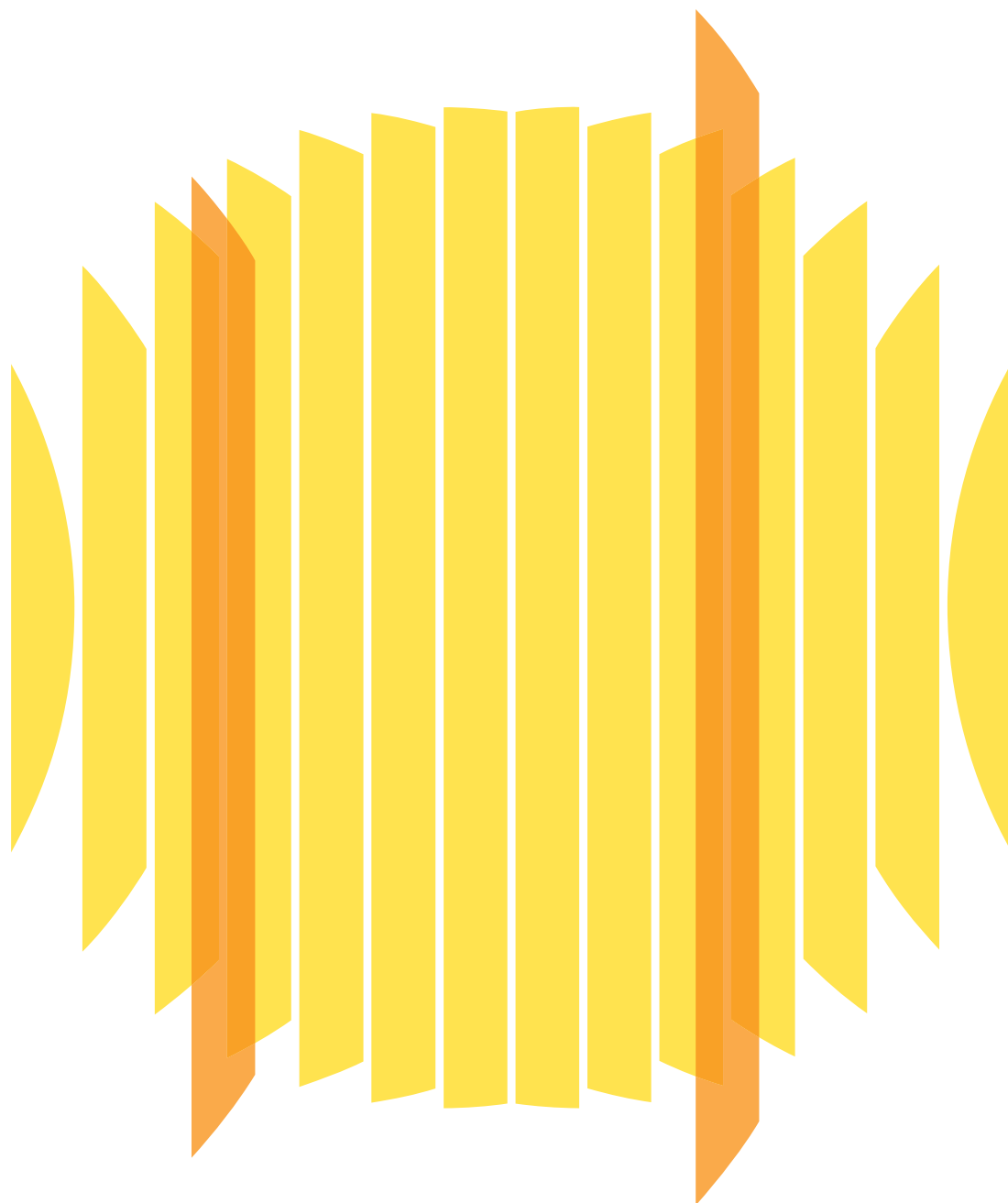


季報 エネルギー総合工学

Vol. 34 No. 3 2011.10.



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

目 次

【新任挨拶】

就任のご挨拶 (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 白 土 良 一 ……………1

【座談会】

集光型太陽光発電の海外展開へ向けて

司会 新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授 児 玉 竜 也

資源エネルギー庁 省エネルギー新エネルギー部
政策課 国際室長 小 川 祥 直

三井造船(株) 機械・システム事業本部
事業開発部 主管 江 澤 一 明

日揮(株) 営業本部 事業開発営業部
インフラ事業 マネージャー 橋 爪 健

(財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員 吉 田 一 雄 …………… 3

【寄稿】

ジャイロ式波力発電システム

神戸大学名誉教授
(株)ジャイロダイナミクス 副社長 神 吉 博 …………… 21

【寄稿】

廃プラスチックはどのように処理すべきか？

—「プラスチックごみの処理方法を考える研究会」の
中間報告について—
工学院大学 工学部 環境エネルギー化学科 教授 稲 葉 敦 …………… 27

【調査研究報告】

福島原発で起きた原子炉建屋の損傷

—水素爆発に至る経緯を中心として—
原子力工学センター 安全解析グループ 部長 内 藤 正 則 …………… 42

【調査研究報告】

CO₂制約に向けた世界協調のあり方の検討

プロジェクト試験研究部 主任研究員 都 筑 和 泰
プロジェクト試験研究部 部長 副主席研究員 黒 沢 厚 志 …………… 49

【事業案内】 (財)エネルギー総合工学研究所 エネルギー国際標準 (ISO) センター …………… 56

【研究所のうごき】 ……………59

【編集後記】 ……………61

就任のご挨拶



白土 良一 (助エネルギー総合工学研究所
理事長)

本年4月にエネルギー総合工学研究所の理事長を仰せつかりました白土でございます。
この度の東日本大震災で被災されました方々に心からお見舞い申し上げます。

就任にあたり、これまで当研究所に寄せられました関係各方面、とりわけ経済産業省をはじめ関係各省庁、電力、ガス、石油、電機、輸送機械、鉄鋼、建設、エンジニアリングなどの各業界から頂いた多大なご理解とご厚誼に感謝申し上げますとともに、今後ともよろしくご指導ご鞭撻のほどをお願い申し上げます。また、昭和53年当研究所発足以来、エネルギーに関し総合工学的な立場から調査研究を行い着実に成果を挙げて来た当研究所の研究者・職員のみなさん・諸先輩に敬意を表したいと思います。

さて、この3月11日の大震災と福島第一原子力発電所の事故によって、原子力に対する信頼がゆらぎ、脱原子力が叫ばれるようになりました。再生可能エネルギーへの期待も一層大きなものとなっております。ただ、資源小国の日本において、エネルギーを安定的に確保するには数々の課題があります。これらの課題を正確に捉え、一つずつ解決しないと、我々は不自由な生活に陥り、これまで科学技術立国として豊かな社会を築いてきたこの国は没落の憂き目に遭わないとも限りません。

直面する課題を正確に捉え、対応する技術開発を実施・評価し、日本沈没の事態に陥らないようにするには、まさに総合工学的な視点が重要です。最近の政治情勢では観念的な施策が横溢しているように思われます。電力自由化をいち早く進めた欧米では、電力市場の寡占化が進み、自由化による電力料金の低減は必ずしも進んでいないように思われます。むしろ電力系統が不安定になり安定供給が損なわれるようになってしまったと聞いております。この8月にもアメリカのカリフォルニアでは大きな停電が発生しました。特に、わが国は発送電一貫体制で築かれた安定した電力を基盤に

した社会です。政策のみが観念的に進められ、必要とされる技術開発をおろそかにすると、この優位性が失われてしまいます。一度この安定性が失われると取り戻すには長時間かかることは必定です。

一方で、最近の異常気象は二酸化炭素の影響が災いしていると言われております。エネルギーの確保と同時に、やはり環境対策の広がりがあります重要になってまいります。当研究所も「次世代電力ネットワーク」「クリーンコールテクノロジー（CCT）と炭素回収・貯蔵（CCS）」「グリーン水素」「バイオマス」「集光太陽熱利用」「高効率CO₂ガスタービンの開発」など最新の技術課題に対し、積極的に取り組むとともに、省エネルギーの国際規格ISO50001の定着に向けてお役に立つべく各種講習会の開催などを企画しております。

そして何と申しましても、福島第一原子力発電所事故の収束が最も喫緊の課題であります。これは一刻の猶予もありません。とにかく周到な対策を着実に進めて、一日でも早く避難された地域の方々が戻れるのにお役に立つように、シミュレーションなどのお手伝いできればと思っております。

今、エネルギーの技術は大きな転換期に立っています。この時にシンクタンクの役割は重要であることは論を待ちません。発足以来エネルギーを総合工学的な見地から考えてまいりましたシンクタンクとして、今後も社会のお役にたつべく努力してまいりますので、今後も私どもへの一層のご指導、ご鞭撻、ご支援を重ねてお願い申し上げます。

最後になりましたが、みなさまの益々のご発展と、被災された方々の一日も早い復帰を念じ、簡単ではありますが就任のご挨拶とさせていただきます。

集光型太陽熱発電の海外展開に向けて[※]

司会

兎玉 竜也 (新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授)

小川 祥直 (資源エネルギー庁 省エネルギー新エネルギー部 政策課 国際室長)

江澤 一明 (三井造船(株) 機械・システム事業本部 事業開発部 主管)

橋爪 健 (日揮(株) 営業本部 事業開発営業部 インフラ事業 マネージャー)

吉田 一雄 (財エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主管研究員)



はじめに

世界で注目を集めるCSP

司会 東日本大震災の前から「ピークオイル」、地球温暖化問題などを背景に、海外で展開される集光型太陽熱発電（CSP：Concentrating Solar Power）が注目されています。

ポジティブな予想だと、CSPは2030年に340万MWh、2050年には世界の一次エネルギー供給の11%になるという予測もあります。さらに、今回の原発事故の関係で、これからますます注目されていく分野だと思います。

日本では30年前にサンシャイン計画で太陽熱発電実験を香川県仁王町で行いましたが、その後、ピタリと活動がなくなってしまいました。私が1998年に太陽熱のソーラーPACES（Solar Power and Chemical Energy Systems）と

※ 座談会は2011年6月13日に開催しました。出席者の肩書きは開催日時点でのものです。

いう国際エネルギー機関（IEA）の会議に参加したときは、太陽熱発電も含めて「闇の時代」でした。ドイツを始め、色々な国が支援をやめ、会議参加者もほとんど研究者だけで、政府の人もメディア関係者もほとんどいませんでした。それが2年ぐらい前の会議では、政府の人やメディアも多く参加するようになり、学会としてかなり大きくなりました。

日本では、サンシャイン計画以降止まっていたCSPの技術開発を、まず企業が行っていますが、これからどういう技術分野に参入していくのか、国がどのように支援していくのか。今回の座談会で、日本の研究者、企業の方々が興味を持っていただけるように、情報を提供していきたいと思っています。

それでは、最初に現状認識ということで、吉田さん、よろしくお願いします。

世界のCSPの動向

世界の一流企業も乗り出してきたCSP

吉田 米国でトラフ型のCSPプラント“Nevada Solar One”ができた2006年あたりから急にCSPが注目されるようになりました。IEAの『エネルギー技術展望2008』でも二酸化炭素削減の重要技術の1つとして取り上げられました。今、デザーテック・インダストリー・イニシアティブ（DII）などの企業連合も動き始め、世界的にCSPの建設ラッシュが始まっています。

CSPは「サンベルト」という緯度20～40度ぐらい、太陽の直達光が豊富な地域で使えば、低コストで発電できる技術です。消費地が離れている場合、直流送電と組み合わせれば、広く世界に役立つ技術になります。

CSPには、世界の一流企業が太陽熱に関する企業の買収や提携で自社技術として世界に打って出ようとしています。最近では、米GEのeソ



兎玉 竜也

（新潟大学 工学部化学システム工学科）
教授

ラー社への出資、独ジーメンスのソレル社買収やアルキメデ社への出資、スイスのABB社によるノバテック社への出資、仏アレバ社のオースラ社買収、仏アルストム社のブライトソース・エナジー社への出資などがあります。

日本企業は後発のところがあって、まとまった動きがとれていません。そういう中で、今月、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトで三井造船と三菱重工業がインドに一緒に行かれるという話が出てきました。こういった動きが加速した方が日本のために良いと思います。

CSPの強みは蓄熱とスケールメリット

太陽光発電（PV）だと太陽の日射がある時しか発電できず、雲で日射が陰ると発電量の変動が大きくなります。これに対して、CSPは熱慣性と機械的な慣性によって、太陽が多少雲で隠れても安定した発電が継続できます。また、蓄熱技術やボイラを設置してハイブリッド化を使えば夜中でも発電できるので、24時間運転も考えられます。CSPの強みの1つは蓄熱です。もう1つの強みは、大きなスケールメリットです。大型化すると設備費も発電コストも低くなります。その点では、4つ

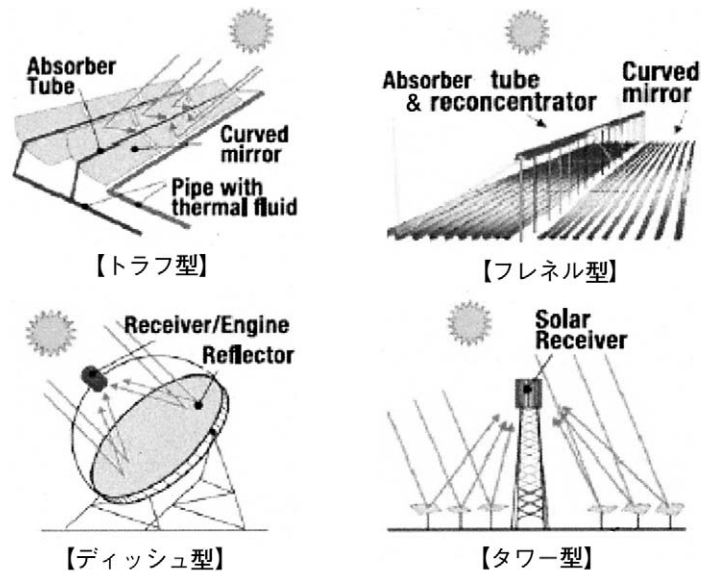


図1 CSP技術の一般的分類

のCSP技術のうち、タワー型、フレネル型、トラフ型の方がより強みを発揮できるのではないかと思います（図1参照）。

日本企業も3つの技術に特に力を入れ、蓄熱というCSPのメリットを活かす開発を進める方がいいと思います。

日本企業の取り組み事例

司会 次に、日本企業の取組みということで、江澤さんからお願いします。

アラブでのCSP実証試験

江澤 三井造船では、2008年末からアラブ首長国連邦（UAE）アラブでビームダウン式CSPの共同研究に参加しています。2010年からはCSP実験装置を稼働させ、フェーズ1では集光装置や制御系装置の性能・耐久性実験をしました。CSPのEPCコストと性能を評価し、2010年に最終レポートを取りまとめました。

