資源小国、消費大国であり、地球環境面で貢献できるものがないのだろうか。なかなか胸を張ってこれといえるものは思い当たらない。しかし見方を変え、日本が推進している脱石油、省資源・省エネルギー、さらには資源循環型社会への取組みも、期する所日本のみでなく地球環境面でも立派に貢献しているのではなかろうか。そう考えると、多少安堵すると同時にその着実な達成の重要性を改めて思わされる。 小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第23巻第1号

平成12年4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

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

FAX (03) 3501-1735

http://www.iae.or.jp/

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社