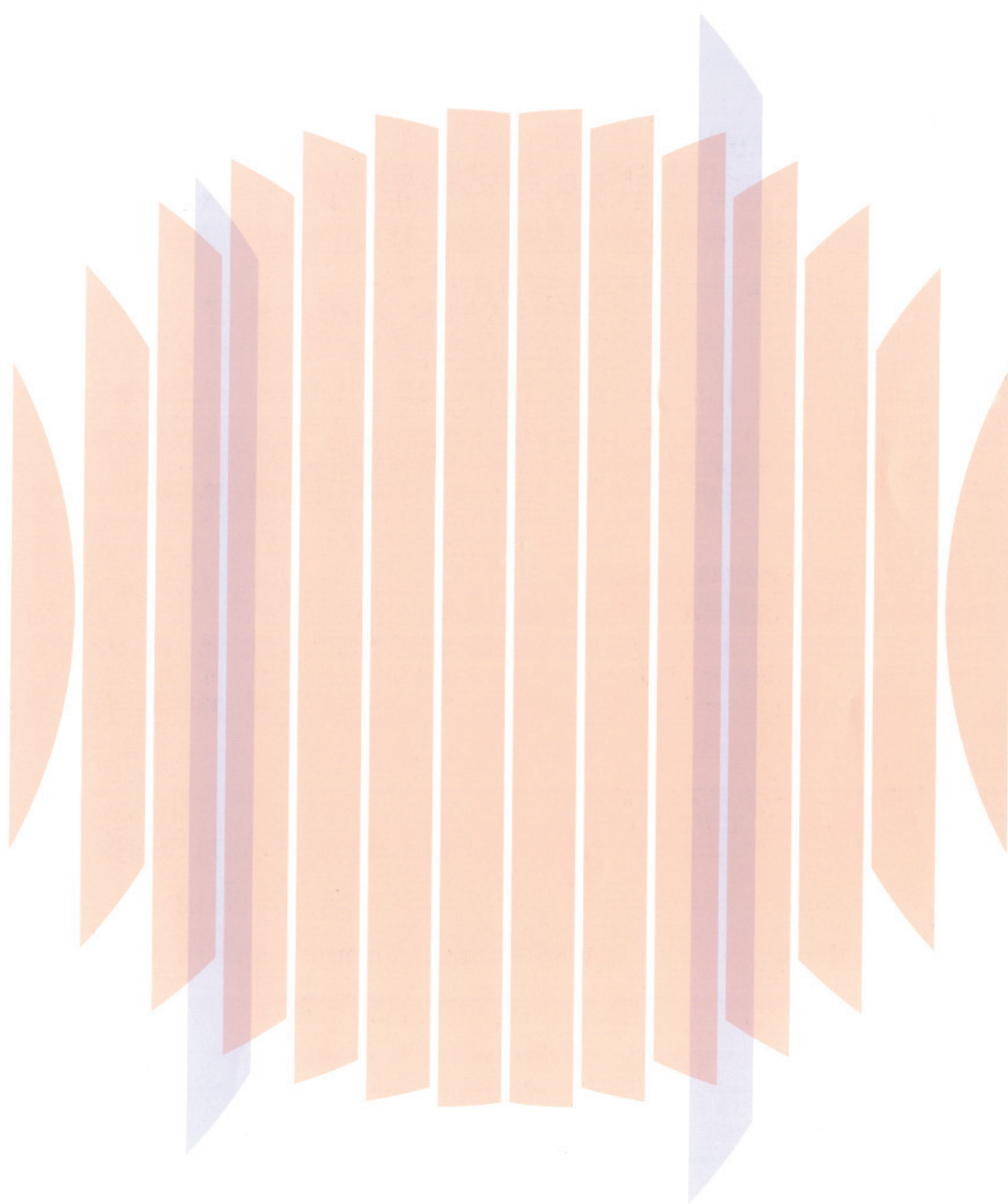


季報 エネルギー総合工学

Vol. 30 No. 1 2007. 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】			
Eーサイエンスとエネルギー問題	国立情報学研究所長	坂 内 正 夫	1
【理事長対談】			
情報化社会におけるエネルギー技術情報	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 教授 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長	岩 田 修 一 秋 山 守	3
【寄稿】			
最近の大型二次電池の開発状況	(財)電力中央研究所 材料科学研究所 材料物性・創製領域 エネルギー変換・貯蔵グループ 主任研究員	三 田 裕 一	16
【寄稿】			
合成燃料（GTL）計画の動向—成否を左右する投資サイクル—	日本ガス合成(株) 取締役	兼 子 弘	28
【寄稿】			
ハイブリッド車の技術動向と展望			
—ハイブリッド車のトレンドとプラグインハイブリッドの課題—	(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 客員研究員	清 水 健 一	37
【調査研究報告】			
バイオマスエネルギー高効率転換技術開発			
「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」の成果	プロジェクト試験研究部 専門役 三菱重工業(株) 横浜製作所 環境ソリューション技術部 主幹 (株)NGK水環境システムズ 事業戦略本部 環境開発室長	浅 見 直 人 貝 原 裕 二 柳 瀬 哲 也	48
【内外情勢紹介】			
アラブ首長国連邦（UAE）アブダビ訪問記			
—第1回“Energy 2030”に参加して—	エネルギー技術情報センター 専門役	小 川 紀一郎	61
【事業計画】			
平成19年度 事業計画	(財)エネルギー総合工学研究所		66
【研究所の動き】			71
【第29巻通巻目次】			73
【編集後記】			78

巻頭言

E-サイエンスとエネルギー問題

坂内 正 夫 （国立情報学研究所長）



筆者が関わっている情報学とエネルギー問題は、比較的遠いものと考えられてきた。しかし、情報のサイドからみると、最近この2つの距離がずいぶん近くなってきたと感じている。例えば、「車と情報」の融合技術であるITSは、環境への貢献というターゲットを通して、結局は交通／物流におけるエネルギー有効利用を目指している。また最近、電力ネットワークと情報通信ネットワークは、共に相互に関連する不可欠な社会基盤であり、より一体化してとらえるべきであるという研究者の意見もでてきている。

しかし、筆者が情報学とエネルギー問題の距離の近さを最も強く感じているのは、「E-サイエンスとエネルギー問題」である。

「E-サイエンス」または「データ中心科学」(Data-Centric Science) というのは、これから中心的となるだろう新しい研究開発の方法論である。超高速ネットワーク上で、各種のデータベース、実験、観測、計測データ、スーパーコンピュータ等によるシミュレーション結果などの「データ」をグリッドと呼ぶソフトウェア技術により連携させ、高度に処理・活用するもので、欧米を中心に強力に推進がはかれつつある。「実験科学」「理論科学」、スーパーコンピュータによるシミュレーションを活用する「計算科学」に対し、これらを統合するE-サイエンス（データ中心科学）は第4の科学とも言われている。

E-サイエンスの一例、英国DAMEプロジェクトは、各地の飛行場などの地域的に分散した現場で航空機のエンジン等の保守を、高速ネットワーク上でのデータグリッドソフトウェアをベースに高度化しようとするもので、旧ロールスロイスやリード大、オックスフォード大等が参加した。航空機エンジンの保守を各種のデータベースや多数のセンサ情報等の統合により、どこにいても高度且つ迅速に実施できれば、航空機の運行稼働率が高まり、利益向上に大きく資するというの

は、米国GEによるCVCA（顧客バリューチェーン分析）等でも良く知られているものである。DAMEプロジェクトは、この新しいスタイルの「保守」体制をE-サイエンスにより実現しようという試みである。

この例にもみられるようにE-サイエンス／エンジニアリングは、保守や稼働率の向上が極めて重要な分野に大きなブレークスルーを起こすことが期待できる。

エネルギー問題解決の1つの柱として、発電システムや送電システムの稼働率でのこのようなデータ統合・高度活用のE-サイエンスの考え方は、大いに期待のもてる検討課題であると考えている。

わが国におけるE-サイエンスの推進は、筆者の勤める国立情報学研究所や国立大学等との連携によりスタートされており、エネルギー問題にも貢献できればと念じている。

情報化社会におけるエネルギー技術情報

岩 田 修 一 (東京大学大学院 新領域創成科学研究科
人間環境学専攻 教授)

秋 山 守 (財エネルギー総合工学研究所
理事長)



はじめに

秋山 インターネットが世界的に普及し、好むと好まざるとに拘らず、私たちは情報化社会の中で日々を営むようになっていきます。当研究所でも本日お招きした岩田先生のご指導をいただきながら、技術開発戦略の企画立案を支援するため、「エネルギー技術情報プラットフォーム」という情報基盤の整備を進めているところです。岩田先生は、現在のように情報化社会が定着する以前から「情報のシステム化」についてご研究されてこられた方です。そこで、本日は、「エネルギー技術情報プラットフォーム」の構築も含め、改めて情報

岩田修一氏 略歴

1970年東京大学工学部原子力工学科卒。75年同大博士号取得。78年工学部総合試験所（冶金）講師，80年同助教授。81年工学部原子力工学科（核燃料工学）助教授。91年同材料設計学教授。1992～2003年人工物工学研究センター（設計科学，ライフサイクル工学，センター長）教授。この間1985年～86年独Fachinformationszentrum1-Karlsruhe（天文学・物理学）客員研究員。2003年システム量子工学専攻（材料設計科学）教授。2004年より現職。

主な所属学会は、CODATA（ICSU科学技術データ委員会）、日本原子力学会、日本金属学会、情報知識学会など。

CODATA会長（2002～2006年）日本学術会議連携会員（2006年～）、原子力試験研究検討会座長、国際原子力情報システム協議会専門委員、文部科学省及び経済産業省の知的基盤審議会委員などを務める。

システム構築の在り方等につきまして、幅広くお話を伺いたいと思います。

秋山 まず、岩田先生が伝統的な学問分野として認知されていなかった「情報のシステム化」に関する研究開発に取り組んでこられた動機とか問題意識についてお話をお伺いいたします。

岩田 一番のきっかけは、秋山先生を初めとした先生方に、東京大学工学部原子力工学科の創生期に色々お教えいただいた中で、データや理論を基に原子炉を作っていくというプロセスそのものに圧倒され、魅了されたことです。そういったところから、基礎のところにあるデータをしっかり整備して、誰が見ても自然で合理的な結論を原子力技術の中で出していきたいという、そんなイメージを、先生の講義を伺いながら、何となく心の中で育んでいったのです。

社会における意思決定と科学データの役割

CODATAでの活動

秋山 岩田先生は、近年ではCODATA (Committee on Data for Science and Technology)*の会長として国際的に大変ご活躍です。CODATAでは社会における意思決定を適正なものにするための国際的なデータ活動を目的にしていると伺っていますが、意思決定を必要とする、あるいは意思決定が極めて役に立つという分野、あるいは課題としてどんなものをお考えでしょうか。

岩田 代表的なテーマとしては、最近、いろんな方が議論している温暖化問題があります。1970年代、80年代ぐらいは専門家が、それぞれ別のデータを出し、その正当性を主張して



岩田修一氏

(東京大学教授)

いましたが、そうした専門家が徹底的に議論をし、リオデジャネイロの「環境サミット」の前あたりから見解がある程度一致するようになり、最近の「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)では、90%の信頼度のデータとして、今世紀末には世界平均地上気温の上昇量が1.8~4℃のレンジに収まるという点で合意するようになりました(『第4次評価報告書・政策決定者向け要約』(2007年2月初旬))。科学者がしっかりと議論して合意し信頼度の高いデータを出し、それが社会にとって合理的な意思決定につながるといふ、そういう役割を科学者は負っていると思っています。

秋山 温暖化の問題と裏腹の問題として、エネルギーをどう確保していくかという観点で、私どもの研究所でも超長期にわたるエネルギー技術を見わたしながら、極端な3つのシナリオ(①従来型の化石資源と炭素回収・隔離を主体、②原子力主体、③再生可能エネルギーと究極の省エネで、それぞれ全て必要なエネルギーを供給すること)が描けることを示しました。エネルギーを—そして技術を—どう選択していくかということも環境問題とり

*CODATAは、国際科学会議(ICSU)によって1966年に設立された学際的な科学委員会。各国のアカデミー、国際学術団体、組織が参加する国際的な科学技術データ活動の中心。科学・技術に関するあらゆるデータの質、信頼性、管理および利用可能性の向上を行うとともに、科学者、技術者が認識の向上と直接的な協力を促進し、新しい知識を得られるよう国際データ活動へのアクセスを提供する。

CODATAが対象とするデータは、物理、生物、地学、宇宙科学、機械、工学、環境の分野のあらゆるデータであるが、特に、データの学際的な利用もしくは他分野での利用を行う際に生じる諸問題を重視している。(編集部注)

ンクした意思決定の対象だと思っています。そんなことで、色々先生のお知恵、お力をお願いしたいと思います。

科学データとマネジメント

秋山 先生は論文やご講演で「情報化社会において科学データおよび知識をマネージしていくこと」の重要性について、ご指摘なさっておられます。この点について、どのようなことをお考えになり、あるいは感じておられるのでしょうか。

岩田 データから行動を始めるということを示す一番印象的な例は、フランスの技術工芸博物館です。そこの展示品を見ていますと、重さや長さを測る精密な機器が準備され、そういう機器をしっかりと作れる職人と、計測結果を解釈しそれにまつわる真理を語ってくれるフランスの化学者ラボアジェみたいな科学者という組み合わせの中でデータがだんだん生きてきたんだろうと思わされます。歴史的な人間の英知の結集としてのデータがあって、信頼性の高いデータが世界に広められていったということです。

そしてデータの擦り合わせが必要だということを本気で考え始めた最初の事例としては、米国標準局（NBS, National Bureau of Standards）の設立があります。20世紀前半にアメリカで作られていた部品は州ごとに規格が違ったり、信頼度が違って、部品を集めて人工物を組み立てようとするとガタがきてとても使いものにならなかった。そこで、どうデータを測定し、検証し、それを人工物に組み上げていくかということの重要性が確認され、そこからデータの重要性が強く認識されるようになって、NBSが設立されたのです。そのための基礎の基礎として、プランク定数とか光の速度とかが土俵の上に上がってきまして、そういう活動の中から信頼性の高いデータを皆で共有し維持するという目的で、CODATAが1966年に設立され、以来40余年の活動を続けてき

ました。信頼性の高いデータの重要性というのは、物理の世界だけに留まりません。1980年以降は、バイオや環境の領域でモデル＋データという格好で、信頼性の高いデータの提示が求められ、その結果、科学に基づくしっかりした議論が始まりました。

原子力を含めて一般にエンジニアリングに関わる問題の場合、どうしても自分の分野での正当性だけを主張しがちですが、やるべきことは、むしろデータの信頼性を主張して、選択は一般大衆に任せるという、合理的な意思決定ができるよう、社会的な取り組みをする必要があるのだらうと思います。つまり、風力発電にしてもどこまで使えるかとか、原子力発電がどこまで信頼できるかということが社会の目から見て自然な結論として出せるようにするのが、我々科学者の役目だろうと思います。エネルギーに関して重要な選択をする時、100年前のNBSのような発想、仕事、より正当性のある、より合理的な選択につなげていくための大事な仕事だと思います。

「人々のコネクション」が

64億人に良いモノを届けることを可能にする

秋山 データが社会にもっと広く活用されるべきとの観点で、先生は2005年11月、チュニジアの首都チュニスで開催された「国連情報社会サミット」（WSIS）で講演をされました。私も先進国と途上国との間の情報面での格差、そして1つの社会の中の強者と弱者との間の壁を崩していくために情報を活用していくことが必要だと思っています。先生のご講演の中で私が感銘を受けたのは、科学技術データが社会の富の増大のための公共財として扱われるべきものであるとのご指摘、それから品格のある科学技術の進歩の実現に向けた先生の大変熱い思いに対してです。その辺りのお考えを社会という観点でもう少しご説明いただけますでしょうか。

岩田 この100年、200年ぐらいは、大量生産

したモノをとにかく沢山お客さんに売りつけるといふ、世界構造がありました。しかし、開発途上国の問題に着目しますと、援助が個人にまで届かない。途中でいろんなバリエアがあって、例えば、津波被害に対して、世界の大勢の人が善意で支援した毛布や医薬品といったものが、本当に必要な人に届かないという現実があります。色々な意味で社会の中で無駄が多いのだらうと思います。

それで、WSISでは全世界64億人のそれぞれの人々に我々の科学技術が作り出した良いモノを必要に応じてしっかり渡すことによって格差を是正するという事に目標があります。64億人個々のケアをするには、恐らく情報技術や客観的なデータが非常に大事で、そういったものをしっかり組み合わせていくことによって、個人個人の幸せにつながるというのが多分、WSISの一番大事なところ。「人々のコネクションとソリューション」というのがそのキーワードで、それは当時のアナン国連事務総長の言葉です。

情報というものについて

軍事用語として始まった「情報」という言葉

秋山 日本語の「情報」という言葉はそもそも明治9年にフランス語の軍事用語 *renseignement* を酒井忠恕さんが「情報」と翻訳したのが始まりだそうです。その後、日清戦争の頃に新聞でも「情報」の文字が現われ始めたとのことで、歴史的には主に軍事面で使われてきたという背景があります。その「情報」を社会・経済等にポジティブに活かしていくためには、情報の信頼性・有用性をきちんと認識し理解した上で利用していく体系を整えていかなければいけないわけですが、情報の体系をどのように整理していったらいいか、整理の座標、あるいはポイントについて、先生の視点はどのようなものでしょうか。

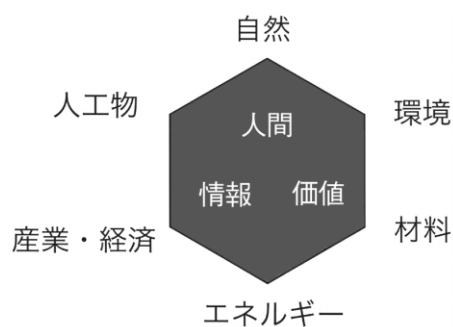


図1 人間、情報、価値を中心とする視軸

岩田 かつては情報を手に入れることが大変で、それが軍事用語として使われてきたんだと思います。ところが、今、情報はうんざりするほど溢れているので、その溢れている中で、社会の富の増進というところへ使っていくとすると、最終的に人間を中心に情報を見るというのが大事なのだらうと思います。

以前は、「情報・エネルギー・材料」というのが現代産業社会の3要素だったのですが、多分これからは、「自然・人間・人工物」となる。それぞれ最初の要素を原子に喩えると、それらが入り組んでいるところの間をつなぐ電子に当たるものが「情報」であり、「エネルギー」であり、情報やエネルギーを支える基盤として「材料」があるという非常にダイナミックな関係になっています。その中で溢れている情報、あるいは情報の中に隠されているいい面と悪い面をもっとホリスティック（全体的かつ包括的）に将来の3要素である「自然・人間・人工物」を含めて、どう人類全体の共通の財産としてシェアするか、ビジネスを展開するかが大事だと思います。そうした人間、情報、価値を中心とした視軸を図1に概念的に示します。

情報を作った人の心の想いで

変わる情報の見え方

岩田 それぞれの情報を作った人の心、あるいは情報をサービスしている人の心に想いを至すと、ずいぶんデータ、あるいは情報の見え方が変わってくると思います。膨大な情報

を集めることによって情報化されていない部分がよく見えるようになりますから、その情報を持っている人がどうしても優位になる。そこで大事なことは、情報を受信する側も自分の心を持ち、発信する人の心とのレゾナンス（共鳴）の中で情報を活かしていくという流れが必要なんだろうと思うのです。したがって、心がわかると発信していない情報、いわゆる人間が発信したくない情報も見えてきますので、そこから人間同士の本当のコミュニケーションの手段として、情報を使うことができると思います。

インターネット検索サイトの「グーグル」によって、世界中の情報が今コントロールされようとしています、あそこに我々が簡単にアクセスできる、アクセスさせてくれるというのには、別の意図があると思います。その中で、自分にとって大事なことは何なのかをいつも考えながら情報を使っていくという習慣をつけることによって初めてより健全な社会のルールが出てくるのだらうと思います。

秋山 今の先生のお話の中で大変重要なワードは「人間」ということだと思います。旧来の「情報・エネルギー・材料」といった古典的な仕組みを別の見方で、「自然・人間・人工物」に移行させる。その中心にあるのはやはり「人間」だ、と理解しました。

このような内容、あるいは方向は、東京大学情報学環^{**}で構想している「情報学」の動きとほぼ同じと考えてよろしいでしょうか。

岩田 エネルギー総合工学研究所で計画されているエネルギー関連のデータベース作りは、エネルギー技術をどう理解し、社会の中でどう活用していくかを考える作業ですから、そこでコンテキスト（状況あるいは文脈）が生成されるのだと思います。

他方、情報学環では情報を社会の中でどう使うかという、現場から一步下がって、社会科学の視点で見えています。私はむしろ科学

技術情報をどう使うかという、現場の立場での視点でいますから、コンテキストだけでなく、コンテンツ（内容）もしっかりクオリティの高いものを準備し、インタラクティブ（双方向）にそれを入れるいいコンテキストを作るという考え方でいます。そこが情報学環の視点と違うところです。

IAE「エネルギー技術情報プラットフォーム」

中立的機関による

エネルギー技術情報整備が大切

秋山 今度は、先生にご指導いただいております当研究所の「エネルギー技術情報プラットフォーム」（図2参照）の件について伺いたいと思います。

深刻なエネルギー問題と環境問題の解決に向けて、必要な情報を確保し活用していくことが極めて重要です。環境分野では、GCP（Global Carbon Project）つくば国際オフィス事務局長のベネロピ・キャナン教授が『オゾン・コネクション～国境を越えた環境保護の連帯はなぜ可能になったか～』（日本評論社、2005年11月）と題する本を出しています。オゾン層破壊の問題に関して、特に「オゾン情報コネクション」と呼ばれるエネルギー地球環境情報の果たしている役割が大きいとのことで、環境問題の解決、そしてエネルギー問題の解決においても、情報に係る環境、情報基盤の整備が大変重要だということは国際的にも認識されているところだと思います。

秋山 このプラットフォームの運用は、平成19年度から開始したいと考えています。日本として特色のある、そして、国際的にもより先導的な新しい内容と運用を目指していきたいと思っています。それで、このプラットフォームの構築に向けた我々の取組みに対して、

^{**}2000年4月に情報学に関して創設されたネットワーク型の大学院。（編集部注）

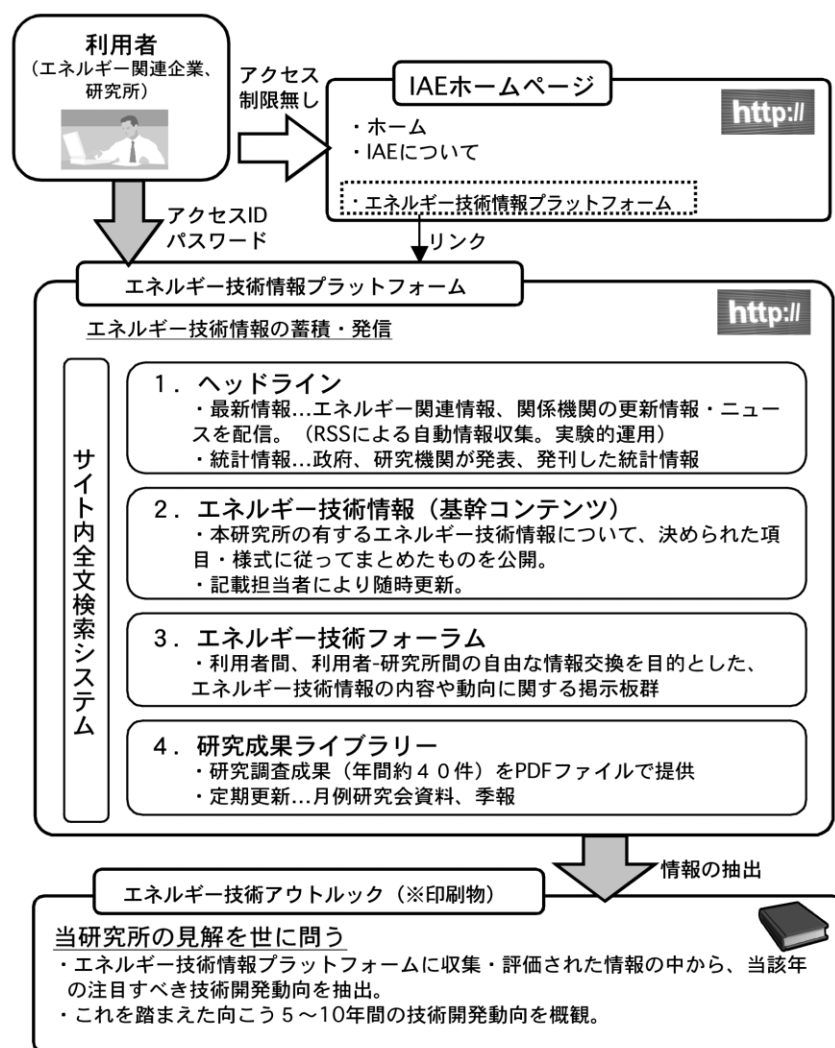


図2 IAE「エネルギー技術情報プラットフォーム」の概念図

岩田先生が期待される点、あるいは留意しなければいけない点につきまして、いくつかアドバイスを頂けますでしょうか。

岩田 この研究所のデータベースに関してはもう20年以上、色々な格好でお手伝いさせていただき、また使わせていただいたので、何とかこれを社会で役立つ知的財産としてしっかり整備していただけないかなと思っていましたから、「エネルギー技術情報プラットフォーム」は大変良い企画だと思っています。

今エネルギー関係全部をざっと眺めてみると、技術そのもの、それを支えるサイエンスも随分しっかりしていると思うのですが、その評価に関しては、必ずしも社会全体で定まった意見があるわけではありません。です

から、IAEのような中立的な機関がすべてのエネルギー資源に客観的な目配りをして、その情報をプラットフォームとして整備するということは社会にとって非常に大事なことだと思いますので、ぜひ積極的にやっていただきたいと思います。また、エネルギー関係者として私の専門分野でのお手伝いもできる限りさせていただきたいと思っています。

自由に意見交換できるサロンのような場が必要

岩田 今までは政府がトップダウンでエネルギー政策を決めてきたところがあると思います。しかし、最近の色々な状況から判断しますと、トップダウンの施策だけではなく、大勢の人が参加して、客観的な立場で見て、し

っかり政策を評価できるための素材をいつも準備し続ける場というのがどうしても必要だと思います。そういう場を作れるのは、エネルギー総合工学研究所のような研究所だと感じています。トップダウンの情報をパスするというよりは、むしろグラスルーツ型といえますか、ユーザ側の色々な疑問やリクエストとかを汲み上げながら、エネルギー技術関係のインターネット上でのサロンという感じのものが作れるととても良いですね。

岩田 2006年11月、イギリスのグラスゴー大学に行きました。200年ぐらい前に『国富論』を著したアダム・スミスが経済学部教授でいたわけですが、その近所で、蒸気機関の発明者ジェームス・ワットがテクニシャンとして仕事をしていたのです。アダム・スミスがジェームス・ワットの才能を見い出して、彼の知的財産権もしっかり保護しながらイギリスの産業革命のベースを作ったみたいなところがあるのです。

ですから、「エネルギー技術情報プラットフォーム」もいわゆる自由に意見を交換し合うサロンみたいなものであって、色々な立場で、反対意見も賛成意見も客観的なデータをベースにしっかり交換し合いながら、最終的にいい結論を出していくということが大事だと思います。

秋山 重要なポイントの1つは、評価をきちんとやることですが、それに関しまして、私どもの研究所では、情報基盤の整備とともに、少し別の角度も視野に入れながら、エネルギー技術の評価活動に関わる体制を強化しようとしています。その中の重要なパートがエネルギー技術情報自体の評価でもあります。従来型の評価に加えて、トップダウンではなく、社会の色々な方のコラボレーションでの評価という、少し新しい視点も必要だと感じます。

もう1つのポイントは、ジェームス・ワットとアダム・スミスが近いところで協力した

とのお話のように、歴史を見ますと、パイオニアたちは科学技術とか経済とか別に専門性に拘らず、非常に柔軟に、斬新で意欲的な発想と力量をもって道を切り拓いてきています。日本は、後発国として学問領域が出来上がったものを輸入したので、文系と理系、エリートと実務というような体制が今でも残っていて縦横に縛りがあります。

私どもの研究所の「総合工学」という言葉に期待する私の思いは、従来の工学を超えて社会・人文・心理なども協同して歩んでいくことへの期待です。「エネルギー技術情報プラットフォーム」についてもできるだけ、先生のただ今のご指摘の視点を活かせるように努力していきたいと思っています。

「エネルギー技術情報プラットフォーム」の開放に向けて

秋山 ところで、残念ながら現実には今回の「エネルギー技術情報プラットフォーム」には、利用上の制限があります。完全なオープンドメインではなく、私どもの研究所の賛助会員の方や特定のお役所、専門家の方に対して、限定的にまず始めようとしているのですが、もう少し広くメディアや関心を持つ方々に適切な範囲の情報を自由に使っていただけるために、どのような仕組みを設けていったらいいのか。特に特許情報との関連で入手や利用の方法の問題など、海外の公開・非公開の事例の知恵などをどう入れ込んでいけば先生のお話の方向に乗っていけるのか、お聞きしたいです。

岩田 それに関して、CODATAがGICSI (Global Information Commons for Science Initiative) ***というプロポーザルをチュニスのWSISで提案しました。情報の価値は、サービス、量、質、普遍性、占有度などによって決まります(図3参照)。例えば、米国の法制度の専門家に言わせると、90種類ぐらいの知

*** <http://www.codata.org>に関連のワークショップ、会議、提案の内容が紹介されている。

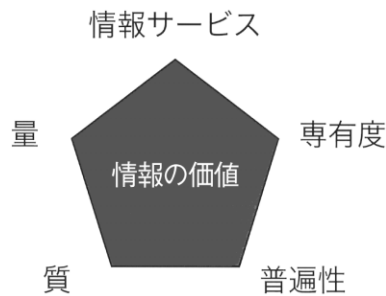


図3 情報の価値とその決定要素

的財産権があって、それぞれに対応するのが大変で情報の活用ではなく、かえって全体の知的生産性を落としています。恐らく、エネルギー関係で色々なグループ間で色々な取決めがありますから、知財をしっかり評価し合いながら、より効率的な、より広範なデータの活用を色々なレベルで図っていく仕組みをビジネスモデルとして作ると、うまくいくのではないかと思います。つまり、図4で示すように、情報の共有と専有の間に社会全体にとっての価値を最大化するような答えがあるのではないかと、つまり科学技術の生産性や社会への還元を最大化するための枠組みを決める活動、すなわちGICSIのような提案を具体化することが必要となります。

望ましいボトムアップ方式

岩田 知的財産についても日本はどうしてもトップダウンでやり過ぎるところがあります。例えば、ネット上の書店「アマゾン・ドット・コム」のようなところでは、そんなに売れないけれどもそれなりのお客さんがいる専門書というのを本当に綿密にビジネスとしてケアしながら、しっかりカスタマーに売っていくというようにいわゆる「ロングテール」へのきめ細やかな対応を行っています。1つ1つのマーケットは小さくても、全部合わせるとすごく大きなマーケットになり、結局、きめ細かなサービスがビジネスとしても可能になるということです。