今、フェーズ2では集熱レシーバーを追加架設して、集熱実証試験で効率実証と性能向上に取り組んでいます。2012年1月には最終レ

ポートをまとめる予定です。

当社では、二次元集光のトラフ型よりも三次元集光のタワー型のほうが高い温度の集熱が可能になり、大規模化によるコストダウンも図れると期待して、タワー型のうちの特殊なビームダウン式で実証試験を行っています（図2参照）。

集光性能の試験では、最高550℃ぐらいの温度が取れることが分かりました。1日の集熱エネルギーも直達日射強度（DNI）も建設地の南中時である12時半ぐらいにピークになります。しかし、雲の影響などで集熱量が乱れるところがあり、蓄熱という形で補完しないと安定した電気にならないかとも思います。

ヘリオスタット（自動集光装置）の技術では、例えばアベンゴア社は100m²ぐらいの大きな鏡を、eソーラー社は逆に、台数が増えても1つずつ動かす電力量が減るということで、1m²ぐらいの小さな鏡を採用しています。どちらがいいか、まだ当社として結論は出ておりません。今後のコストとの関連で結論付けられると思ってます。また、砂漠地帯にヘリオスタットを置くとかなり鏡が汚れます。5%、10%ぐらいの反射率の低下が収集エネルギー減に繋がりますので、いかに鏡が汚れないような技術を付加するか、あるいは適宜

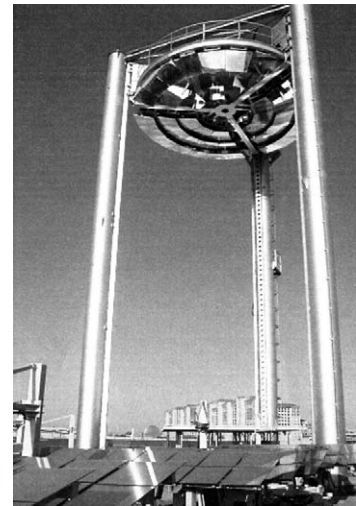
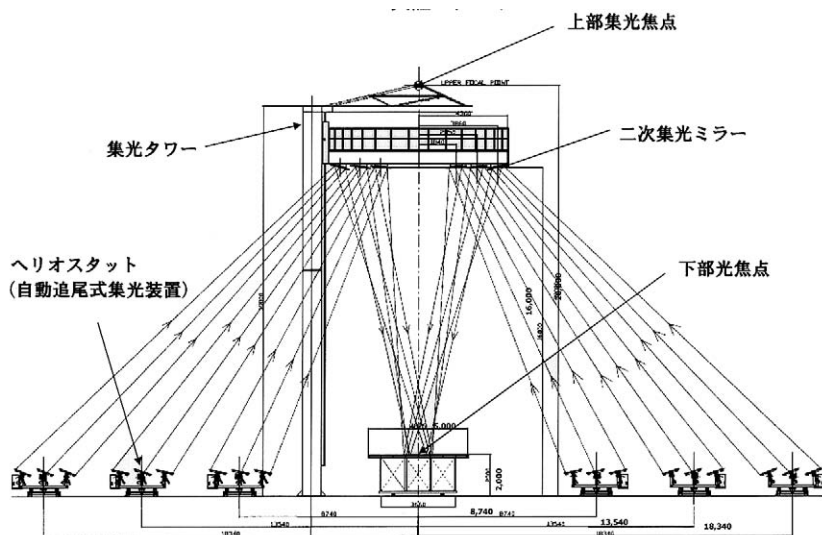


図2 ビームダウンCSP (100kWth実証プラント) のイメージと実証機の外観

要領よく洗浄するかなどのメンテナンスが、各社が今後考えていくところだと思います。

集光精度の点では、タワー型だとタワーの周辺に集光がそれてバラつきます。なるべく集光を1点に集められる技術が向上・確立すれば、必然的にタワーの小型化が可能となり、低コスト化につながるのではないかと考えています。

CSPというのは色々な技術の複合体技術です。タワー型CSPは、土木工事から発電までのかかなり大型の事業になります。今後、色々な技術企業の集団が活動できる市場として大きく伸びるのではないかと考えています。ということで、一企業ではなく、日本企業が連合として今後協業していければよいのではないかと考えています。

蓄熱とスマートグリッドの組合せ

2010年7月に公表されたNEDOの技術ロードマップでは、蓄熱をキーワードに、昼間の熱を夜まで使うという考え方が出されていますが、逆に、電力需要の多い昼間の発電を補完する方がいいという考え方もあります。私としては、蓄熱とスマートグリッドとの組み合わせで「総合的な技術コングリマット」として、国際競争力をつけていくことが今後の課題になるのではと考えています。

チュニジアでの技術実証事業

私どもは今、チュニジアでタワー型CSP (5 MWe) の事業化調査 (FS) を行っています。これは、CSPとガスタービンコンバインド発電 (GTCC) との複合発電プラントの建設を目指すプロジェクトの一環です。小川室長にも現地まで行っていただき、各種の調整をしていただきました。

当該国で発生した革命騒ぎなど「フォースモジュール」みたいな面は、企業だけではどうしても対処し切れないので、官民の協力体制が必要だと改めて思いました。

世界市場の流れ

司会 橋爪さん、マーケットの方から世界の流れについて説明していただけませんか。

スペインを中心とした欧州

橋爪 今一番CSPで注目を浴びている市場はスペインを中心とした欧州です。日揮も現在、スペインでアベンゴア社と一緒に、トラフ型CSP事業 (100MW) を行っています。

スペインでは、2012年までに1,500MWぐらいのCSPができる予定です。一部アベンゴア社やゲマソーラー社がタワー型CSPをやっていますが、タワー型の場合は10~20MWぐらいの発電容量です。その他のスペインでのCSPはトラフ型で、100MWぐらいのプロジェクトが数多くあります。

スペイン市場の次としては、日射条件が良いギリシャ、ポルトガル、トルコあたりです。しかし、CSPの場合どうしても、政府と民衆の負担となる「フィードインタリフ」(固定価格買取制度)に頼らざるをえないところがあるので、公的債務問題を抱えているギリシャ、ポルトガルでは、なかなか進捗が見られていません。

フランス、イタリアでも一部CSPができるところがあると思いますが、まだ思い切ったドライブがかかっている状況ではありません。

CSP推進を図る米国

米国では、「リーマンショック」も明けて、プロジェクトに積極的な動きが出ています。米エネルギー省(DOE)がプロジェクトコストの30%補助という積極的なプランを持っていますし、投資に対する税控除という投資家を集める方策も行われています。

米国ではDOEの補助金が価格面でのCSP推

進のメインですが、州によって、非常に厳しいRPS制度があります。カリフォルニア州では、2020年までに導入ターゲットに達しなかった場合、kWh当たり0.05ドルの罰金を科せられます。こうした制度が、米国でのCSPを後押ししていると思います。

有望なMENA地域

中東・北アフリカ(MENA)地域は日射量が非常に有望な地域です。UAEの“Shams 1”というCSP事業(100MW)をアベンゴア-トータル組が落札し、現在進めています。入札発表済みの事業では、モロッコのCSP(125MW以上で蓄熱付き)があります。

MENAではサウジアラビアがキープレーヤーになると思われます。アラブの盟主であり、電力需要が伸びている、日射が非常にいいといった好条件がそろっているからです。

ただ今後、MENAがCSPのための制度として欧州のフィードインタリフ、あるいはIPP入札のどちらに動くのなかなか予見が難しいところです。ただ、MENAの方々にはスペインや米国の動きを注視していて、法的枠組をどうするかといったところを非常によく検討されていると感じます。

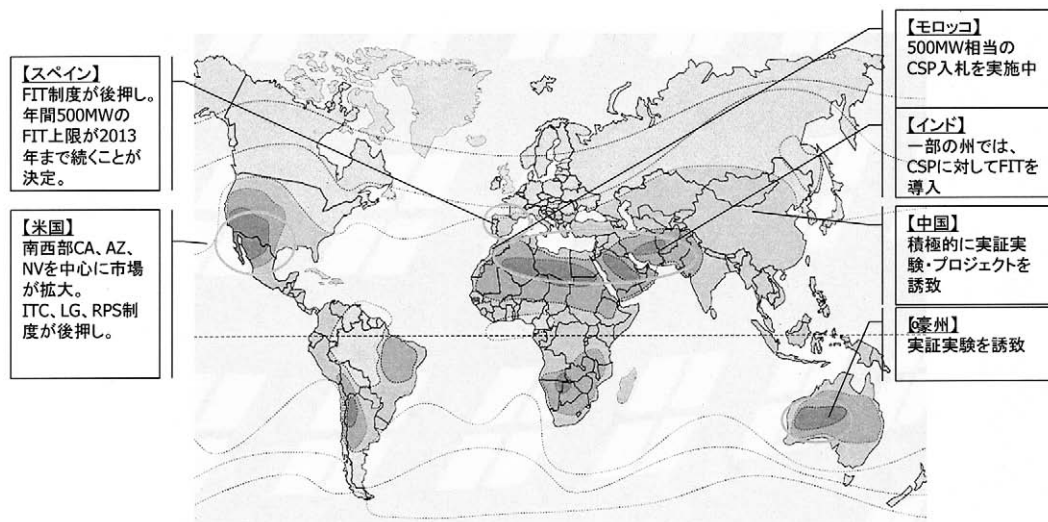


図3 世界のCPS事業の適正地

その他の地域

アジアでは、中国、インドが引っ張っていくと思われています。インドは一部の州でフィードインタリフを制定してCSPを進めようとしています。中国では内モンゴルあたりがサイトに適していますが、風力も開発されていますので、CSPをどのように開発、導入していくのか注視されるところです。

アジア大洋州地域では、豪州で「フラッグシップ・プロジェクト」があり、政府として導入を進めようとしています。

最後に、中南米では、日射の状況から、チリが非常にいいと言われています。具体的なプロジェクトについて、我々はまだ把握していません。



小川 祥直

(資源エネルギー庁 省エネルギー新エネルギー部 政策課 国際室長)

海外市場の特性

国の支援について

産業として育てていきたいCSP

司会 国としては、CSPの開発について、どのような方針でいるのでしょうか。

小川 私の部署、省エネルギー・新エネルギーの国際室では、新エネルギー、省エネルギー、スマートグリッドという3本柱を立てて、日本企業の国際展開を応援しています。CSPについては、産業としての発展を支援していきたいと思っています。

スペインや米国では、税制優遇や補助金でプロジェクトを後押しし、それに伴って国内市場が大きくなり、コストダウンを図った結果、海外に出ているという展開でした。ところが日本では、CSPの国内市場をベースに海外展開することができません。マーケットの大きさとコストを考えたときには可能性が小さいと思うからです。

[MENA]

MENAは欧州にとって大きな市場開発の地です。スペインやドイツ、フランスの企業に、米国企業も加わり、激しい市場競争が展開されています。

欧州では2020年までにCO₂を20%削減する目標がありますが、達成に向けて北アフリカでの再生可能エネルギー由来の発電も組み入れていいという制度があります。これが事業展開を後押ししています。

また、昔から欧州と北アフリカを一体化して「環地中海地域」を作っていこうというイニシアチブがあります。現在、ドイツ企業を中心とするデザーテックの構想、フランスの「地中海ソーラープラン」が動いています。

当の北アフリカ諸国は、技術さえあれば太陽の恵みが「金のなる木」になることに気づき、どのように自国に技術を移転してもらい、自国の産業発展を目指していくか検討しています。したがって、モロッコ、チュニジアでは、進出する方と受け入れる方との駆け引きがある所で、参入が簡単なマーケットではないという認識でいます。

[湾岸諸国]

湾岸は可能性が非常に高い所ですが、制度的な条件が整っていません。とは言っても、やはり「金のなる木」だということで、色々な企業が進出しています。湾岸で一番大きな動きがあるのは、サウジアラビアだと思います。サウジアラビアの場合、石油の枯渇という懸念、石油で外貨を稼げるにもかかわらず国内の発電所に安く卸していることによる機会損失の増加、人口増加に伴う経済発展による資源輸入超過国への転落という危機感があります。そこで、サウジアラビアは、再生可能エネルギーと省エネルギーに非常に力を入れています。再生可能エネルギーの柱の1つがまさに太陽光や太陽熱、原子力であって、彼らもどうすれば導入できるのか検討しているところです。

[アジアおよび大洋州]

アジアでのCSPの適地は、インド北西部のムジャラート州やラジャスタン州あたり、中国のゴビ砂漠に近い内モンゴルあたりに限られています。

豪州には「フラッグシップ・プロジェクト」があって、日本企業も今手を挙げているところです。こののところにどう食い込んでいくのか。ただ、中国にもインドにも投資規制があり、自国の企業で開発していきたいという方針がありますので、参入は難しいんだらうと認識しています。

[北米および南米]

米国のCSPは、南西部のカリフォルニア、ネバダ、アリゾナ州が中心で、南米はペルーが中心になっています。南米については、やはりスペインが自分の市場だと思っているところがあります。そのうちに、アベンゴア社やアクシオナ社がインフラ系、ゼネコン系の会社と組んで、CSP事業が動き出すと思われる。そこにどうやって入り込んでいくのか考えなきければいけません。

市場特性に応じた支援の方法

では、どういうふう支援していくのか。海外の市場状況に応じていくつかの方法があると思います。例えば、日本からの政府開発援助(ODA)の相手国でもあるモロッコ、チュニジアのような国であれば、国家と国家の関係を結んでいく中で、進出することが考えられます。

サウジアラビアを始めとする湾岸諸国であれば、石油やガスとの関係で、すなわち、二国間関係で話を進めていくことになります。制度が整備され切っていないのであれば、日本政府から制度整備のマスタープランを提示するとか、制度を整える段階で専門家を派遣するなりして一緒に作り上げていくこともできると思います。

ODA機関の活用

商業ベースであれば、国際協力銀行(JBIC)や日本貿易保険(NEXI)といった輸出信用機関(ECA)をうまく使っていく方法があります。技術実証ならNEDOが30億円を支援するというスキームがあります。

ドイツ、フランスの企業と比べて日本企業に少し欠けていると思われるのが、ODA機関の活用です。融資条件が緩やかなお金(コンセッションナルローン)を借りてきて、技術を実証し実績を作って、コマーシャルな世界に入り込んでいくという形です。国債協力機構(JICA)は、EPC(設計・調達・建設)契約だけを対象に、しかも日本ポーションを最低3割ぐらいとする「ステップ」と呼ばれるスキームは持っています。なるべくそういうのをうまく活用して海外展開していただきたいといます。

コンセッションナルローンだけでなく、世界銀行のグリーン・テクノロジー・ファンド(GTF)、グローバル・エンバイアロメント・ファシリテイ(GEF)とか、アジア開発銀行(ADB)の融資もあります。モロッコ、チュニジアのCSP事

業では、世界銀行のGTFやGEF、欧州復興開発銀行、アフリカ開発銀行から低金利で借りて使う企業が多いのではないかと思います。

支援の目的はコストダウン

支援というと「研究開発にお金を注げばそれでお仕舞い」というような風潮が感じられるのは非常に残念です。分野を絞り、そこに特化する支援が大切だと思います。例えば、太陽熱発電なら発電効率をいかに高めるか、蓄熱効率をいかに高めるかが大事です。蓄熱であれば溶融塩がいいとか、それに代わるものがあるとか、色々な話があります。

支援は何のためにやるのかというと、とにかくにもコストダウンのためだと私は思っています。新しい技術を開発することが大事なのではなく、いかに効率的で安い技術を開発していくかが大事です。CSPは壮大なエンジニアリング技術ですから、エンジニアリングでいかにコストダウンを図り、スケールメリットを活かすか。これはスペインや米国の企業が今まさにやっていることだと思います。本来は、そこをゴールとして支援すべきではないかと思っています。

組み合わせで高める付加価値

CSPと蓄熱の組み合わせは当然として、スマートグリッド、海水淡水化設備との組み合わせ、ガス焼き発電所との組み合わせ等々。こういったハイブリッド型で付加価値をつけて他の国と伍していくという考え方もあると思います。

やはり日本は後発です。この状況をどう引っ繰り返すのか。例えば、中国であれば、安いパネルを大量に欧州に輸出してシェアを稼ごうとしています。風力でもとうとう累積でデンマークを超えて中国が一番になりました。そんな状況の中で、我々はどうやってマーケットを引っ繰り返していくのか。役所側だけでなく、皆さんと一緒に考えていく話だと思います。

CSPでの海外展開に向けた課題

タワー型で図る効率向上とコストダウン

橋爪 発電コストの低減に焦点を絞るところは日揮も賛同するところです。コストダウンのためには、プラントコストを下げる、効率を上げて発電コストを下げる、この2つしかないと思います。

トラフ型では、例えば鏡を大きくして効率を上げる試みはなされていますが、形状についてはそれほど改善の余地はないと思います。

一方、タワー型、ビームダウン式だと、アベンゴア社やeソーラー社でも、ヘリオスタットの鏡の大きさや配置、タワーの大きさ、集熱器に使う材質を違えて、試行錯誤しているところです。日本企業としてもそういったところでどんどん開発していければ、入り込む余地があると考えています。

司会 私も技術開発では、タワー型がかなりまだ日本が入る余地があると思います。

吉田 トラフ型でも、米国やイタリアでは溶融塩を使うとか、スペイン、ドイツでは蒸気を作るとかの動きがあります。しかし、温度を上げて効率化を図るにはタワー型で、ということになると思います。ただ、タワー型の一番の問題点は、ヘリオスタットのコストをどのくらい下げられるかでしょう。

どこの国もそれを考えてやっていますが、解決策は十分出ていない。その辺は日本企業も入る余地があると思います。

江澤 コストダウンのためには、やはり現地とのコネクションができて、現地で作れるものは現地で作るということが重要になると思います。例えば、現地でCSPを作る産業が育成できれば、お互いにメリットがあります。

そこで今、チュニジアの案件でも現地業者を当てるなどして、現地での技術的能力と製造コストを探ろうとしています。そういう「技術のグローバル化」が、プラントコストを下げるには必要だと思いますね。

吉田 確かに、北アフリカ諸国で必要なのは電力と雇用です。これらを確保できるプロポーザルが必要ですね。例えば、メンテナンスをバリューチェーンに組み込めれば、より多くの現地雇用が生まれ、日本企業のプレゼンスも上がってくると思います。

司会 コスト面で日本が、韓国、中国に追いついていくのは難しいかも知れませんが、しかし、コストはある程度高めでも信頼性のある技術を提供するというのが日本の参入の仕方という考え方もあると思います。ただ、日本は日射量が豊富でないため、技術力を高めるためには海外で開発しなければいけないハンディキャップがあります。その中で、信頼性の高い技術をどう作り上げていくかが問題だと思います。

技術開発に日本が乗り出すとすれば、分野として、タワー分野に入っていくのが正解なのか、それともまだトラフでできることがあるのか。

江澤 トラフ型の場合、技術のキーポイントは集熱管だろうと思います。集熱管製造は、独ショット社、イスラエルのソレル社を買収した独ジューメンズ社が独占しています。トラフでいくとなると、2社から集熱管を買わなきゃいけない。三井造船としては、少し躊躇するというのが現状です。

橋爪さんが言われたように、最終的にはコストが開発の方向性を決めるのだと思います。現状を鑑みると従来のトラフのメーカーがタワー型に出たがっているとの情報は、やはりエネルギー変換効率や温度の問題をベースに、商業機へのコストダウンの問題だとかが背景にあるのではと思っています。



江澤 一明

(三井造船(株) 機械・システム事業本部
事業開発部 主管)

吉田 トラフ型は、二十数年運転してきて、銀行も融資しやすいし、プラント数も多いです。プラントを作る方としては、トラフ型が安心という面があります。しかし、デベロッパーにとっては品揃えが多い方が良いかも知れません。

アベンゴア社のように、ほとんどすべてをやっている方がどれにも対応できていいのかも知れません。今までトラフ型だったソーラーミレニアム社が、タワー型やフレネル型をやり始めるようだとか、そういう多角化の動きは確かにあります。日本企業もゼロから始めるより、ある程度成熟したところから技術導入して品揃えだけは多くしておく方がいいんじゃないかと思います。

集熱器については、最近、イタリアや中国のメーカーも作り始めて、選択肢が増えてきました。日本でも何社か開発したいとおっしゃっています。メーカーの数が増えてくれば集熱管の値段も下がっていいですね。

橋爪 やはり、新しい技術分野、タワー型なり、ビームダウン式で早く銀行が融資可能なプロジェクトを作ることが重要だと思います。例えば、三井造船殿の実証試験がうまくいって、次にもう少し規模の大きな施設を作ったら融資可能になる。そうしたら世界中が認知する。そういう

ふうにもっていくのが重要だと思います。

吉田 そうしたらさっき小川室長が言われたように、世界銀行も金を貸しやすくなるかも知れません。

橋爪 そうですね。

司会 そうすると、現状だと新技術をコアにしていこうということになりますか。

吉田 新技術というのは、基本的なアイデアを工業化する技術だと思うんです。基本的なところは海外から技術導入して日本が育てていく。そんな技術かなと思います。

司会 トラフ型のコスト割を見たら、反射鏡が11%、レシーバーが12%。タワー型だとヘリオスタットが43%、レシーバーが18%です。ヘリオスタットの鏡の部分で主導権を取らないと、なかなか世界のリーダーになっていけないと思います。

司会 タワー型では今後、蓄熱系に関する技術開発もますます活発になると思います。世界の動向を含めて、日本がタワー型でどのように技術開発に参入するのか。チュニジアではタワーをどうするのでしょうか。

江澤 タワー型CSPにおいて、集光技術に関してはほとんど分かってきました。どれだけ太陽光を集めるか、そのためにはどういうふうに鏡を動かすことが重要か。ヘリオスタットの構造的な話ですと、鏡、モーター、制御ぐらいがキーテクノロジーです。また、やはり鏡の汚れというのは大きい問題要素です。CSPを砂漠で行う場合、鏡が汚れると、10～15%ぐらいのエネルギーロスになります。逆に言うと、100台のヘリオスタットを並べて15%のエネルギーロスとなると、115台を用意しておかないといけない。これはコストアッ

プにつながります。また、常に洗わないといけませんので、鏡の技術が1つ大きな要素です。ヘリオスタットをいかにメンテナンスフリーに近いものにするかが課題になります。

集熱、レシーバーに関しては、日本の技術として集熱レシーバー技術の大部分は完成された技術があると思います。日本は火力発電とかでずいぶん各社が技術を持っているので、熱さえ来てしまえば、タービンを回して発電というところは非常に得意なわけですね。そうすると、いかに効率よく熱を集めるか、その熱交換の効率をいかにうまくするかというのがCSPの技術のキーです。

児玉先生が言われたように、日本の技術の中でやっぱりタワー型CSPというのは、まだ十分に技術的完成品ではないし、今後幾つか技術開発の要素が必要であると認識しています。それも勝てる技術という方向性は見えてきました。例えば、汚れない鏡、集熱のところの作り方、あるいは熱をいかに発散しないようにするかということころは、かなり日本が得意としている技術分野だという感じがしています。それらを踏まえて、チュニジアでは新技術の導入を模索していくつもりです。

吉田 米国では2010年度から、今までの開発の重点がトラフ型からタワー型へシフトしています。600℃ぐらいの高温化と蓄熱を重要視しています。つまり、ベースロードに近い運転ができるようにしようということです。

米国でも困っているのは、タワーの高温化技術です。高温化と蓄熱の両方を満足させる熱媒体がなかなかないということです。今まで蒸気を作っていたeソーラー社も熔融塩を暖めるという話になっています。

米国もまだ方法論が明確になっていませんから、日本企業もいいアイデアがあれば参入チャンスは十分あるかも知れません。

橋爪 鏡の汚れの問題についてですが、日揮がスペインでやっているトラフ型の鏡用には、

専用の洗浄車があります。ガソリンスタンドの洗車機を逆にしたようなものです。僕らはタワー型も考えているんですが、確かにヘリオスタットをどう洗浄するか非常に難しいところがありますね。

造水コストも高いので、例えば米国のCSPプロジェクトでは水冷型でなく空冷型のプロジェクトもあります。空冷型にする分、効率が落ちるといふところもあり、鏡の汚れは非常に問題ですね。

総合エンジニアリングで図るコストダウン

小川 私のところでは太陽熱の研究會を開いたとき、今後の方向性に関するペーパーに「日本はタワー型に行くべし」と書いてあったんです。私は「何でタワー型だと決められるんだ」と思ってしまいました。なぜかという、結晶とか、白膜とか、そういう太陽光であった議論をまた繰り返すのかという思いがあったからです。

むしろ、これからどういふふうには総合エンジニアリングでコストダウンをし、相手の要望に答えていくのか、というのが僕は重要なんじゃないかと、若干歯がゆい思いをしながら見ているんです。

信頼性の話では、我々も誰が何をもちて証明するのか議論しています。どうやって信頼性が認証されるか、これを作るのにまた何年かかるか分かりませんという話です。太陽熱発電の国際標準もまだないわけですから。

太陽熱の世界では「コマーシャルバイアブル」（商業的に実現可能である）というのが1つのキーワードですよね。どうしたらコストダウンも図り、銀行が融資しようとする形にもっていけるかが、まず一般論としてあって、その次に国との関係でどう攻めていったらいいかを考えていくのかなと思っています。

橋爪 特定の技術で一番を目指すのか、総合エンジニアリングをやるのか、非常に難しいところだと思います。

アベンゴア社は技術開発もEPC、O&M（運営・維持管理）も全部やっています。では、例えば日揮が同じことができるかどうか考えていけないといけないと思います。その時に、どこと一緒に事業を展開するか、どんなパートナリングがいいのか考えながら、色々模索しているところです。

相手国のニーズに合せた方式でコストダウン

吉田 さっき、温度を高くするというのが1つの方向性だという話があったんですが、本当にそれだけでいいのかと思います。高効率発電でなくても、アブダビでやっている「ソーラークーリング」のように、熱供給だけでいいという場合もあります。その場合、それほどパワーが要らないので、今のフレネル型や小さなトラフ型でもいいかも知れません。そういった商品のバリエーションを持っていた方がいいのかなと思います。総じて高温の方が高コストになります。必要な温度が中温度ならもっと設備費の低いシステムで十分だと思うんです。

特に、発展途上国の人達は、それほど金もないでしょうから、なかなか高い費用で高効率のはなかなか入りにくいかもしれない。フレネル型で低コストというのが良いのかも知れません。そういうことで色々な使い分けがあると思っています。