エネルギーの場合、エネルギーに関する情報のきめ細かなサービスをどういうふうに変

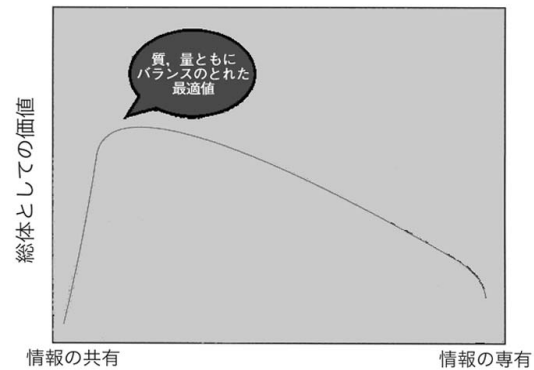


図4 社会全体にとっての情報価値の最大値

現していくか、そこで大きなビジネスモデルが作れると思っています。

秋山 私も可能性があると思っています。例えば、日本の原子力の安全規制は国際的に見るとかなり遅れている部分がありますが、役所自らがこれを改革するのは責任問題との絡みでどうしてもインセンティブが働きにくいという問題があります。新聞に出ていたと思いますが、東京大学の中でこのような問題の改善に向けた適切な場を設けて、産官学の活発な協力を実現していくという趣旨で、新しいビジネスモデルというか、方向が出つつあると見ています。

日本の知的財産についても、やはり大学、あるいは学会あたりで新しいビジネスモデルを打ち出していただくことも必要だと思いました。

岩田 そうですね。今までと発想をまったく変えないといけないでしょう。既得権を守ろうという感じになると、色々な制度同士がお互い譲り合わなくなって大改革ができないと困りますからね。

品質保証は第三者機関で

秋山 情報や知的財産というのは、それを提供する側にも利用した側にも責任がかかってきます。アメリカの文献などを見ると、「以上の情報について当局はそれに伴う不利益について一切責任を負いません」とか必ず書いて

あります。新しい情報のビジネスモデルをお考えになった時に、情報の品質保証や責任問題にはどうコミットできるのか、あるいはすべきか、ということについてはいかがですか。

岩田 品質保証は、例えば第三者的な機関が行うとか、あるいはそのメンテナンスみたいなことをやるビジネスがあると思います。

今、役所や産業界、学会で同じようなことをダブってやっていて、ドキュメントだけ作っていて、結局、全体の知的生産性は必ずしも上がっていないという感じがします。産官学の間でできるだけ無駄な重複を減らして、もっと合理的なドキュメントの作り方、あるいはその共通資産の作り方というのを考えた方が全体の生産性が上がると思います。ダブってそれぞれの仕事をキープするより、もう少し新しいことに人材を振り向けないと若い人が育ちませんし、ドキュメント作りだけやっていて良いことはないだろうと思います。

品質保証は、例えば「ISO14000」（環境管理の国際規格）みたいに、それを認証する機関が専門家をきちんとそろえ、専門家としての交流を持ちながら全体の効率を上げていくというのが大事だと思います。

秋山 「エネルギー技術情報プラットフォーム」は、特に、技術情報のコンテンツの基礎である技術シーズを生み出し育てていく学会関係の方々にも将来的には活用していただきたいと思っています。

エネルギー技術戦略

策定の鍵は現場からのデータの吸い上げ

秋山 わが国はエネルギー戦略をロードマップの形で整備しています。「エネルギー技術戦略ロードマップ」に関しては、セクター別、エネルギー資源別などで整理しながら、2100年の時

点からバックキャストして作りました。今、お役所ではフォアキャストで2030年ぐらいまでの道筋を詳細につけていく作業を行っています。

具体的には可能な技術のメニューを並べていくわけですが、こうした作業を進めていく場合、また、成果を活用していくことまでも視野に入れた場合、情報の活用という観点、あるいは情報から何か新しいコンセプトを入れ込んでいくという観点から、エネルギー技術戦略作りでは、どんな点に留意していけばいいでしょうか。

岩田 まず、共通のドキュメントや色々なアーカイブ（保管文書）がありますから、それはそれできちっと参照できるようにしておくことが大事です。今回大事なことは、まだ情報化されていない部分がありますので、現場からのデータの吸い上げをできる限り人々の知恵を刺激するような格好で行って、それに基づいて戦略をどんどん変えていくことが大事だと思います。世界情勢はどんどん変わりますから、それを先導するようなつもりで今ある情報をいつもその次の意思決定につなげていくことが大事です。そこのダイナミックスをどこまで設計できるか。情報のコンテンツはどんどん改定されますし、コンテキストも世界情勢の中でどんどん変わってきますから、そこのダイナミックスについていくといえますか、ダイナミックスをむしろ作り上げるような情報システムである必要があります。

国際的にもっと自信を持つ

秋山 日本は冠たる技術立国であり、性能の高い、特にエネルギー効率も高く低二酸化炭素排出といった優れた技術を沢山持っています。例えば、自動車についても電気自動車なども含めて幾つものオプションがあります。そこで、国際競争力の観点で日本が技術戦略をどう構築して運用していくか、国際的に見て、どのようなご感想をお持ちでしょうか。

岩田 もっと自信を持った方がいいと思いま



秋山 守

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

す。今、国立科学博物館の仕事として、第二次世界大戦以降の日本の科学技術を歴史的に評価する仕事に関与し始めました。私としては、人工物の科学プロジェクトを始めようかと準備中です。

岩田 具体的には、日本が作り出した人工物を再評価して世界に対して提示することができないかと思っています。原子力にしても、あるいは他のエネルギーにしても随分新しいオリジナルなアイデアが戦後出てきましたので、それぞれのスナップショットを、モノに焦点を合せて科学の目でもう一回多面的に整理し直して、次の世代に見せていくということをやりたいと思っています。

実は、2006年12月に日本の科学技術を評価する国際会議がありました。私はパネリストとして参加したのですが、外国の非常に著名な先生方が、「日本の科学技術は明治以降、イノベーションではなくてイミテーションである。日本のアイデンティティを主張できるのはホンダとソニーだけである」と言ったんです。私なりに反論したのですが、反論しただけではだめで、証拠としてのきちとした事実を日本も積極的に主張していかないといけないと思います。また、そうしないと次の新しいものがないので、国立科学博物館での仕事をきちんとやろうと思っています。

正しい認識に拠るエネルギー論争を

岩田 国際戦略という点で考えると、日本は国内でのつまらない衝突にエネルギーを消耗し過えています。例えば、原子力の人は「自然エネルギーは使えない」と言いますし、自然エネルギーの人は原子力のことを「あんなものは使えない」と言うわけです。しかし、自然エネルギーは、「エネルギー源+ある種の人間のアメニティみたいなもの」で社会の中で価値を認められていますし、原子力は原子力で、日本のエネルギー供給をどう維持していくのかという本気の話の中で主張されているので、コンテクストが違うわけです。コンテクストが違うということをきちっと主張し、それを支持するデータもきちっと準備し、こういうプラットフォームの中で、少しずつ皆さんの合意が形成されていくと良いと思います。

岩田 結局、そこで作り上げた日本発のエネルギー技術というものが、今、海外で評価されているソニーやホンダの製品と同じように、世界に受け入れた時に、日本人が認められ、尊敬されるようになると思います。

世界の中で「本当に本物はいい」と認められるようなモノを作り出すために、人材供給も含めた準備に重点を置くべきでしょう。

秋山 中身としては、日本の省エネルギー技術などが国際的に大変高く評価されていますが、「中身と同様に技術と社会を合わせた体系としても確かにオリジナルだ」と海外で認められるものを作らないといけませんね。先生のお仕事のご成功を願っています。

自由に使える予算で新しいシーズ作り

秋山 エネルギー技術に限らず、技術全体で新しいシーズについて、国が総合科学技術会議で選択したテーマに予算を重点的につけて、計画的に支援しようとしています。

一方で、過去の大きな発明、発見では偶発的

なものも相当多いです。そうした偶発的なものに予めどのくらい投資していけばいいか。あるいは、研究の自由度を、時間的にも、人的にもどのくらい確保していけばいいか。大学や研究機関が全く新しい発見的なことにつながる成果を生み出していくためには、どれほどの投資と心構えをしておけばいいのでしょうか。

岩田 「科学技術基本計画」で約67兆円を10年間で使うということですが、何となく先が見えて成果が出るのがある程度確実なところになんかの資金を使っているような雰囲気があります。その中の数%でもいいから、まったく自由に研究として面白ければ何に使ってもいいものがあって良いと思います。自由な時間、自由な使い方、義務のなさ、ジェームス・ワットが勝手にモノを作っていたみたいなの、そういう遊ぶ雰囲気がどうしても必要だと思うのです。

秋山 必要ですね。昔同じことを東京大学の
大島恵一先生が言っておられました。資金全体の5%程度をまったく自由に使えるプールとして用意すべきだとおっしゃっていました。

私が大学の教官としてまだ駆け出しの頃に、本田宗一郎さんから何に使ってもいいという多額の奨学金をもらいました。飲み屋で一晩中飲んでもいい。旅行してもいいし、温泉に行ってもいい。英気を養って、それが次のイノベーションにつながるならば何に使ってもいいというお金でした。私は大喜びで、全部を使って本を買った記憶があります。どうも現今の各種の奨学金を見ても、そこまでの自由度はないですね。確かに自由闊達な心は生かさなきゃいけない。

安全、安心というニーズ

数値化した信頼度で価格付け

秋山 今度はニーズの話ですが、近頃では、製品の性格、形態、機能、効率などと同時に、

より安全であるとか、安心であるとかがニーズとして重要になってきています。それが今後のエネルギー技術にどう反映されていくのか、先生のご感想はいかがですか。

岩田 「安全」、「安心」という言葉だけでなく、もう少し具体化、定量化して、安全を売る、安心を売るということをやった方がいいと思っています。例えば、 10^{-9} の信頼度の時には、高く売った方が良いと思いますし、 10^{-5} 程度の信頼度なら、「我慢して上手に使って下さい」と言って価格を下げるとかです。うんと頑張ったら儲かるというようなメリハリをつけたほうが良いと思います。やはり、ニーズがあって、それに対して貢献した人、応えた人にしっかりリターンがあるというのがすごく大事です。

秋山 私も先生のお考えに基本的に賛成ですが、今の社会では「無限に、安全・安心を確保したい」という思いがあるようです。ドライに、信頼度を数字で割り振って価格付けし商品化していくことが受け入れにくい面もあります。

エネルギー関係でも様々なリスクが伴いますが、そのリスクの安全目標なども一般的には議論しにくい部分がまだあります。私は先生と同意見で、そこは社会でオープンに議論できるようにしないとイケないと思います。特に、欧州などの状況をご覧になっていて、その辺りはどう思われますか。欧州では、「限らない安全・安心」などという議論はどこまで行われているのでしょうか。

岩田 例えば、ジェットエンジンなどは限りなく安全に近いことを要求されていると思います。でも、それをケアする人はそんなに人数はいないんですが、本当に良く分かっている人が高い給料をもらってちゃんとケアしています。本当に必要なものはそれなりのリターンがそれぞれあるので、それが信頼性、安全性を上げることになっています。

医療サービス、航空機サービス、あるいは環境ビジネスなどのサービス毎に、そのサービスがカスタマーにとってどんな価値を有し

ているか、比較制度分析をやり、分かり易い言葉でA4版で1枚くらいにまとめて、いつもホームページに載せる。詳細をちゃんと調べたければ、そこから最後の本当のエッセンシャルなデータまで辿っていくという、そういう合理性を社会が理解する成熟した社会が育たないといけませんね。

秋山 私、先日、葉山で行われた安全・安心のセミナーに出席しましたが、ある方が講演の中で、欧米では、メーカーが製品を提供する際に、「我々としては持てるリソースで最善の努力をしてこれだけの製品を作りました。ただし、これには残留リスクがこれくらいあり得ます。これを社会で受け入れていただけますか」と問いかけ、社会が特に反対しなければ、その製品をマーケットに出す、という話をしていました。

選択肢を沢山持つことの重要性

秋山 話は戻りますが、エネルギー技術戦略について、ニーズの多様性も考慮しなければいけません。国や民族ごとに文化・風習、考え方が違います。例えば、照明についても、効率が良いからという理由で白熱灯を蛍光灯に換えていくことは、西欧では少なくともこれまでは難しかったように思います。技術の選択に関して、我々が勉強していく点は、その他どこでしょうか。

岩田 先ほどのニーズと同じなのですが、結局、歴史的に見て多様な選択肢を持っている所では豊かで面白いことも沢山起こります。やはりそれぞれの文化を大事にして初めてマーケットも大きくなると思います。各国が持っている文化をベースに各国が自分でデザインしてモノを作る、その一番コアのところを日本が提供するやり方が最終的には一番大きなマーケットになるかと思っています。

秋山 日本が細部にわたるまで提供するので

はなく、コアのところをちゃんとやって、あとはそれぞれの自発的な活動に任せると言うことですね。

情報化社会の展望

未来における情報入手形態

秋山 今まで情報は、視覚情報、聴覚情報として、インターネット、テレビ等々から入手できています。将来、30年先は、どんな道具が情報伝達にどう使われるのか、情報社会の未来像と併せてヒントを頂けますか。

岩田 今年の卒論で、国連の「ミレニアムゴール」****をどうやって情報技術で達成するかという課題に取り組みました。

例えば、「幼児死亡率を下げる」というテーマだと、亡くなっていく子供自身も母親も訳もわからず亡くなってしまいます。言葉もきちんとできない。できても何と言ったらいいか分からない。どこに連絡したらいいかも分からないというところから人間の知恵が始まるんだろうと思います。その知恵の一番ベースとなる常識（コモンセンス）一知の原点をどうやって使っていくかという辺りに、情報化社会が近づいていくのだろうと思います。

コンテンツはもう全てデジタル化されますから、その先はそれらをどう組み合わせる価値を抽出するかという話になってきます。携帯電話も多分、言葉が話せれば世界中どこにでも母国語で電話できるとか、番号を入れなくても相手の名前を言えば、電話機がその相手にかけてくれるとかです。

秋山 情報化社会が進展して行っても、情報の価値の等級区分として、一般契約者に対するカスタム情報、特定契約者に対するビンテ

**** 国連ミレニアムゴールとは、経済的福祉、社会的開発、環境の持続可能性と再生に関して設定された様々な目標。
(編集部注)

ージ情報、あるいはプライオリティ情報を区別していくという考え方も依然として残る、お金を払えば質の高い情報が得られるということは残るのでしょうか。

情報に対する免疫力が大事

秋山 意図的に間違った情報を入れ込んでパニックを起こすとか、情報を悪用しようという動きもありますが、その辺りについて我々は何に留意しておけばいいのでしょうか。

岩田 結局、免疫力が大事だと思います。何か悪い菌が入ってきた時に、データがどうやって作られたとか、情報がどうやって作られたか、どうやって伝達されたかという、ところを理解する力、それが免疫力です。子供の頃から、情報は鵜呑みにするのではなくいつも考えながら情報を見るというトレーニングをすれば、必要な情報を全部有効に使えますし、要らない情報は全部捨てていけます。

秋山 若い人がその自覚を持つための教育とか環境整備は重要ですね。

若い人達へのメッセージ

ゼロから始めて自分なりの価値付けを

秋山 最後になりましたが、若い人たちに対して、私は情報化の流れの中で「自分をとにかく大切にしてください」とか、「自分でしっかり考えることを大切にしてください」というようなことを思い付くのですが、先生は若い人たちにどんなことを期待されますか。

岩田 既存の学問体系を適用すると、研究をやった気になるのですが、本当に大事なことは、何でもニーズを理解し、あるいはテーマを設定しながらゼロから始めて自分なりの価

値を追加していくということです。そういう習慣を子供の時から付けないといけません。それは結局、「ホリスティック」というアプローチだと思います。

このホリスティックなアプローチは、不思議なことに、軍事系に使われています。目的を設定し、その後は科学技術のうち使えるものを全て合理的に使って、ソリューションを出すということが軍事研究でなされているのです。でも、軍事研究でなく、もっと良い目的に世の中の科学技術の成果を使っていく。そして、信用できるものはきちんと使い、信用できないものは適当に拒絶しながら使っていくという、そういうトレーニングを幼稚園ぐらいから始めておくのが一番大事だと思います。

本を読むことの大切さ

秋山 私、大学生の頃に感じたことですが、大学で教育を受けることの大きなメリットは、素晴らしい指導者に会える機会が多いことと、本を読む環境に恵まれていることだと思います。最近の電子メディアの時代でも、活字でまとまった非常に効率の良い情報、そして、哲学は重要です。本を読むことが重要だと思います。

岩田 非常に大事だと思いますね。本を読むことによって他人の思考のプロセスを追体験することになります。現場での自分の経験と本を読むことで他人の経験を追体験（イミテーション）するということを併用しながら自分のモノを形成（イノベーション）して、しっかり進んでいくのが大事なのでしょう。

秋山 本当に今日は勉強になりました。長時間、ありがとうございました。また、先生には当研究所の事業につきまして、今後とも色々ご指導、ご助言をお願いいたします。

[寄稿]

最近の大型二次電池の開発状況

三 田 裕 一

(電力中央研究所 材料科学研究所 材料物性・
創製領域 エネルギー変換・貯蔵グループ
主任研究員)



はじめに

講演の概要

電池には、太陽電池、燃料電池など色々ありますが、今回ご紹介させていただきますのは、二次電池、すなわち、充電式の電池です。また、携帯用の比較的小型の電池よりもむしろ、大型の二次電池に関する背景と開発状況、現在から今後の用途についてご紹介させていただきます。

これからのエネルギー問題 —省資源と環境負荷低減—

中国、インドなど、今までエネルギーをあまり使っていなかった途上国や地域が経済成長に伴ってエネルギー消費を急増させています。それもあって、世界全体の一次エネルギー消費量は、2004年にはついに100億トンを超え、102.2億トン（BP統計2005）になりました。

一方、わが国では非常にクリーンで便利な二次エネルギーである電気エネルギーの使用量が年々増えています。発電に伴って二酸化炭素（CO₂）が排出されますので、消費電力当りのCO₂排出量（排出原単位）が気になるところです。現在、わが国の排出原単位は0.4kg-CO₂/kWh近辺で横這い状態ですが、ただ排出原

単位の動きは非常に重要なことだと思います。

こういった内外の状況を背景に、エネルギー問題がますます重要になるとは思いますが、解決策は大きく分けて省資源と環境負荷の低減の2つです。

省資源という点では、機器の高効率化が重要になってきます。例えば、発電分野での石炭ガス化複合発電、運輸分野でのハイブリッド自動車の開発などです。

環境負荷の低減だと、やはりCO₂排出抑制が重要です。自然エネルギー発電の導入促進や機器の高効率化が対策として考えられます。また、硫化物（SO_x）、窒素酸化物（NO_x）の排出量削減も重要課題の1つです。

こういったエネルギー問題に蓄電技術を活用できないかと思います。最近、政府も注目しています。今後は技術開発を進めて、エネルギー問題の解決のための1つのツール、あるいはそれに寄与できる1つのデバイスとして注目されていくのではないかと思います。

各種蓄電システムの現状と二次電池

蓄電システムの現状

現在、考えられている蓄電システムを図1に示します⁽¹⁾。横軸は出力、縦軸は貯められるエネルギー量の目安です。規模が小さいはい

*本稿は、昨年9月29日の当所月例研究会（第249回）におけるご講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。

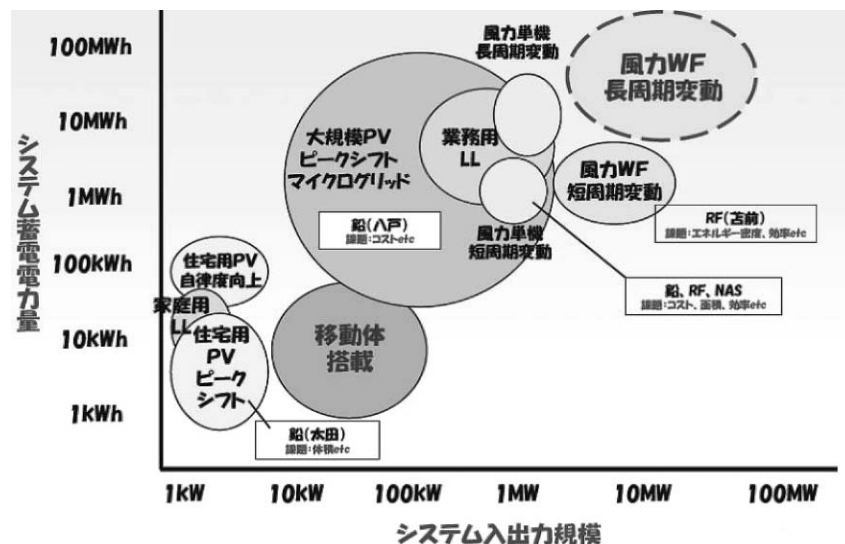


図1 各種蓄電システムの規模⁽¹⁾

うから大きいほうへ説明していきますと、住宅用の太陽光パネルに付ける蓄電システム、電気自動車や燃料電池自動車に搭載する電池、業務用のローレバリングシステムや分散型電源（マイクログリッド）に使うような蓄電システム、そして、さらに大きな風力発電に併設するような蓄電システムがあります。このように非常に小さいものから大きいものまであり、必要なスペックはそれぞれかなり違ってきますが、幅広い分野で適用が期待されていると言えます。

蓄電技術の比較

各種蓄電技術を表1で比較してみました。現在、実用化されている揚水発電以外にも、

様々な蓄電技術の開発がなされていますが、二次電池による電力貯蔵は比較的高効率で立地に制約されないという利点があります。ですからオンサイトで、要するに需要地の近くにも置けるという特徴があります。

二次電池の長所と要求

二次電池の長所として、次のことがあります。①高いエネルギー効率、②容易な立地、③短い建設工期（ある程度パッケージング化されているため）、④柔軟な蓄電容量設計、⑤良好な負荷追従性（出力調整がスピーディーに行われる）、⑥環境に優しい（低騒音、無排出）。

他方、二次電池を実際に設置する際には要求

表1 各種蓄電技術の比較

蓄電技術	特 徴
揚水発電	ダム式発電であり、立地地点が限られる。
二次電池	リチウム、ニッケル水素等 場所の制約を受けず取り扱いが簡便であり、高効率が可能だが、大容量化が課題。
	ナトリウム硫黄、レドックスフロー等 立地の制約は受けず、高効率が可能だが、運転時、高温維持、電解液の循環が必要である。
電気二重層キャパシタ	一種のコンデンサ。エネルギー密度が鉛電池以下。一時的電力補償用に主にメモリーバックアップで利用。
フライホイール	フライホイールの回転エネルギーとして貯蔵する。効率向上のため、超電導化に取り組んでいる。
SEMS (超電導電力貯蔵)	超電導コイルに永久電流として貯蔵するものであるが、極低温の維持が必要である。
CAES (圧縮空気貯蔵)	地下空間（岩盤）に圧縮空気を貯蔵するため、立地地点が限られる。

が色々あります。代表的なものとして、①所要のシステム規模が実現できること（蓄電エネルギー量，所要入出力），②耐用期間が長いこと（充放電効率，システム効率），③運用の制約性が少ないこと（メンテナンス，起動停止制限），④設置場所の制約に適合すること（エネルギー密度，入出力特性），安全性が確保されること（保護装置，法令対応），⑥コストが低いこと（導入コスト，運転コスト）があります。

これらの要求を全部満たすパーフェクトな電池というものはありません。同じ種類の電池でも設計によって，重点の置き方が違ったりしますので，要求性能もかなり変わってきます。

大型二次電池の開発状況

各種大型二次電池の特徴

今回ご紹介させていただくのは，主に定置型の大型二次電池です。鉛蓄電池，レドックスフロー電池，ナトリウム硫黄電池というのはかなり以前から開発が進んでおり大型のシ

ステムでも実証され，既存技術として普及段階にあると思います。これに対してニッケル水素電池やリチウム電池は，例えば，シェーバーや携帯電話など民生用に使われていますが，大型化では開発途上であると思います。それぞれの電池について以下にレビューさせていただきます。

〔ナトリウム硫黄電池〕

ナトリウム硫黄電池は，エネルギー密度が高く，電池の充放電効率が非常に良いという特徴があります。現在，日本ガイシ(株)が事業化し，大型組立て工場で製造し，低コスト化の努力がされています。システム化実績も非常に多いということです。

電池は図3に示すように，円筒型で，セラミックスの中にナトリウムがあり，さらにセラミックスを挟んで硫黄があります⁽³⁾。両方を細い管を通じて反応させ充放電させます。単セル電圧は1.8～2.1V，エネルギー密度は140Wh/L，100Wh/kg，電池のエネルギー効率は89%，運転温度は300～360℃です。

単セルをたくさん並べて断熱容器のモジュールの中に収め，それをユニット化してシス

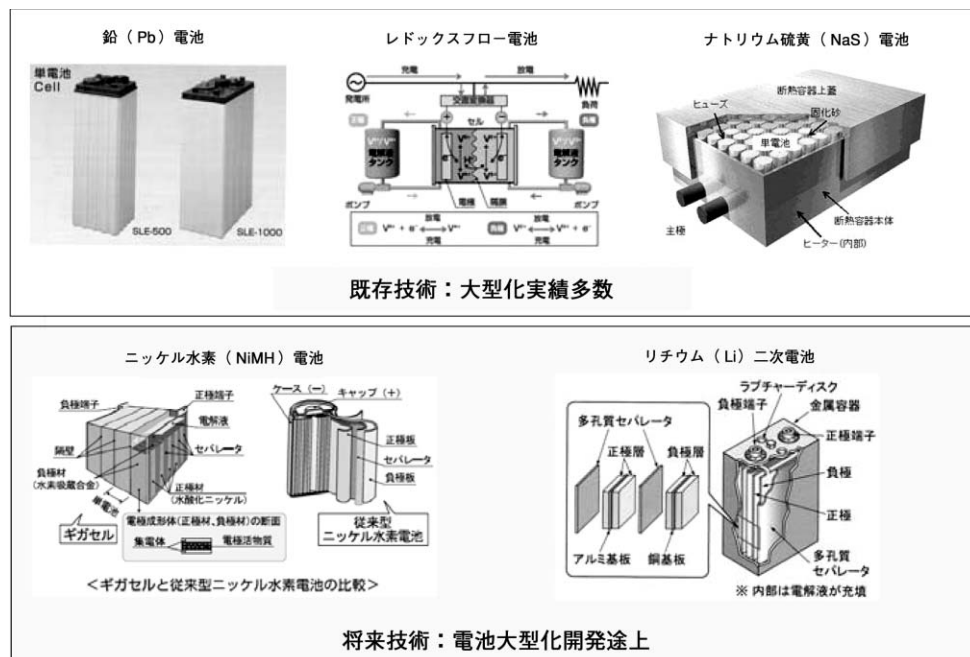


図2 大型二次電池の現状 (2) (3) (4) (8) (10)

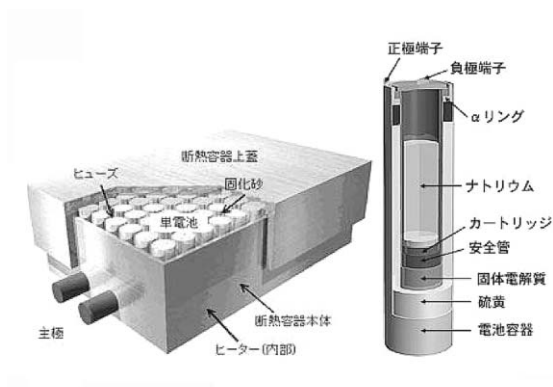


図3 ナトリウム硫黄電池の構造 (3)

テムを作っているということです。断熱容器に入れるのは、ナトリウム硫黄電池の動作温度が300℃以上なので温める必要があります、必要に応じてヒーターで加温しています (3)。

ナトリウム硫黄電池はもともと、第二次石油ショック (1978年) 直後の国家プロジェクトである「ムーンライト計画」で取り上げられ、その後実用化の過程で東京電力㈱がメーカとの共同研究等で実用化を進めてきました。8時間ぐらい充電をして、昼間の4時間ないし8時間で放電するという電力貯蔵用としての運転方法が最初のコンセプトです。さらに需要を開拓するために、例えば、無停電電源装置 (UPS) の機能や瞬間的な高出力というような適用検討も行われています。最近では、そういった用途でも色々な需要家に導入されています。

[レドックスフロー電池]

レドックスフロー電池は、隔壁を挟んで2種類の電解液を反応させて充放電する電池です。液を貯めるタンクとセルが別々にあります。出力はセルの設計で決まって、タンクに沢山液を貯めておけばそれだけ蓄エネルギーが増えるということで、柔軟な容量設計ができます。

レドックスフロー電池もかなり前から開発が進んでいて大規模システムを作ることが可能です。電解液の濃度で充電レベル (SOC, State Of Charge) が決まります。濃度を見ていればSOCが分かるので、運転制御上便利などところがある

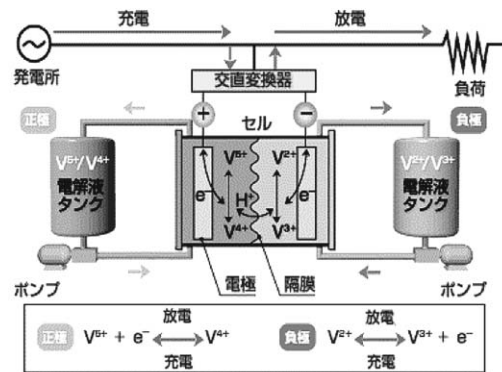


図4 レドックスフロー電池の構造 (4)

と思います。単セル電圧は1.3～1.5V、エネルギー効率70%、運転温度は40℃以下です (図4参照) (4)。

補機として電解液を循環させているポンプは、電池を動かさない時は止めて、待機時の補機ロスを低減できます。それから、電解液と隔壁を完全に分離できますので、リサイクルが比較的容易ではないかと思います。システム化のためには、100セル以上をスタッキングし、さらにモジュール化して使うことになります。

レドックスフロー電池ももともとは電力貯蔵用に開発されましたが、短時間であれば、瞬低防止とか、瞬間的な出力とかにも耐えられますので、そういった用途も付加して工場や病院にも導入されています。

[鉛蓄電池]

鉛蓄電池は、140年ぐらい前にできて、今も使われている電池です。大規模の電力貯蔵システムにも使われ、現在でも、例えば、国のマイクログリッド・プロジェクトにも導入されています。鉛蓄電池の単セル電圧は1.8～2.1V、エネルギー密度は80 Wh/L, 30 Wh/kg、エネルギー効率は75～85%、そして運転温度は-10～40℃です (図5参照) (5)。

鉛蓄電池は、古くから使われている電池です。システム化の実績も多くあります。そのため、多数の電池を使用する時のばらつき調整を過充電でそろえるなどシステム運用技

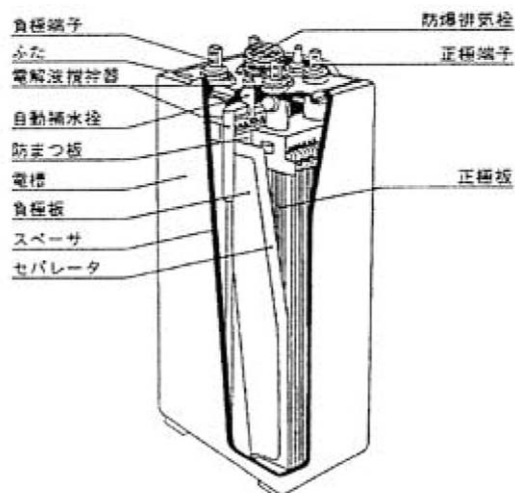


図5 鉛蓄電池の構造 (5)

術もある程度確立されていると言えます。それからリサイクルのシステムもできていますので、比較的Lowコストで使えます。

それから、鉛蓄電池は、100 %の容量を取り出したりすると寿命が短くなりますが、例えば、50～70 %ぐらいまでしか使わない制御だと長寿命化もできます。運転方法や制御により実運用上の性能向上の可能性があります。

鉛蓄電池は、20年ぐらい前から密閉型も実用化されています。メンテナンスフリーという魅力は大きく、密閉型の電池を使って4,500サイクルというような長寿命の電池を新神戸電機(株)、(株)ジーエス・ユアサコーポレーション、古河電池(株)が開発中と聞いています (5)～(7)。

[ニッケル水素電池]

ニッケル水素電池はなかなか大きなものができなかったのですが、最近、川崎重工業(株)が図6のようなスタッキング構造で容易に大型化できるニッケル水素電池を開発しています (8)。電池としては1C (持っている容量を1時間で出せる電流の大きさ) 程度の電流での充放電が可能だということです。電池をスタッキングして、モジュール化しシステムアップが可能であることが特徴です。単セル電圧は1.1～1.4 V、エネルギー密度は40 Wh/L、20 Wh/kg、エネルギー効率は80～90 %、運転温度が40 ℃以下です。

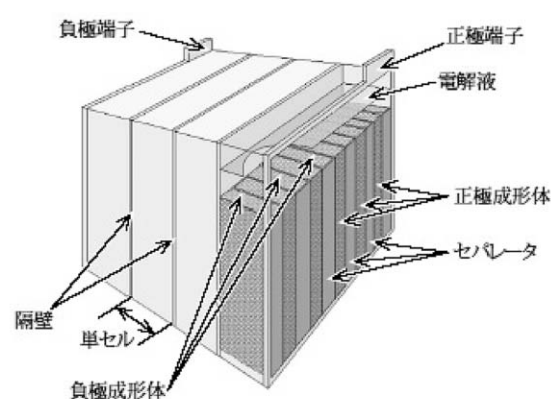


図6 川崎重工業製ニッケル水素電池の構造 (8)



図7 松下電池工業製ニッケル水素電池 (9)

一方、図7は、通信用バックアップ電源として検討されている松下電池工業(株)のニッケル水素電池です (9)。これは、単1型より少し大きな100 Ah級の密閉型電池セルからなり、コントローラーの電池管理システム (BMS, Battery Management System) やファンなどを全部パッケージングして、バックアップ用電源として、鉛蓄電池を置き換えることを狙っています。エネルギー密度は単セルで230 Wh/L、71 Wh/kg、モジュールでは76 Wh/L、57 Wh/kgです。電圧は、単セルで1.2 V、モジュールだと12 Vとなります。

[リチウム二次電池]

日本国内のパソコンや携帯電話の中に入っている二次電池は、今やほぼ全部リチウム二次電池です。負極に炭素材料を用いて安全性を高めたリチウムイオン電池は、90年代初めにソニー(株)が最初に発表し、それから20年もたたないうちに携帯機器の電源として普及し

ています。なぜかという、軽くてコンパクトで、高い充放電効率を有しているからです。それから、電池というのは瞬間的に高い出力を出すのが難しいのですが、リチウムイオン電池は設計によって高出力化も可能で、ハイブリッド電気自動車にも適用可能です。ハイブリッド電気自動車の場合は、例えば20C、つまり数分で全容量を吐き出す大電流も流せるという特徴があります。単セル電圧は3.0～4.2 V、エネルギー密度は300 Wh/L、150 Wh/kg、運転温度が-10～40℃です（図8参照）。エネルギー効率は97%と非常に高いです。携帯用の電池はかなりコストが下がっていますが、大型の電池というのは今後低コスト化していくことが期待されます。電池自体の材料は、携帯用の電池の中身とそれほど変わりません。大きくしても市場が見込めない、今のところ大型電池は実用化されていないのだと思います。リチウム二次電池は、他の電池よりも1個の電池の電圧が高いことも特徴です。それだけ直列に接続する個数が少なくできるというわけです。

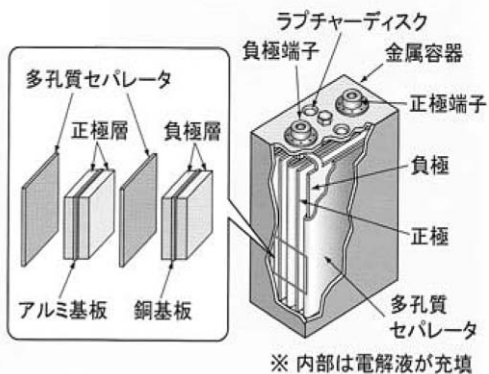


図8 リチウム二次電池の構造 (10)

リチウム二次電池は、平成4年度から13年度まで、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「分散型電池電力貯蔵技術開発」プロジェクトとして、図9のように負荷平準化や家庭用に設置する電力貯蔵システム、電気自動車を目指したモジュール電池が開発されました⁽¹⁾。その時にできた電池は、図10に示す小型電力貯蔵装置用で2 kWh級のモ



図9 NEDO「分散型電池電力貯蔵技術開発」⁽¹⁾



図10 NEDOプロジェクトで開発したモジュール⁽¹⁾

ジュール電池と電気自動車用で3 kWh級のモジュール電池です⁽¹⁾。これは現在でも、世界でも最大級のリチウム二次電池だと言えます。ここで開発された技術が、例えば、宇宙用電池技術やハイブリッド電気自動車用の電池技術につながっています。

なお、定置型のリチウム二次電池を開発しているところは少ないですが、三菱重工業（株）が図11のような、12 kWh、27 kWhのインバータ込みの電池システムを発表しています⁽¹⁰⁾。

名 称	12kWh電力貯蔵装置	27kWh電力貯蔵装置
電池構成	340Wh単電池×36直列	340Wh単電池×80直列
電力容量 (kWh)	DC 14	DC 32
電 圧 (V)	AC単相3線200(50/60Hz)	AC単相3線200(50/60Hz)
最大出力 (kW)	AC 1.5	AC 3
エネルギー効率 (%)	83	86
質 量 (kg)	300	700
寸 法 (mm)	650 ^W ×550 ^D ×1625 ^H	980 ^W ×550 ^D ×1890 ^H

立体図

(出所：三菱重工業（株）、参考カタログ（2005.1））

図11 リチウム二次電池を用いた蓄電システム

[キャパシタ]

キャパシタの特徴と適用事例を表2に示します⁽¹¹⁾。現在の主な用途はバックアップ用電源です。コピー機の起動時のヒートアップを瞬時に行うためにも活用されています。入出力特性が優れていますが、エネルギー密度は鉛蓄電池よりも低いというのが実状です。

キャパシタは大容量にできないので、電池と組み合わせる必要があるとよく言われます。そこで、例えば、鉛蓄電池の中にキャパシタを組み込んだ「ウルトラ・バッテリー」が古河電池(株)から発表されています。図12に構造を示します⁽¹²⁾。ハイブリッド電気自動車に適用するのが目的です。キャパシタと電池を別々に作ると、電圧調整のためにコンバータを入れて間をつなぐ必要がありますが、組み込んでしまえば1つのデバイスとして使えます。そういった使いやすさも期待されています。

試作した電池は30 Ah級で、HEV用出力は既存の鉛蓄電池の2～3割向上する見込みで、目標コストは24,000円/kWhに置いています。

表2 キャパシタの特徴と適用事例⁽¹¹⁾

◆特徴
■ イオンの物理吸着現象を利用し、原理的に電気化学反応を用いないため、応答が速く、無保守
■ 電解液に水溶液または有機電解液を使用
■ メモリーバックアップ用の小型小容量電源が主
■ 入出力特性に優れるが、エネルギー密度が低く、蓄エネルギー量の向上が課題
◆適用事例
■ 風力発電出力安定化(富士電機システムズ、日産ディーゼル工業(株)): 638V-2.9kWh
■ 瞬時電圧低下補償装置((株)指月電機製作所): 1MVA-1～10秒補償、定格電圧6.6kV
■ ハイブリッド自動車(日産ディーゼル工業(株)): 346V-583Wh

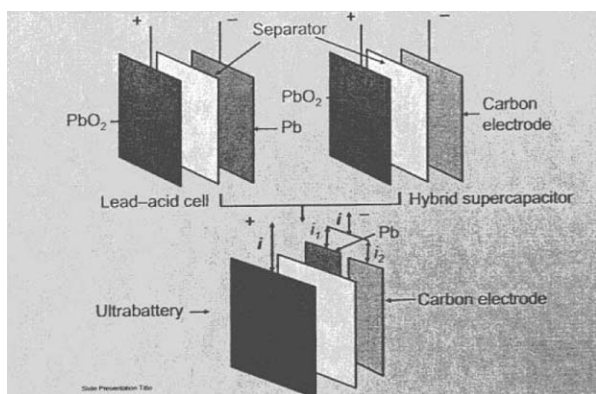


図12 ウルトラ・バッテリーの構造⁽¹²⁾

今後の大型二次電池の用途

電力系統側の課題—負荷率の向上

平均電力の最大電力に対する比率を負荷率と言います。1年間通した時を年負荷率と言い、電力量に対して最大電力の伸びが大きい時は「負荷率が低下する」ということになります。年負荷率というのは平成に入ってからずっと60%を切って横這いでしたが、最近少し上昇傾向にあり60%を超えています。つまり、最大電力の伸びが小さくなっています。その理由としては、需要家のコスト意識の高まりで省エネや設備の効率利用をよく考えるようになったこと、需要管理がよくされるようになってきたこと、エアコンや冷蔵庫といった機器の省エネが進んできたこと、それから電力会社が蓄熱を進めるために色々な料金制度を導入していることなどを挙げることができます⁽¹³⁾。

図13は1日の中での負荷(需要)のカーブです。電気というのは貯められないということで、基本的には原子力発電と水力発電でベースの負荷に対応し、負荷の需要の変化に合わせた供給は火力発電で調整しています。このように需要の変化に対応して電源を組み合わせる「ベストミックス」ということを行っています。図13で示すように、負荷には山と谷があります。お昼休みは少しくぼんでいますが、昼間が高くて、人々が起床する前の時間帯が一番低くなっています。

負荷の平均とピークの比が負荷率ですが、この負荷率が向上する、つまり、需要曲線がフラット(負荷平準化)になるほど設備利用率が向上します。そうすると発電効率も向上します。あるいは、ピークに合わせて発電設備は増強していますので、それを繰り延べできる。そうすると料金の原価上昇を抑制できるという効果があります。これは主に電力会社のメリットと言えますが、料金は需要家にも反映されていきま

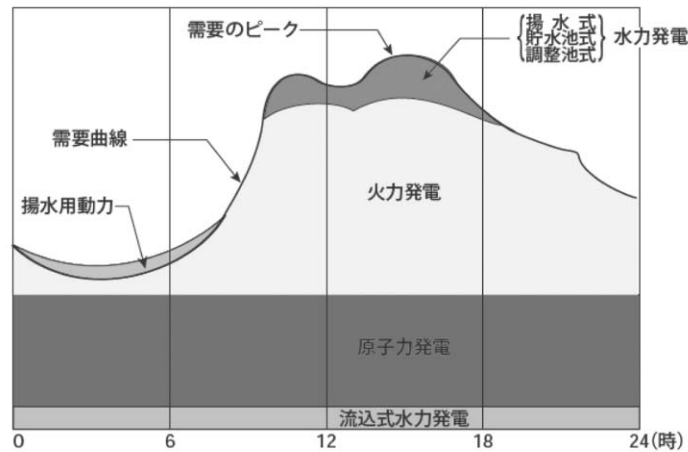


図13 1日の中での負荷カーブと電源の組合せ（ベストミックス）(14)

すので、負荷率の向上、つまり負荷平準化ができればいいということです。負荷平準化の方策は大きく分けて、ピークシフト、ピークカット、ボトムアップの3つがあります。このために二次電池を導入するという考えがあります。

負荷平準化対策としての二次電池導入

電力貯蔵システムとしての二次電池は需要家側に置いてもいいでしょう。この時の付加価値としては、例えば、高信頼性の電源を確保できるとか、太陽光なども使えるということがあると思います。電源の信頼度は、家庭用コンセントなら99.9 %（停電時間／年）で済みますが、通信分野では99.9999 %，「.com企業」に至っては、99.9999999 %が求められます。

ナトリウム硫黄電池とかレドックスフロー電池といった大きな蓄電システムは、大きな事業所や工場などで置いているところもありますが、もう少し小さな事業所でも蓄電システム導入の動きがあります。図14に示す鉛蓄電池を使った蓄電システムは住宅用として市販されています(15)。

新エネルギー導入促進のための二次電池導入

蓄電システム導入の用途として、風力発電や太陽光発電などの新エネルギー導入をアシストする形が今後は考えられます。国の新エネルギ

- ◆kW容量:3.6.9kW
 - ◆kWh容量:15.30.45kWh
 - ◆蓄電池部:鉛蓄電池を使用
(15kWhシステムの場合)
 - 外寸:1900×1590×600 mm
 - 重量: 約1960 kg
- (株)さとうベネック、信濃電気(株)、他



図14 市販されている深夜電力貯蔵システム (15)

ー導入目標では、2010年度で太陽光発電が482万 kW，風力発電が300万 kWという数字が掲げられています。2004年時点では各々100万 kWぐらいで、なかなか導入が進んでいません。なぜかという、電力系統側から見ると色々な技術的な課題があるからです(図15参照)。1つは、出力変動が激しいということです。風力発電の場合、出力を緩やかにしたり、計画的に出したりするように制御できれば、系統に安定して発電電力を出力できるだろうという考えです。

また、風力発電は1日のうちで変動します。勿論、夜間も発電しますが、電力系統側での夜間の需給調整余力（下げ代）は大きくないので、できれば風力発電所からの出力を夜は止めて、昼間に少しずつ発電電力を出力することが風力発電に併設する電池に求められます。

今、NEDOプロジェクトとして北海道苫前のウィンドファームにレドックスフロー電池

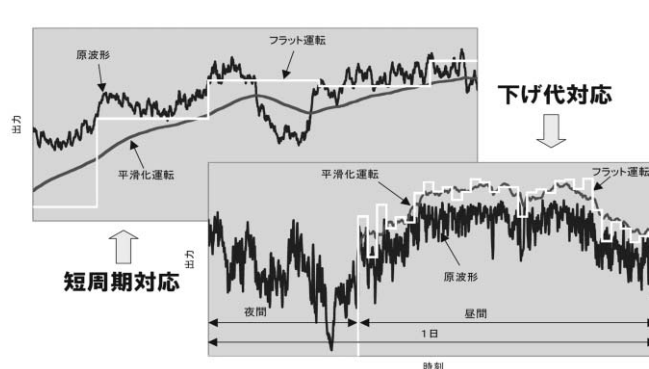


図15 二次電池併設による風力発電出力変動への対応 (11)

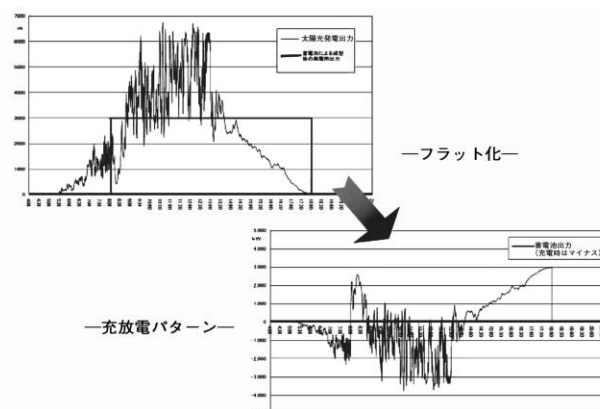


図16 太陽光発電出力変動への対応 (1)

を置いた試験を実施しています。ここでは、30 MWの風力発電所に対して6 MWの電池を併設しています。

一方、MW級太陽光発電を導入する時にも、出力を安定化させて系統につなげて欲しいという要求があり、蓄電システムをつないで図16のように充放電させるという話があります。

他方、住宅用太陽光発電の場合、配電線に電気を逆潮流させるわけですが、配電線の電圧が上がります。配電線の上限電圧は決まっていますので、集中的に住宅用太陽光発電を配置されると、「あなたまでは逆潮流してもいいです。でも、隣の人は電圧が上がるからだめ」と言われることがあり得ます。この電圧上昇に対して、二次電池をバッファに使ってコントロールしていく先行的な試みがNEDOの「集中連系型太陽光発電システム実証研究」において群馬県太田市で行われています。実証試験では鉛蓄電池を用いてシステムの検証を実施し、実験室レベル

ではリチウム電池やキャパシタも検討されているということです (16)。

次世代型自動車用の電池としての二次電池

次世代の電気自動車用の電池開発も重要だということで、平成19年度から国の新たなプロジェクトが立ち上がります。実用化が進んでいるハイブリッド電気自動車では、主にニッケル水素電池が搭載されていますが、リチウム二次電池の適用も検討されます。次世代自動車として、さらにリチウム電池等を用いて小型電気自動車、あるいは充電もできるハイブリッド自動車（プラグインハイブリッド車）を実現させていくのかなと思います。充電による電力需要の増加が、先ほどの電力負荷平準化にも寄与することになれば、電力会社も積極的に受け入れる可能性が出てきます。

鉄道における二次電池

鉄道会社も省エネ、負荷平準化、架線の電圧変動を抑えるために、蓄電技術の導入を検討しています。たとえば、東日本旅客鉄道(株)では、燃料電池とリチウムイオン電池を使う燃料電池ハイブリッド車両の開発を進めています。

拡大する二次電池の適用先

信頼性が重要な宇宙用や深海用などの特殊用途にもリチウム電池が使われ始め、NEDOの「次世代衛星基盤技術開発プロジェクト(衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発)」(平成15年度～19年度)で宇宙用のリチウム二次電池の研究開発が進められています。電池の開発とともに、インバータやコントロール回路を含めたシステム全体の信頼性を向上させるということも重要です。電池開発のベースには、前述の「分散型電池電力貯蔵技術開発」プロジェクトの技術が生きています。実用化に向けて、さらに性能アップを図っていくことが重要だと思います。

また、ロボットにも二次電池は積まれています。本田技研の「ASIMO」の場合はニッケル水素電池が使われていますが、今後はリチウム二次電池も使われていくと思います。

二次電池の技術開発の動向

コンパクト化が進むリチウム二次電池

1990年代に出始めたリチウムイオン電池のエネルギー密度は約200 Wh/Lから約600 Wh/Lまで向上しています。そして、さらに技術開発が継続しています。リチウムイオン電池の開発課題としては、より高電圧の領域でも安定的に使えるようにすることや、電極材料そ

のものの改良、決まったパッケージの中で実際に充放電できる材料をより多く詰め込んで高容量化することなどがあります。

これらは携帯用などの小型電池の状況で、エネルギー貯蔵に使う大型電池のエネルギー密度をここまで向上させるにはいろいろな課題があります。

リチウム二次電池の開発の方向性

現状で普及しているのは携帯用の小型電池が主流です。最近では携帯電話でテレビを見るなど高機能化が進んでいます。そうすると、エネルギー消費量が増えてきますから、電池のエネルギーをもっと増やせという要求が出てきます。それに沿った開発が主流になっています。リチウム二次電池の開発はやはり小型電池における技術開発が先端であり、注目しておく必要があります⁽¹⁷⁾。

[材料の低コスト化]

電池のコストは普及を考えると低いほうが良いと思います。リチウム二次電池では材料の選択によって、材料ベースのコストを抑制できる可能性があります。まず、正極材料としてはコバルト酸リチウムを用いる電池が多いのですが、これをマンガンやニッケル、鉄などもっと安い材料にしつつ、電池の性能を実用レベルにすることが望まれます。マンガンというのは、高温時の保存特性が良くなかったのですが、色々工夫することによって徐々に使える技術が蓄積されています。それから、オリビン系材料という、学会での発表件数が非常に多い材料でも実用化に向けた動きがあります。リチウムイオン電池の場合、負極は炭素材料を使っていますが、これを超えるような合金系の材料(アンチモン、錫、シリコンなど)を適用する動きがあり、開発が進んでいます。ソニー(株)は錫系の合金材料を使った電池を一部市販品として発表しています。

[電解質の難燃化]

電解質の難燃化も開発課題のひとつです。リチウムイオン電池は電解質に可燃性の有機電解液を使っています。これを難燃化して安全性を高める開発の方向があります。電解液の高純度化、難燃性溶剤の添加、あるいは正極／電解質の界面制御などが考えられます。

また、そもそも電解質を液体ではなくて燃えない固体とする全固体型電池の開発や、イオン液体という新しい電解質を使って難燃化という課題をクリアするといった検討もされています。

[過充電放電防止の信頼性向上]

現在のリチウムイオン電池では電池外部に回路をつけて過充電過放電を防止していますが、その信頼性を上げる技術開発も行われています。現状の主流は、小型電池ですが、将来的には大型電池にもこの技術が適用されると思われます。大型電池では、安全性や信頼性の技術の重要度が上がってくることも予想されるため、このような周辺技術の開発も重要と思います。

[長寿命化]

運転条件でも変わってきますが、寿命性能は大容量化とトレードオフの関係にあります。モバイル機器用の場合、あまり寿命性能は重視されていないようです。逆に、大容量化はより進める方向のようです。1回充電して1回放電するのを1サイクルと数えると、寿命は300～500サイクルぐらいといわれています。

一方、電力貯蔵適用大型電池では寿命性能は重要です。三菱重工業(株)の10～100 Wh級大型電池のデータでは、運転状況を最適化して3,500サイクルを目指す段階といえそうです。ただし、実証した事例はまだありません。

今後普及が見込める二次電池開発

今後、普及が見込める二次電池開発というのがやはり重要ではないかと思います。これ

までも大型の二次電池開発には国も予算をつけてやっていますが、なかなか普及は進んでいません。理由として、1つに、電池製造に設備産業的な面があって、ある電池を作るといって1本ラインを作る必要がありますが、市場が見えない段階ではメーカーも投資しにくいという事情があります。大きな電池から小さな電池まで全部作るラインをそろえるのは大変ですので、ある程度共通化できる電池容量（例えば、100 Wh級）の電池で色々な用途のシステム化ができるような技術開発を進めていけば良いのではないのでしょうか。勿論、電池の中身自体は用途によって設計を変える必要があると思います。

今、国内のリチウム二次電池の生産規模は年間約5GWhと推定されます⁽¹⁸⁾。住宅用のリチウム電池などのシステムを組んでこれぐらいの量の電池が普及するとすれば、電池メーカーが振り向いてくれる市場になるということです。例えば、太陽光発電専用、風力発電専用という、確かに導入時は一気に作るのですが、その後の継続的な市場の見通しができていない現状では、電池メーカーも二の足を踏むでしょう。ですから、やはり裾野を広げる意味で、色々な用途に使える電池の開発を進めていく必要があると思います。

さいごに

今後、省資源、環境負荷低減のため、様々な蓄電技術の活用が期待されています。二次電池は、その最有力候補の1つと言えると思います。

大型電池としては、既に、ナトリウム硫黄電池、レドックスフロー電池、鉛蓄電池が実用化され普及段階にあります。一方、リチウム二次電池やニッケル水素電池、キャパシタについては、大型化、システム化のための技術開発が今後の実用化に向けた課題です。

二次電池には、様々な適用可能性があると思います。ただ、電池それぞれに特性がありますので、それに合った使われ方が重要であるとともに、将来技術の開発にあたっては広く普及が見込める電池が望ましいと考えています。このようなことに対応できる可能性を一番持っているのはリチウム二次電池です。

今回お話しした内容は、NEDOから受託した「分散型電池電力貯蔵技術開発」、「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」に関する調査、「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」の内容を一部使わせて頂きました。

「系統連系円滑化蓄電システム技術開発に関する調査」の報告書⁽¹¹⁾は、後日NEDO殿から公開されると思いますので、ご興味のある方はご覧になって頂きたいと思います。

以上です。ご静聴ありがとうございました。
(拍手)

参考文献

- (1) NEDO「二次電池等技術開発シンポジウム」資料、2006年5月12日
- (2) ㈱ジーエス・ユアサパワーサプライ、カタログ「サイクル用長寿命制御弁式鉛蓄電池 電力貯蔵システム」Cat No. GYPS-P003
- (3) 日本ガイシ㈱、NGKレビュー、60号(2004)
- (4) 住友電気工業㈱、SEI World、vol.284(2001)
- (5) 畠山好也、エネルギー・資源、25、404(2004)
- (6) 高林久顕、下浦一郎、尾上晃一、松村康司、近藤悟、新神戸テクニカルレポート、15、31(2005)
- (7) 野口博正、菊地 大介、吉田 英明、高野 秀夫、萬ヶ原徹、FBテクニカルニュース、61、7(2005)
- (8) 永島、他、川崎重工技報、No.159、32-33(2005)
- (9) 松下電池工業(株) プレス発表(2006/06/12)、ホームページ(<http://panasonic.co.jp/mbi/news/news/060612.html>)
- (10) 三菱重工業(株)、参考カタログ(2006.10)
- (11) 財電力中央研究所、NEDO平成17-18年度成果報告書、「系統連系円滑化蓄電システム技術開発に関する調査」
- (12) J.Furukawa, et al., Proceeding of 2nd International Symposium on Large Ultracapacitor (EDLC) Technology and Application, May 16-17, 2006, Baltimore, U.S.A
- (13) 電気事業連合会、電事連会長定例記者会見資料(2006/616)
- (14) 電気事業連合会、原子力・エネルギー図面集2007年版。
- (15) ㈱さとうベネックホームページ、<http://www.satobenec.co.jp/chikuden/>
- (16) ㈱関電工、NEDO平成17年度中間年報、「集中連系型太陽光発電システム実証研究 集中連系型太陽光発電システム実証研究」
- (17) 電気化学セミナー1「最先端電池技術2006」要旨集(2006)

[寄稿]

合成燃料（GTL）計画の動向 —成否を左右する投資サイクル—

兼 子 弘（日本ガス合成㈱ 取締役）



1. GTL計画に影を落とすカタールの挫折

2007年2月21日に、カタール（図1参照）に滞在していた筆者は、その日の現地英字紙「ザ・ペニンシュラ」の1面を見て、かねてからの不安が現実のものとなったことを知りました。同紙は『QP（カタール石油の略称）とエクソンモービル、180億ドルへのコスト上昇を理由にGTL計画を断念』と報じておりました（計画当初見積もりの3.6倍に高騰）。カタールにとってこの決定は重要な意味がありました。コスト上昇の背景には、中国、インド等の急成長による建設資材費の高騰があります。

中東の天然ガス資源国カタールは間もなく世界最大のLNG（液化天然ガス）輸出国にな

りますが、同時に極めて積極的なGTL（Gas-To-Liquids）事業を展開しつつあることで知られており、やがて「世界のGTLの首都になる」と言われておりました。

既に、QPと南アフリカの国営企業サソール（Sasol: Suid Afrikaanse Steenkool en Olie - South African Coal and Oil）社による3万4,000バレル/日のGTLプロジェクト『オリックス（Oryx）』は稼動し始めており、筆者も前日の2月20日にラス・ラファン（Ras Laffan）工業都市で『オリックス』の看板を掲げて、高くそびえるその反応塔（石川島播磨重工業㈱製）を望見しました。ちょうど出荷用の巨大なGTL製品貯蔵タンクが建設の最終段階に入っていました。

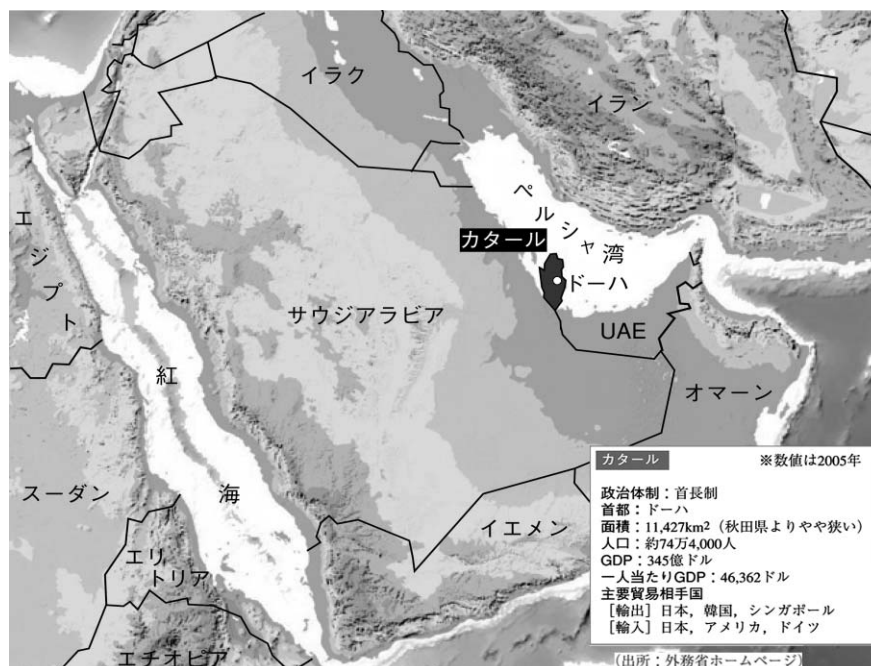


図1 カタールの概要

2番手のQPとシェルとのGTL事業である13万バレル/日の『パール (Pearl)』プロジェクトも建設に入っており、建設機材が運び込まれていました。3番手となるQPとエクソンモービルのGTLプロジェクトは15.4万バレル/日と最大の規模になる予定でしたが、こちらの敷地には何も無く、広大な建設予定地がそのままになっていました。4番手以降になるコノコフィリップスとマラソンからの新規GTL提案は、カタール政府がノース・フィールド天然ガス田埋蔵量再評価を理由に凍結しています。

天然ガスから、GTLの一種であるLPガスを製造する技術開発を推進するために設立された企業に所属する筆者は、カタールを将来のGTL事業展開の有力候補地と考えていましたので、QPとエクソンモービルの決定は大変にショックでした。この決定は今後の世界のGTL計画に悲観的な材料を提供するものです。

2. GTL投資サイクルは石油相場に従属

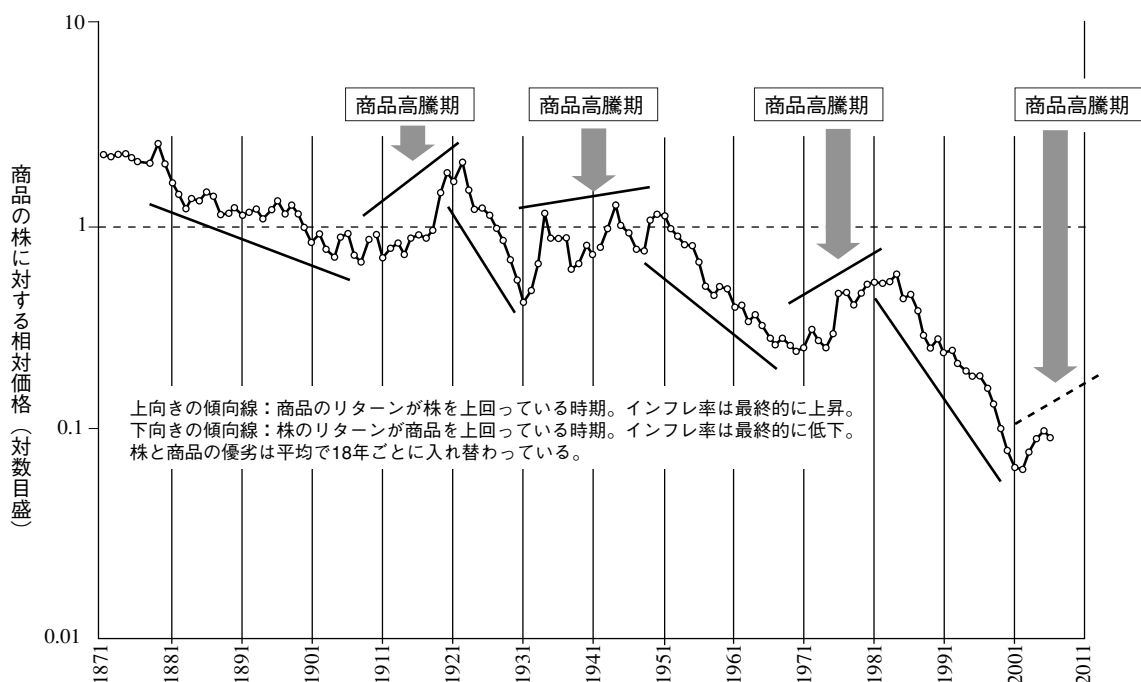
GTL事業の100年を振り返りますと、明瞭な投資循環が存在します。研究開発投資の成否