小川 そうなんです。僕もやっていて思うんですが、「カロラ10台欲しい」という人いきなり「ベンツ買って下さい」というところがあるんです。企業単体でのマーケティングもあるでしょうし、国と一緒にしたマーケティングというものもあるでしょうが、そういうところを考えなければいけないかなと思います。

海外展開のための企業連合

江澤 CSPの市場で、一企業が単独で海外の先行企業に立ち向かうのは、相当難しいのではな

いかという気がしています。日本企業は先ほどから議論になっているCSP技術でのコアになる技術を持っています。耐久性の良さ、コストの安さなど日本企業が得意なところは結構あります。CSP事業創生の段階では、最初は企業間で協業できるところは協力して立ち向かわないといけない。誰かが音頭をとりながら、得意分野の企業連合の中でやっていくことが必要だと思います。そのあとで、各企業が力をつけて各々事業展開を図っていくのではないのでしょうか。

吉田 世界省エネルギー等ビジネス推進協議会（ビジ協）とかでやられたほうがいいのではないですか。

江澤 海外から私どものところへ色々なCSPの問い合わせ情報 comes なんですが、一企業で処理・回答しきれないと認識された時に、折角の情報をどこへ振っていいか分からないといった時に、ビジ協のような受け皿に振ってもらうなりして、参加企業が協力して得意分野で提案していきこうという形がないと具体的な案件形成につながらないし、チャンスを逃すことになるという気がします。

アブダビなどでの経験から言えば、技術にしても、海外の企業が結構入っているところに一企業では対応しきれません。先ほど橋爪さんが言われた、EPC、O&Mまでを日本の一企業でやっていくのは今の段階では無理ですから、日本の得意分野、鏡なら旭硝子に非常に高い反射率のガラスを提供いただくというようなところの組み合わせ、それを全部頭の中に置いた上で、エンジニアリング会社がコントロールするという形が一番勝てるシナリオかなと思います。

司会 インターフェースといいますか、外国企業が日本の技術を使いたいといったときに、顔になる企業連合をどうやって作っていくか。国として何かお考えがあるのでしょうか。

小川 なかなか難しいです。企業間で「組め

る、組めない」の話もあるでしょうし、国としてどう入っていくのか考えどころだし、逆に変に介入すると民業圧迫になるので、動きづらいところがあると思っています。

江澤 アブダビで三井造船がシミュレーションしているのは、集光と集熱の技術ですが、その技術を三井造船だけが持っていないかもしれないので、開示できるところは開示していかないといけないと思っています。要はCSPのプロデュース案件に日本の企業連合で乗っかっていって得意分野で協業していくイメージを持っています。

日本企業に足りないのは「経験」

小川 そういう技術の話は私もよく聞きます。実は一つ一つは当然のごとくクリアされてなきやいけないし、考える人は実は日本人だけでなくその国みんな一緒なんですよ。僕は、どんな世界においても、日本人は基本的に強みを伸ばして弱みを補完するという考え方でいるべきだと思います。

例えば、「日本の省エネ技術はすごいです」と言われます。でも日本で省エネ技術が流行るのは日本人の一人一人が「もったいない」という文化的なものもあって、それが後押ししている部分もあるでしょう。それでBEMSとかHEMSとかの技術が育てられた部分もあるんでしょう。あるいは、工場でいかに電気を使わないで済むようにするかとか、そういうシステム的なことを考えるんでしょう。

それとアナロジーで考えた時、太陽熱という再生可能エネルギーで電気を安く作り出すという点における総合的な技術というか、総合的なフォーメーションとかはどうなんですか。そこにこそポイントがあるという気がします。個々の技術よりもむしろそういうところ、全体の総合設計をどういうふうにするのか、実際にどういうふうにするのか。僕はまさにそこが鍵だと思っています。

司会 例えば日揮が、総合的に受けてやる場合、日本企業に足りていないのはどこですか。

橋爪 太陽熱発電所を動かした経験、O&Mのところですか。小川室長がおっしゃった、総合的に最適なプラントを作るには、O&Mでの経験を基に、限界設計を考慮しないとイケないところがあります。例えば、「タワー型を設定してみろ」と言われたときに、大体の設計はできて、O&Mの経験がないので、限界設計、最適化設計ができません。O&Mの経験を積むことが非常に重要だと思います。

小川 「タービンと言えば三菱重工業」と言われますが、アクシオナ社やアベンゴア社とかと一緒にやっているのは、ジーマンスだったりします。

発電部分ですら日本企業は大丈夫なのかなという気がしないでもないんです。

吉田 米国カリフォルニア州で25年以上商業運転を続けているSEGS・CSPプラントのタービンは三菱重工業製です。そういう意味では、経験がないわけではありません。ただ、最近はジーマンスがほとんど取ってます。それでCSP特有の癖とかを眺みながら開発しています。

江澤 そうなんです。CSPの場合、相手が太陽であるので受け取るエネルギーが不安定になることが前提で、タービンにかなり負担がかかります。日本のメーカーがCSP用のタービンを開発しきれていないのには、その経験不足がありますね。

実績を示せないと、世界が日本の技術を認めてくれません。実証という形で示すことが、チュニジア案件での成功が我々三井造船の責務だと思っています。チュニジアでの実証試験でも、日本のメーカーから新しい技術をご提案いただければ、各社のご提案機器を持って行って、現地で比較検討ができたらなあと思っています。



橋爪 健

(日揮(株) 営業本部 事業開発営業部
インフラ事業 マネージャー)

経験を積むために必要な実証試験フィールド

吉田 日本の部品メーカーもなかなか実証試験ができていないので、そういうチャンスがあれば、世界に打って出るきっかけになりますね。

江澤 そうです。CSPで日本のプレーヤーが足りない理由として、実証試験フィールドがないために、自分たちに何ができるかも分かっていないということがあります。少しずつフィールドを作っていけば、そういったメーカーも集まってきます。今はまだそのフィールド作りの段階かなと思っています。

日本でCSPに関わるプレーヤーが足りないのではなく、実証試験フィールドが足りない、経験が足りないということなのでしょう。

司会 実証試験フィールドが足りないというのは私も15年ぐらい前から感じています。ドイツの集熱管の開発では、ドイツ・スペイン両国の国立研究所が対応して、ドイツで作ったものをスペインの国立研究所で実証し、スペインでの事業へと展開していったものが数多くあります。

問題は、日本にそういう中心となる国立研究所がないことです。日本に国立研究所レベ

ルの中心になるようなところがあれば、展開力もかなり違ってくると思います。

小川 国立研究所ありきではないと思います。国が旗を振り、「国が言うから集まってきました」というものに、うまくいった例はあまりない気がします。例えば、「皆で売り込むぞ」と国が声をかけビジ協を作りました。最初の2年ぐらいいは、「何で私たち集められたんでしょう」という感じだったらしいです。

本当に必要なら国からお金を引っ張ってくる、企業も出資し、それなりの人材を出し、それなりの行動をするはずですが、したがって、国立研究所ありきではないんです。どうやれば皆が集まれるアジェンダを設定できて、そこに皆が労力やお金を出し合っていていいのか、本当に真剣に考えないといけないと僕は思っています。

橋爪 顔となる企業、企業の中でも顔となる人間が出ていかないといけないと思います。しかし、民間では相手国の政府機関とわたり合うことが難しいので、そこは、官の方でリーダーシップを発揮していただく人間が絶対必要だと思います。官の人事ローテーションというものもあるでしょうが、できれば長い間、引っ張っていただきたいと思うわけです。

司会 ソーラーPACESの会議では、国立研究所や政府の人が代表になったりしていますが、20年も30年も同じ人が代表を務めて、コントロールしています。

それから、実証試験フィールドがないという問題。欧州の国々、米国ではそれが少なからずあります。国立研究所が持っているケースがほとんどです。日本で難しければ、海外でもどこか安定した日本の実証試験フィールドがあればと思いますが。

橋爪 実証試験フィールドの問題でも、小川室長が先ほどおっしゃった、どこを目指すか、

補完できる国がどこなのかをよく見極めないといけないと思います。今、世界が応援しているのは、モロッコ、チュニジアですが、日本としてもどこと組むのか。

小川 「危険だ」という理由で、日本企業の皆さんは南アフリカへは行きたがりません。ところが、フランスのソーラー・ユーロネット社は、250MWのCSP事業の話でスーダンへ行ったそうです。100MWと150MWのCSPがあって、片方を紛争のあったダルフルでやると言っています。戦乱で荒れたダルフル地域の下には地下水資源があるので、CSPの電力で汲み上げて、砂漠を緑化するという話です。戦乱の地を平和なユートピアにするということで、実際、プロジェクトとして進もうとしているらしいです。そうやって果敢にやってくる企業も存在するんですよ。

日本もどうやって形だけじゃない体制を作ったり、気運を高めてやっていくのかが大事なのではないかと思います。なので、児玉先生には、例えば、「経済産業省太陽熱何専門シニアアドバイザー」の辞令を交付させていただいて、太陽熱発電の世界で20年かけてまとめていただいたりすると、大分感じが変わってくるかも知れません。

ソーラーPACESへの日本政府の参加

吉田 ソーラーPACESのExCo (Executive Committee) には、IEA参加国だけでなく、中国、韓国、サウジアラビア、南アフリカといった国々も参加しています。

CSP、燃料化、プロセスヒーティングなどの専門家が集まり、お金を出し合っていて実験をやったり、そのデータを共有化したり、標準化の話とかをしているらしいです。

今回のソーラーPACESの会議では、江澤さんが今後苦労しそうな、標準化の話もあります。

江澤 参加するには、どういう手順を取れば

いいんですか。

吉田 基本的に国単位での参加ですから、日本政府に入っただけでいいと思います。

小川 日本は入っていないんですか。

司会 入っていません。30年ほど前、香川県仁王町で太陽熱発電の実験をやった時は入っていたらしいです。その実験がうまくいかなかったから分かりませんが、その後、やめてしまいました。

技術開発者と研究者だけのタスクミーティングもあって、私も過去に何度か出席したんですが、今は参加させてもらえなくなりました。ソーラーPACESに入っていないと、国レベルの交渉や技術に関する情報交換とかから除外されてしまいます。

小川 ビジ協、もしくはNEDOを入れて皆さんで声をあげていただければ参加を考えます。皆さんで「こうじゃないとおかしいでしょう」という感じで盛り上げていただくと同時に、「自分も参加します」と言っていただけるとありがたいです。

電機業界でも、例えば、省エネ基準の設定に、色々な企業の方々が興味を示されるのですが、誰もまとめ役になりたがりません。問題があったら対応するという姿勢です。ですから、体制や人ぐりとかの意識がしっかりしていて、皆でやりましようとなれば、ソーラーPACESへの国の参加も全く問題ないという感じがします。

小川 あと、国がお金を出すとなった場合、予算要求とかが関係してくるので、ソーラーPACESへの参加がどういう位置づけなのか気になります。

司会 確か、年間1万ユーロ程度をメンバーシップ料として事務局に払うんです。あと、

日本側で事務局員を1人確保すればいいんです。それこそ吉田さんでもいいわけです。

ExCoミーティングが年に2回ぐらいあります。国回りでやっていますが、それを招集します。それから年1回の学会があり、それも国回りで主催するというのが参加国の仕事になります。

おわりに

経験を積むための実例

司会 今日の座談会では、技術的な課題としてトラフ型とタワー型の比較の話がなされました。私としては蓄熱系の話も展開したかったんですが、時間がなくてできませんでした。

企業のこれからの要望との関連では、実証試験フィールドが足りないために、経験が足りないという問題点が浮き彫りになりました。では、今後どうやって日本企業が経験を積んでいくのか、国として実証試験フィールドを用意してくれるのか、それともどこかの国と共同で実証試験フィールドを確保していくのか。

その点で、三井造船はどういう経験をされているのでしょうか。今回チュニジアでは、日本は集光系をやり、タービンなどはチュニジア側がやるのだと聞いていますが。

江澤 はい。タービンはチュニジア側が用意することになっています。ガスタービンコンバインドサイクル（GTCC）とタワー型CSPとの複合システムのFSを進めていきます。

司会 それだと、全体の経験の半分ぐらいということですか。

江澤 独立したCSPの実証経験にはならないかも知れませんが、受け手側（蒸気タービン）へ送る熱量の制御を、適正にしなきゃいけない

いというのは当然上流側の当社の責任になりますし、経験も積めると思います。

司会 インドのプロジェクトではどうなのですか。

江澤 インドのグジャラート州、ラジャスタン州を中心とした、デリー・ムンバイ産業大動脈（DMIC）地域で、適正なインフラが揃っているか、太陽熱が十分あるかなどで、CSP事業の可能性を探ります。

インドでは、日本貿易振興機構（JETRO）がFSを1回やったんです。その時は建設予定地を仮確定して発電コストまで試算しました。その結果は、商業化プラントとしてフィージブルではないというか、かなりの条件が整った上でのフィージブルであるとの一応の結論を得ました。これは、予定地の建設的条件やDNIの条件による難しさがベースにあったと認識しています。

そこで、インド側と日本側の問題点というか必要条件などを抽出しました。今回のFSは、それを踏まえたうえで、再度最適地を探そうというものです。

20MWぐらいのCSPを設計して、DMICのこの辺だったら適正地だろうということが今回のFSの結論になります。細かい、例えば技術の実証というFSではありません。

吉田 チュニアでやっていることの前段階に当るのですね。

江澤 そうです。インド側に適正地を提案する段階です。何MWのCSPを作るかは、その後のインド側の要望事項とのすり合わせで決めていくものと考えています。

吉田 国としても、多分インドあたりは注目しているんでしょうから。

江澤 DMICは鉄道建設がメインです。新幹線



吉田 一雄

（財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員）

を通し、それに沿って産業を興そうという話の中の1つとして太陽熱発電をその周辺に建設できないか？というのがインド側の希望です。

実証試験フィールド確保の重要性

司会 国の支援は、これからということでしょうか。IEAのソーラーPACESに入ってもらい、国としても太陽熱分野をリードしていく方向に向かってくれればありがたいですね。経済産業省の方で考えてくれるということで、それを期待したいと思います。