は、この循環と符号しているため、研究者や起業家はその潮時を知らないと、時代の波に取り残されてしまう恐れがあります。

GTL事業は、石油と言う商品が高騰した時に活況を呈する産業です。石油価格はこの百年間、4回の大高騰を経験し、その後は、石油産業自体の設備投資循環で暴落しています。GTL事業自体は、石油産業全体の中で小さなウェイトしかないので、その投資サイクルは石油産業の設備投資循環で説明が可能なのです。

その石油産業の投資サイクルは、石油相場のサイクルにほぼ一致し、過去の記録から大体18年単位の循環があったことが分かります。約18年間の価格高騰期と約18年間の価格低迷期です。20世紀最初の原油価格高騰は第1次世界大戦の期間（1906～1923年の18年間）です。次が第2次世界大戦の期間（1933～1953年の21年間）です。3番目は石油ショックの期間（1968～1982年の15年間）で、4番目が1999年頃から始まった今回の商品相場高騰です（図2参照）。

石油相場高騰期においてもその前半と後半では内容が異なっており、研究者や企業家に



（出所：ジム・ロジャーズ『大投資家ジム・ロジャーズが語る商品の時代』日本経済新聞社、2005年6月、p.56-57を基に編集部で作成）

図2 アメリカの商品相場と株式相場の関係（2004年9月7日時点）

としては前半の波（上昇の波）に乗ることが重要です。石油不況の影響が残っているうちに投資を行い、価格高騰の期間を最大限に利用して膨大な投資を回収することが重要です。しかし、GTL事業は膨大な投資を必要とするために、また多くの場合、国家が介入するために、決定は遅れ勝ちです。価格高騰期の終わりに投資すれば、やがて来る価格低迷期に赤字操業を余儀なくされ勝ちで、苦勞することが必至となります。

今回の石油相場高騰は、今年か来年がサイクルの真ん中となる可能性があります。このサイクルは2014～2016年頃までにはほぼ終焉し、その後は「冬の時代」を迎える可能性があります。次の波は、もし18年サイクルが正しければ2034年頃に始まり、2043年頃にピークを迎え、2052年頃に終わることになります。

現在、カタールで盛んに事業化が提案されているGTLは、最初の波に乗れたサソール社のオリックスプロジェクトは成功し、シェル・プロジェクトは辛うじて事業的に生き残りそうです。しかし、その後のエクソン・モービルとコノコ・フィリップスなどの事業は、

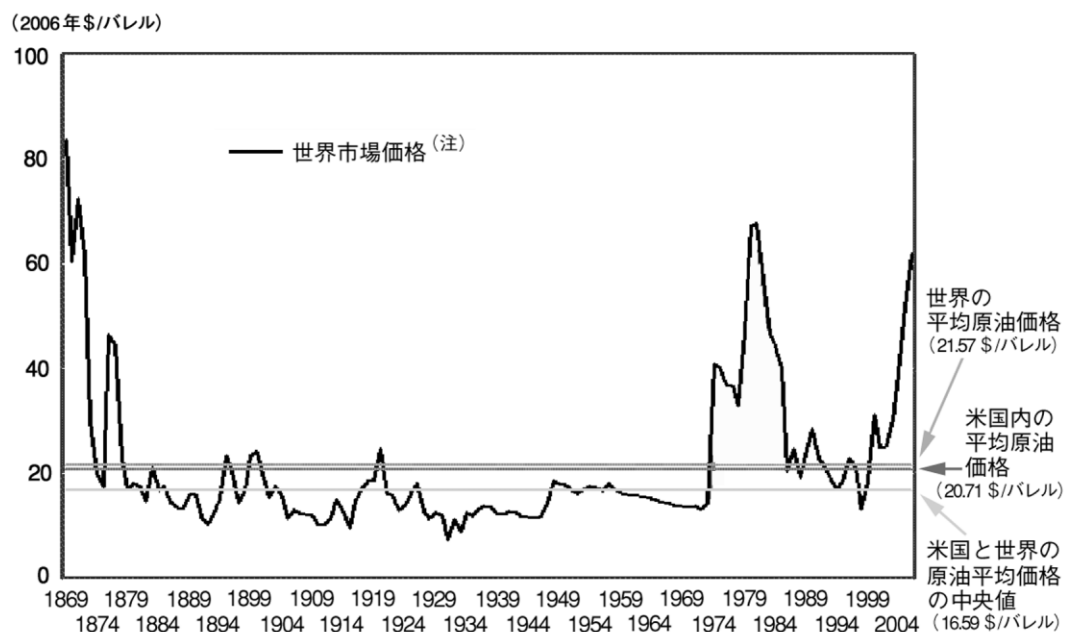
技術面はともかく、投資循環に遅れを取りましたので、事業化は難しく、強行すれば失敗する可能性があります。

3. 原油価格の137年

GTL事業の難しさは、製造価格が常に石油の市場価格以下でないと赤字になってしまう、と言う点にあります。また、20世紀におけるGTL事業の歴史は政府からの補助金の歴史だったと言えます。

その原油価格ですが、長期間に渡る石油価格変動を調べているJ・ウイリアムズによると、1869年に米国で石油産業が始まってから2006年までの137年間の米国内の平均石油価格は、20ドル/バレル、世界の平均石油価格は21.57ドル/バレル、米国と世界の石油価格中央値は16.59ドル/バレルとなるそうです。これは非常に安いと言えます。石油価格は、石油産業誕生10年後から第1次石油ショックの発生した1973年まで約100年近く安定していました（図3参照）。

同じウイリアムズの戦後1947年から2006年ま



注：第2次大戦中、ドイツ第3帝国、大日本帝国、ソビエト連邦共和国の支配地域では実態と乖離した価格統制が行われていたため、この期間の世界原油価格にはこれら地域の価格が反映されていない。

(出所：James L. Williams (WTRG Economics 2006))

図3 原油価格の動向（1869年～2006年9月）

での59年間の計算では、米国内石油価格平均値は23.57ドル/バレル、世界の石油価格平均値は25.56ドル/バレル、米国と世界の石油価格中央値は18.43ドル/バレルとなるそうです。1973年から1986年までの石油ショック時代と2002年から始まった今回の資源高騰時代を加えても、この程度の価格水準であることは、石油がいかに経済的に優れた商品であるかを示しています。

4. 合成燃料発明から第2次大戦終了まで

20世紀初頭にドイツのフリードリッヒ・ベルギウスが、石炭に水素を添加して人造石油を製造する技術（今日、直接液化法、石炭水添法、ベルギウス法などと呼ばれる技術）を発明し、人造石油事業の幕を開きました。ベルギウスは20世紀最初の石油価格高騰期に間に合いました。

1920年代にやはりドイツのフランツ・フィッシャーとハンス・トロプッシュが、石炭から得られる合成ガス（一酸化炭素（CO）と水素の混合ガス）を原料に触媒（鉄触媒またはコバルト触媒）により人造石油を製造する技術（今日、間接液化法、FT法、GTLなどと呼ばれる技術）の発明を行いました（図4参照）。

第2次世界大戦中に石油資源の無いドイツと日本はベルギウス法とFT法の両方の工場建設・操業を国の主導下で行いました。この時期が人造石油事業の最初の黄金時代です。

テキサスA&M大学の科学史家アンソニー・ストラング教授によれば、ドイツは戦時下の1939～1945年に、ベルギウス法12工場で1億2,800万バレル、FT法9工場で2,100万バレルを

製造し、人造石油産業を技術的に成功させた最初の国となりました。

戦時下ドイツにおける人造石油事業の成功は、ストラング教授によれば、関税を利用した国家による補助にありました。その仕組みは、輸入石油の関税を1931年の219.30RM/トン（RMはライヒスマルク、24.4RM/ガロン、約7.7円/ℓ）から1936年には270.90RM/トン（30.1RM/ガロン、約9.5円/ℓ）に引上げ、人造石油の製造でも利益が出るようにしました。今日の物価水準で見ると、絶対額は小さいですが23.3%の値上げですから、影響は大変大きかったと想像できます。戦時下ドイツは、人造石油以外の工業品にも同様の関税を掛け国内における代替品（合成ゴムなど）を保護しました。こうした経済政策は、当時のナチス政権が目指していた「アウトアルキー（自給自足経済）の確立」の一環として可能になったことです。特に、ベルギウス法を実用化して巨富を築いたIFファルベン社は非常に巨大な国策会社で、戦後解体されてドイツの3大化学企業の母体となったほどです。

日本も同様の施策を1937年に『人造石油製造事業法』として実施しました。同法第9条には奨励金交付が明記されていました。同時に成立した『帝国燃料工業株式会社法』は政府出資が2分の1となる国策会社の設立を可能にしました。日本の人造石油工場は建設途中に空襲で破壊され、常に原料・触媒不足に苦しみ終戦を迎えたのでドイツほどの実績はありません。なお、FT法工場として1カ所だけ無傷で戦後を迎えた滝川人造石油の当時の製品サンプル、触媒、その他の貴重な資料が、

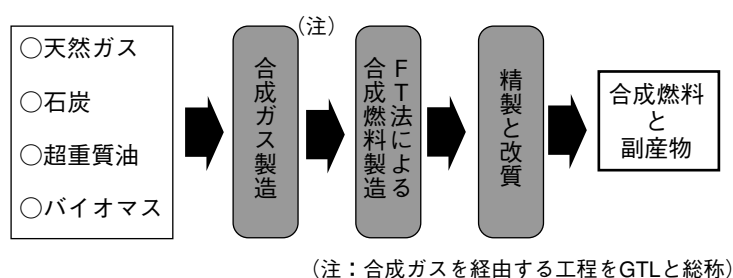


図4 FT法による合成燃料の工程

北海道の滝川市郷土館に今も残されています。

ドイツと日本の人造石油事業が国家補助抜きに成立しなかった理由は、技術的な問題が大きかったと考えます。ストラング教授によれば、第2次大戦当時、ドイツで最大のFT法プラント1基あたりの生産量は1日わずか2.5トン（18バレル相当）に過ぎなかったそうです。現在の商業プラントの数百分の1から数千分の1でしかなく、製造能力が小さすぎたと言えるでしょう。

戦後、戦勝国となった米国、英国、ロシアはドイツの人造石油技術の習得に努めました。ロシアは、ドイツとポーランドにあったGTL製造設備を自国に移設して航空機用燃料製造を続けました。米国と英国は、様々な調査団をドイツに送り込んで膨大な調査資料を作成しました。米国鉱山局（Bureau of Mines）は大規模な人造石油研究を実施しましたが、1950年代半ばから中東の油田が本格的な操業に入り、原油価格が下落し33ドル/バレルの時代になると、人造石油への熱はすっかり冷めました。これ以降の人造石油事業は全て合成ガスを経由するGTL事業となります。

5. 南アフリカのGTL事業

（1）サソール社の強運

石油価格が低迷した1950年代、アパルトヘイト（人種隔離）政策を理由に国連から経済制裁

を受け、石油類の輸入に困難を来していた南アフリカだけがGTL工場の建設、維持、拡大を行ってきました。南アフリカは黄金やダイヤモンドを始め多くの鉱物資源に恵まれた国ですが、石油と天然ガスには恵まれておりません。南アフリカ政府が地元で大量に産出する石炭から人造石油を生産するためにサソール社を設立しました。サソール社は1950年代から現在に至るまで石炭からFT法で人造石油を作り続けてきたGTL事業のトップ企業です。

サソール社の合成工場はサソールバーグとセクンダの2カ所にあります。1950年代半ばにサソールバーグにガソリン生産能力6,000バレル/日の工場設備（Sasol 1）が完成しました。

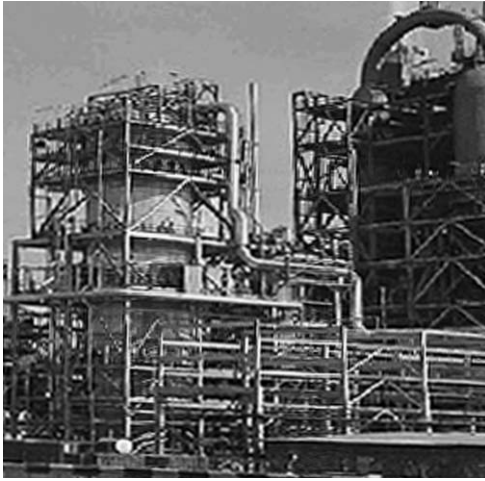
石油ショックの時にサソール社は世界唯一のGTL生産者だったため、世界中から大変な賞賛を受けました。そのため1980年と1982年にセクンダにSasol 2とSasol 3の新しい設備が完成しました。プラント規模はどちらもガソリン5万バレル/日です。原料には石炭が3万トン/日使用されます。ガソリン以外にも軽油、プロパン、ブタン、石油化学原料のオレフィン類が生産されています（図5参照）。

2005年9月にセクンダ工場を訪問した時、非常に印象に残ったのは、青空に炎を吹き上げる8基2列の旧式ルルギ炉でした。頂上に特徴ある逆U字ループを持つ「シンソール（Synthol）」GTL製造装置も2基ずつ8基並んでおり、そのすぐ隣に新世代のSAS（Sasol Advanced Synthol）



（出所：サソール社）

図5 サソール社のセクンダ工場外観



(左：新-Sasol Advanced Synthol 右：旧-Synthol)
(出所：サソール社)

図6 サソール社HTFTの新旧プラント外観

が建設されていました(図6参照)。Sasol 2とSasol 3は工場の両側に整然と分かれておりました。工場面積の半分は石炭の処理設備で、残りは石油精製・貯蔵タンクと言う感じで、GTL製造設備はほんのわずかな面積しかありません。石炭と言うのは本当に取扱いが大変な原料だと感じました。

サソール社は低温フィッシャー・トロプッシュ法(LTFT)と高温フィッシャー・トロプッシュ法(HTFT)の2つの技術を持ち、それぞれの改良を重ねて来ました。LTFTはワックスと軽油生産に向けた技術です。HTFTはガソリンとオレフィン生産に向けた技術です。

LTFTはサソールバークだけで行われていましたので、セクンダでは見るできませんでした。LTFTの原型が固定床式のGTL装置で「アーゲ(Argo)」と呼ばれていました。サソールはスラリー床の反応装置SSPD(Sasol Slurry Phase Distillate)を開発し、カタールに設置しました。SSPDこそカタールで商業化されたサソール社自慢のGTL技術です。SSPDプロセスは改良されたコバルト触媒を用います。スラリーはナフサを用いますが、このナフサ自体は、副産物として得られる燃料としてはオクタン価が低すぎるガソリン成分です。SSPDは初めにワックスを生産し、これを水素で分解することにより軽油成分を生産します。

2,500バレル/日のSSPDがサソールバークで試験的に製造され、カタールの3.4万バレル/日のプラントの土台となりました。

サソール社は1950年代の操業開始以来今日まで、総額2兆円をこの事業に注ぎ込んだと述べていました。現在の生産能力は16万バレル/日です。サソール社はとても儉約心に富んだ会社で、旧式ルルギ炉を始めとして操業以来使い続けている装置が至る所にありました。

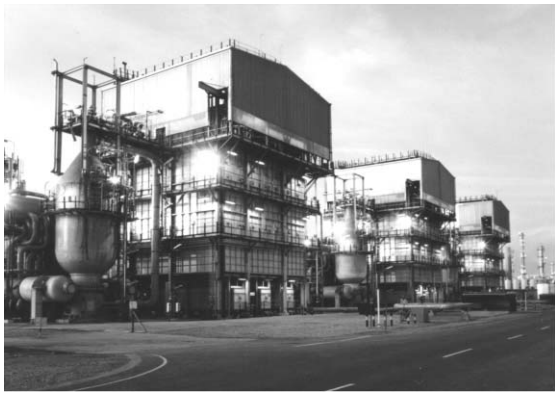
なお、サソール社は隣国モザンビークのテマネガス田から865kmもの天然ガスパイプラインをセクンダまで敷設しました。処理が大変楽なので、原料の半分までは天然ガスにすると担当者は言うておりました。

(2) 苦労したペトロSA

国営石油会社ペトロSAは、南アフリカ南端のモッセル湾に本社を置いています。モッセル湾はサソール社のある内陸部とまるで異なり、温暖で風光明媚な保養地です。ペトロSA社はサソール社から技術導入して工場を作りましたので原料以外の工場レイアウトは良く似ています。しかし、ペトロSA(創業時はモスガス)社は、操業開始が1993年と投資タイミングが遅すぎたために大変苦労しました。

ペトロSA社の原料は全て国産天然ガスです。沖合ガス・油田からのガスとコンデンセートは、ガス分離プラントでC3以上の成分を分離します。分離したC3以上の成分は石油精製プラントに向かいます。残りのメタンを主成分とし一部にエタンを含む天然ガスはメタン改質装置に向かいます。メタン改質装置でCOと水素に分解され合成ガスができますが、その改質装置はサソール社も利用しているハルダー・トプソ社製の自己熱改質装置(Autothermal Reforming)3基が並んでいました(図7参照)。

次に、合成ガスはサソール社が旧世代と呼ぶ「シンソール」(HTFT合成プラント)に入ります(図8参照)。シンソールでは色々な炭化水素化合物が生み出されます。なお、HTFT



(出所：PetroSA, 2005)

図7 ペトロSAの自己熱改質装置



(出所：PetroSA, 2005)

図8 ペトロSAのHTFT合成プラント

では鉄系の触媒を用いますが、工場内に触媒製造プラントがあり、廃棄も工場敷地に隣接する空き地で行われていました。

合成石油（パラフィン類）はそのまま石油精製プラント（生産能力4万5,000バレル/日）に向かいますが、オレフィン類は主にオレフィン・オリゴメリゼーション装置に入りガソリンや中間留分に変化します。オレフィン・オリゴメリゼーション装置からの中間留分の一部（アロマ分）は低アロマ中間留分装置（LAD/LAK）に向かい、アロマ分を減らします。ガソリンと中間留分の大半は石油精製プラントに向かい、ここでLPG、有鉛ガソリン、無鉛ガソリン、灯油、軽油、重油などの製品に精製され、ブレンドされます。2004年実績で天然ガスから生産されたGTLの量は2万2,000バレル/日ですが、このほかに随伴コンデンセートと外部からの購入コンデンセー

トを合わせると3万6,000バレル/日の製品を出荷したとのことでした。

なお、シンソールからは多量のアルコールを含む生成水が生産されるので、アルコール回収装置で各種のアルコールが取り出されます。

ペトロSA社によると、オレフィンとアルコールのお陰で石油価格が低迷した1990年代を乗り切ったとのことでした。

6. ニュージーランドGTLの悲劇

FT法と異なるGTL技術にモービル社の開発したMTG法（Methanol-To-Gasoline）があります。この技術は天然ガスや石炭など炭化水素から2段階のプロセスでガソリンを製造する技術です。第1段階では天然ガスを水蒸気改質して合成ガス（一酸化炭素と水素）を作ります。次に、銅系触媒でほぼ100%のメタノールを合成します。ここまでは通常のメタノール合成と同じです。第2段階では、活性アルミナ触媒上300℃でメタノールの脱水素反応によりDME（ジメチルエーテル）を合成します。その後、固定床反応塔でゼオライト触媒によりガソリンを合成します。得られる製品の8割がガソリンです。副産物のプロパンとブタンもアルキル化によりガソリン化でき、最終的には9割がオクタン価93.7RONのガソリンになります（図9参照）。

1970年代のガソリン価格高騰に危機を感じたニュージーランド政府が、モービル社に地元マウイ天然ガス田の天然ガスを原料にガソリン製造工場（1万2,500バレル/日）の建設を依頼しました。不運にも1985年と言う最悪の投資時期に工場は完成しました。技術的には成功したと記録されているこの工場は、残念ながら石油価格低下により1990年代半ばにガソリン製造を止め、メタノールだけを製造していましたが、近年はマウイ・ガス田が枯渇に向かっていると報じられており、原料面から維持困難に直面しているようです。

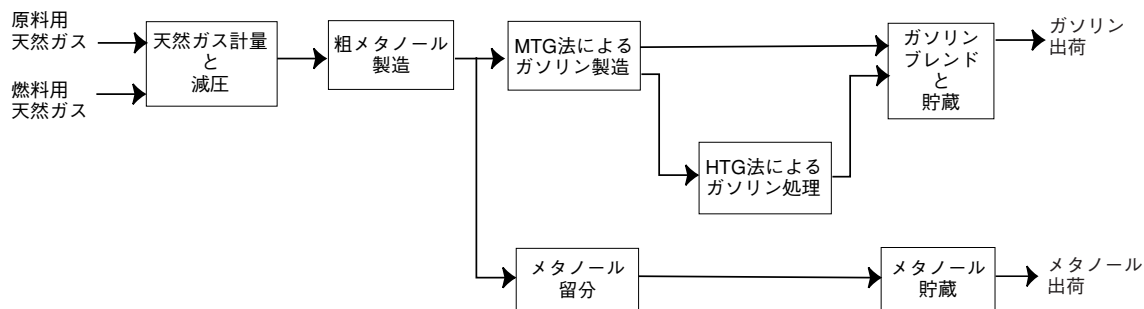


図9 ニュージーランドのMTGプロセス（FT法以外のGTLを代表する技術）

MTG法は、FT法よりシンプルなGTL製造法で、目的とするガソリン収率が著しく高いところが優れています。問題は、石油価格が値上りした時の逃げ道がメタノールしかないことです。

サソールのFT法は、目的とする軽油が5割、3割がオクタン価が低すぎてガソリンとしては利用できないナフサ、2割がプロパンやブタン、エタンやその他もろもろの化合物です。この中に前述した付加価値の高い化合物が含まれており、それを加工してサソール社やペトロSA社は石油価格低迷時を生き延びた訳です。タイミングが成功を大きく左右する点が技術とビジネスの違いだと思います。

7. 耐え抜いたシェル社のマレーシアGTL

シェル社は自社のGTL方式をSMDS（Shell Middle Distillate Synthesis）と呼んでいます。

天然ガスは酸素吹きシェルガス化炉で部分酸化され、COと水素の合成ガスを製造します。この時、天然ガスを水蒸気改質して得られる合成ガスと混ぜてCOと水素の比率を1：2になるよう調整し、FT法でGTLを製造します。シェル炉だけだとCOが過剰になり、水蒸気改質だけだと水素が過剰になります。

シェル社はこの方式をマレーシアのビンツルで1993年に実施しました。生産規模は、1万6,000バレル/日と小規模です。時期的には拙い選択でしたが、シェル社の体力で乗り切ったと言えるでしょう（図10参照）。

8. 環境ビジネスとしてのGTL

GTLは今日大変盛んに研究開発がなされていますがその理由について、商品相場以外の観点から整理しておきましょう。GTLの製品は軽油とガソリンが主ですが、軽油はセタ



寄 先：Shell MDS (Malaysia) Sdn. Bhd.
建設場所：マレーシア国、サラワク州ビンツル
完 工 年：1993年
プラント概要：天然ガスを原料として、年間50万トンの軽油、灯油、ワックス等の石油中間留分を生産可能

（出所：『季報エネルギー総合工学』Vol.24 No.3, p.86, 2001年10月）

図10 シェル社のGTL工場

ン価が高く、製造過程でノンサルファー化が容易なので非常にクリーンで優れた燃焼性を発揮します。市販流通軽油と性状を同じにするために、50:50で混合することをシェルなどメジャーは推奨しています。自動車の排ガス規制強化特にディーゼル車の排ガスクリーン化には極めて有望視されています。

また、最近日本で、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の支援の下に進められているGTL技術では、二酸化炭素(CO₂)も原料の一部として利用することができるので、地球温暖化対策にもなると期待されています。

規制強化にせよ、環境税導入にせよ、それは政府の介入であり形を変えた補助金事業であることには変わりありません。GTL事業は、過去も現在も、そして未来も政府依存から脱することは無いでしょう。

9. GTL事業家に望まれる性格

GTL事業に関わっているために、筆者自身がこれからどうなるのか悩んでいます。GTLの歴史を知れば知るほどこの事業の投資タイミングの難しさを感じます。不思議なことです。GTL事業の成功者は、投資サイクルに明るい人物や企業ではありません。追い詰められて余裕も無くこの事業に立ち向かった人物や企業が成功者でした。この成功のパターンは、情報と知識に恵まれた証券会社の社員が株式相場で大成功することが少ないことと似ています。

原油相場の高騰は後6～7年しか続かず、その後、約18年間も価格低迷期が続くと思っ
て、事業意欲が萎えてしまうようなヤワな人格ではこの業界での成功は到底無理だと言わざるを得ません。

[寄稿]

ハイブリッド車の技術動向と展望

—ハイブリッド車のトレンドとプラグインハイブリッドの課題—

清水 健一 (独) 産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 客員研究員



1. はじめに

地球上のすべての営みが微妙なバランスの上に成り立っている事実から、このバランスを著しく損なう地球温暖化問題が、文字どおり地球規模での課題となっている。地球温暖化対策や、エネルギーセキュリティの観点からの一次エネルギーの多様化に対応するために、電動機を駆動系に持った、いわゆる電動車両（ここでは、広義の電気自動車と呼ぶ）の普及が望まれている。

しかし、電池駆動の電気自動車（BEV, Battery Electric Vehicle）は従来から低公害車両として期待されながら普及に至らない状態が長く続いており、さらに、省エネ、低公害の切り札として期待されている燃料電池自動車についても、普及にはハードルが多い状態が続いていることから、電動車両の先行きに疑問を持つ見方もある。

これに対して、ハイブリッド電気自動車（HEV, Hybrid Electric Vehicle）だけが、原油価格の高騰も追い風になって快調な普及を続けているが、こちらでも、乗用車以外のハイブリッドの普及が思わしくないことや、従来のハイブリッド電気自動車と性格を異にするプラグインハイブリッド電気自動車の話題など、先を読みにくい状況が発生している。

ここでは電動車両開発の経緯をふり返りながら、HEVのトレンドとプラグインハイブリッドの課題について述べる。

2. 自動車の置かれている環境

図1は、地球温暖化問題を左右する、国内の部門別のエネルギー消費量の推移⁽¹⁾である。これから、以下のことが分かる。

① 戦後の経済成長を遂げ、東京オリンピック

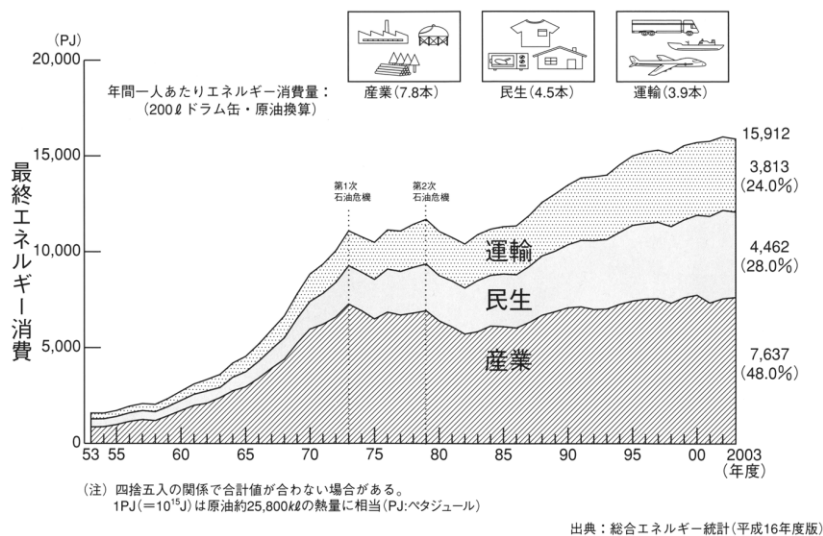


図1 国内の部門別エネルギー消費の推移

の開催、高速道路の開通とモータリゼーションなどの波がきた1960年代からの消費量の増大率が高いこと、

- ②その増大率は第一次、第二次石油ショックの一時期を除いて減少していないこと、
- ③石油ショック後、産業界の努力によって産業用の消費の増加が低減しており、現在の消費増大の主因が民生部門と運輸部門の消費であること、が分かる。この運輸部門の消費の9割以上を自動車占めている現状から、エネルギー消費の削減に自動車を負うべきところが大きいこと

地球温暖化、資源の枯渇と言った地球規模の課題から、以下の3つが自動車の課題である。

1番目は、ディーゼル車の排気中の窒素酸化物や粒状固形物質などに代表される排ガス対策、2番目は、運輸部門での排出が2割を占める二酸化炭素（CO₂）の削減、3番目は、地球上の消費量の5割を運輸部門で消費している原油消費の低減、もしくは原油消費からの脱却である。

3番目の原油消費の低減や原油消費からの脱却は、エネルギーセキュリティ上の要求で原油の消費総量の削減が目的で、従来の車両単位の高効率化だけでなく、交通システム全体の高効率化や、一次エネルギーの多様化が求められており、低公害ディーゼル車や電動車両が期待されている。

3. EVがなぜ必要か

EVの駆動系のように、電動機駆動によるパワートレインを電動パワートレインと呼ぶ。図2はガソリンエンジンと電気自動車用の永久磁石同期電動機（Permanent Magnet synchronous Motor, PMモータ）の効率を比較したものである⁽²⁾。図から分かるとおり、ガソリンエンジンの効率が、いわゆる燃費の目玉と呼ばれる狭い負荷条件の範囲で最高値の30数%を示すものの、その他の負荷領域では大幅に低下するのに

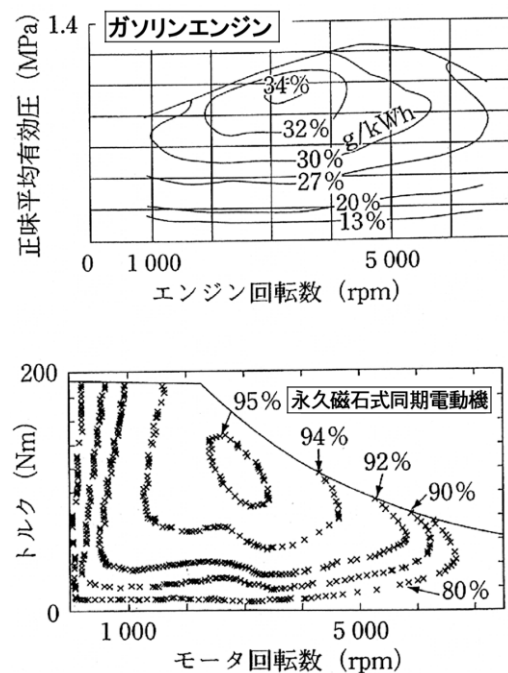


図2 ガソリンエンジンと電動機の効率マップ例

対し、モータの効率は最高の領域では90数%と良好であると同時に、それ以外の負荷を絞った負荷領域でも8割以上の効率を確保出来ており、広い負荷範囲でエンジンに比べて遙かに効率がよいことが分かる。この広い負荷範囲で高い効率が維持出来る点が、電動パワートレインの優位性の第1点である。

優位性の第2点は、電動機の回生制動機能によって制動時に車両の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して回収出来る点である。これによって、内燃機関自動車が制動時にブレーキの熱として消費していたエネルギーをバッテリーに回収できる。

パワートレインの効率だけの比較であれば、電動パワートレインは内燃機関のパワートレインの倍以上の効率が確保でき、この点がEVの高効率のキーであるといえる。

4. EVの不発要因とトレンド

EVは効率が良いが、普及した経緯がないという矛盾に遭遇する。事実、EVは内燃機関自動車が普及する以前を除くと、戦後のガソリンが不足した時代にガソリン車を凌ぐ約3,000

台が使用された例以外に普及した経歴を持たない。

普及すべきものとして、開発と普及の試み⁽³⁾は、公害対策やエネルギー対策の目的で、行政主導で行われた以下の2つの例と、メーカ主導で行われたHEVの市場投入の例があるが、EVは不発に終わっている。

- ① 1970年代中期の電気自動車大型プロジェクトとその後の（電動車両協会による）1980年代の普及促進事業。
- ② 1990年代のカリフォルニアのZEV法による規制に対応したガソリン車代替実用EVの開発と普及促進事業。
- ③ 1997年の市販HEVの投入とそれに続く市販車両の出現。

このうち①は、当初、牛込柳町の排ガス公害に端を発して、排ガスのない低公害車両の開発がメインで当時の通産省の主導で国の研究機関と民間が一体となって開始されたが、開始後に発生した第一次石油ショックに対応して、目的の1つに脱石油を目的とした一次エネルギーの多様化が付け加えられ、後述する現在の状況と類似した面があり、興味深い。開発された車両は当時としてはトップ仕様のもので、その記録の多くは1990年代の先進開発車の性能に近いものであったが、その性能の維持には電池の専門家の注意深いメンテナンスが必須であったと記憶している。

しかし、その後の普及ステップでは、コストに見合った車両を設計する観点から、実用車両として満たすべき要件のいくつかが達成できず、利用者が電気自動車の弱点を認識する「ネガティブキャンペーン」を行う結果となってしまった。

これらを教訓に、②のステップでは、電気自動車専用のプラットフォームの作成と、市販ガソリン車と同等の市販前の十分なフリートテストが行われる様になり、電池管理システムの採用や低慣性高効率なPMモータの採用と相まって、コストを除けば、より実用的な車両が実現できた。

EVが不発である原因は、一充電走行距離の短さ、充電時間の長さなどが挙げられるが、一番の原因は、電池のコスト（初期コストと交換コスト）であろう。電池のコストを左右する大きな要素の1つに実用時の電池寿命があるが、最近でも、実使用時の電池寿命がユーザによって大きく異なる傾向がある点は、電池の利用技術に関する取り組みの不十分さが懸念される。

ここで重要なことは、ガソリン車は非常に長い時間をかけて小さな改善を積み上げた結果、現在のレベルが確保できているわけで、EVもその積み上げを十分に行うだけの使用実績が必須で、その観点からは、確実に実用に供しうる範囲の用途から実用に供し、より実用的な車両を作成するための（電池の利用技術を含めた）基盤情報の収集が必須であろう。

その観点から、東京電力(株)が富士重工業(株)、および三菱自動車工業(株)と組んで実施中の、小型BEVの東京電力内での試用の結果に注目したい。

5. HEVの基礎

(1) HEVの省エネ原理

大型プロジェクトの末期から、EVのネックである電池をカバーする意味でハイブリッド車の研究が盛んになった。しかし、加速時の動力アシストと減速時の回生に伴う急速充放電に向けた電池がなかったため、“研究”に終わり実用に至らなかった。

図3は、米国の“燃費を3倍に改善するプロジェクト”であるPNGV（Partnership of New Generation Vehicles）計画で示された車両のエネルギーロスの寄与度の例⁽⁴⁾を図式化したものである。高速道路走行時で75%、都市内走行時には80%以上のエネルギーが、動力として取り出されていないことが分かる。この主な原因は、図2で示した、低負荷状態でエンジンの効率が極端に低下することにあるので、HEVではこのエンジンの効率の悪い状態でのエンジン使用をやめ、この代わりに広範囲に

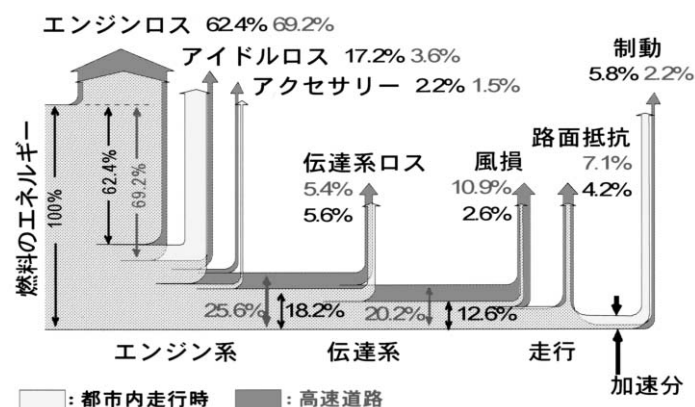


図3 エネルギー損失部位とその比率

表1 ハイブリッドシステムにおける運転モードと省エネ効果

	運転モード	省エネの仕組み	効果	レベル
4	EV モード	エンジンを停止して、電動機で走行する。電池によって走行するためEVモードと呼ぶ。	大	↑ ストロングハイブリッド マイルドハイブリッド
3	モータアシストモード	エンジンは効率の良い状態で運転したまま、不足分の動力を電動機で補助、または、余剰分の動力を電動機で吸収(電池に充電)して、駆動力を調整H。	やや大	
2	回生制動モード	制動時に、電動機で発電した電力を電池に回収する。(車両の運動エネルギー→電力エネルギー)	中	
1	アイドルストップモード	車両停止時にエンジンを停止して、アイドルリングによる燃料の消費をカットする。	小	

わたって効率が高い電動パワートレインを使用することで全体の効率を高めている。

実際のHEVの設計では、表1に示す4つの省エネルギー化の機能（運転モード）を適宜選択することによって、ハイブリッド化の程度が選択可能である。

効果は表のように上方が効果大で、下方の機能からどの機能までを実現するかによってマイルドハイブリッドとかストロングハイブリッドと言った表現がされる。EVモードまでを実現するものを一般にストロングハイブリッドまたはフルハイブリッドと呼ぶ。マイルドハイブリッドについてははっきりした定義がないが、一般にハイブリッド効果が低いものを指す。

(2) HEVの構造による分類

ハイブリッドはパワートレインの形式によって図4のように、パラレルハイブリッド、

シリーズハイブリッド、および、複合型ハイブリッドに分類できる。パラレルハイブリッドは、エンジンからの動力と電気系の動力が並列に出力されるのでこの名称がある。小型のエンジンを効率の良い高出力状態で使用し、小型の電動機で動力の調整を行うもので、一般にエンジン半分電動機半分の構成になり、電動機の容量は後述のシリーズハイブリッドの半分が一般的で、電池も小容量が多い。

これに対してシリーズハイブリッドは電気自動車の電池を小容量のエンジン発電機で間欠的に充電する形式で、電動機はEVと同様大きなものになる。

これらには各々一長一短があるので、これを補う形の複合型が一般的になっている。複合型には遊星歯車を利用した動力分配機構を持った動力分配式と、パラレルハイブリッドにクラッチを設けて動力の流れを切り換える動力切り替え式がある。動力分配式は、遊星歯車の3軸に

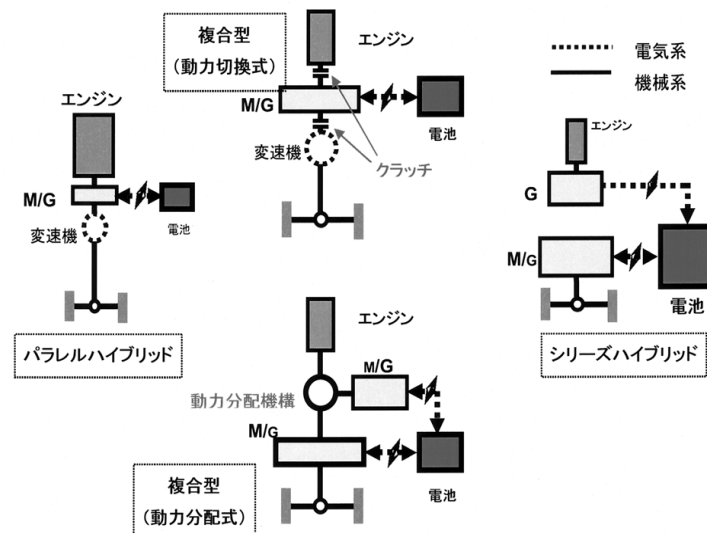


図4 パワートレイン構成で分けたハイブリッドの主な形式

エンジン、駆動用モータ、発電機を配置したもので、3要素を制御することによって変速比を連続的に調整できる一種のCVT（無段変速機）として動作するため、加速性と効率の両面で優れており、乗用車用として広く使用されている。

動力切り換え式は、必要に応じて別途変速機が必要であるが、制御の自由度の割に構造が簡単であるため、開発車両やこれに準じた少量生産の車両を中心に採用される例が多い。商用車等、普及台数の割に使用方法が多様である可能性の高いものなどに採用されている。

(3) パワートレインによるHEVの分類

図5は、ハイブリッド車を別の視点、すな

わち、電気系の大きさ、特に電池の大きさで分類したもので、左に行くほど、電池と電動機が小さく、エンジンが大きくなり、左端は内燃機関自動車になる。逆に、右にいくにしたがって電池の容量が大きく、エンジンの大きさが小さくなり、右端は電気自動車になる。

BEVに近い構成のものは夜間等に商用電源から充電した電力を使用してEVに近い形で走行することが可能で、商用電源から充電した電気でも走行できるHEVを、「プラグインハイブリッド」と呼ぶ。これに対して国内で普及しているハイブリッド車の多くは給油スタンドでの給油のみで走行が可能で商用電源からの充電が不要で、このようなハイブリッド車をノンプラグインHEVと呼ぶ。プラグインHEV

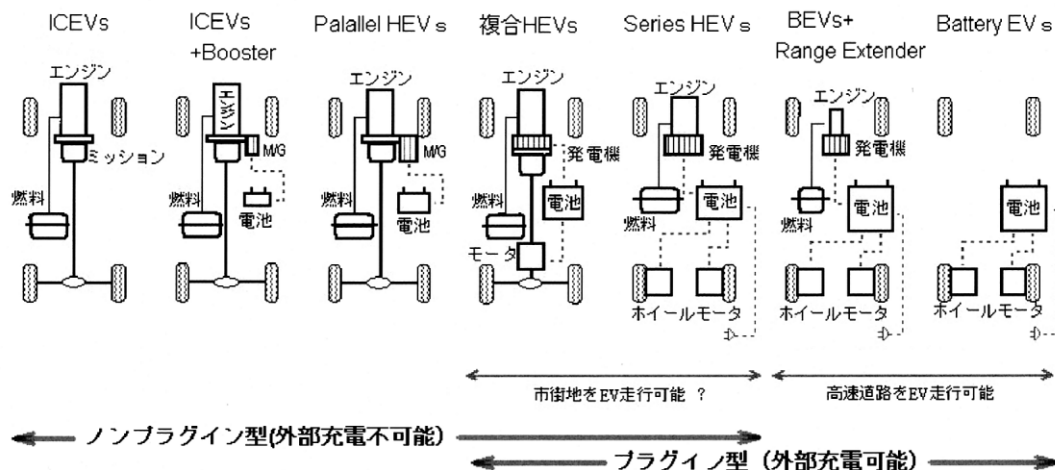


図5 パワートレインの構成比率による車両の分類

は、燃料での発電ではなく原子力等で発電された電力を利用できるので、一次エネルギーの多様化に貢献できることから米国を中心に研究が盛んになりつつある。課題は、電気自動車用電池そのものに問題が多く普及を妨げている状態であるのに、これにHEV用としてのピークパワー対応の特性をも持たせた電池が必要になる点で、実現の可否は要求を満たす電池が実用的な価格で実現できるか否かにかかっていると言っても過言ではない。

図5で、プラグインHEVとノンプラグインHEVのオーバーラップ部分が多いが、これは両者の差がパワートレインの形式で決まるのではなく、電池が加減速時のアシストに使用されるか、巡航時のような低負荷でのエネルギーとして使用されるかで決まることによる。図6に示すHEVは両者ともシリーズHEVであるが、ノンプラグインHEVは小さなパワー用電池をバッファとして、エンジンを効率の良い状態で間歇運転して発電した電力を蓄えて走行するもので、エンジン主体の走行である。これに対し、プラグインHEVは、大きめのエネルギー電池を持ち、エンジンも小型である。

図5の左から二番目の“+ブースター”は、加速の初期だけエンジンをアシストするような小さな電動機を設けた簡易ハイブリッドで、コスト対効果の点からは注目すべきものである。逆に、右から2番目の“+レンジエクステンダー”はBEVに小さな発電機を設けたもので、出先で補充電することによって一充電走行距離の延伸を図ることからこの名称がある。

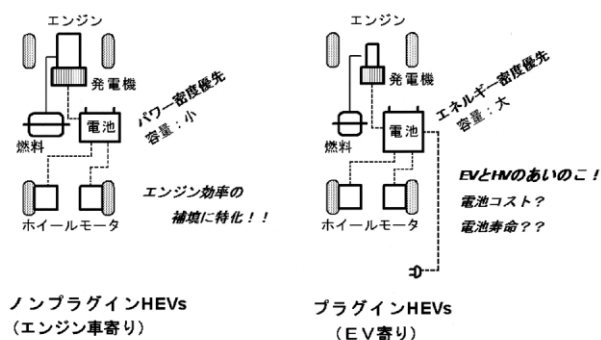


図6 プラグイン/ノンプラグインHEVの相違点

6. HEVのトレンドと研究課題

(1) ノンプラグインHEVのトレンド

ノンプラグインHEVのうち、乗用車は、文字どおり実用期に入っており、実使用条件での高効率化に視点が移っている。代表的なものとしては、トヨタハイブリッドシステムⅡにみられる、駆動用電圧の昇圧による可変電圧システムや、ホンダの平行HEVであるCIVICでのEVモードの実現などがある。

また、デリバリー用のトラックも、種々の架装に対応できるようなコンパクトなシステム化を図り普及を意識した取り組みに移っている。

また、従来電機系のトラブルによる回生制動力の低下などの危惧から、回生ブレーキの負担率に比較的低い上限を持たせるのが一般的であったものを、回収するエネルギーを大きくするために可能な限り回生制動を優先する制御に移りつつある。

① THSⅡの電圧可変システム (5)

高出力化を図る方法として、通常は駆動電流を大きくする方法が採れるが、その結果、大容量のものを小さい負荷で使用するることによる効率の低下と、コンポーネントそのものの大型化が問題になる。そこで「次世代トヨタハイブリッドシステム（THSⅡ）」では高出力が必要な短期間だけシステム電圧を昇圧して出力をたかめる方法を採用している。具体的には電池と制御装置の間に電圧昇圧回路を挿入し、加速時等の大出力が必要なタイミングのみ動作電圧を必要なレベルに高めて高出力を得ている。これに対応して、電動機の大きさを変更せずに、電動機の耐圧と短時間定格をたかめる処置をしている。この駆動電圧を可変にする方法の採用で、通常の使用状態での出現頻度が高い出力に対応する電圧を再検討し、これに合わせて電池電圧を低く再設定することによって電池の搭載量を減らすことに成功している。THSⅡシステムの概念図を図7に示す。

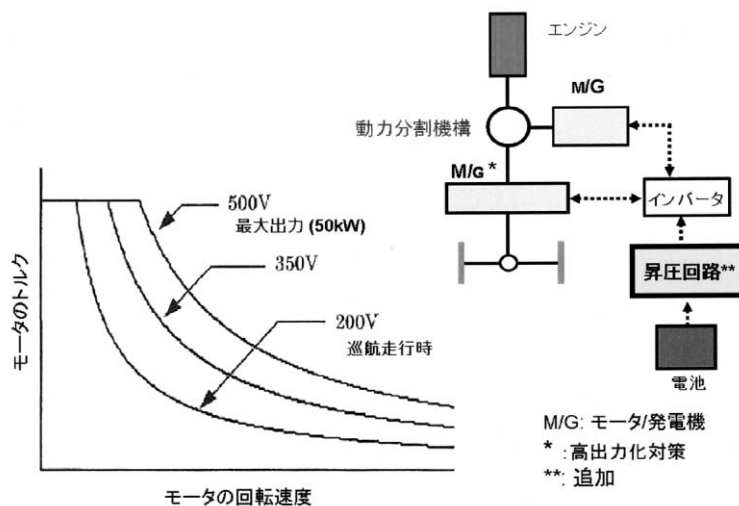


図7 THS IIの電圧可変システムの概念図

② パラレルHEVでのEVモード

パラレルHEVでは、制動時にエンジンが負荷となって回生エネルギーがエンジンの吸排気によるロスで消費されてしまう分が無視できない欠点があるが、ホンダ製のHEVでは制動時に吸排気バルブを閉じて吸排気によるロスを低減する方法がとられてきた。2006年に発売された「CIVIC」では、従来、安全のために1気筒の休止を止めていたものを全気筒休止することに

よってロスの低減を図っている（6）。

また、制動時に出来るだけ回生による制動を採用することにより、さらに回生電力の向上をはかり、この充分な回生電力を利用して、低速での巡航時等、軽負荷な状態で、モータ駆動で走行するEVモードを実現している。（図8参照）

さらに、エンジン主体であるパラレルHEVではエンジン駆動のエアコンを採用する例が多いが、アイドルストップ時に小容量のモータ

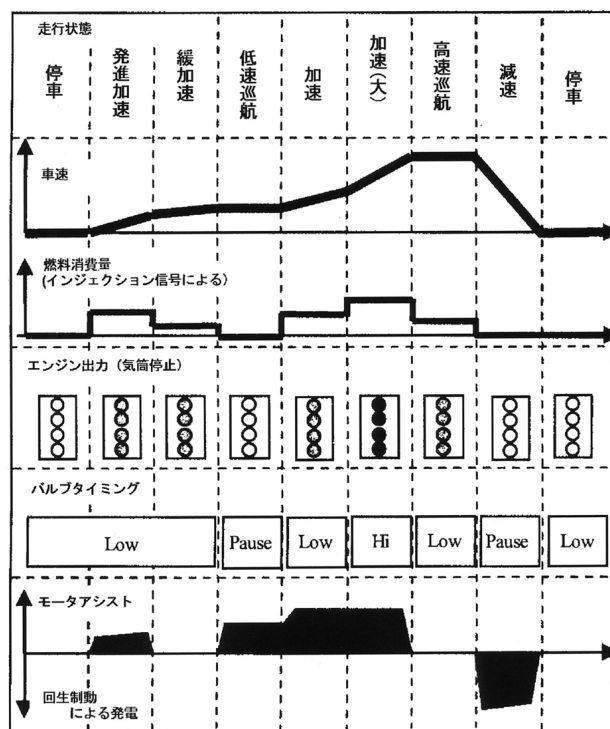


図8 パラレルHEVでのEVモードの実現

タで駆動できる2wayエアコンなど、実用的な補機の開発も進んでおり、HEVを意識しないで使用できる状況になりつつある。

(2) PHEVの概要と意図するところ

BEVの欠点は、一充電走行距離が短いこと、電池のコスト（初期コストおよび交換コスト）の高さ、充電時間の長さなどがあることを前述した。HEVはこれらの欠点がないので広く普及したと考えられる。しかし、地球温暖化防止と燃料の脱原油化（一次エネルギーの多様化、エネルギーセキュリティ）の観点から、運輸部門での消費エネルギーの電氣化が好ましい方向として議論されている。この動きは特に米国で盛んで、電気自動車関連の国際会議であるEVSの過去3回の会期にあわせて、米国電力研究所（EPRI）主導（3回目は日本自動車研究所（JARI）主催）でこれに関するワークショップが開催され、回を増す毎に参加者が急増していることから関心の高さが分かる。

プラグインハイブリッド（PHEV）は、使用環境に合わせて、日常走行する距離をある程度の確率で、家庭等で商業電力から充電した電力で走行することにより、運輸部門の電力依存率を高めるもので、電力で走行可能な距離をXとして、PHEV Xと表示する。たとえばPHEV20は、電力だけで20mile走行可能なPHEVを表す。

したがって、現在、普及している給油だけして走行するHEVはPHEV0または単にHEVと呼ぶ。

基本的な考え方は、効率の良い電力で走行出来る状況下ではEVとして走行し、大出力が必要な場面や、電池の残存容量が低下した状態ではHEVとして走行することで、EVの不安材料である一充電走行距離の制約をなくすこと、たまにしか使用しない走行距離のために大きな電池を用意する矛盾を取り払うことに特徴がある。エンジンを併用しても最低でもHEVの効率と原油削減率を確保出来、EVで走行可能な距離の増加によって原油の削減率が向上する特徴がある。

米国では連邦ハイウエー庁（FHA）によるNPTS（Nationwide Personal Transport Survey）によって1日の走行距離の統計が取られており、これから求めたUtility Factor（1日に走行する距離が距離D以下である確率）⁽⁷⁾を基に、EVで走行する分の距離が選定される。短距離走行の頻度が高く、たとえば全体の50%が40mile程度以下の走行距離である。最終的には、ユーザの使用法に合ったEV走行距離が決定されるべきであろう。

国内でも、この方向での検討を開始しており、PHEV実現の成否を握る電池の研究を開始する計画が立てられている。

図9はEVS21のPHEVワークショップでEPRI

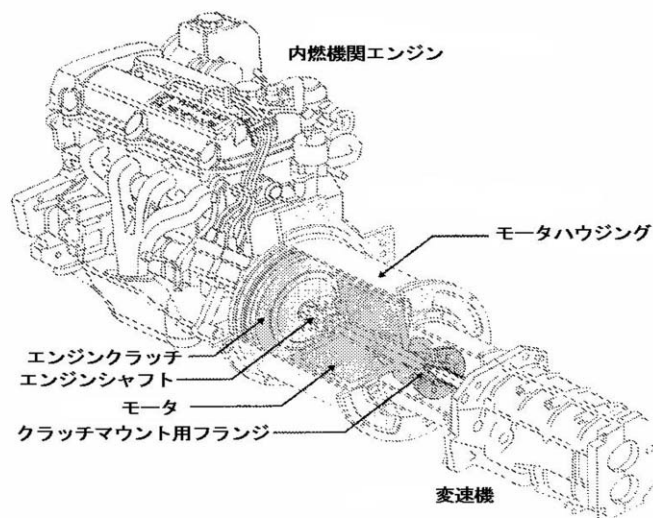


図9 EPRIの提案するPHEVの概念図

が発表したもので、動力切り替え式の複合型HEVを、電池の容量が十分な状態では、可能な範囲でEV走行させることによってガソリンの消費量を低減するものである⁽⁸⁾。電池に商用電源から充電した電力の一次エネルギーに占める原子力や水力の比率が高い場合は、その分二酸化炭素の排出量の低減が図られる。また、仮に電力の一次エネルギーが重油である場合でも、定置型発電の方が、効率が良い分、全体の効率は高くなる。

図10は、EV走行とHEV走行の組み合わせで走行する際の電池の容量の変化を示したもので、当初から走れる範囲をEVとして走行してしまう方法や、混雑している地域を走行している際など特定の場所をEVで走行する方法などが考えられる。

しかし、現状の電池ではHEVとして急速充放電を繰り返すには、放電の範囲を電池の容量が50%付近の10~20%の範囲に留めないと電池の寿命が極端に短くなるので、現状の電池の延長ではEVとして走行できるタイミングには制約が多いことが分かる⁽⁹⁾。

図11は、EVS22で米エネルギー省再生可能エネルギー研究所(NREL)が発表したPHEVによる原油消費量の削減率の推測結果で、トータルの原油消費の削減量は、EVでの走行距離が増加するほど、図のように増加することが分かる⁽¹⁰⁾。この図で、現状のHEVの燃費の改善率が低いのは、米国でのモードが高速であることによるもので、加減速の多い日本

のモードではもっと大きな効果が期待できる。例えば、国内では燃費が2倍になっているHEVがあるので、この性能を維持した状態でPHEV60が実現できたとすれば、原油の消費量は従来の20%に低減できることになる。しかし実際には電池の重量増等によって基本的な燃費が低下するので、ここまでの期待は難しいと考える。

一方、HEVの見かけの燃費は、電池に充電するために使用したガソリンの量、電池に助けられて走行した事によるガソリン消費量の低減等、試験前後での電池の残存容量の影響を受ける。このため、HEVの燃費試験はこの電池の影響を排除するために煩雑な方法が必要になる。PHEVの場合、一次エネルギーがガソリンだけでなく、商用電源から充電した電気も含まれるため、両者を別に測定することが検討されているが、各々の消費量は走行距離や走行方法に大きく依存するため、PHEVの特徴を正しく評価できる試験法について議論が始まっている。

EVとして走行できる距離によってPHEV 20のような表現をすることを述べたが、この値は電池の容量を示す仮の値で、EVモードでの走行距離を保証しているものであってはならない。現実には電池に無理をさせないために、負荷に応じてエンジンが起動してHEVモードになることが必須で、一般の走行では、EVモードとHEVモードが混在して、ガソリンと電気の双方を消費する“ブレンドモード”での走行となると考えられる。

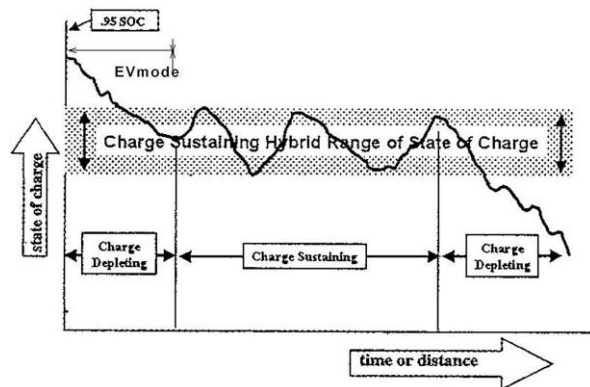


図10 寿命を考慮したPHEVの電池消費パターン

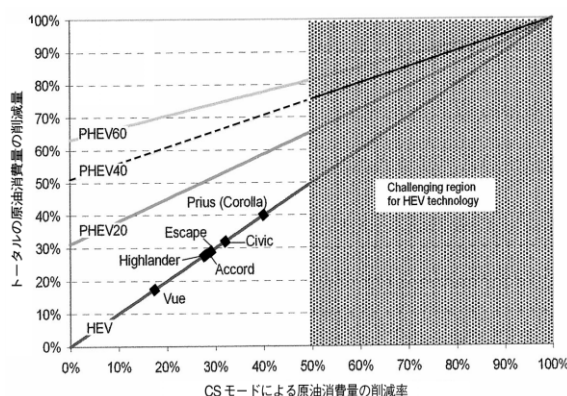


図11 PHEVによる消費原油の削減量

税制上の優遇措置等を検討する際の尺度として、燃費やEVモードでの走行可能距離など有望な尺度となる可能性が高いが、前述したようにEVモードでの走行距離を評価基準にすると、実用時の効率や電池寿命を妨げる可能性がある。実用的な車両を普及させる意味から、これらの評価尺度の選択は実際に車両の運用が軌道に乗ってから実状にマッチした尺度を求めるべきであろう。

7. 各EV用電池の要求仕様と電池の現状

BEV, HEV, PHEVの各電池に要求される条件は各々大幅に異なる。

BEV用電池は、満充電状態から比較的深い放電状態まで繰り返し使用する、いわゆるサイクルサービス用の電池で、エネルギーの大きさが必要になる。搭載する大きさは比較的大きく乗用車で20～30 kWh程度が一般的で、電池容量が大きい上にサイクル寿命が短いので電池のイニシャルコストと交換コストの双方のコストが実用時の障害になる。

HEV用は加減速時のアシストや回生が主となるため、短時間の急速充放電を繰り返す、いわゆるピークパワー対応型のパワー電池で、搭載するエネルギーは2～3 kWhの小さな容量となる。加減速毎に充放電を繰り返すのでサイクル寿命が問題となり、現状では、狭い充

電レベル（SOC, State Of Charge）範囲で使用することで実用的な寿命を確保している。今後は寿命を維持した上で使用できるSOC範囲をどこまで広げることができるかが課題となるが、寿命とSOC範囲の関係に関するシステムティックな研究が待たれる。

これに対して、PHEV用電池はBEV用電池とHEV用電池の双方の要件を満たす必要がある。すなわちピークパワーにある程度対応できるエネルギー電池が必要になり、電池に大きなブレイクスルーが要求される。また、EVモードでの走行可能距離によって必要な容量が変わるので、要求される容量は5～10 kWhから最終的にはBEVと同様の容量までとなり、この点からも重量あたりのエネルギーが現状の電池より格段に優れた電池を前提にした企画であるといえる。

図12のラゴンプロット（出力密度、エネルギー密度特性）は、EVS22のPHEVワークショップで発表された欧州の電池メーカーのもので、リチウムイオン系電池が電極の選択等で目的に応じた調整が可能なものとして有望視されている⁽¹¹⁾。

この図ではキャパシタのエネルギー密度が低くなっているが、研究レベルでは鉛電池に匹敵するものも発表されており、車載用としてどの程度のものができるかに関心が集まっている。

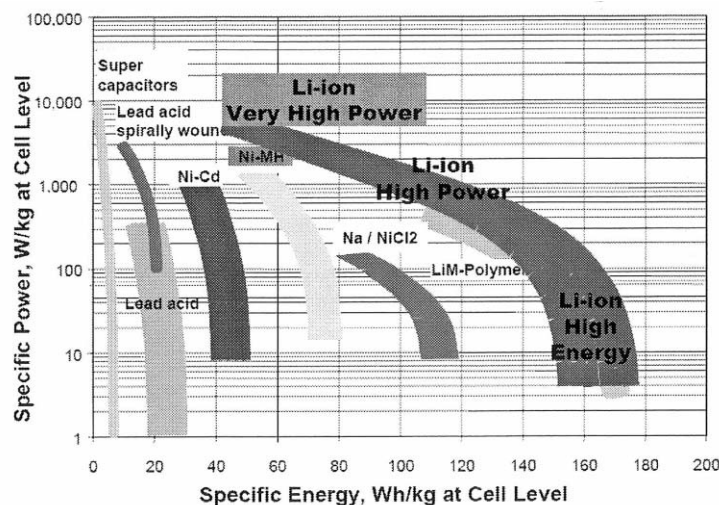


図12 各種電池のラゴンプロット（出力密度、エネルギー密度特性）

8. ハイブリッド用変速機

もう1つのHEV用主要要素は、HEV用変速機である。EV用モータは必要十分な容量のモータを広い回転域をカバーできる使用方法で使用する変速機無しが一般的であるが、小容量のモータを効率よく使用することが必須のHEVではモータの使用可能域を如何に拡大してモータを小型軽量化するかが課題になる。また、変速機を採用する場合も、回転部分のイナーシャ分がロスになる例があり、これらを解決する手法としてHEV用変速機の研究が注目されている。

従来のパラレルHEVはアシスト用モータを変速機の前に置くか後ろに置くかでモータに要求される要件が異なるが、いずれの場合も一長一短がある。そこでダブルクラッチ変速システムの内部にアシスト用モータを設ける方法など、モータの実質的な動作範囲を拡大する研究が行われている。この方法は将来様々なハイブリッド化レベルの車両を実現する上で重要な技術で、今後さらに盛んになるものと思われる。(図13参照) (12)

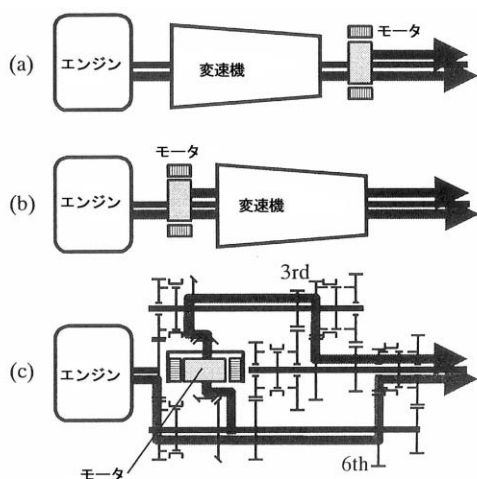


図13 ハイブリッド用変速機

9. まとめ

以上、単位車両の効率が優れているHEVのトレンドとPHEVの概要について述べたが、現実には、消費エネルギーの総量を削減するこ

とが急務であるので、運輸部門全体での消費エネルギーを減少するような方策が重要である。

運輸関係エネルギー要覧の実績データを基に各輸送システムの実際の効率を試算してみると、貨物輸送に関しては、鉄道と内航海運の効率が良く、従来の感覚と一致しているが、旅客に関しては、公共輸送機関の効率があまり高くない事実と直面する。これは乗車定員に対して実際の乗車率が大幅に低いことが原因しており、航空機の効率が乗用車より高い結果もうなずける。