経験を得るための実証試験フィールドを作らないといけない。それから、企業連合の仕組みを作っていかなければならないというのが課題だと思います。

江澤 日本国内で実証試験フィールドがほしいという話がありますが、そういうのは必要なのでしょうか。

吉田 あった方がいいと思います。例えば、開発した部品を評価したいとき、中東でやるとなると、部品輸出になるという問題があります。

司会 学においても海外と共同研究開発をやる場合、その点は大変なんです。研究開発し

た装置を海外の研究機関でフィールド試験する場合、装置を海外に持って行くのに税金を取られ、送料もかなりかかる。評価が終わったら、日本へ持って帰らないといけません。

吉田 DNIが低い日本で、ある範囲内でデルタティーを測っても、それはそれで非常に役立つんじゃないですか。

江澤 その実証試験フィールドは国の研究施設みたいにしていただいて、学も来るし、産も行けるという形にしていただけると良いですね。

国の支援でCSP実証試験フィールドを作っていたきたいというのが1つの希望です。

司会 韓国の研究機関とよく共同研究をやっているのですが、韓国は既に1.2MWth程度のタワー型を建設している。発電量200kWeのテストプラントとして建設しました。国立研究所のKIER (Korean Institute of Energy Research) には45kWhの太陽炉もあります。つまり、実証試験フィールドがそろい始めています。韓国側からは、ちょうど欧州のドイツ・スペインの関係のように、日本で新技術のシーズを開発したら、韓国の実証試験フィールドで試験するという日本と韓国での「アジアソサエティ」を作ろうという意見をよく聞きます。ちなみに、中国も発電量1MWeのテストプラントを建設しています。国内で経験をつめるという点でアジアでも日本は遅れ始めています。

江澤 韓国は日本とDNIは変わらないのではないですか。

吉田 むしろ日本の方がいいかも知れません。

江澤 それを韓国が作ったということは、韓国はフラッグシップを1つ作ってみせたということですか。

司会 技術面でかなり進んでいる米国、欧州

の技術を使っても、安く作れるという自信が韓国にはあります。インド、中国がメインターゲットだけれども、米国、欧州、中東へも安く提供できるということで、ビジネスにつなげていこうとしているんでしょう。

吉田 DNIが低くても、自国である程度技術を育てて、海外に出す。

江澤 このDNIでこういうふうにできました。こっちのDNIだとこのような成果が出ますとの結果を示せるんでね。

橋爪 シミュレーションができますね。

吉田 少なくとも自国に実証試験フィールドがあれば小回りがききますしね。

江澤 そういう意味ではやはり日本でも実証試験フィールドが欲しいですね。

橋爪 そうですね。

江澤 それは企業連合の中で、もちろん国も含んだ中で、そういう研究施設があるといいですね。

吉田 その受け皿がないと、本当に何もできないですね。

江澤 例えば、日本国内で実証試験フィールドを作るのがだめなら、どこかの国に日本のプラントを建ててもいいんですか。

司会 そういうのもいいですけど、出ていくのは大変でしょう。

司会 まず、40kWhぐらいの小さい太陽熱試験施設が国内に必要でしょうね。外国に出ていくときには、1MWthぐらいは日本で試験できることが理想だと思います。それ以上の3

MWthとかは外国でもいいのかも知れません。1 MWth級はフランスも持っています。ドイツも新しく建てました。タワー型は実証サイズとして、1 MWth, 5 MWthぐらいはサンベルトでなくても技術開発国なら持っています。

司会 橋爪さんから最後に要望したいことはありますか。

橋爪 皆さんの発言の中で非常に納得できるご発言が多くて、勉強になりました。こういう機会もどんどん活かして、日本全体で盛り上げていく形になればいいと思います。

吉田 30数年前の失敗を教訓に、CSPは今回ぜひ成功させたいと思っています。日本は出遅れたところがありますが、トラフ以外の技術については、企業がいいチームを作ればどうかなと思います。そのために、産官学でチームを組んでいきたいと思っています。よろしくお願いします。

江澤 議論にありましたチュニジアを始め、当社が経験したことで開示できるところは開示したいと思います。また、その次の次ぐらには、ぜひ見に来ていただきたいと思います。アブダビの方でもまたそういう形でご案内させていただけたらと思います。

司会 最後に、やはり人材が足りないんじゃないかと思います。人材育成をやる実証試験フィールドを国の力で日本に作っていただきたいと思います。また、国がソーラーPACESに入って旗を振っていただくと、我々研究者も企業の方も非常にやりやすくなると思います。

今日は拙い司会で申し訳ありませんでしたけれども、どうもありがとうございました。

[寄稿]

ジャイロ式波力発電システム

神吉 博 (神戸大学名誉教授
 ㈱ジャイロダイナミクス副社長)



1. はじめに

1973年の第一次オイルショックを契機に本格的に始まった波力発電の研究開発は、数多くのアイデアが試されたが、日本では実用レベルに至らず⁽¹⁾ ⁽²⁾ 研究開発も低調になっていた。近年、地球温暖化防止の観点から、自然エネルギー活用の気運が高まり、風力発電、太陽光発電、バイオマス利用に次いで波力発電も欧米を中心に開発が本格化し、実用化も進められるに至った。⁽³⁾ - ⁽⁷⁾

しかし、現状では建設コスト、発電単価共に風力発電に遠く及ばず、さらなる改良や技術開発が求められている。このような状況を打開する1つとして、著者らは新しくジャイロ式波力発電を提案し、ここ10年にわたり研究開発を進めてきた。⁽¹⁾ ⁽⁷⁾ - ⁽¹¹⁾

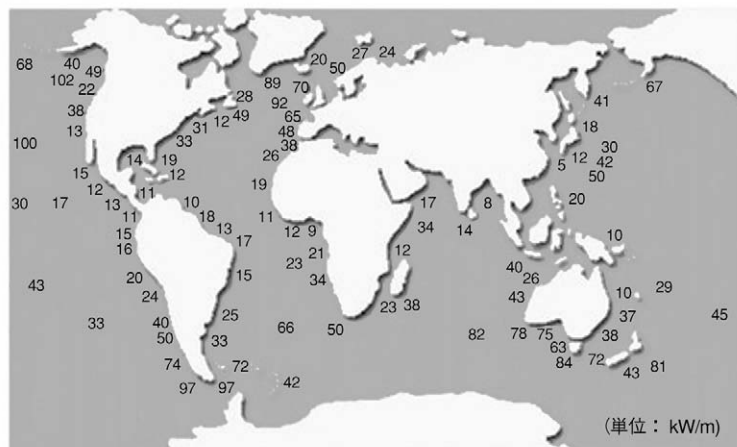
本稿では、その原理や開発状況と今後の実用化構想について紹介する。

2. 波力発電の特徴

波力発電は主に海の波を利用する。波力を太陽光、風力と比べ何が特徴かと考えると、次のようになるであろう。

- (1) 波エネルギーは元々太陽光エネルギーであり、太陽熱から風が発生し、風力エネルギーの一部が変換されて波エネルギーとして蓄積されたものである。
- (2) 波エネルギーは風力エネルギーに比べ、短時間変動が少ない。
- (3) 波エネルギーは比較的エネルギー密度が高い。

この波エネルギーは地球規模では図1に示のように広く分布しており⁽³⁾、北半球では中緯度、南半球では高緯度の領域に波エネルギーの高いところがある。波エネルギーの総量は表1⁽⁵⁾に示すように年平均で0.92TW~9.2TWと推定され、海洋エネルギー資源の中でも最も多い。その一部でも利用できれば相当量の二酸化炭素(CO₂)削減やエネルギー供給



(出所: <http://www.pelamiswave.com/wave-energy/the-resource>)

図1 波力エネルギーの分布⁽⁵⁾

表1 海洋エネルギーの総量

	海洋エネルギー				
	潮汐	潮流	波浪	海洋温度差	塩分濃度差
年間総量	330TWh	800TWh	8,000~80,000 TWh	10,000 TWh	2,000 TWh
平均出力換算	34GW	92GW	920~9,200GW	1,100GW	230GW

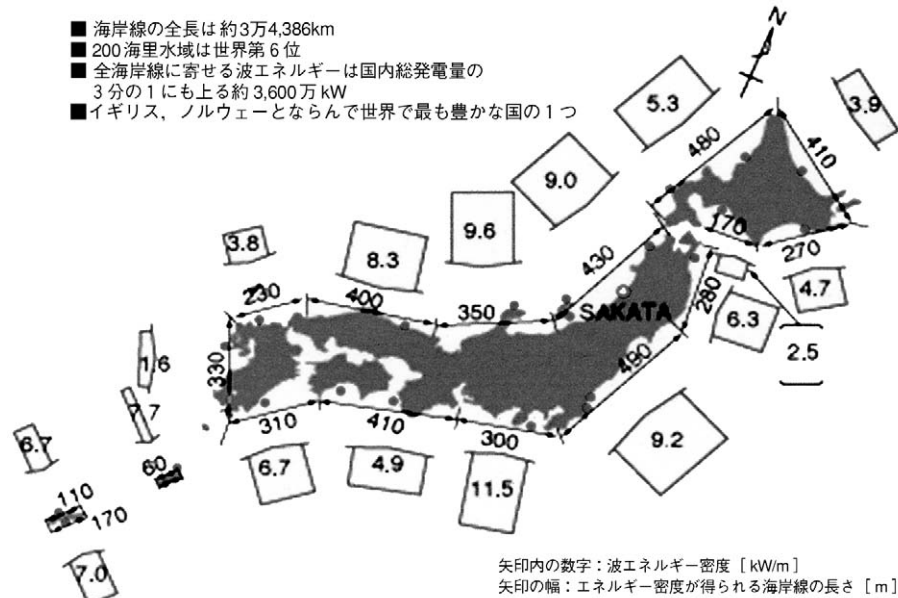


図2 日本の波エネルギー資源分布 (2)

が可能になることがわかる。

また、日本も海洋エネルギーに恵まれた国であり、波エネルギーは図2のように分布している。これから日本沿岸での波エネルギーの総計は3,600万kWにもなる。外洋まで使うとこれよりもはるかに大きい値となる。

波力は、以上のようにエネルギー密度が高く、夜昼の区別がないなど多くのメリットを有するが、一方では、水の密度が空気に比べ圧倒的に大きいため、通常エネルギーと台風などの嵐の時のエネルギーの比が100倍にもなる。このため、安全性を確保しながら、コストを下げる要求を満足するのは非常に困難であり、これが波力発電の発展を妨げている最大の要因である。

そこで、波力発電が実用化されるためには次の2点が最も重要である。

- (1) 発電単価を下げるため、高効率であること。
- (2) 嵐に対しても、安全性や信頼性を確保しながら過大なコストにしない工夫がされた構造であること。

そこで、筆者は以前に研究経験のあったジャイロを用いた高効率な発電方式と嵐の時に大きな力を受けない独特の浮体構造を提案し、以下に示すように多くの協力者の助けを得ながら、研究開発を進めてきた。(1) (7) - (11)

3. 海外と国内の波力発電開発状況 (2)-(7)(12)

波力発電の歴史は古いですが、第一次オイルショック以降研究開発が本格化した。日本やヨーロッパを中心に多くのアイデアが試された。しかし、日本ではバブル崩壊後開発が下火になり、ほとんどのプロジェクトが中断してし

まった。その間にヨーロッパでは実用化をめざした研究開発が政府支援により本格的に進められ、実用化に向け準備が進んでいる。

日本でも、一昨年からやっと海洋エネルギーへの着目度が高まり研究開発を再び加速させようという状況ができてきたところである。

波力発電装置としてはいくつかの方式があり代表的なものとして、日本がリードしてきた振動水柱式と呼ばれる、水の上下運動を閉じ込めて空気の流れに変え、タービンを回して発電するもので、代表的なマイティーホールを図3に示す。

この他に、大きな波を堰を越えさせて貯水し水車で発電機を回すもの。浮きの機械的な運動を油圧システムなどでとらえ発電機を回すものなどがある。

それぞれの方式に特徴と欠点があるが、最近では効率の良い機械式の開発が盛んである。

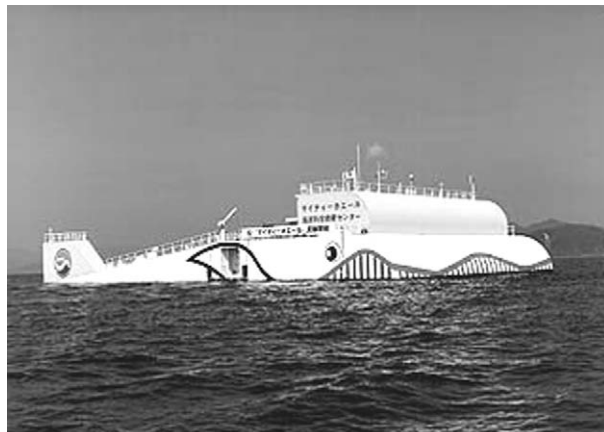
特に図4に示すピラミスと呼ばれる長い連結浮体と油圧システムから成るシステムやパワーブイと呼ばれる縦型のブイシステムが実用化されつつある。⁽¹²⁾

日本でもその他いくつかの方式が研究されているが実用化には至っていない。

4. ジャイロ式波力発電システム^{(1)(8) - (11)}

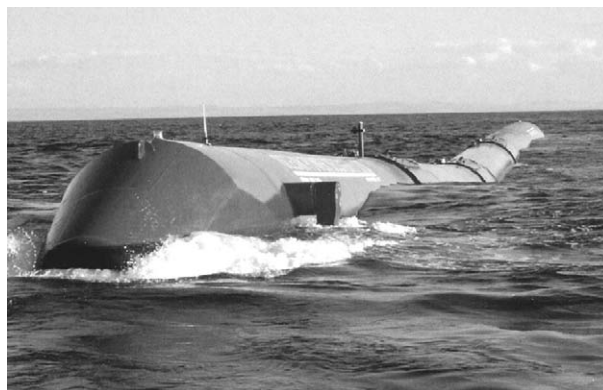
上記のタービン方式などの効率の低さや油圧式などの複雑さをカバーする新しい方式として筆者らはジャイロ式波力発電システムを開発している。このシステムの原理を図5に示す。