このような観点から、個々の効率の改善と並行して、リソースを効果的に利用できるソフトや政策の検討が重要と考える。

引用文献

- (1) 財エネルギー総合工学研究所HP,
<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data1009.html>
- (2) 清水健一：ハイブリッド制御技術の変遷と最新技術動向，自動車技術，Vol.56, No.9, p70-75 (2002)
- (3) 清水健一：EVファミリー車開発の歴史と今後の展望，エンジンテクノロジー，Vol.7, No.4, p14-19 (2005)
- (4) P. G. Patil: Advanced Automotive Technologies, Proc. of JEVA EV Forum1999, p225
- (5) 八重樫武久：電気パワートレインの開発動向，JSAE SYMPOSIUM No.07-04, p12-17
- (6) 中野篤ほか：2006年モデルL4パワートレイン用IMAシステム，自動車技術会春季大会前刷り集 20065224
- (7) J. Gonder et. al.: Measuring and reporting fuel economy of plug-in hybrid electric vehicles, Proc. of EVS22, p1892-1903 (2006, Yokohama) on CD-ROM
- (8) M. Duvall: Introduction to plug-in hybrid electric vehicles, PHEV Workshop on EVS21 (2005 Monaco)
- (9) D. J. Santini: Considering plug-in hybrids to allow electric generation infrastructure to augment international petroleum reserves, PHEV Workshop on EVS21 (2005 Monaco)
- (10) A. Simpson et. al.: Cost-benefit analysis of plug-in hybrid electric vehicle technology, Proc. of EVS22, p1918-1929 (2006, Yokohama) on CD-ROM
- (11) F. Barsacq: Lithium-Ion: Enabling a spectrum of alternate fuel vehicles, PHEV Workshop on EVS22, p159-171 (2006 Yokohama)
- (12) ハイブリッド車 (HAST) の試作, 自動車技術会秋期大会前刷り集 20065638

【調査研究報告】

バイオマスエネルギー高効率転換技術開発
「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」の成果



浅見 直人^{*} (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

貝原 裕二^{**} (三菱重工業(株) 横浜製作所
環境ソリューション技術部 主幹)

柳瀬 哲也^{***} (株)NGK水環境システムズ
事業戦略本部 環境開発室長



1. はじめに

近年、バイオマスエネルギー利用は、地球温暖化対策の1つの重要手段として、先進諸国を中心に、多様な技術開発が進められ、国毎に様々な積極的導入促進施策が採られてきている。

バイオマスは、「再生可能な形で利用できる、生物由来の有機物」と定義され、バイオマスエネルギーとは、バイオマスを原料とした、電力、熱、および液体・固体・気体燃料を総称している。バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルと称され、燃焼による炭酸ガス排出は、温暖化ガスにはカウントされないことから、主に排出抑制およびエネルギーセキュリティ向上の観点から、利用促進が図られている。わが国でも最近、新しい「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定(2006年3月)し、関係省庁挙げて一層の導入促進に取り組みつづける。

バイオマスのエネルギー利用は、冒頭に述べたとおり、「再生可能な形」で行わねばならない。即ち、例えば、木を切って利用したら新たに苗を植え、二酸化炭素(CO₂)吸収源を育てて初めて、「カーボンニュートラル」と言えることに留意する必要がある。

バイオマス種は、木質、農廃、食廃、畜糞、汚泥等多様な、生物由来の有機物であることから、水分を含み易い特性を有している。約80%程度の水分を含むと水分の蒸発潜熱と固形分の持つ燃焼熱とがバランスし、燃焼による発熱量(LHV)が“0”になってしまう。そこで、水分の多少で、WET系とDRY系に分類され、一般的に、前者はメタン発酵や、アルコール発酵に代表される生物化学的変換に、後者は直接燃焼に代表される熱化学的変換に適していると考えられている。生物学的変換の場合、その残さの利用・処理が効率的に行われる必要があると言える。

WET系も天日や、排熱を利用して効率よく乾燥すれば、DRY系として熱化学的変換を行うことができるが、水分の多いバイオマスの場合、単なる熱的乾燥では、大きなエネルギーを投入する必要があるため効率向上は難しい。そこで水分蒸発潜熱を回収できれば大幅な効率向上が見込め、WET系でも熱化学的変換が可能になる。

下水の生汚泥は、良く知られている通り、水分が99.9%程度含まれ、現在、濃縮汚泥(水分約98%)はメタン発酵へ、濃縮汚泥を機械的に脱水した脱水汚泥(水分75~80%)は、焼却処分され、大規模の場合にのみ発電がや

と可能となっているが、いずれの場合も、汚泥処理場に必要となる電力の40%程度を回収できるレベルである。

本システム技術開発は、下水汚泥を効率的に熱分解ガス化し、可燃ガスとして、一酸化炭素（CO）と水素（H₂）に変換し、この生成ガスを用いてガスエンジン発電を行うものである。変換プロセスでの顕熱と潜熱を回収し、プロセスへの熱利用を行うとともに、途中で発生するアンモニアからH₂を回収して、燃料に利用するなど、高効率プロセスを開発し、汚泥処理場のエネルギー自給率100%を狙った意欲的な技術研究開発である。

本技術研究開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が進めた「高効率バイオマス転換技術開発」（平成13年度～17年度）の一環として実施した事業で、本「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」は、平成15年に採択され、3ヵ年計画で実施されたものである。

2. 本技術開発研究の概要

（1）開発システムの概要

下水汚泥ガス変換発電技術は、ガス化炉において汚泥中の可燃分をガス化後、改質炉で

酸素と反応させ、COやH₂等の燃料ガスに変換し、発電するシステムである。本システムは、下水汚泥を部分燃焼することで、ガス化・改質反応に必要な温度を確保し、また、発生したガスの顕熱・潜熱を回収して乾燥工程に利用することでガス化効率を向上する。さらに、比較的小規模でも高い発電効率を有するガスエンジン発電を実施することでシステム全体の発電端効率を高める方式である。

図1に開発システムである下水汚泥ガス変換発電システムフローを示す。

（2）本システム開発の特徴

本開発システムは、高効率ガス化を目標としており、具体的には次の3つの開発技術からなるシステム開発を特徴としている。

① プロセスの顕熱・潜熱の利用

脱水汚泥の乾燥やガス化炉・改質炉に供給する水蒸気は、プロセスの顕熱・潜熱の回収により行い、システムの高効率化が可能となる。

② 触媒フィルタによるダスト除去と有害ガスの分解

セラミックフィルタに触媒を担持した触媒フィルタにより改質ガス中のダスト除去と有

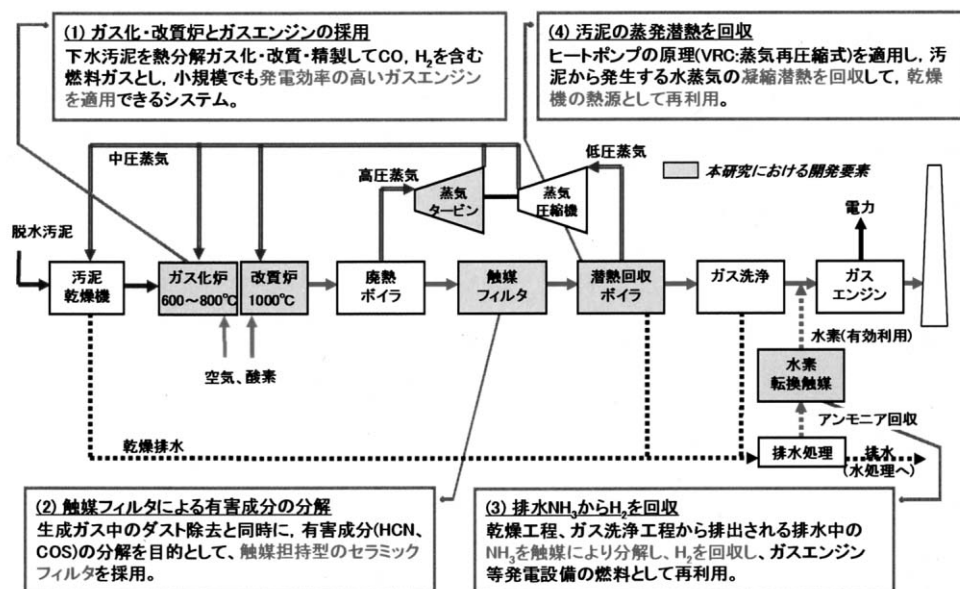


図1 下水汚泥ガス変換発電システムのフロー図

害成分（COS，HCN）の加水分解を同時に実施することで、装置のコンパクト化・効率化が図れる。

③ 排水中アンモニアからの水素回収

乾燥およびガス化改質工程で排水中に移行したアンモニウムイオンから水とアンモニアガスを分離し、これを触媒で分解して水素ガスとして回収し、排水の処理負荷低減とエネルギー利用に寄与できる。

（３）研究開発の目標

本開発は、図２に示す通り、２つのステップで目標を設定した。Step 1は、通常的气体化改質プロセス、Step 2は顕熱・潜熱回収利用とアンモニア回収・水素転換システムによる高効率ガス化改質プロセスで、それぞれの目標は、前者では冷ガス効率60%、発電端効率20%、後者では冷ガス効率85%、発電端効率30%と設定した。後者の高効率ガス変換発電システムでは、汚泥処理場の所要電力のほぼ100%を自給できることを目指している。

（４）研究開発実施体制

本システムの開発は、(財)エネルギー総合工学研究所、日本ガイシ(株)、三菱重工業(株)の3社が、NEDOの委託を受け、東京都下水道局とは、実証試験に関するノウハウ+フィールド提供型共同研究として、東京都下水道サービス(株)、北海道大学および筑波大学の協力(再委託)を得て実施したものである。

東京都砂町水再生センター内において、平成17年4月から平成18年3月まで、脱水汚泥換算処理能力5 t/日以上の実証試験設備による実験を行い、その結果から実機規模での導入効果を評価した。図３に、本事業の実施体制図を示す。

（５）実施スケジュール

本研究開発は、Ⅰ—① 要素技術開発「ガス化炉・改質炉、触媒フィルター、NH₃からの水素回収、及び潜熱回収ボイラ」、Ⅱ 要素技術開発「タービン圧縮システム」と、Ⅰ—① 要素技術開発の成果を踏まえ実施するⅠ—② 実証

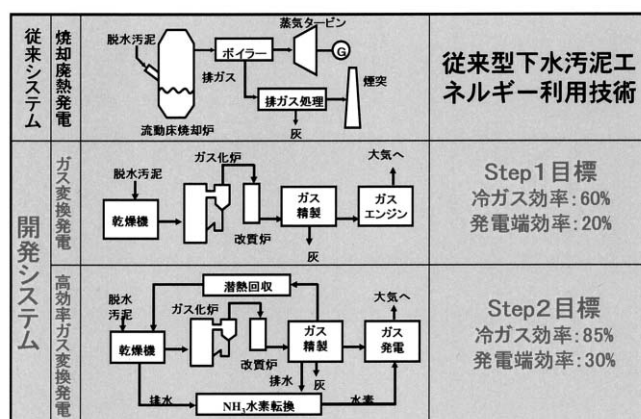
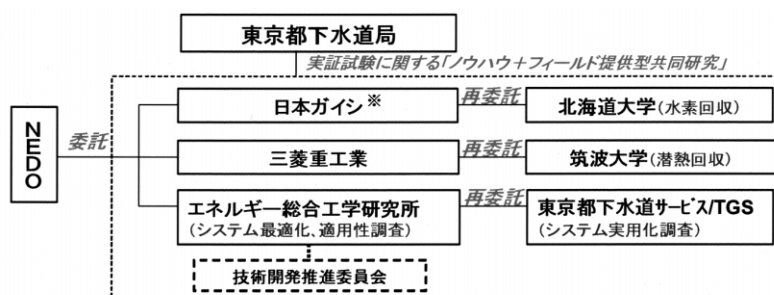


図２ 本研究開発のシステム概要と開発目標値



（※本研究開発に参加した日本ガイシの部門は、2007年4月に独立し、(株)NGK水環境システムズとなった）

図３ 本研究開発の実施体制

		平成15年度	平成16年度	平成17年度	担当
I—① 要素技術開発	ガス化炉・改質炉	基礎試験	→		NGK/MHI
	触媒フィルタ	基礎試験	→		NGK
	NH3からの水素回収	基礎試験	→		NGK
	潜熱回収ボイラ	基礎試験	→		MHI
			実証設備 設計・製作	実証試験 (5～8 t/日)	NGK/MHI
II 要素技術開発	タービン圧縮システム	試験機 設計・製作			MHI
				性能試験 (実用規模)	MHI
III 実用化システム検討	システム最適化調査	汚泥ガス変換システム解析プログラム開発	解析・評価		IAE
	システム適用性調査	全国汚泥発生・処理・エネルギー利用状況調査	全国適用性・効果検討		IAE
	システム実用化調査	東京都汚泥発生・処理・利用状況調査、東京都との調整	適用性・課題検討		TGS

NGK：日本ガイシ㈱ MHI：三菱重工業㈱ IAE：(財)エネルギー総合工学研究所 TGS：東京都下水道サービス㈱

図4 研究開発全体の実施スケジュール

試験，およびⅢ 実用化システム検討「システム最適化調査，システム適用性調査，及びシステム実用化調査」の各項目からなっている。

図4に研究開発全体のスケジュールを実施担当分担と共に示す。要素技術開発①を約2ヵ年実施し，並行して，実証試験の設計・製作を行い，平成16年度末までに現地据え付けを行い，平成17年度に実証試験を実施した。要素技術開発②は，試験規模が，実証試験規模ではできないので，単独で工場で試験を実施した。

3. 熱分解・ガス化改質技術の開発

(1) 実証試験設備諸元

表1に実証試験設備の諸元を，図5にシステムフロー，図6に写真をそれぞれ示す。

本設備は，乾燥機，ガス化・改質炉，ガス

表1 実証試験設備諸元

処理汚泥	高分子凝集剤－遠心脱水汚泥
処理規模	乾燥汚泥75kg/h以上 (脱水汚泥5t/日相当以上)
ガス化炉形式	流動床式
ガス化炉供給ガス	空気、O ₂ 、水蒸気
改質炉供給ガス	O ₂ 、水蒸気
炉内温度	500～800℃

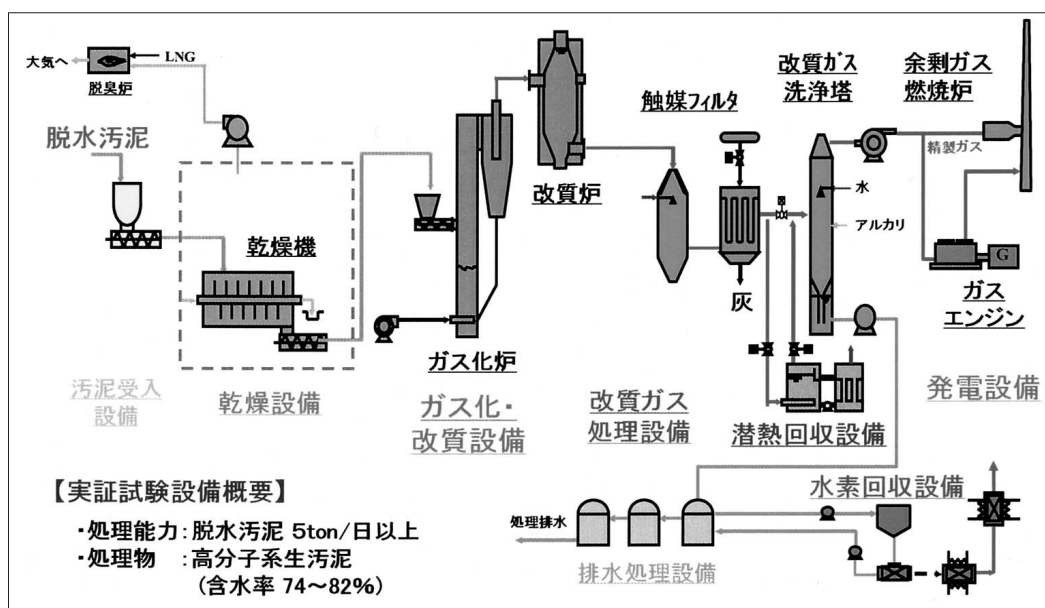


図5 実証試験設備のシステムフロー図

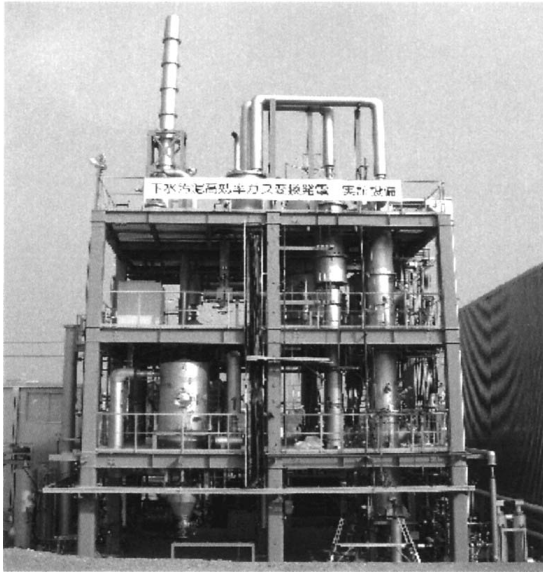


図6 実証試験設備の外観

精製装置、排水処理装置からなる。脱水汚泥を水蒸気乾燥機にて含水率30%程度に乾燥した後、流動床式ガス化炉にて乾燥汚泥を部分燃焼することによりガス化し、改質炉にて O_2 や水蒸気を加え燃料ガスに変換（ガス改質）する。さらに、触媒フィルタや湿式洗浄塔により燃料ガス中の有害成分を除去した後、ガスエンジンにて発電する。

（2）試験方法

表2に乾燥汚泥の性状を、表3に試験条件の概略を示す。試験では都市ガスの部分燃焼により予め炉内温度を昇温させてから汚泥を投入した。試験は1回当たり5日間の運転を計14回実施した。

表2 乾燥汚泥の性状

乾燥汚泥形状		粒状
灰分	[wt. %] (D.B)	17～26
含水率	[wt. %] (W.B)	20～35
炭素	[wt. %] (D.B)	39～43
低位発熱量	[MJ/kg-DS]	16～18

表3 ガス変換実証試験条件

ガス化	炉内温度	[°C]	550～800
	乾燥汚泥投入量	[kg/h]	75～130
	空気比	[—]	0.2～0.4
改質	炉内温度	[°C]	900～1000
	酸素比	[—]	0.3～0.5
	H_2O/C	[—]	0.5～2

（3）基本性能確認試験

基本性能確認試験ではガス化炉、改質炉の安定かつ効率的な操炉条件を調査した。表4に試験で得られたガス変換条件の結果を示す。当結果は、冷ガス効率の目標値45%を達成している。また、表5には、改質炉出口におけるガス性状の一例を示す。燃料として H_2 、 CO 等を合計30%弱含む燃料ガスを回収できた。さらに、得られた燃料ガスによりガスエンジンを運転し、発電効率を調査した結果を図7に示す。得られた燃料ガスは都市ガスよりやや空気過剰率を大きく取る必要があるが、ガスエンジンの安定運転が可能であり、発電効率は32～36%となった。

表4 ガス変換実証試験の結果

	項 目	試験結果
ガス化	乾燥汚泥含水率 [wt. %]	29.4
	乾燥汚泥投入量 [kg/h]	115
	温度 [°C]	600
改質	H_2O/C [—]	1.1
	温度 [°C]	1000
	総酸素比 [—]	0.57
	冷ガス効率 [%]	48.9

表5 燃料ガスの性状

項 目	実測値
H_2 [vol. %]	13.1
CO [vol. %]	10.4
CH_4 [vol. %]	3
C_2H_4 [vol. %]	0.6
その他 [vol. %]	72.9
低位発熱量 [kJ/m^3]	3845

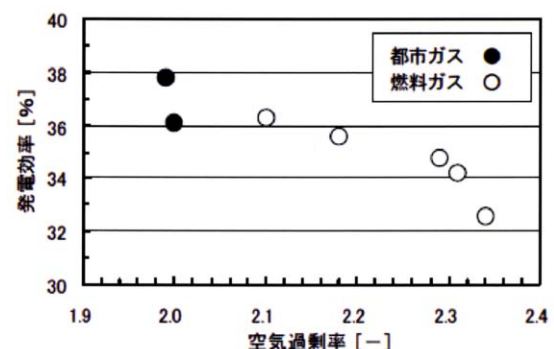


図7 燃料ガスによるガスエンジンの発電効率

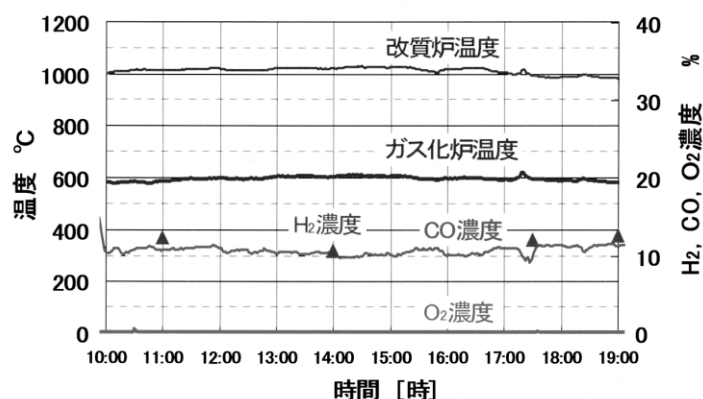


図8 連続運転試験時の操炉状況

(4) 連続運転試験

図8に連続運転試験におけるガス化炉，改質炉の各炉内温度，得られた燃料ガスの流量，燃料ガス中 H_2 ， CO 濃度の経時変化（24時間）を示す。本試験により，各炉とも安定操炉が可能であることを確認した。また，燃料ガスの流量や組成についても大きな変動はなく推移したことから，ガスエンジンによる発電も安定した出力となることがわかった

4. 高効率のための要素技術開発

(1) 潜熱・潜熱回収利用技術

本要素技術開発は，改質炉より送出される改質ガス中に多く含まれる水蒸気の凝縮潜熱を回収して，潜熱回収ボイラにおいて低圧の蒸気を発生させ，さらにその低圧の蒸気を圧縮機により昇圧して，乾燥機の熱源とする技術に関するものである。なお，改質炉より送出される改質ガスの顕熱を回収して，蒸気タービンを駆動し，この動力により圧縮機を駆動する。したがってここでは，潜熱回収ボイラの開発と蒸気タービン・蒸気圧縮システムの開発を実施した。

潜熱回収ボイラの開発においては，伝熱現象の基本特性（管内側気泡生成/凝縮，管外側水膜形成/蒸発など）を単管における要素実験および理論両面から把握する。次にこの成果を用いて熱交換器としての性能予測・最適化を行い，実証規模の潜熱回収ボイラを設計製

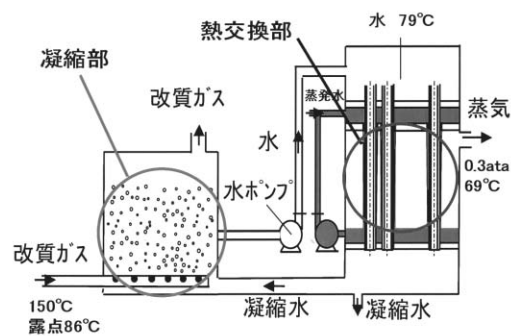


図9 開発した潜熱回収ボイラの原理

作して，ガス化・改質実証設備に組み込み，基礎運転データの採取・評価を実施した。図9に開発した潜熱回収ボイラの原理概念図を示す。また潜熱回収ボイラ腐食防止のための前処理ガス精製装置として，改質ガス中の H_2S を乾式除去するための要素試験を実施して H_2S 吸収剤を選定し，模擬ガスを用いたベンチテストにて性能を確認した上で，実ガスを用いて性能を評価した。図10に実証試験設備に取付けた潜熱回収ボイラ部の写真を示す。

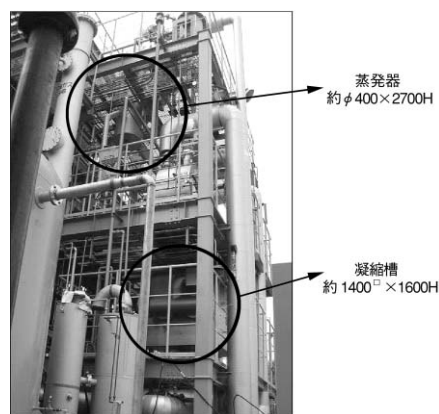


図10 実証試験設備の潜熱回収ボイラ

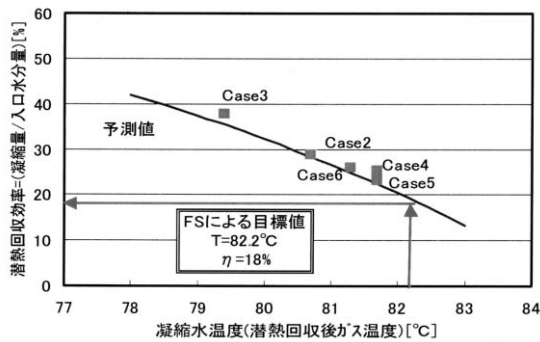


図11 実証試験結果—潜熱回収効率

図11に凝固水温度をパラメータとした、潜熱回収効率の実証試験結果を整理した結果を示す。同図より、実証試験結果は求められる凝縮水温度範囲において後述するFS（実現可能性調査）より求められる性能を十分満足する結果となっていることがわかる。よって、実機検討の際重要となるのはシステム全体のバランスを考え凝縮水温度を何度と設定するかであり、その温度管理を十分に行うとで、今回の実証で用いた凝縮法が適用できると考える。

(2) 触媒フィルタによる有害物質の回収技術

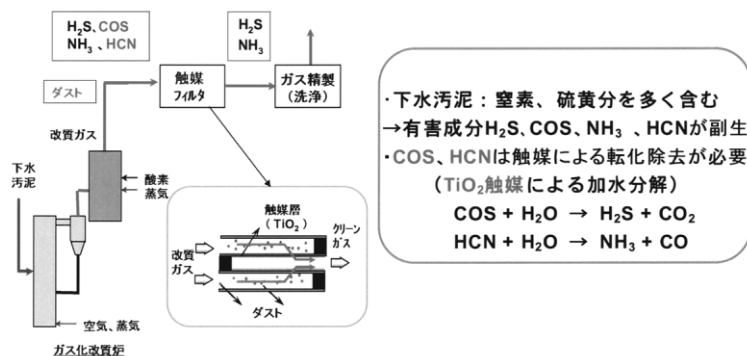


図12 触媒担持セラミックフィルタの概念

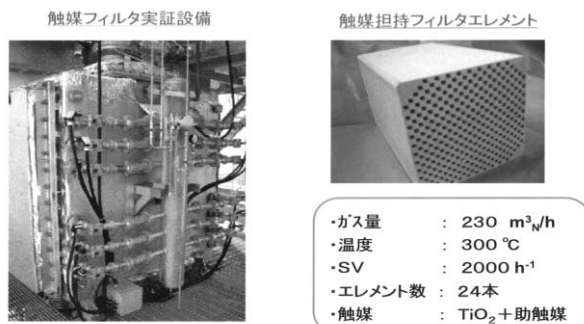
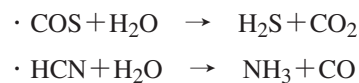


図13 触媒フィルタ実証設備と触媒担持フィルタエレメント

本要素技術開発では、汚泥改質ガス中に含まれる HCN 、 COS を加水分解する機能と、ダストを集塵する機能を併せ持つ触媒フィルタの開発を行った。

下水汚泥の成分には、S分、N分が比較的多いため、下水汚泥をガス変換すると改質ガス中には有害な H_2S 、 COS 、 HCN 、 NH_3 が多く発生する。この内、 COS は湿式洗浄では除去困難な事、 HCN は排水処理が複雑になることから、触媒による加水分解反応で COS を H_2S へ、 HCN を NH_3 へ変換する事が求められる。



さらには、ガス改質炉からは微粒子のダストが飛来するため、これも除去する必要がある。

このため、本項の開発においては、改質ガス中のダスト除去と有害成分の加水分解を同時に行う一体型でコンパクトな触媒を担持したハニカムセラミックフィルタ式ろ過集塵装置の開発を行った。図12に本方式の概念を示し、図13に実証試験に用いた触媒担持フィルタエレメントと、触媒フィルタ実証設備の写真を示す。

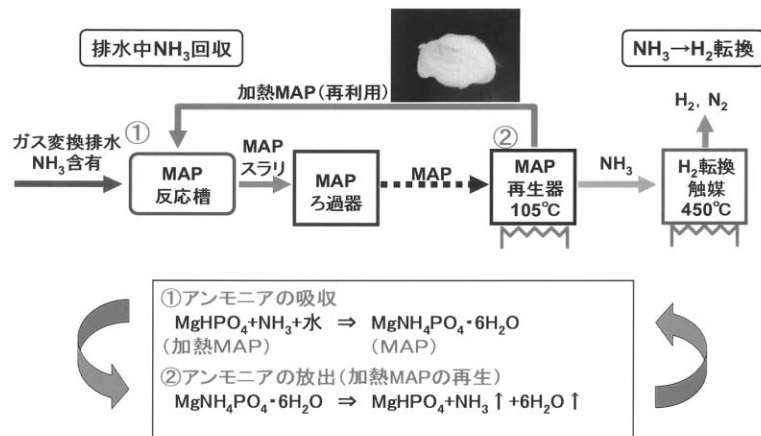


図14 排水中NH₃からのH₂回収システムの概念図

実証試験において、触媒フィルタによる有害ガスの分解性能と最適な触媒反応条件（SV，温度）を調査した。性能評価試験では，ダスト除塵率99.4～99.9%を達成した。また，フィルタ差圧についても0.6～1.2kPaの範囲で安定した運転が達成できた。COS,HCNに対する分解性能は，タール量の低減化と触媒反応条件の最適化により，反応温度400℃以上，SV=500h-1以下において目標値70%以上を達成した。

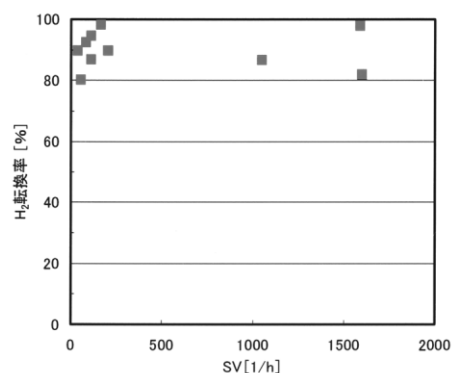


図15 実証試験結果—NH₃のH₂転換率

（3）アンモニア水素回収利用技術

本要素技術開発では，汚泥ガス変換工程における排水中のアンモニアを回収し，触媒により水素に転換する技術の開発を行う。

下水汚泥のガス変換システムでは，改質ガス中に多量のNH₃が含まれる。また，ガス変換時に発生するHCNは，前節で記述した触媒フィルタによりNH₃へと転換するため，改質ガス中のNH₃濃度はさらに高くなる。このNH₃は改質ガス洗浄塔で排水側に移行するが，NH₃はその分子中にH原子を含むため，排水中に移行するエネルギーは少ない。

そこで，この排水中に移行したNH₃を回収し，触媒によりH₂に転換することによって排水処理設備からのH₂製造を目指す。これにより，ガス変換システムのエネルギー効率の向上だけでなく，未来のエネルギーとして注目されているH₂の製造手段のひとつとして，本技術の検討を実施する。図14に本技術の概念図を示す。

図15には触媒によるNH₃のH₂転換率評価試験の結果を示す。本触媒によりSV=1500 h-1，触媒温度450℃において，80%以上のH₂転換率を達成した。また，MAPの加熱により触媒被毒成分を同伴させることなく，NH₃を水蒸気のみを放出させ触媒へ導入できることを確認した。加熱MAPによる排水中NH₃の回収工程と触媒によるNH₃のH₂転換工程を組み合わせた連通試験により，開発目標である排水中NH₃からのH₂回収率50%以上を達成した。

5．システム最適化分析・評価

本技術開発の実証試験を反映させたガス変換発電システムの実用機として，脱水汚泥（含水率75%，低位発熱量17.5MJ/kg-DS）のガス変換発電システムの処理規模100t/日および300t/日規模の試算例について述べる。

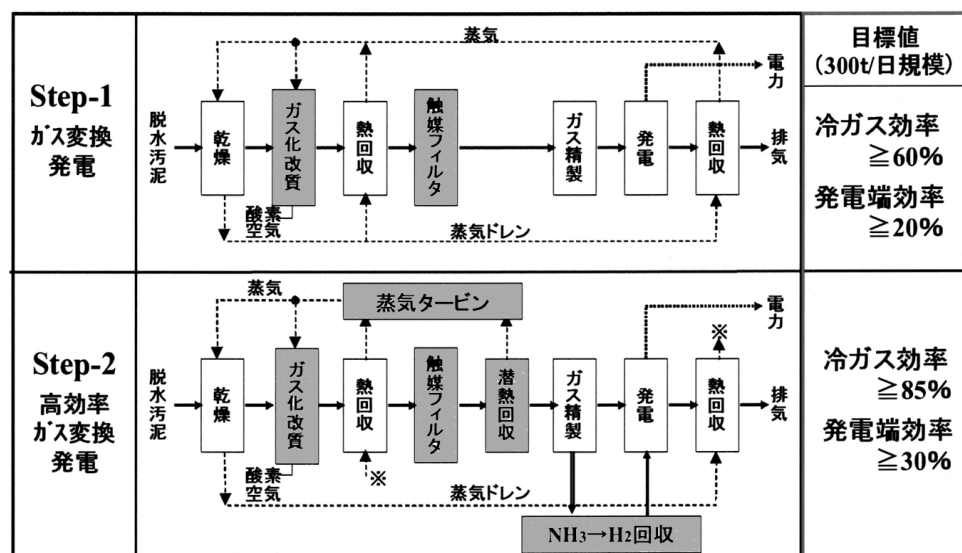


図16 FSで実施する2つの汚泥ガス変換システムの概念図

本FSで評価するシステムは図16に示す2通りとした。ガス変換発電システム（Step-1）は、潜熱回収、アンモニア-水素転換設備を省略したシンプルなシステムとし、高効率ガス変換発電システム（Step-2）は、潜熱回収、アンモニア-水素転換設備を付加し、高度の熱回収を目論んだシステムとした。

熱・物質収支計算の結果から各設備の消費電力を算出し、それぞれの処理規模における発電端、送電端効率を試算した。

（1）汚泥ガス化改質システムの場合

300t/日規模で、発電量：1,890kWh/hであり、設備の電力回収率を示す発電端効率は21.5%、送電端効率は5.6%であった。また、100t/日規模では、発電端効率19.8%、送電端効率1.0%となり、自設備の消費電力を確保する程度の発電規模となることが分かった。

（2）高効率汚泥ガス化改質システムの場合

300t/日規模で、発電量：2,650kWh/hであり、設備の電力回収率を示す発電端効率は30.1%、送電端効率は、9.9%であった。100t/日規模では4.1%となり、設備の消費電力を十分にまかなえる上、他設備へ余剰電力を供給できることが確認できた。

（3）実機FS（実現可能性調査）結果まとめ

① 発電性能に関する評価

ガス変換発電（Step-1）において、実効冷ガス効率は目標値の60%を、また発電端効率も目標値の20%を上回る結果となった。また、高効率ガス変換（Step-2）において、実効冷ガス効率は目標値の85%を、また発電端効率も目標値の30%をそれぞれ上回る結果となり、いずれのシステムも当初目論見通りの成果を得ることができた。また、送電量について着目すると、従来の焼却廃熱発電ではプラント消費動力を賄うことができなかった（送電量がマイナス）のに対して、汚泥ガス化発電システムは、Step-1のガス変換、Step-2の高効率ガス変換ともに、電力を他設備へ送電することができ、処理場として汚泥処理に関わる動力費を大幅に低減することが可能となる。

これら試算結果を、下水汚泥処理における既存発電技術として、実用化されている「消化ガス発電」、「焼却排熱発電」とを比較した。表6に、開発技術および従来技術における性能比較表を示す。

エネルギー自給率の比較においては、既存設備における処理量および汚泥含水分量が一樣でないため単位汚泥中固形分当りのエネルギー発生量および消費量原単位を算出し、本

表6 開発技術および従来技術における性能比較表

		(熱量単位kW)			
		従来技術		開発技術	
		消化ガス発電	焼却廃熱発電	ガス変換発電 (Step1)	高効率ガス変換 (Step2)
消費熱量	機械濃縮設備	350	80	80	80
	消化槽設備	250	—	—	—
	脱水設備	210	600	600	600
	焼却(ガス化)設備	2590	1200	1400	1780
	その他	470	480	290	290
	消費熱量合計①	3870	2360	2560	2690
発生熱量	発電	1240	800	1890	2650
	(発電端効率)	(14.3)	(9.1)	(21.5)	(30.1)
	発生熱量合計②	1240	800	1900	2650
自給率	エネルギー自給率(②/①)	0.32	0.34	0.74	0.99

検討でのベースである汚泥処理量300t/日、水分率75%、即ち固形分処理量＝300 (t/日) × [1-0.75] = 75 (t/日-DS) に割り戻す形で評価した。よって実際の処理時における脱水汚泥水分量と相違があるため、ここではあくまでも定性的比較のための値を示した。

算出結果よりガス変換発電、高効率ガス変換発電方式は既存技術と比較し、エネルギー自給率が高くなることが確認できた。また、高効率ガス変換発電方式のエネルギー自給率は0.99 (NH₃転換有) であり、設備としてほぼ自立したシステムと評価することができる。

② 設置スペースおよび経済性評価

300t/日処理規模について、設備の設置スペースおよび経済性を比較した。

設置スペースについてみると、ガス変換システム (Step-1) は従来の焼却廃熱発電とほぼ同等のスペースに配置可能である。但し、高

効率ガス変換システム (Step-2) は、必要設置スペースが大きくなる。設置費についてもほぼ同様の傾向である。

動力費については、汚泥ガス化発電システムの場合、他設備への送電となる為、動力は従来の焼却廃熱発電より大幅に改善する。

償却費や維持費を加味した20年間総コストと比較すると、ガス変換発電は、Step-1、Step-2ともに焼却廃熱発電よりコストを低減でき、経済性で優れることを確認した。

③ 温室効果ガス削減効果

温室効果ガスの排出量を比較した結果を表7に示す。電力由来の項については、汚泥ガス化発電システムの場合は他設備への送電となるため、他設備で本来排出される電力由来温室効果ガスが削減可能であると考えてマイナス計上とした。

Step-1、Step-2ともに、上記のように電力由

表7 導入による温室効果ガスの削減効果

			焼却廃熱発電	ガス変換発電 (Step 1)	高効率ガス変換 (Step 2)
	発電量	kWh	800	1,890	2,650
	消費電力量	kWh	1,200	1,400	1,780
	差引き電力	kWh	+400(買電)	-490(売電)	-870(売電)
温室効果ガス(CO ₂ 換算)	電力由来 CO ₂	t /年	1,220	-1,520	-2,650
	N ₂ O 由来 CO ₂	t /年	35,860	2,940	2,940
		t /年	37,080	1,420	290

来の排出量が改善するのに加えて、従来の汚泥焼却で排出量の多い N_2O 由来分が大幅に削減される。その結果、電力由来と N_2O 由来の合計でみると、従来の焼却廃熱発電と比較してStep-1にて約25分の1、Step-2にて約125分の1となり、温室効果ガス排出量の大幅削減が可能となることが示された。

6. システム適用性調査

(1) 全国の汚泥処理場への適用効果

開発技術のトータルシステムの最適化検討と、システム評価を行うために、汚泥ガス変換発電システム（軸方向一次元近似非平衡）解析プログラムを開発した。ここではその詳細は省略するが、図17に、解析アウトプット

画面を示す。本解析プログラムを用いて、ガス化プロセスの主要パラメタ感度解析を実施するとともに、先に述べたFS結果の妥当性検証を行った。その結果、75%脱水汚泥、300t/d、ガスエンジン36%の場合、冷ガス効率：86.1%、発電出力：2,500kW、炭素転換率：99.6%、発電端効率：31.2%と、FS結果（平衡解析ベース）と良い一致を示し、その妥当性を検証した。

また、他のバイオマス種（木屑、食廃、畜糞）との混合処理の可能性を検討した。プロセスは、規模を拡大した方がより高効率化、高出力化ができるのは自明で、小規模汚泥処理施設でのガス変換システムでは、他のバイオマスとの混合処理をすることによって可能となる。その効果を図18に示した。

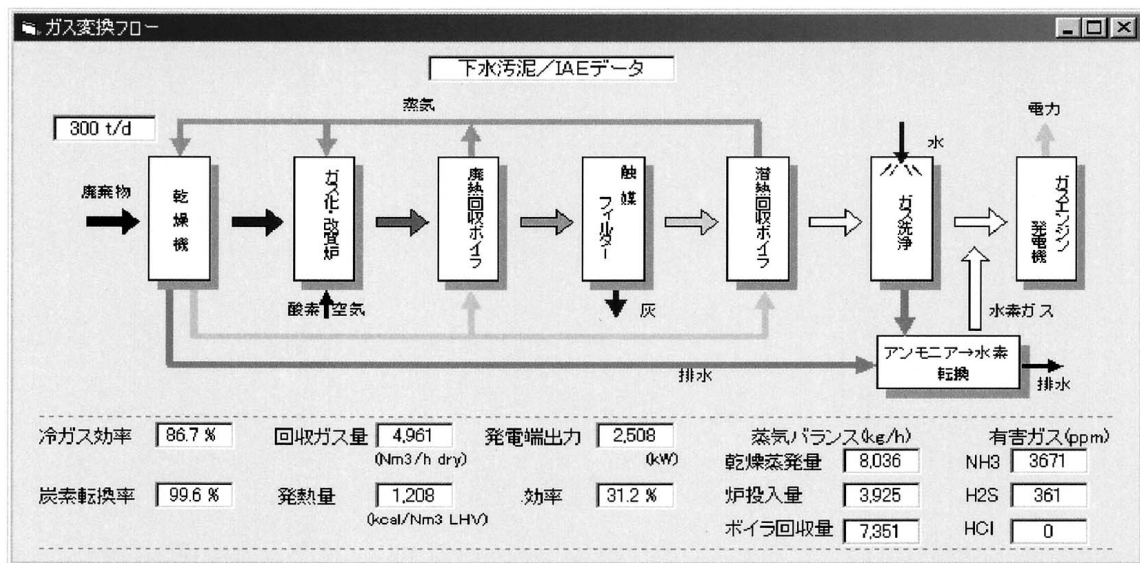


図17 下水汚泥ガス変換プロセス解析プログラムによる計算結果

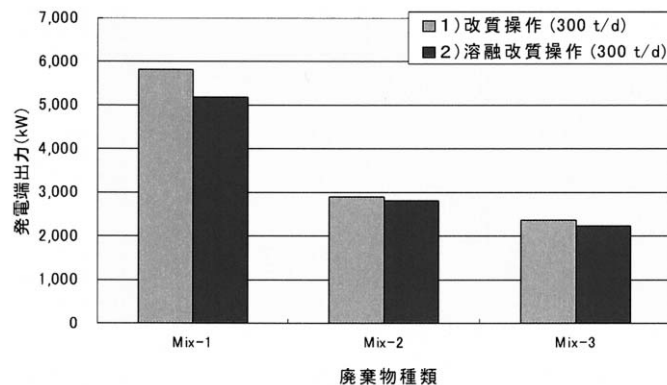


図18 下水汚泥と他のバイオマス混合処理の発電出力

300t/日、混合50wt%、ガスエンジン効率36%の場合について、下記の3ケースについて試算した。

Mix-1：下水汚泥＋木屑（樹皮）、WETベース
混合

Mix-2：下水汚泥＋食廃（市場ごみ）、同上

Mix-3：下水汚泥＋畜糞（肥育牛）、同上

本解析プログラムを用いて、全国の汚泥処理場に高効率下水汚泥ガス変換システム導入した場合の、施設適用効果の検討・評価を行った。全国の汚泥発生量の分析的調査（H15データを利用）を実施した結果、（脱水汚泥78%含水換算）下記の潜在的電力エネルギーを持っていることが分かった。

① >50t/日のプラント：

95カ所、約600万t/年、潜在量190MWh/年

② >100t/日のプラント：

53カ所、約500万t/年、潜在量160MWh/年

次に、>100t/dの施設の更新・新設計画等を調査し、適用可能性を検討した。具体的には、アンケート調査を実施し、88カ所回答から適用の可能性ある所24カ所を選び、さらに可能性が高い施設を検討した結果、内13カ所に絞られた。その場所に、本技術を導入しない場合とした場合の買電量および、導入しない場合とした場合のCO₂発生量と削減割合を検討した。試算結果を表8に示す。

（2）東京都の汚泥処理場への適用効果

東京都における最近3カ年の下水汚泥発生

表8 システムを導入した場合としない場合の買電力CO₂発生量比較

整理番号	処理場名称	導入しない場合の買電量(kWh)	導入した場合の買電量(kWh)	導入しない場合のCO ₂ 発生量(t/年)	導入した場合のCO ₂ 発生量(t/年)
1	A 処理場	2,601	0	61,113	3,218
2	B 処理場	1,374	655	32,278	16,989
5	C 処理場	9,014	81	43,586	1,268
6	D 処理場	3,639	1,663	55,316	30,925
7	E 処理場	4,565	2,502	57,734	34,370
9	F 処理場	5,571	2,940	51,318	31,251
15	G 処理場	1,111	0	23,641	1,198
22	H 処理場	2,807	133	26,074	1,686
24	I 処理場	8,815	95	74,917	3,848
25	J 処理場	3,164	8	38,488	2,117
26	K 処理場	4,551	68	46,393	2,306
39	L 処理場	2,065	1,028	24,680	13,440
	合計	49,277	9,173	535,538	142,616
	削減割合		81.4%		73.4%

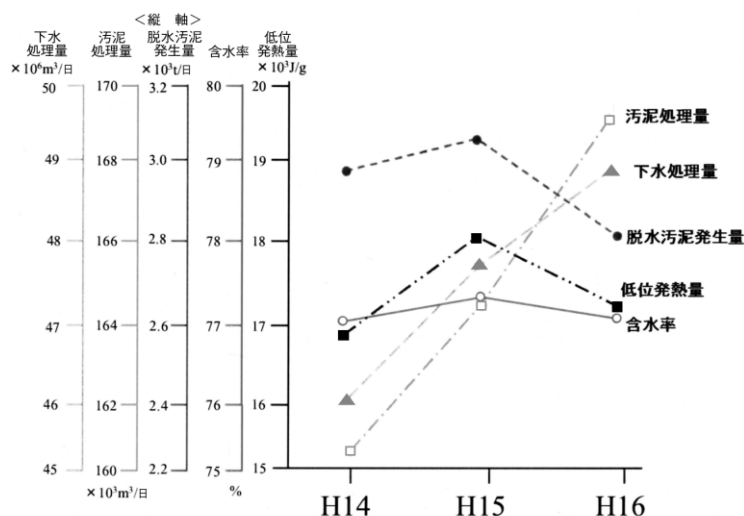


図19 東京都の下水汚泥の最近の排出状況

図状況を、図19に示す。東京都の汚泥発生量は104万t/年で、現在使用されている電力量は2.1億kWhである。

高効率下水汚泥ガス変換発電システムの、東京都への適用可能性としては、300t/日規模施設を約11基可能であり、11基発電可能量は2.1億kWhで、ほぼ、現在使用されている電力量を賄うことができると試算された。

7. まとめ

上述した如く、本「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」は、当初設定した目標性能値を達成して、予定通り完了した。本技術開発で使用した実証試験設備は、5t/日規模であり、実機導入のためには、さらに以下の課題を確認する必要がある。

- ① システムスケールアップによる性能確認
- ② 長期安定性・信頼性の確認
- ③ 臭気対策・有害成分の更なる低減

8. あとがき

本研究開発は、NEDOが「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業」の一環で、10件の研究開発事業が採択され、その内の1件として実施したものである。この開発事業は平成13年度に開始され17年度に完了し、18年度末に事後評価委員会（委員長 農工大 柏木孝夫教授）により評価され、全体として、NEDO事業として妥当な事業で、十分な成果を挙げた“優良プロジェクト”と認定された。

また、個別事業の評価も同時に行われ、“脱水汚泥からの熱回収利用を徹底化させた理想的なプロセスで高効率を達成した”と大変良い評価を受けた。特に、潜熱回収システム、有害ガスの分解率に高い評価を受け、実機への導入に速効的に活動を強化して欲しいとのコメントを得た。

バイオマスは水分を80%程度含むと、水分の蒸発熱量と固形分の発熱量がほぼ同一とな

り、燃焼による熱回収が難しい。こうしたWET系のバイオマスは通常メタン発酵などの生物化学的転換を行うのがこれ迄であった。潜熱を回収利用することにより、WET系でもDRY系と同様な、熱化学的転換が可能となることを実証できたことは重要なことである。この技術は汎用性のある技術であるので、今後多方面で利用されることを期待したい。

ガス化システム技術は、ガスエンジンや燃料電池等により、一般的に小規模でも高効率の発電が可能とする技術であると共に、将来はFT合成と組み合わせることにより、BTL（Biomass To Liquids）への転換が可能となる。無論これには大規模化によるコスト低減化が必要で、同時に多量なバイオマスが必要とする技術である。

本技術開発の成果が、こうした将来技術として利用されることに期待したい。

なお、本研究開発の成果の詳細は、NEDOホームページより標題の成果報告書としてダウンロード可能であり、ご参照頂けると幸いです。

【謝辞】

最後になりましたが、本技術開発を支援して頂いたNEDOの関係各位、また、ノウハウ＋フィールド提供型共同研究として、実証試験を汚泥処理場で実施させて頂いた、東京都下水道局の関係各位に深謝致します。また、この研究開発のご指導と貴重なコメントを頂いた技術開発委員会（委員長 京都大学・武田信生教授）の先生方各位に御礼申し上げます。

さらに、技術開発を様々な形でご協力・参画いただいた、東京都下水道サービス(株)の関係者、さらに要素技術開発でご協力とご指導いただいた、筑波大学・阿部豊教授、並びに北海道大学・増田隆夫教授に改めてここで感謝致します。

アラブ首長国連邦（UAE）アブダビ訪問記 —第1回“Energy 2030”に参加して—

小 川 紀一郎（エネルギー技術情報センター 専門役）



はじめに

中東の小国、アラブ首長国連邦（UAE, United Arab Emirates）とわが国との関係は一般には余り知られていないようであるが、実は同国はわが国の石油輸入元としてサウジアラビアに次ぐ2位を占め、また近年の同国の顕著な建設ラッシュを反映して少なからぬ数の日本企業が参加するなど、今やわが国と関係の深い国の1つとなっている。

UAEは、アラビア半島の東南部、ペルシャ湾の出口に面し、アブダビ、ドバイ、シャルジャ

他、計7つの首長国から形成される連邦国家で、地域民族の歴史は非常に古いが、国家としては、1971年にアラブ首長国連邦として独立した歴史的には日が浅い国家である（図1参照）。

同国の首都アブダビは、同国第1の石油生産都市でもあり、建国以来同国の大統領の出身地となっている。ちなみに、「ドバイ原油」として知られ、また最近活発な都市政策で知られるドバイは、同国第2の石油生産都市である。

今般、UAEの首都アブダビにおいて同国で初めてエネルギーの長期的展望を議論した国際会議「Energy 2030」が開催され、筆者はそこに招待講演の機会をいただいたのでその概要と筆者の目に映ったアブダビの様子を紹介する。

1. UAEエネルギー2030国際会議と主催者（PI）の概要

まず、「Energy 2030」の概要を述べる。同会議開催の経緯は、UAEのエネルギー関係指導層が、同国における将来のエネルギー問題を懸念し、今から石油、ガスおよび広い範囲のエネルギーを視野にいったエネルギーのあり方を考えるべきであること、同時にその研究や開発は戦略的に推進することが重要であること、そのためには世界から専門家を招き講演と討議を行い、理解を深め情報を共有することが必要であるとの認識から開催されることになったものである。

今回の会議（2006年11月1日～2日）が初回となり、今後2年ごとに開催される計画と



アラブ首長国連邦（UAE, United Arab Emirates）	
政治体制：7首長国による連邦制	※数値は2004年
大統領：アブダビ首長国の首長	
首相：ドバイ首長国の首長	
首都：アブダビ	
面積：83,600km ² （日本の約5分の1、ほぼ北海道と同じ広さ）	
建国：1892年から英国の保護領となっていたが、1968年の英国軍の撤退を機に独立運動が開始され、1971年、アブダビ、ドバイを中心として独立した。	
人口：約432万人（日本の30分の1）	
GDP：1,046億ドル	
一人当たりGDP：24,212ドル	
主要貿易相手国：【輸出】日本（24.8%）、韓国、イラン	
【輸入】中国、インド、日本（6.8%）、ドイツ	
日本の石油輸入：サウジアラビア（30%）、UAE（20%）、インドネシア（10%）、他	

（出所：外務省ホームページ（2007年4月）、
「エネルギー・経済統計要覧 2006年版」日本エネルギー経済研究所）

図1 UAEとアブダビ、ドバイの位置



図2 「エネルギー2030」の大会ロゴマーク

なっている。特に今回は、将来エネルギー需給の逼迫が懸念される2030年頃を想定して、各分野の専門家がそれぞれの分野からの展望をのべることを要請された。講演者は、全て招待講演で、全世界からアメリカ（7名）、ヨーロッパ（4名）、日本（1名）、UAE（主に、PI（後述）の教授陣でほとんど欧米人、5名）の計17名で、国際会議とはいえ実質はUAEと欧米中心の会議という感じであった。なお会衆は、約140名（最大時）であった。同会議の案内の一部（大会ロゴ等）を図2に示す。

主催者であるPI（The Petroleum Institute in Abu Dhabi）は、UA大統領の承認の下に、2000年に設立された研究所で、その資金は、ADNOC（Abu Dhabi National Oil Company）とその国際的協力関係にある企業（BP、Shell、日本の石油開発会社等）から拠出され、石油を中心としたエネルギー全般の教育（日本における工業大学相当）と研究を行う機関である。

2. 出発とアブダビ到着

日本からUAEに行く場合、直行便は現在、大阪（関西国際空港）と名古屋（中部国際空港）からの便しかなく、成田からの場合は乗り継ぎ便となる。その場合、ヨーロッパ経由とアジア経由があり、筆者は密かに前者を期待していたが結局事務局より送られてきたのは、アジア（タイ・バンコク）経由便で、プレゼンテーションを翌日に控えた朝早く日本を発ち、アブダビ到着は同日深夜になるというスケジュールであった。しかし、結果的に

は機内で交わされる日本語以外の言語、機内食などにおいて異国の雰囲気がいち早く包まれ、一人旅の筆者には早くから覚悟ができて好都合でもあった。バンコクからは、同じタイ航空ながらドバイ行きの別の飛行機に乗り換えた。その機内は、ドバイへ出稼ぎに行っていると推定されるアジアの人々とアラブ人が混合したそれまでとは全く異なる雰囲気をもっていた。ドバイ国際空港には、夜9時半のはぼ定刻どおり到着した。しかし、入国手続きに時間がかかり、結局出迎えのPIの係員と会えたのは、夜の10時半過ぎであった。

さて、ドバイからアブダビは、距離としては約150kmも離れており、どういう手段で移動するのだろうかという疑問に思っていたが、結局PIの自家用車（日本車）で高速道路を時速120 kmを超す速度で移動した。その道路は、良く整備され、煌々と照明がともされた直線道路で、料金は不要、さらに車の混雑はないという状況であったので、極めて快適な高速移動であった。

約1時間半のドライブの後、アブダビに入り、予定のホテル（エミレーツ・パレスホテル）の近くまで来てその概観を眺めたら、さすがアブダビ最高のホテルといわれるだけあって、宮殿の門構えが遠くから見え、門に入って数分たつてようやくホテルの玄関に入るという威容に驚かされた（図3参照）。チェックインの後、広くて豪華な調度品が備わった室内を眺め、一息入れた時には既に夜の12時を過ぎていた。



図3 宿泊先の「エミレーツ・パレス」の外観

3. 会議当日の朝

翌11月1日、いよいよ会議の日がやってきた。当日は、会議初日であり、最初の挨拶にUAEのエネルギー省大臣が出席する予定ともなっており、8時からの会議開催前には余裕を持って到着すべく関係者はぴりぴりしていた様子が伺えたが、ホテルから我々講演者を乗せた専用バスはなんとか開催時間ぎりぎりに会場についた。しかし、会場の中に入ってみると、席についている人はまばらでほとんどがロビーで話している。そして、定刻30分を過ぎごろ、ようやく人々が席に着いた頃、頃合を見計らったかのようにエネルギー大臣（He Mohammad bin Dhaen Al Hameli氏）が到着し、皆起立して迎えた。図4は、会議場入口でのスナップである。



図4 ギュプタ教授（左）と筆者（右）



（出所：2007年11月2日付現地Business Times紙）

図5 エネルギー大臣（左）とPI会長（右）

4. 会議開催

開会宣言のあと、上述のエネルギー大臣が挨拶を述べられた。21世紀中ごろにも予想される油の供給困難に対しエネルギー技術開発の必要、そのための資金の必要などかなり具体的な数字を挙げ力強い挨拶をされた。同氏はその後、途中まで最前列で熱心に話を聞き、その状況がテレビと新聞に紹介された（図5参照）。

その後、主催者を代表してPI（石油研究機構）の会長（He Yousef Omair bin Yousef 氏）の挨拶の後、いよいよ実質の会議が始まった。会議は2日間で5つのセッションにわかれ、まず、講師が講演し、その後各セッションの最後に、各講師がひな壇に上り、会場からの質問を受けるという方法が取られた。表1にプログラム概要を示す。

筆者は、セッション2の最後（1日目の午前最後）に「日本の持続可能な未来—エネルギー技術の視点から」というテーマを、35枚の図表等を使ってほぼ30分の所定時間内で発表した。その後のパネルディスカッションにおけるフロアからの質問も2件ほどあったものの、多分筆者の語学力を見破ってか、司会者も聴衆も少し手加減し追求しなかった感があるが、とりあえず冷や汗をかきながらも何とか説明を終えることができた（図6参照）。

表1 会議プログラムの概要

セッション1：石油、ガス供給—その状況と将来方向
セッション2：エネルギー効率と再生可能性
セッション3：2030年の需要に応える研究開発の重点と教育
セッション4：代替燃料と再生可能エネルギー
セッション5：環境とエネルギー経済

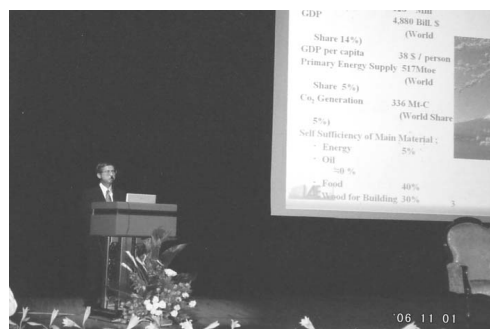


図6 講演中の筆者

5. 会議の概要

会議の全体雰囲気は、以上の通りであるが、ここで会議の内容を主なトピックスごとに概略紹介したい。

(1) オイルピークの話

今回、オイルピークをまともに触れた話をしたのは、エクソン・モービルのカスピ・中東地区副社長のビルビュッヘン氏とヒューストン大学のエコノミデス教授の2名であった。両者とも、近い将来のオイルピーク到来には疑問を持った発言であった。しかし、オイルピークそのものを否定するのではなく、いずれ到来することは間違いないのでそれに備えて準備することは必要であるということも付言された。

(2) 新エネルギーの話

今回は、新エネルギーあるいは再生可能エネルギーに関する話題は多く出された。例えば、バイオマスに関しては、アメリカにおけるエタノール利用航空機エンジンの実証試験（アメリカ空軍マイケル・アイモネ氏）、水素からの燃料電池の話（イギリス、オックスフォード大学、エドワード教授）、オーストリア（ルーベン大学、ラング教授）からのプラスチックを利用した太陽光発電を含む各種の応用技術、あるいはアメリカ（コロラド鉱山大学、ポート博士）における多重層光発電技術の基礎研究（理論発電効率が60%にもなる話）等が紹介された。日本（筆者）からは温暖化対策とリンクしたエネルギー政策とその取組、新エネルギーの種類と位置付けおよび代表的技術（太陽光発電、風力発電、バイオマス、廃棄物発電等）の開発状況と課題等を紹介した。

(3) 省エネルギーの話

省エネルギーに関しては、今回の主要テーマでないとの理解からか、内容的には余り紹介・議論はされなかったものの、ドイツにおける発電プラントの高効率化の動向（シュト

ットガルト大学ハイン教授）、廃棄物からの高効率発電技術の研究開発状況（アメリカ、メリーランド大学ギブタ教授）、および日本の省エネ全体の取組（筆者）等の紹介があった。

(4) 原子力の話

今回原子力を取り上げたのは、アメリカからの講師（マサチューセッツ工科大学、カジミ教授）のみであった。最近の原子力を巡る国際的な動向、各国特にアジアを中心とした建設計画、開発中技術の動向（小型炉の技術、HTGR、ペブルベッド型、超臨界圧CO₂との組み合わせ、水素製造技術など）など多岐にわたって紹介された。その後フロアからUAEでも適用可能性があるのかという質問に対し、同氏に代わって同じセッション内の講師の1人（アブダビ未来エネルギー会社、アルジャベール氏）が、UAEでも2020年頃以降は、原子力もひとつの選択肢として考える必要があるとのコメントが述べられた。

6. アブダビ市内の状況

筆者が、初日午前中の発表を終えて会場の外に出たところで、何人かの日本人に声をかけられた。いずれも、アブダビ駐在あるいは長期出張中の方々であった。その中でも、JOGMEC（独立行政法人 石油ガス・金属鉱物資源機構）の中東事務所長石田聖氏（図7参照）は、初対面であったが、その後アブダビ市内をご案内いただき、異郷の地に1人で訪れた身にとっ



図7 JOGMEC石田氏と筆者



(石田氏提供)

図8 アブダビ市街地

ては、大変心強いことであった。なお、市内は午後2時過ぎであったと思うが、11月の初めであるのに体感温度は20℃以上あり日本の夏に近い感じであった。その時間は、まだ昼休みの時間帯で、市内を歩いている人々はほとんど外国人か出稼ぎ労働者風の人々が多く、また一般の店は閉まっているところが多かった。一言でいえば、アブダビは、アラブ風の建築と近代的西洋建築の入り混じった大変魅惑的な都市であった(図8参照)。

7. 帰路

会議出席を終えた筆者は、再びPIの係員の運転する車(往路と同様日本車)にお世話になり、再びドバイに向かった。アブダビ市内を抜け、郊外に出ると外側に広々と続く砂漠が延々と見えていたと思っていたら暫くして道路の両側に青々と茂った人口林が見え始めそれもまた延々と続いた。まるで、中近東に来ていることを忘れさせる風景であった。さらにドバイに近づくにつれ、来るときには見えなかったが、今度は近代的な高いビルが林立した現代都市が見えた。特に、建築中のビルが目立ち、如何に現在ドバイが活気を呈しているかを伺い知ることができた。

あとがき

「可愛い子には旅をさせよ」という諺があるが、子供ならぬいわゆる熟年期を迎えた筆者にとっても、今回の旅は貴重な経験となった。

ところで、今回のテーマである「Energy 2030」であるが、冒頭挨拶のUAEのエネルギー大臣をはじめ関係者特にPI上層部は、2030年頃から石油の従来同様の生産に多少とも疑問を持っているからこそ今回の会議開催に踏み切ったのであろうが、その考えが同国民の中にどれだけ浸透しているか疑問に思った。講演後のパーティ等でPIの講師と話しをしたときにも、この国では人材教育と啓蒙が重要で、そのためにもPIのような教育機関の必要性があることを強調されていたが、一方では最近の若者の勤労意欲の欠如を嘆く言葉も聴かれた。