慣性の大きな円盤を回転させておき、これに傾き速度を与えると傾き速度を与えた軸と直角に大きなモーメントを生じる。これがジャイロモーメントでありこれを利用して発電



(出所：http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/jam_trip/whale/whale.html)

図3 マイティーホール



(出所：<http://www.pelamiswave.com/>)

図4 ピラミス

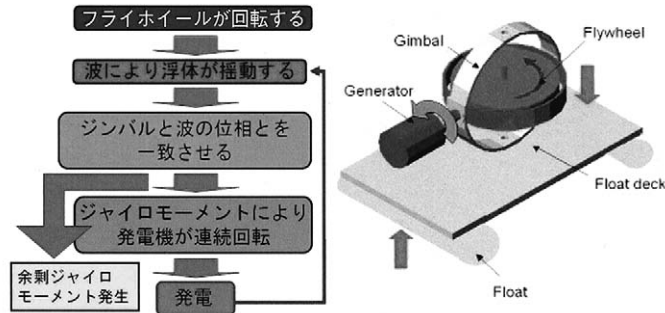


図5 ジャイロ式波力発電の発電原理

機を回す。傾き速度を与えるのは浮体の波による揺れである。浮体の揺れと円盤の姿勢をうまく合わせると発電機を連続的に回すことができる。

ジャイロ式波力発電システムの性能について、基本だけを以下に紹介する。(8)

ジャイロから発生するトルクは次式で与えられる。

$$T = I_p \Omega \dot{\theta}$$

- T：ジャイロの発生するトルク
- I_p ：フライホイールの極慣性モーメント
- Ω ：フライホイールの回転角速度
- $\dot{\theta}$ ：浮体の揺れ角速度

また、このトルクから取出せる最大の出力は次式のようにになる。

$$W = T \omega = I_p \Omega \dot{\theta} \omega$$

- W：最大の出力
- ω ：ジンバルの回転角速度
(浮体の揺れと同じ周期を持つ)

従って出力は、フライホイールの極慣性モーメント (I_p)、フライホイールの回転角速度

(Ω)、浮体の揺れ角速度 ($\dot{\theta}$)、ジンバル回転角速度 (ω) に比例し、これを掛け合わせたものとなる。

$\dot{\theta}$ 、 ω は浮体の揺れのみで決まってしまう。これが入力となるため、これが大きいことが必須である。

また、システムの容量を決めるのは $I_p \Omega$ 、すなわち、フライホイールの角運動量であり、出力を増やすにはこれを大きくすることが必要であることがわかる。

ところが、 $I_p \Omega$ を大きくするとフライホイールを駆動するエネルギーが増加したり、軸受荷重が増えたりするなどの問題があり、高度なエンジニアリングが必要となる。

2001年からこのシステムの開発を表2に示すような手順で進めてきた。

まずは、原理の証明を研究室内のモデル実験で行い、ボートでの実験を経て、本格的な波力発電システムを試作し振動台上での性能試験や海上実験を行ってきた。また、新しい浮体の開発も行い、現在では45kWシステムの

表2 プロトタイプ機の開発と実験

2001年	原理モデルで実験室実験
2002年	小形モデルでボート上実験
2003年～2006年	5.5kWパイ型試験機 (浮体直径2.4m) 製作 パイ型試験機 (浮体直径6m) 製作 加振台を用いて性能試験, 海上実験
2006年～2007年	22.5kWドーナツ型試験機 (浮体9m×6m) 製作, 海上実験
2008年	45kWドーナツ型試験機 (浮体15m×9m), 海上実験
2009, 2010年	45kWドーナツ型試験機 (浮体FRP製15m×9m), 海上実験



図6 4号機海上実験状況

海上実験を行っている。図6に最新の実験状況の写真を示す。

海上から陸への送電や陸上からの遠隔コントロールやモニタリングなどの実験にも成功している。

次の目標として単機出力100~200kW, グループ設置ユニットとして500~1000kWのシステムを開発中であり、これを実用機とする計画である。

5. 今後の展望

『NEDO再生可能エネルギー技術白書』⁽¹²⁾にも記載されているように、一般的な波力発電

の実用化ステップとしては、表3の3つのビジネスモデルをまず国内で実現し、この競争力の高さを武器に海外展開を行うことである。日本の自然条件は非常に厳しいので、ここでコストパフォーマンスが満足できれば、波力発電に適した条件を持つヨーロッパ、オーストラリア、ハワイ等では十分な競争力を持つことになる。

また、技術白書には表4のように技術開発目標も示されている。

ここで開発中のジャイロ式波力発電システムには次のような特徴があるため、これらの目標を前倒しで達成し、実用化することが可能と考えられる。

- ・効率が良い。
- ・回転機械式で往復動や摺動部分が全く無く海水から隔離されており、耐久性やメンテナンス性が良い。
- ・独特の浮体が嵐に強く、アンカーも低コストで済む。

しかし、実用化を進めるためには、さらなる性能の向上や大出力化、大幅なコストダウンや長期実証試験による信頼性やコストパフォーマンスの証明などが不可欠である。

波力発電の実用化を進めるため、NEDOでは実証試験プロジェクトが計画されている。⁽¹²⁾

表3 波力発電実用化に向けた3つのビジネスモデル⁽¹²⁾

離島の分散電源	ディーゼル発電機によって専らまかなわれている離島の電源に、波力発電を追加することにより、燃料費の削減や排ガス削減が可能となる。
大規模ウェーブファーム	適地に大規模なウェーブファームを設置することにより、電力不足に対する補助やCO ₂ 排出削減につながる。大規模化することにより、量産効果や集中送電による大幅なコストダウンが可能となり、電力としての競争力が高まる。
洋上のオンサイト電源	洋上での標識用ブイ、観測ブイ、養殖設備電源、深層水汲上電源、海洋資源取出し用電源等、洋上での電力ニーズを電池システム等と組合わせて実用することが可能であり、多用化すればコスト要求を満足できる可能性が高い。

表4 波力発電の技術開発目標⁽¹²⁾

	2015年	2020年	2030年
国内企業の育成、国際競争力の強化	●実証試験サイトの整備	●小規模・分散型電源の実用化 ●国内導入の促進	●大規模システム化 ●海外市場への展開
単機出力	—	0.5~1MW	2MW
発電コスト	—	20円/kWh以下	5~10円/kWh

また、東日本大震災の復興事業に波力発電を生かそうという提案もされている。

6. おわりに

波力発電の紹介と筆者らが進めているジャイロ式波力発電システムの開発を紹介した。波力発電の開発実用化は容易なものではなく、今後とも苦難の続く開発である。これは自然エネルギー開発の共通の問題であり、国民全体の応援が不可欠な課題である。鋭意努力して、何とかできるところから実用化にこぎつけたいと考えている。皆さんの応援をお願いしたい。

参考文献

- (1) 神吉博, ジャイロを利用した高効率波力発電装置, 第291回日本機械学会関西支部講習会教材 (2007)
- (2) 近藤俊郎, 海洋エネルギー利用技術 (1996), 森北出版
- (3) Proceedings of The 7th European Wave and Tidal Energy Conference (2007)
- (4) Ocean Energy Conversion in Europe Recent advancements and prospects, Center for Renewable Energy Sources (2006), http://www.wave-energy.net/index_files/documents/CAOEBOCHURE.pdf, (accessed 2010-8-25)
- (5) Gouri S. Bhuyan: "Harnessing the Power of the Oceans", An IEA Open Energy Technology Bulletin Article Issue No.52 (2008-7)
- (6) 欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最近動向, NEDO 海外レポート, No.1023 (2008)
- (7) 神吉博, 波力発電の現状と動向, 新エネルギー技術大全 (2009), 電子ジャーナル.
- (8) 神吉博, ジャイロモーメントによる高効率波力発電装置, 機械の研究, 第61巻, 第5号 (2009), pp489-496.
- (9) 神吉, 有井, 古澤, ジャイロ式波力発電システムの開発, 第21回海洋工学シンポジウム講演論文集, (2009), Paper OES21-165.
- (10) Kanki, H., Arii, S., Furusawa, T., Otoyoy, T., Development of advanced wave power generation system by applying gyroscopic moment, Proceedings of The 8th European Wave and Tidal Energy Conference (2009), pp.280-283.
- (11) Kanki, H., Furusawa, T., Arii, S., Otoyoy, T., Kobayashi, Y., Development of a Highly Efficient Wave Energy Converter Applying Gyroscopic Moments to Produce Electricity, The Proceedings of The Twentieth International Offshore and Polar Engineering Conference (2010), pp.810-814.
- (12) NEDO再生エネルギー技術白書 (2010)

[寄稿]

廃プラスチックはどのように処理すべきか？

—「プラスチックごみの処理方法を考える研究会」の中間報告について—

稲葉 敦 (工学院大学 工学部 環境エネ
ルギー化学科 教授)



1. はじめに

「プラスチックごみの処理方法を考える研究会」⁽¹⁾ は、プラスチック関連の企業・団体のメンバーを核として2009年6月から始まった。家庭から排出されるプラスチックごみの大部分を占め、「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」(容器包装リサイクル法)⁽²⁾ でリサイクルが義務化されている「その他プラスチック」を主たる対象として、その処理の現状を知り、今後の処理方法を考えることを目的としている。

研究会は2カ月に1回程度の会合を持ち、インターネットや文献検索でごみ処理に関して公開されている資料を集めた。容器包装以外の一般ごみの多くは、市町村で焼却処理されている。研究会の後半からは、ごみ焼却施設の設計・建設の関係者を加え、ごみの焼却処理やごみ発電について調べた。

研究会は、① 家庭ごみの処理の現状、② 収集・処理費用、③ ライフサイクルアセスメン

ト(LCA)を用いた二酸化炭素(CO₂)排出削減量の評価、④ それらを基にしたCO₂削減費用の分析、⑤ プラスチックごみの焼却処理が嫌われる理由、などについて調査し、議論を重ね、この8月に「中間報告」をまとめた⁽¹⁾。本稿では、研究会の検討過程を紹介し、中間報告での結論を紹介する。

2. 日本のごみ処理の現状

環境省は、毎年全国のごみ処理の実態調査を行っている。この調査によれば、ごみの総排出量は2000年度の5,483万トンピークとして徐々に減少し、2008年度では4,811万トンとなっている。その排出形態別の内訳をみると、家庭から出る「生活系ごみ」が3,118万トン、事業所から出る「事業系ごみ」が1,400万トン、学校などで集団回収されるごみが293万トンである⁽³⁾。「生活系ごみ」と「事業系ごみ」の合計の79.2%が焼却処理されている。

家庭から出るごみを素材別に調べた例を図1

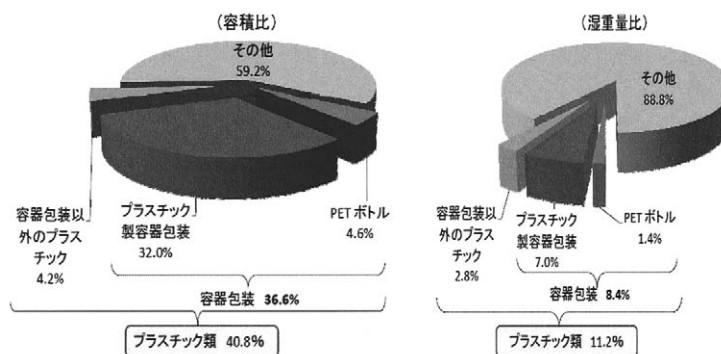


図1 家庭ごみ全体に占める容器包装廃棄物の割合(2009年度6都市平均)⁽⁴⁾

に示す⁽⁴⁾。紙やプラスチックが主である容器包装廃棄物は重量では全体の約25%である、容積では全体の約60%を占め、中でもプラスチックが全体の約40%となっている。容器包装プラスチックの処理が重要であることが理解できる。

3. 容器包装リサイクル法について

容器包装リサイクル法は、一般廃棄物の減量化と資源の有効利用を図ることを目的に、容器包装廃棄物のリサイクルを義務づけるために1995年に制定され、1997年からPETボトルとガラスびんを対象に本格施行された。その後、2000年から紙とプラスチックの容器包装が対象になった。正式名称を「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」と言う⁽²⁾。

この法律により、消費者がごみを分別して出し、市町村がそれを回収し、容器包装を製造および利用する特定事業者がリサイクルの費用を負担するというそれぞれの役割が明確にされた。特定事業者は、指定法人（公益財団法人日本容器包装リサイクル協会）に前年度にかかった費用を基に費用を支払い、指定法人はそれを再資源化する事業者を入札によって決定し、その費用を支払う。この法律では、再資源化はもう一度使える商品にすることを意味し、「再

商品化」という言葉を使う。本稿でも、これ以降「リサイクル（再商品化）」と記述する。

消費者が在住の各市町村の指示に従い分別排出したものは、市町村が分別収集して、環境省令で定められた分別基準に従いリサイクル（再商品化）できる状態にして、適切に保管される。これを分別基準適合物と言う。これがその後リサイクル事業者に渡され、様々なものにリサイクル（再商品化）される。

この法律では、プラスチック製容器包装のうち、PETボトルだけを「PETボトル」と言う区分に分けており、それ以外のプラスチック製容器包装を一括して「プラスチック製容器包装」としている。そのため、PETボトルを含まないことをはっきりさせる場合は、一般的に「その他プラスチック」と呼ぶ。プラスチック製容器包装の中の特例として白色の発泡スチロール製食品用トレイ（以下「白色トレイ」と呼ぶ）を特別に分けて収集している市町村もある。この分類を図2に示す。