しかし、いずれにしても、今回のような会議を率先して始められたUAEおよびPI指導層の決断と実行力に敬意を表したい。また、この会議(2年に1回開催)が継続的かつ発展的に開催されることを祈念したい。

最後に、改めて筆者に発表の機会を与えて頂いた本会議事務局(PI)およびメリーランド大学のギュプタ教授に深甚なる敬意を表します。

また、アブダビ市内を案内頂いたJOGMEC中東事務所の石田聖氏、プレゼン資料作成上の関連情報など協力いただいた(財)日本エネルギー経済研究所の伊藤浩吉氏、小宮山涼一氏、(財)省エネルギーセンターの佐藤文廣氏、および国立環境研究所の原沢秀夫氏に、本誌上で恐縮ながら感謝申し上げます。

平成19年度 事業計画

(財) エネルギー総合工学研究所

1. 基本的な考え方

(1) エネルギー資源の大部分を海外に依存し、かつ、大量に消費しているわが国が、国家存立の基盤であるエネルギーを将来に亘り安定的に確保していくためには、長期的かつグローバルな観点から、戦略的なエネルギー政策を立案し、それを実施していくことが必要である。有限の地球に住む我々としては、今世紀中にも顕在化が懸念される人類共通のリスクである資源制約及び環境制約に如何に対処していくかは大きな課題である。

(2) 当研究所は、わが国のエネルギー工学分野の中心的な調査研究機関として、エネルギーの安定供給、効率的変換及び利用、地球環境問題への対応等、内外の諸問題について、産・学・官の緊密な連携の下、各技術分野における専門的な知見を集め、技術的側面から総合的に研究を行い、その成果の普及に努めてきている。技術は、わが国が国際社会で優位性を維持向上する上で不可欠な資産であり、将来のリスクに対応し得る強靱なエネルギー戦略の構築・実現に貢献するものと考えられ、当研究所は「エネルギーの未来を拓くのは技術である」との認識の下、資源制約及び環境制約克服に資する技術について調査研究に取り組んでいく。

(3) 国際的なエネルギー資源需給逼迫の懸念から、国内外ともエネルギーセキュリティ重視の政策展開を志向している折、当研究所は、

一昨年度は2100年を展望した「超長期エネルギー技術ビジョン」、昨年度は2030年に向けた「エネルギー技術戦略マップ」をとりまとめ、資源制約及び環境制約の克服に大きな役割を果たすと期待される重要な技術群を抽出しロードマップを作成したところであるが、今後とも、それらビジョンや技術戦略の適時かつ継続的な見直しも含め、エネルギー技術開発のあり方について、長期的、かつ、グローバルな視点に立った調査研究を行なっていく。

「情報」と「評価」は、技術開発戦略を策定していく上で基盤を成すものである。当研究所は、エネルギー技術情報プラットフォームの整備を図り、最新の技術情報を収集・整理するとともに、それらを分析評価した技術的知見を、適時、国、会員企業をはじめとする関係各位に提供していく。また、合理的な技術評価のあり方についても調査研究を実施する。

(4) 昨年6月の法改正に伴う新しい公益法人制度への移行、公的機関における競争入札制度の採用等、当研究所を巡る経済・社会環境は流動的かつ厳しいものがあり、これらの変化に適確に対応しつつ、安定的な経営を可能とする基盤の強化を図る。

平成20年度に予定される(財)原子力発電技術機構の事業等の継承等当研究所の原子力分野における研究開発機能の拡充に向けて必要な準備・検討を進める。

(5) 当研究所は、次のような点にも留意しつつ調査研究事業等を行う。

- ① 技術と社会との係わりを考慮して、学際的な調査研究の実施、異分野の調査研究機関との連携等による総合的なアプローチを進める。
- ② 調査研究活動の推進に不可欠なコンプライアンスの確保、人材育成等を図る。また、個人情報保護についても適切な措置を講ずる。
- ③ 当研究所は、来年度には創立30周年の節目の年を迎えることから、関連した事業等の実施について検討・準備を進める。

2. 各エネルギー分野における調査研究テーマ

以上のような基本的な考え方を踏まえ、平成19年度においては、以下の調査研究を実施する。

(1) 総合的な見地からの調査研究

① エネルギー技術情報プラットフォームの整備

技術開発戦略を策定していく上で基盤を成す「情報」については、資源制約及び環境制約の克服に資する有望なエネルギー技術について、関連する情報を収集・整理し、技術的見地から分析・評価を行ない、技術開発戦略の企画立案等に資するように体系化したエネルギー技術情報基盤の整備を図り、広範なユーザーがインターネットを通して、簡便に検索できるエネルギー技術情報プラットフォームの運用を開始する。

また、エネルギー技術の将来動向に関する当研究所の分析を「エネルギー技術アウトルック」として公表していく。

② エネルギー技術開発戦略策定に資する技術評価手法に関する調査研究

同様に、技術開発戦略を策定していく上

で基盤を成す「評価」については、諸制約克服に資する有望なエネルギー技術について、その属性を精査し、評価を行い、限られた技術開発資源の最適配分に関し優先度付与を可能とする合理的な技術評価手法について調査研究を行なう。

また、昨年度策定したエネルギー技術戦略マップについては、最新の技術開発状況を踏まえつつ、その継続的な見直しについて検討を行う。

③ エネルギー技術開発動向及びその将来性評価に係る調査研究

今後の開発が期待される、時のエネルギー技術を選び、最新の技術開発の動向、エネルギー供給や環境問題緩和に係るポテンシャル、経済性、社会的受容性等の評価、それらを踏まえた将来展望について調査研究を行う。19年度においては、次の2テーマを対象として実施する。

1) パワーエレクトロニクス技術

一省エネルギー要素技術の視点から一

2) 二次電池

④ エネルギーシステムの評価手法開発に係る調査研究

エネルギー需給の将来想定や新しいエネルギーシステムの導入影響評価のツールであるエネルギーモデルに関し、新しい分析手法について検討評価を行ない、従来の手法では評価が難しかった問題への適用可能性について検討を行なう。

⑤ エネルギーに関する公衆の意識調査研究

エネルギーに関する公衆の意識に関し、アンケート調査により定期的に調査・分析を実施する。

(2) 原子力関連

原子力は、実用的な非化石エネルギー源であり、世界の持続的な発展を担う上で重要な

エネルギーとして評価され、昨今、世界的に原子力発電開発利用が推進されている。また、わが国においても、経産省により「原子力立国計画」が推進されており、当研究所も同計画の円滑な実施に貢献していくこととしている。

19年度は、新たに、上記計画で提唱された原子力人材育成プログラムの執行支援及び調査事業を開始するとともに、引き続き、同計画で推進が明示された次世代軽水炉開発に係るフィージビリティ調査を実施し、さらに、将来の原子炉コンセプトである第4世代炉開発に係る国際的な共同研究への参画を行う。

また、核燃料サイクル、放射性廃棄物処分、安全確保等の重要な課題に関し調査研究を実施し、社会科学系の調査研究機関との連携により社会と原子力安全のテーマに対しても取り組む。

さらに、革新的な原子力技術の提案公募型研究開発事業を実施することにより、最新の原子力技術に係る情報収集を図るとともに、評価能力の向上を図る。

(ア) 次世代原子炉技術開発等に関する調査研究

- ① 海外の原子力技術開発政策の動向に係る調査研究
- ② 既設炉高度化、次世代軽水炉に係る規格基準整備のための調査研究
- ③ 第4世代原子力システム開発に関する国際研究協力
- ④ 次世代軽水炉フィージビリティ調査
- ⑤ 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

(イ) 核燃料サイクルに関する調査研究

- ⑥ 核燃料サイクルのシステム評価に係る調査研究

(ウ) 放射性廃棄物の処理・処分に関する調査研究

- ⑦ 放射性廃棄物処分における段階的アプローチ概念に基づくセーフティケースのあり方に係る調査研究

- ⑧ 低レベル放射性廃棄物処分に関する社会的受容性に係る調査研究

(エ) 原子力安全に関する調査研究

- ⑨ 原子力安全規制における社会的意思決定のあり方に係る調査研究

- ⑩ 原子力安全技術基盤に係る調査研究

(オ) 将来に向けた原子力技術に関する調査研究

- ⑪ 革新的実用原子力技術開発に係る提案公募事業の運営管理

- ⑫ 原子力技術基盤に係る調査研究

(カ) 原子力人材育成に関する調査研究

- ⑬ 原子力人材育成プログラムに係る執行支援並びに人材育成に係る調査研究

(3) 新エネルギー・エネルギーシステム関連

新エネルギーは、資源存賦に地域性が大きく、また、利用形態も分散型エネルギー、系統電力への併入、熱電併給、自動車用エネルギー等多様であり、エネルギー供給システムの最適化を図りつつ、長期的な視点から技術開発を推進していくことが必要である。

19年度においては、バイオマスエネルギー分野において、ロータリー・ガスエンジンシステムに係る調査研究及び廃棄物発電等導入マニュアル作成に係る調査研究等を実施するとともに、電力システム分野において、新エネルギー等による分散型電力と系統電力との調和がとれた電力ネットワークのあり方等について調査研究を実施する。

新しい二次エネルギーとして期待される水素エネルギーについては、関連技術の実用化に関し調査研究を実施するとともに、水素技術開発の発展に資する国際研究協力の推進を図る。

自動車用エネルギーとして石油代替燃料の導入が注目されるようになってきているが、当研究所は、これらのエネルギー供給全般について専門的な知見を蓄積してきており、合成燃料、バイオマス燃料、水素、電気等各種の石油代替燃料の総合的な導入シナリオ分析に関する研究を行う。また、水素燃料電池自動車およびプラグインハイブリッド車を含む電気自動車の導入戦略や技術開発戦略に係る調査研究を実施する。

(ア) 新エネルギーに関する調査研究

- ① バイオマスフュエル・ロータリー・ガスエンジン・システムに係る調査研究
- ② 輸送効率の高いバイオマス燃料製造技術に係る調査研究
- ③ 廃棄物熱利用・発電導入促進に係る調査研究（導入マニュアル作成基礎調査）
- ④ バイオマス等未利用エネルギー実証試験に係る調査研究
- ⑤ 熔融塩集熱器を利用した太陽熱発電に係る調査研究

(イ) 電力システム等に関する調査研究

- ⑥ 新電力ネットワーク技術に係る総合調査研究
- ⑦ 風力発電電力系統安定化等技術開発の整合性評価に係る調査研究
- ⑧ 欧米におけるメータリングに係る調査研究
- ⑨ 海外における分散型電源の技術開発動向等に係る調査研究
- ⑩ 二酸化炭素ガスタービンに係る調査研究

(ウ) 水素エネルギーに関する調査研究

- ⑪ 水素安全利用に関する基礎物性に係る調査研究
- ⑫ 水素シナリオ策定に係る調査研究
- ⑬ 水素エネルギーの革新的技術に係る調査研究
- ⑭ 水素エネルギー技術に係る国際協力研究
- ⑮ 水素エネルギー技術に係る内外の開発動向調査

(エ) 自動車用エネルギーに関する調査研究

- ⑯ プラグインハイブリッド車等電気自動車導入に係る調査研究

(４) 化石エネルギー関連

化石エネルギーは、今後ともエネルギー供給の大宗を占めていくと考えられる。

19年度においては、石油関連では、軽油などの燃料の適切な利用に関する調査研究等を、また、天然ガス関連では、液化天然ガス（LNG）を原料とする液体燃料製造プロセスに関する調査研究を行う。

資源量が豊富な石炭については、一層の利用の拡大には環境適合性の高いガス体あるいは液体燃料へ転換する技術の開発が必要である。このため、19年度においては、利用が十分に行われていない褐炭等の低質炭化水素エネルギー資源の改質利用技術、石炭液化の実用化に向けた技術、下水汚泥をスラリー化し石炭ボイラーで燃焼し熱回収する技術、石炭乾留ガスを改質しクリーン燃料とする技術等に係る調査研究を実施する。

(ア) 石油系エネルギーに関する調査研究

- ① 燃料品質が排ガス低減に及ぼす影響に係る調査研究
- ② 軽油などの有効利用に係る調査研究

(イ) 天然ガス系エネルギーに関する調査研究

- ③ LNGを原料とするDMEやGTLなどの新燃料製造プロセス及びプラントに係る調査研究

(ウ) 石炭の利用技術に関する調査研究

- ④ 加圧型流動床ボイラー（PFBC）における下水汚泥混焼技術に係る調査研究
- ⑤ 無触媒石炭乾留ガス改質技術に係る調査研究
- ⑥ 石炭起源の合成燃料の導入可能性に係る調査研究
- ⑦ 石炭液化技術の実用化に係る調査研究

(5) 地球環境関連

地球環境問題は、京都議定書の約束実現のため、現在、対応が最も急がれている課題である。エネルギー技術全般に関し専門的な知見を有する当研究所としては、地球温暖化対策技術に関する調査及び評価、エネルギー予測モデルを用いたシミュレーション等に係る調査研究を実施する。

19年度においては、地球環境問題に係る国際的な動向を調査するとともに、国際的な地球温暖化対策分析評価プロジェクトに参加して、当研究所の地球環境統合評価モデルを活用した調査研究等を行う。

(ア) 地球温暖化対策技術等に関する調査研究

- ① 地球温暖化問題に対する国際的な対応策・政策に係る調査研究
- ② 炭素循環の不確実性に係る調査研究

3. 調査研究成果に係る情報発信

(1) 前号の事業で得られた成果のうち、技術情報として有用度の高いものを編集し、情報提供を行なう。これらの調査研究に係る活動内容や成果は、寄稿・投稿、講演会、学会発表、ホームページへの掲載等により公表し、広く利用に供することとする。

(2) 当研究所では、下記の手法により、調査研究成果に係る情報発信を行なう。

- ① エネルギー技術に係る情報を編集した冊子（新エネルギーの展望シリーズ等）の作成・配布
- ② 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行
- ③ エネルギー総合工学シンポジウム、月例研究会等の開催
- ④ エネルギー技術情報プラットフォームの整備・運用

4. その他

(1) 産・学・官の緊密な協力体制の下、エネルギー技術上の諸問題について、関係各分野の専門家による情報交換と共有を実施する場を提供し、適宜、エネルギー技術開発のあり方について提言を行なう。

(2) 海外の調査研究機関との交流・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、国際協力的一端を担う。

(3) 当研究所に関し、時代に即した適切な調査研究テーマを発掘・企画立案する能力及び情報発信能力の向上を図る。

(4) 原子力分野における機能拡充に向け準備・検討を進める。

研究所のうごき

(平成19年1月2日～4月1日)

◇ 第27回評議員会

日 時：3月8日(木) 10:30～11:30

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

第一号議案 平成19年度事業計画および収支予算
(案)について

第二号議案 役員の一部改選について

第三号議案 評議員の一部交替について

第四号議案 その他

◇ 第69回理事会

日 時：3月15日(木) 10:30～11:30

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

第一号議案 平成19年度事業計画および収支予算
(案)について

第二号議案 役員の一部改選について

第三号議案 評議員の一部交替について

第四号議案 その他

◇ 月例研究会

第253回月例研究会

日 時：1月19日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館2階 201会議室

テーマ：

1. ハイブリッド車の技術動向と将来展望ノン
プラグインHEVのトレンドとプラグイン
HEVの可能性
(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術
研究部門 クリーン動力グループ テクニ
カルスタッフ 清水 健一 氏)
2. 家庭用燃料電池の普及に向けた取り組み
(社)日本エネルギー学会 燃料電池プロジェ
クト室 主任研究員 足立 晴彦 氏)

第254回月例研究会

日 時：2月23日(金) 14:00～16:30

場 所：航空会館5階 501・502会議室

テーマ：

1. 原油相場上昇の背景とその影響・展望
(三菱UFJ リサーチ&コンサルティング(株)
調査部 主任研究員 芥田 知至 氏)
2. 石油開発における採油増進技術
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 石
油・天然ガス開発R&D推進グループ 石油
工学研究チーム チームリーダー 岡津
弘明 氏)

第255回月例研究会

日 時：3月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5階501・502会議室

テーマ：

1. 日本低炭素社会構築に向けた挑戦—なぜ必
要か? どうすれば実現できるのか?
(独)国立環境研究所 地球環境研究センタ
ー 温暖化対策評価研究室 主任研究員
藤野 純一 氏)
2. 一研究者が見た中東石油情勢と我が国の今
後のエネルギー
(早稲田大学 理工学術院応用化学科 講師
工学博士 関根 泰 氏)

◇ 主なできごと

- | | |
|----------|--|
| 1月17日(水) | ・第4回電力・ガス総合技術作業
会 |
| 18日(木) | ・原子力水素研究会 |
| 22日(月) | ・第1回原子力技術基盤調査委員
会 |
| 23日(火) | ・第3回エネルギー技術戦略検討
委員会
・第2回「世界最先端のエネルギ
ー需給構造に関する調査」研究
会 |
| 24日(水) | ・第3回電力・ガス総合国内安定
供給技術分科会 |
| 25日(木) | ・第4回水素FC技術検討WG, エ
ネルギー需給・利用形態検討
WG 合同WG |
| 26日(金) | ・第3回電力・ガス総合資源・環
境技術分科会 |
| 29日(月) | ・第1回水素の有効利用ガイドブ
ック編集WG
・第2回燃料関連技術分野の技術
戦略マップ策定委員会 |
| 30日(火) | ・第3回低品位化石資源導入によ
る原材料生産プロセス、エネル
ギー利用におけるリスク可能性
発現に関する予測調査委員会
・第7回次世代軽水炉開発WG |
| 2月1日(木) | ・第2回電力・ガス総合技術検討
会 |
| 2日(金) | ・第4回電力系統の構成及び運用
に関する研究会 |
| 8日(木) | ・第3回分散型電源と系統安定に
関わる技術検討会
・第5回電力・ガス総合技術作業
会 |
| 9日(金) | ・第4回高温ガス炉プラント研究
委員会・第2回総会
・第4回ラウンドテーブル研究会 |

2月15日（木） ・第1回電池技術マップ検討委員会
 ・第2回水素の有効利用ガイドブック編集委員会
 ・第4回リスク情報検討委員会
 16日（金） ・第4回エネルギーモデル検討委員会
 17日（土） ・第1回軽水炉等技術開発推進事業 成果評価委員会
 22日（木） ・第3回革新的技術に関する研究委員会
 23日（金） ・第4回水素FC技術検討WG、エネルギー需給・利用形態検討WG 合同WG
 26日（月） ・第4回電力・ガス総合国内安定供給技術分科会
 27日（火） ・第4回品質別電力供給システム総合調査委員会
 ・第2回消防機関と原子力事業者等の連携などに関する検討会
 3月1日（木） ・第3回風力発電電力系統安定化等技術開発実行委員会
 ・第3回「世界最先端のエネルギー需給構造に関する調査」研究会
 2日（金） ・第4回電力・ガス総合資源・環境技術分科会
 ・第4回エネルギー技術戦略検討委員会
 6日（火） ・第5回ラウンドテーブル研究会
 7日（水） ・第4回革新的技術に関する研究委員会
 ・第2回無触媒石炭乾留ガス改質技術開発委員会
 8日（木） ・第3回電力・ガス総合技術検討会
 9日（金） ・2回水素の有効利用ガイドブック編集WG
 ・第4回分散型電源と系統安定に関わる技術検討会
 ・原子力水素研究会
 13日（火） ・第5回電力系統の構成及び運用に関する研究会
 ・第2回電池技術マップ検討委員会
 ・第4回電力ネットワーク技術総合調査委員会
 ・第6回水素FC技術検討WG、エネルギー需給・利用形態検討WG 合同WG
 ・第8回次世代軽水炉開発WG
 16日（金） ・第2回石炭起源の合成燃料導入可能性調査委員会

22日（木） ・第2回オフロードエンジンから排出される未規制物質に関する調査研究委員会
 ・第1回「ベトナム ドンナイ省における産廃発電モデル事業への適用技術に関する調査」専門委員会
 23日（金） ・第5回エネルギー技術戦略検討委員会
 27日（火） ・第4回電力・ガス総合技術検討会

◇ 人事異動

○1月31日付
 （出向解除）
 半田卓己 プロジェクト試験研究部 主任研究員
 ○2月1日付
 （出向採用）
 鳥飼航洋 プロジェクト試験研究部 主任研究員
 ○2月28日付
 （出向解除）
 田村隆之 プロジェクト試験研究部 主任研究員
 ○3月1日付
 （出向採用）
 大西 徹 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）
 横田英靖 プロジェクト試験研究部 主管研究員
 ○4月1日付
 （採用）
 末廣利恵 プロジェクト試験研究部 研究員
 寺本英司 経理部兼総務部 研究員
 （嘱託採用）
 村田謙二 プロジェクト試験研究部 特別研究員
 （昇給）
 坪井 仁 基幹職2級
 石本祐樹 プロジェクト試験研究部 主任研究員

訂正

本誌 Vol.29 No.3（2006年10月発行）の「理事長対談」の中見出し「EPAで測るエネルギーの質」とありますのは「EPRで測るエネルギーの質」の誤りでした。訂正し、お詫び申し上げます。

第 29 卷 通 卷 目 次

VOL.29, NO. 1 (2006.4)

【巻頭言】馬の文化

経済産業省 原子力安全・保安院 院長 広瀬 研 吉 …… 1

【理事長対談】

「いのち」と「サイエンス」の接点

科学ジャーナリスト 東 島 和 子
(財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守 …… 3

【寄稿】燃料電池の開発動向

横浜国立大学大学院 工学研究院
機能の創生部門 教授 太田 健一郎 …… 19

【寄稿】形式は合意、実質は破綻 —モントリオール会議（COP/MOP1）報告—

(財)電力中央研究所 社会経済研究所
温暖化防止政策の分析と提言 重点課題責任者 杉 山 大 志 …… 31

【寄稿】CO₂の貯留・隔離に関する政策的な取組み —IPCCにおける位置づけと国内外動向—

経済産業省 産業技術環境局
環境政策課 課長補佐 西 尾 匡 弘 …… 37

【寄稿】CO₂の貯留・隔離の研究開発動向

(財)電力中央研究所 地球工学研究所
地圏科学領域 上席研究員 大 隅 多加志 …… 45

【寄稿】スターリングエンジンの研究開発動向

(独)海上技術安全研究所
環境・エネルギー研究領域 主任研究員 平 田 宏 一 …… 54

【寄稿】100kW小型貫流ボイラ発電システム

(株)神戸製鋼所 機械研究所 主任研究員 満 田 正 彦 …… 61

【調査研究報告】

「分散型電源を系統へ連系した場合の
系統安定に関する調査」について

(財)エネルギー総合工学研究所 主任研究員 細 木 訓 …… 67

【事業計画】 平成18年度 事業計画 (財)エネルギー総合工学研究所 …… 75

【研究所の動き】 …… 80

【第28巻通巻目次】 …… 82

【編集後記】 …… 86

VOL.29, NO. 2 (2006.7)

【巻頭言】分散型電源の導入拡大のための電力ネットワーク技術 東京理科大学 理工学部 教授	正 田 英 介 ……	1
---	------------	---

【政策紹介】「新・国家エネルギー戦略」について 経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房総合政策課 企画調査官	高 橋 直 人 ……	3
--	------------	---

---【特集 新電力ネットワーク技術実証研究】---		
【寄稿】電力ネットワーク技術実証研究 —分散型電源普及時の電圧変動抑制技術の開発— (財)電力中央研究所 上席研究員	小 林 広 武 ……	9
【調査研究報告】 「電力ネットワーク技術に係る総合調査」について プロジェクト試験研究部 主任研究員	壁 村 克 樹 ……	18
【寄稿】「品質別電力供給システム実証研究」 (株)NTTファシリティーズ 研究開発本部 主任研究員	廣 瀬 圭 一 ……	26
【調査研究報告】 「需要家における品質別電力供給の ニーズ調査結果」について プロジェクト試験研究部 主管研究員	石 垣 幸 雄 ……	35

【寄稿】電力自由化の現状と課題 (財)電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員	丸 山 真 弘 ……	41
---	------------	----

【寄稿】豪クィーンズランド州のエネルギー資源—石炭を中心として— 豪クィーンズランド州政府 駐日代表	安 達 健 ……	49
---	----------	----

【寄稿】コアラプロジェクト：石炭を介した 日豪補完環境保全プロジェクトの提案 (財)電力中央研究所 理事待遇	新 田 義 孝 ……	55
--	------------	----

【寄稿】木材利用の環境的意義とエネルギー利用のあり方 独立行政法人 森林総合研究所 木材特性研究領域長	外 崎 真理雄 ……	62
--	------------	----

【寄稿】自動車燃料におけるバイオマス利用 新日本石油株式会社 研究開発本部 開発部 燃料技術室 室長	斎 藤 健一郎 ……	69
--	------------	----

【内外情勢紹介】 復活する米国原子力産業 —科学的合理性に基づく規制へ向けた改善の道のり— (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 (財)原子力発電技術機構 技術部長 (財)原子力発電技術機構 理事	山 田 英 司 藤 井 信 一 今 永 隆 ……	77
---	--------------------------------	----

【調査研究報告】

高レベル放射性廃棄物処分におけるリスク情報の活用
—意思決定の意義—

プロジェクト試験研究部 主管研究員 井 上 隆
プロジェクト試験研究部 部長 蛭 沢 重 信
プロジェクト試験研究部 主管研究員 氏 田 博 士 …… 87

【内外情勢紹介】

風のアルゼンチン・パタゴニア
—風力エネルギー資源の現地調査を行って—

プロジェクト試験研究部 特別研究員 村 田 謙 二 …… 98

【内外情勢紹介】

中国山西省における石炭利用について

プロジェクト試験研究部 主管研究員 橋 本 孝 雄 …… 107

【行事案内】 第22回エネルギー総合工学シンポジウム …… 114

【研究所の動き】 …… 115

【編集後記】 …… 117

VOL.29, NO. 3 (2006.10)

【巻頭言】 アジア環境・エネルギーパートナーシップの推進 (財)日本産業技術振興協会 専務理事	佐 村 秀 夫 ……	1
【理事長対談】 日本をめぐるエネルギー資源と大陸棚問題 京都大学大学院工学研究科教授 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長	芦 田 讓 秋 山 守 ……	3
【寄稿】 日本の東アジア・エネルギーセキュリティ戦略はいかにあるべきか —期待されるアジアとのエネルギーパートナーシップ— (株)三菱総合研究所 シニア・エコノミスト	藤 井 秀 昭 ……	20
【寄稿】 中国の電力事情 (社)海外電力調査会 電力国際協力センター営業部 部長代理	中 山 元 ……	28
【寄稿】 最近の省エネルギー政策と技術の動向 (財)省エネルギーセンター 企画調査部 部長	佐 藤 文 廣 ……	39
【寄稿】 新規半導体 (SiC, GaN) のパワーエレクトロニクスへの展開 (独)産業技術総合研究所 パワーエレクトロニクス研究センター センター長 (独)産業技術総合研究所 次世代パワーエレクトロニクス実用化チーム チーム長	荒 井 和 雄 樋 口 登 ……	51
【調査研究報告】 欧州連合 (EU) における環境外部性評価の最新動向 プロジェクト試験研究部 主任研究員	都 筑 和 泰 ……	59
【調査研究報告】 「離島における新エネルギー導入可能性調査」について プロジェクト試験研究部 主任研究員 プロジェクト試験研究部 主任研究員	伊 藤 学 細 木 訓 ……	69
【調査研究報告】 再生可能エネルギーとしてのヒートポンプ —EUの事例を中心にして— (財)ヒートポンプ・蓄熱センター 業務部 課長 プロジェクト試験研究部 主管研究員	矢田部 隆 志 塙 雅 一 ……	78
【研究所の動き】		88
【編集後記】		89

特集：第21回エネルギー総合工学シンポジウム

日本のエネルギーの未来を拓く

— 次世代の自動車用エネルギーを探る —

平成18年9月8日(金) 経団連ホール (経団連会館14階)

総合司会 プロジェクト試験研究部部長 蓮池 宏

【開会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 理事長	秋 山 守	 1
【来賓挨拶】	経済産業省 技術総括審議官	塚 本 修	 3
【基調講演】	自動車と自動車用燃料・エネルギーの将来 早稲田大学理工学部 教授	大 聖 泰 弘	 5
【特別講演】	自動車の未来への技術の貢献 トヨタ自動車(株) 常務役員	上 田 建 仁	 18
【特別講演】	石油と新液体燃料の展望 新日本石油(株) 常務取締役執行役員	松 村 幾 敏	 30
【講演】	自動車用燃料アウトルック (財)エネルギー総合工学研究所 副主席研究員	蓮 池 宏	 42
【パネルディスカッション】			
テーマ：次世代の自動車用エネルギーを探る			
司 会	駒 橋 徐 日刊工業新聞社 編集委員		
パネリスト	池 田 元 一 東京ガス(株) エネルギー営業本部天然ガス自動車部長		
(五十音順)	斎 藤 健一郎 新日本石油(株) 研究開発本部開発部部長		
	立 花 慶 治 東京電力(株) フェロー (執行役員待遇)		
	大 聖 泰 弘 早稲田大学理工学部 教授		
	二 宮 利 宏 日産自動車(株) 総合研究所パワーソース研究所長		55
【閉会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事	山 田 英 司	 80
【研究所の動き】			 81
【編集後記】			 83

編集後記

「細石の巖となりて・・・」という君が代の一節の解釈はいろいろあるのかもしれないが、一般には「普通は起こりそうも無いことが起こるほどの長い時間」と理解されているのだろう。現実には、ずっと短い時間の中で思い掛けないことが起こる。最近の例が二足歩行ロボットである。数十年前には漫画の中にしかなかった。約10年前の1996年にホンダが後に「ASIMO」と呼ばれることになる二足歩行ロボットで世界を驚かせる。2000年にはソニーが、2004年にはトヨタが競うように独自のロボットを発表した。すばらしい技術には驚いたが大変なお金を掛けた実験機であり、実用化はまだまだ先という印象であった。ところが、2007年にはおもちゃの世界で一足先に商品化が実現するらしい。おもちゃの二足歩行ロボットが数万円で販売されるというのだ。コンピュータ、センサ、ジャイロ、アクチュエータ、電池、等々様々な機械要素の進歩、加えてそれらに対応するソフトウェアの進歩が、こんなに安い二足歩行ロボットを実現させたのであろう。特にコンピュータの高速化、低コスト化の寄与が大きいらしい。いずれにしても数万円のおもちゃロボットは「波及効果」の寄せ集めである。コンピュータは、ロボットのために高速化を果たしたわけではない。しかし、ロボットは、高

速・安価なコンピュータ、軽量・安価な制御要素や電池といった技術要素が揃う状況の中で商品化される。少し飛躍するが、一般的な技術開発においても、学問・技術領域を越えて世界中から要素を集める、あるいはその応用を考える、といった状況を把握するための腰の据わった姿勢が必要であることは言うまでもない。往々にして、目の前にある見慣れた技術に取り組むばかりになりがち、とは若い頃を思い出しでの自省の弁である。近年技術開発において短期的な目標達成のみが重視されるきらいがあるが、将来的な波及効果を期待する長期的研究もまた忘れてはならないだろう。

高速化を続けるコンピュータは、情報化社会の形を規定して行くばかりでなく、進化論で言うところの適応放散の如くに、社会のあらゆる場所に浸透していくだろう。エネルギー分野においても、ロボットとは全く局面が異なるが、コンピュータの「すみか」を常に考え最大限の活用を図っていく必要がある。留まるところを知らない進化を続けるコンピュータが、どのような社会を形作っていくのかは、誰にも分らない。

編集責任者 疋田知士

季報 エネルギー総合工学 第30巻第1号

平成19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（8F）

電話（03）3 5 0 8—8 8 9 4

FAX（03）3 5 0 1—8 0 2 1

[http：//www.iae.or.jp/](http://www.iae.or.jp/)

（印刷）和光堂印刷株式会社

※ 無断転載を禁じます。