PETボトルと「その他プラスチック」、並びに「製品に使われたプラスチック」の市町村ごとの収集区分を、環境省の資料⁽⁵⁾を基に2008年度について図3に示す。この図は市町村の数の割合を示しているので、処理されたPETボトルや「その他プラスチック」の量と比例するものではないことに注意されたい。2008年度ではPETボトルを資源ごみとして収

容器包装リサイクル法の対象：ガラスびん、PETボトル、紙製容器包装、プラスチック製容器包装、アルミ缶、スチール缶、紙パック、段ボール

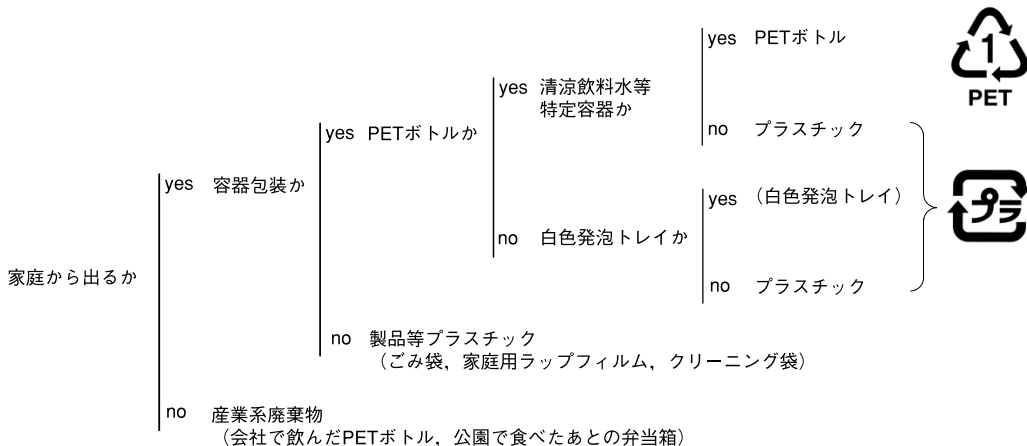


図2 容器包装リサイクル法によるプラスチックごみの分類

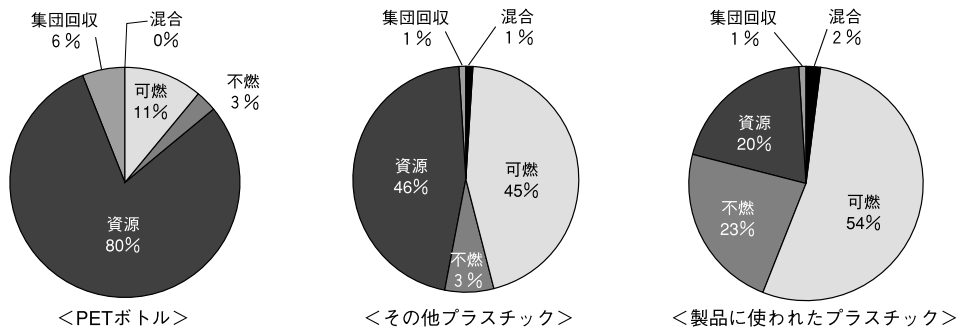


図3 収集方法の市町村数の割合 (2008 (平成20) 年度) (5)

集している市町村が80%あることがわかる。「その他プラスチック」は、可燃ごみと資源ごみ(すなわち容器包装リサイクル法により回収されるごみ)がほぼ45%ずつとなっており、約7%の市町村が不燃ごみとして収集している。容器包装リサイクル法に則った収集をしていない市町村が半数以上あるということである。また、容器包装以外のプラスチック(家庭用品など)は、可燃ごみが54%、不燃ごみが23%、資源ごみが20%と扱いはまちまちである。東京都23区は、廃プラスチックについては材料リサイクルだけではなくサーマルリサイクルも推進すべきとした東京都廃棄物審議会(2004年5月)の答申(6)に基づき、2008年から廃プラスチックを不燃物から可燃物(一部は資源ごみ)に切り替えることを進めている。

白色トレイのリサイクルは、現在2つの仕組みが機能している。1つは、容器包装リサイクル法が施行される10年前から消費者、トレイの製造事業者、利用事業者、三者の主体間連携によって構築された、スーパーマーケットの店頭などで自主的に回収する仕組みである。現在も容器包装リサイクル法の枠外で機能しており、1年に約1.3万トン回収されている。もう1つの仕組みである容器包装リサイクル法に基づく回収は、参加している市町村数が2008年度で712と全体(1,800)の39.6%と少なく、収集実績も4,000トン弱と事業者による自主的回収量のおよそ4分の1にとどまっている(3)。

指定法人の各素材ごとの引き取り量を図4に示す(7)。「その他プラスチック」が圧倒的に多く、2009年度には約62万トンに達している。

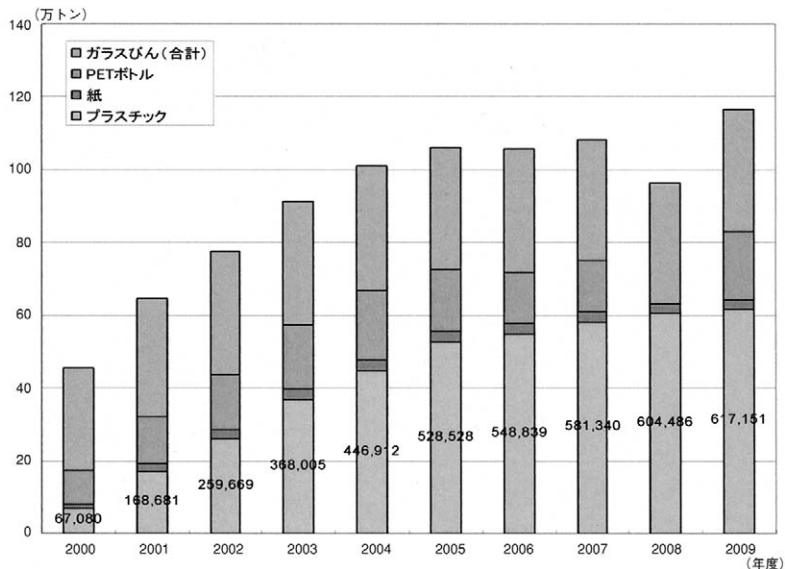


図4 指定法人が各市町村から引き取ってリサイクルした分別基準適合物の量 (7)

図5に一般家庭から排出された「その他プラスチック」を市町村が集めたものを圧縮梱包したものを示す。汚れが激しいものや高能化された複合樹脂（例えばPET樹脂などにアルミを蒸着したもの等）で作られているものも含まれている。



(出所：プラスチック容器包装リサイクル推進協議会)

図5 「その他プラスチック」の圧縮梱包

リサイクルが義務づけられているガラスびん、PETボトル、紙製容器包装は従来から資源としての分別収集が行われており、収集された後の再資源化の方法も確立している。しかし、「その他プラスチック」のリサイクル（再商品化）の方法は多様である。

現在、容器包装リサイクル法で認められている再商品化の方法を表1に示す。

(2)から(5)は、材料リサイクル並びに固形燃料化と区別して、「ケミカルリサイクル」と呼ばれる。

図6に示すように、2009年度に指定法人に引き取られた「その他プラスチック」61.6万トンのうち34.3万トンが材料リサイクルされ、残りの27.3万トンがケミカルリサイクルされた。ここで注意しなければならないことは、材料リサイクルと言っても、再びプラスチックとして使

表1 容器包装リサイクル法で認められている再商品化の方法

(1) 材料リサイクル：プラスチック以外の異物を除去し、洗浄、粉碎等の処理をした後、パレットや擬木などの製品を作るパレット状の再生樹脂を製造する。	(4) コークス炉化学原料化：高炉還元剤と同じように処理し、コークス炉で使われる石炭の代替として使う。コークスだけでなく、ガソリンや軽油のような油、燃料となるガスが得られる。
(2) 油化：異物除去、粉碎、脱塩素、熱分解、精製等の処理により化学工業の原料や燃料となる油を製造する。	(5) ガス化：高炉還元剤化やコークス炉化学原料化と同じように処理し、水素及び一酸化炭素を主成分とするガスとして使用する。作られた水素及び一酸化炭素は、アンモニアやメタノール等を作る原料になる。
(3) 高炉還元剤化：異物除去、粉碎、塩ビ除去等の処理をし、製鉄所の高炉で使われるコークスの代替として使用する。	(6) 固形燃料化：混在する塩化ビニールを除去し、高品位の固形燃料（RPF：Refuse Paper & Plastic Fuel）を作る。

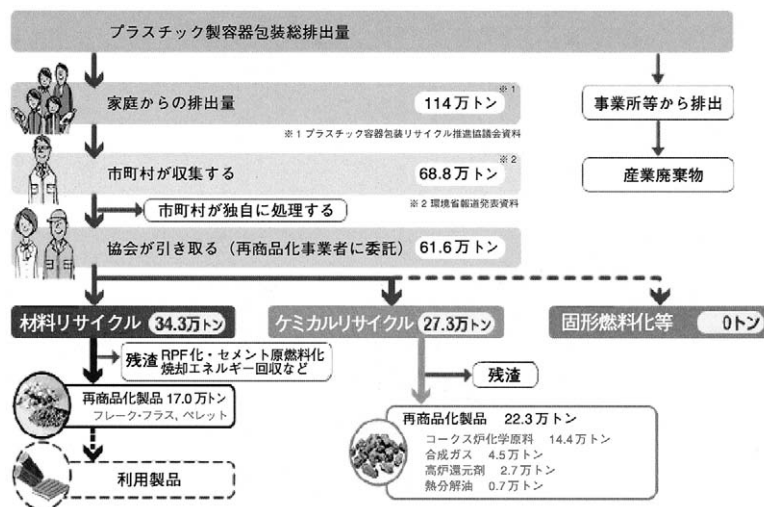


図6 「その他プラスチック」の行く末（2009（平成21）年度）⁽⁸⁾

用されるペレットなどの再生材料になる量は17万トン（49.6％）にすぎず、残りは固形燃料化などに使用され、結局は焼却されエネルギー源として使われていることである⁽⁷⁾。一方、ケミカルリサイクルされる27.3万トンは、22.3万トン（81.7％）が石炭やコークスの代わりになる再商品化製品になる。こちらの残渣は不燃物の割合が多いが、可燃残渣はやはり、焼却しエネルギー回収されている⁽⁷⁾。

前述のように、指定法人は、リサイクル（再商品化）を委託する再生事業者を毎年行われる

入札選定によって決めている。選定された再生事業者の平均落札単価推移を図7に示す⁽⁸⁾。この図から、「その他プラスチック（平均）」が2009年度では約63円/kgと、他のリサイクル（再商品化）に比べ最も高額であることがわかる。その内訳は、材料リサイクル（白色トレイ以外）が78円/kg、ケミカルリサイクルが43円/kgであり、材料リサイクルの落札単価はケミカルリサイクルの約1.8倍と非常に高い。

指定法人でのリサイクル（再商品化）に要する総費用の変遷を図8に示す。2009年度は総額

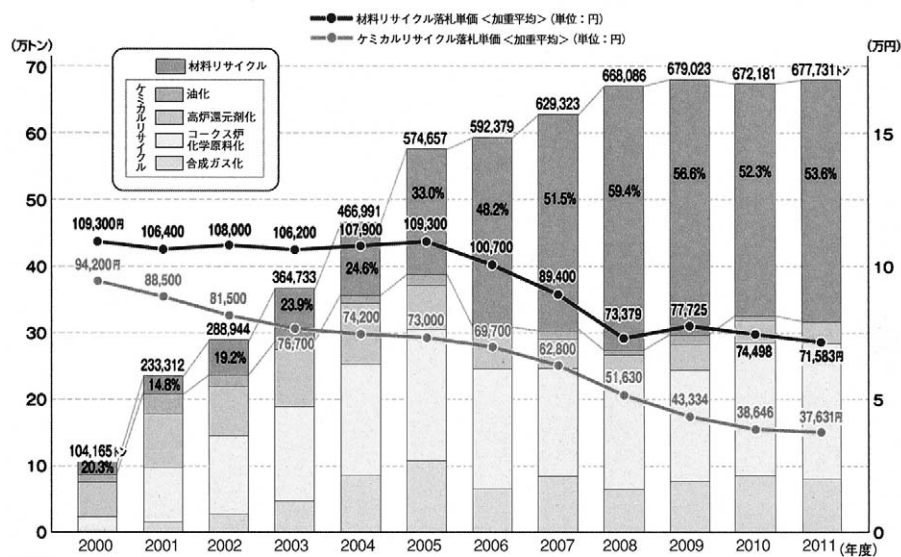


図7 再生処理事業者による落札単価<加重平均>の推移⁽⁸⁾

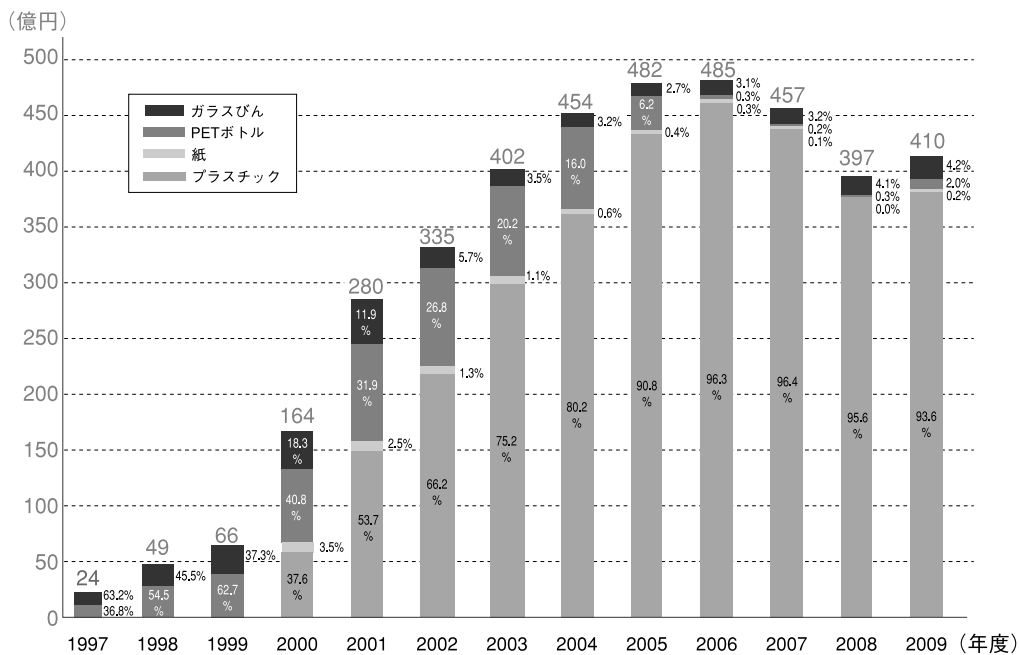


図8 指定法人が各市町村から引き取ってリサイクルした分別基準適合物の処理費用の変遷⁽⁹⁾

約410億円で、その93.6%が「その他プラスチック」のリサイクル（再商品化）費用であり、約384億円に達する。材料リサイクルにはその中の約267億円を使っている⁽⁹⁾。この費用は回収された「その他プラスチック」のリサイクル（再商品化）の費用だけであり、市町村が回収する費用は入っていない。「その他プラスチック」をリサイクル（再商品化）する費用には、市町村での回収費用を加える必要がある。

4. 市町村の収集費用

市町村の廃棄物処理の費用に関しては、データを開示している市町村が少なく、また市町村ごとに会計の基準が異なることなどから、明確なデータを得ることが非常に困難である。公開されている例として、東京都杉並区⁽¹⁰⁾、札幌市⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、仙台市⁽¹¹⁾、佐倉市⁽¹³⁾の費用を表2に示す。

杉並区の「その他プラスチック」の収集・処理費用が他の市町村よりも高いが、全国の151の市町村のアンケート調査結果⁽¹⁵⁾でも収集・処理を直営で行っている場合にはその合計は平均で195円/kgとなっている。同じく、全国の市町村へのアンケート調査結果を示した環境省廃棄物・リサイクル対策部の報告書⁽¹⁶⁾でも、直営の場合には管理部門を除いた収集・選別保管費用だけで平均241円/kgとなっているので、杉並区だけが異常に高いわけではないと思

われる。むしろ、15市町村の調査をまとめて全国平均を推定した産業構造審議会の資料⁽¹⁷⁾では、収集から中間処理までの合計が、重量に基づく推計で77.5円/kg、人口に基づく推計で105.7円/kgなので、表2に示した札幌市、仙台市、佐倉市の収集・処理費用が全国の平均より安いのではないかとと思われる。

「その他プラスチック」と「可燃ごみ」の収集・処理費用を比べると、仙台市と佐倉市ではいずれも約30円/kgで「その他プラスチック」の収集・処理費用が高い。また、杉並区では約193円/kgも高い。札幌市では、2008年度では、「その他プラスチック」の収集・処理費用が、「可燃ごみ」の収集・処理費用よりも約20円/kgも高かったが、2009年度ではその差が逆転している。これは、「可燃ごみ」の収集袋を有料化することにより、「可燃ごみ」の量が減少し、一方、「その他プラスチック」の量が増加したためとされている⁽¹²⁾。一般に、1kg当たりのごみの収集費用は収集量が多くなるほど安価になる傾向がある。

「その他プラスチック」については、表2の収集・処理費用に加え、前述したようにリサイクル（再商品化）の費用が平均で63円/kgかかる。合計すると、杉並区では約304円/kg、一番安い札幌市でも約102円/kgになる。材料リサイクルだけを考えると、その落札価格は2009年度で約78円/kgなので、さらに約15円/kg高い費用がかかっていることになる。

表2 市町村の「その他プラスチック」と可燃ごみの収集・処理費用

(単位：円/kg)

		その他プラスチック		可燃ごみ	
		収集	処理	収集	処理
杉並区 ⁽¹⁰⁾	2010年度	241		38 ^{*1}	10 ⁽¹⁴⁾
札幌市 ⁽¹¹⁾	2008年度	31	20	12	19
札幌市 ⁽¹²⁾	2009年度	26	13	21	22
仙台市 ⁽¹¹⁾	2008年度	60		31 ^{*2}	
佐倉市 ⁽¹³⁾	2003～2005年度	79		49	
LCC研究会(直営) ^{(15)*3}	2001年度	170	25	—	
LCC研究会(委託) ^{(15)*3}	2001年度	50	60	—	

※1 参考文献(11)に示された収集・処理費用から参考文献(14)に示された清掃工場の処理費用を減算
 ※2 家庭ごみ全体の費用
 ※3 151市町村のアンケート調査結果。収集・処理が市町村の直営であるか委託であるかで異なる。

表3 市町村の「その他プラスチック」の収集・処理・リサイクル(再商品化)にかかる追加費用

(単位：円/kg)

		その他プラスチック			可燃ごみ		追加費用(a-b)
		収集・処理	再商品化	合計(a)	収集・処理(b)		
杉並区 ⁽¹⁰⁾	2010年度	241	63	304	48	256	
札幌市 ⁽¹¹⁾	2008年度	51	63	114	31	83	
札幌市 ⁽¹²⁾	2009年度	39	63	102	43	59	
仙台市 ⁽¹¹⁾	2008年度	60	63	123	31 ^{*1}	92	
佐倉市 ⁽¹³⁾	2003～2005年度	79	63	142	49	93	

*1 家庭ごみ全体の費用

容器包装リサイクル法がなければ、「その他プラスチック」は可燃ごみとして焼却処理されるか、不燃ごみとして埋め立て処理されるかのどちらかである。ここでは、「その他プラスチック」の収集・処理・リサイクル(再商品化)の費用と、可燃ごみの収集・処理費用の差を、容器包装リサイクル法を実施するための「追加費用」と考え表3に示す。札幌市の追加費用が最も安く約59円/kgであるが、可燃ごみの収集袋の有料化の影響が大きいと考え、これを除去すると、追加費用は約83～256円/kgとなる。

ちなみに、容器包装に使われるプラスチックの取引価格は、例えば、レジ袋の原料であるポリエチレンでは約160円/kgである⁽¹⁸⁾。ところが、再生された材料はやはり新品より質が劣るので、ポリスチレン及びポリエチレンが単独に再生されたペレットなどで約18円/kg程度、ポリプロピレンとポリエチレンが混合された再生ペレットなどだと約4円/kgにしかない⁽¹⁹⁾。廃プラスチックを材料リサイクルしても、新品のプラスチックと同様の製品になる訳ではない。結局、材料リサイクルは、約83～256円/kgの追加費用をかけて約4～18円/kgの製品を作っていることになる。

5. 容器包装リサイクル法によるCO₂排出削減費用

容器包装リサイクル法の利点は、家庭ごみの埋め立てによる処分場の延命なども考えられ、費用と便益を多方面から検討することが

必要であるが、ここでは容器包装リサイクル法の利点として良く言われるCO₂排出の削減量を計算する。

前述したように、家庭から出たプラスチック製の容器包装は、市町村で収集され、様々な形でリサイクル(再商品化)される。ここでは材料リサイクルでは再生樹脂化とパレット化、ケミカルリサイクルではコークス炉化学原料化、RPFへの固形燃料化、並びにごみ発電を取り上げ、公益法人日本容器包装リサイクル協会による評価事例⁽²⁰⁾を紹介する。この事例は、どのようなリサイクル(再商品化)の方法が資源節約やCO₂削減に繋がるのかを比較するために、平成22年1月に行われた環境省と経済産業省の合同検討会の資料⁽²¹⁾にも使われている。

図9に、「その他プラスチック」1kgを各方法でリサイクル(再商品化)する場合について、リサイクル(再商品化)に必要なエネルギー消費量と、リサイクル(再商品化)することで回避できるエネルギー消費量、並びに、それらを差し引きした節約できるエネルギー量を示す⁽²⁰⁾。

いずれの方法でもリサイクル(再商品化)するために必要なエネルギーの量は35～40MJ/kg程度であり差はない。一方で、リサイクル(再商品化)することでできる製品が従来から使われている製品を代替することで得られるエネルギーの回避量が異なるので、これらを差し引きして得られるエネルギー消費の削減量が異なる。コークス炉化学原料化では、従来は石炭から作られていたコークス

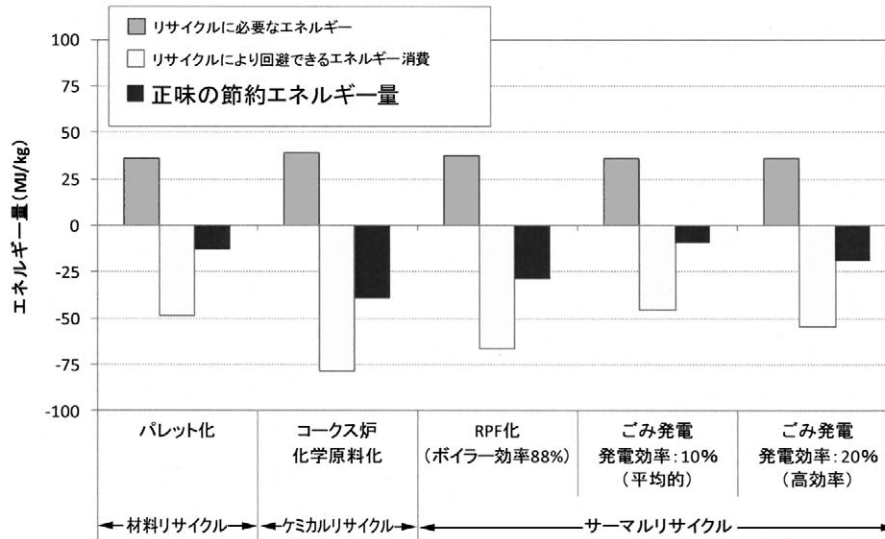


図9 代表的なリサイクル方法に必要なエネルギー量とリサイクルによる節約効果⁽²⁰⁾

を代替するので、また、RPF化では従来から使われている石炭を代替するので、エネルギー回避量が大きくなる。パレット化では新品のプラスチックで作られるパレットを代替するエネルギー回避量が計算されている。ごみ発電については、平均的な発電効率として10%を使う場合は、その他のリサイクル（再商品化）の方法に比べてエネルギー回避量がやや劣るが、発電効率が高効率20%と高い施設ではパレット化とほぼ同等のエネルギー回避量になる。

ここでの結果は、「その他プラスチック」をリサイクル（再商品化）する場合には、省エネルギーの観点からはコークス炉化学原料化やRPF化が優れており、材料リサイクルと高効率のごみ発電がそれに次ぐことを示している。

ここで示した「その他プラスチック」1kg当たりのエネルギー節約量に、図9に示した

再商品化された「その他プラスチック」の量をかけると、容器包装リサイクル法による省エネルギー効果を計算することができる。表4にその結果をCO₂排出削減量に換算して示す。材料リサイクルによって再商品化できない残渣は、実際にはRPFなど様々な形で処理されているが、ここではごみ発電した場合との比較を公平に行うために、残渣はごみ発電するものとして扱った。CO₂排出量への換算は、それぞれのリサイクル（再商品化）で使われるエネルギーの種類（石炭や天然ガス）を考慮し、また再商品化された製品が代替する製品のCO₂排出量を考慮して行われている。

また、再商品化された「その他プラスチック」の合計61.6万トンが発電効率10%と20%で発電に使われた場合のCO₂排出削減量を表5に示した。この場合は、発電された電気は日本全体で発電される電気が持っている1

表4 容器包装リサイクル法によるリサイクルとその効果

(単位:万トン)

	再商品化				残渣処理 (ごみ発電: 発電効率 10%)	合計
	材料リサイクル		ケミカルリサイクル			
	パレット化	その他	コークス炉 化学原料化	その他		
処理量	6.8	10.2	14.4	7.9	22.3	61.6
CO ₂ 削減効果	12.0	26.7	46.7	16.3	9.1	110.8
原油削減効果	2.2	5.5	10.9	0.9	0.4	19.9

表5 「その他プラスチック」をごみ発電に
用いた場合の効果

(単位：万トン)

	ごみ発電 (発電効率 10%)	ごみ発電 (発電効率 20%)
処理量	61.6	61.6
CO ₂ 削減効果	25.3	50.5
原油削減効果	1.2	2.5

kWh当たりの平均のCO₂排出量 (0.417kg-CO₂/kWh)⁽²⁰⁾ を代替するものと考えている。

表4からは、現行の容器包装リサイクル法によって「その他プラスチック」が再商品化されることにより、単純に焼却処理される時と比べて110.8万トン/年のCO₂排出が削減されることがわかる。さらに、表5からは、「その他プラスチック」の全量が仮に10%の発電効率でごみ発電に利用されたとすると、単純に焼却処理される時と比べて25.3万トンのCO₂排出削減量になることがわかる。これらを処理された「その他プラスチック」1kg当りに換算すると、それぞれ1.80kg-CO₂、0.41 kg-CO₂になる。つまり、「その他プラスチック」を再商品化する方が、発電効率10%のごみ発電で利用するよりも、「その他プラスチック」1kg当たり1.39kg CO₂が多く削減される。

同様に、ごみ発電の効率を20%と仮定すると、単純焼却に比べCO₂排出削減量は60.3万トン/年(1kgの「その他プラスチック」当たり0.98kg-CO₂)になる。発電効率20%のごみ発電と比較すれば、「その他プラスチック」の再商品化との差は、「その他プラスチック」1kg当たり0.82kgまで小さくなる。

表4と表5にはさらに、省エネルギー量を原油の発熱量で換算した原油の節約量も示した。現行の容器包装リサイクル法は、「その他プラスチック」の再商品化によって単純焼却する時よりも19.9万トンの原油を節約できる。これは、発電効率10%でごみ発電する場合と比べると18.7万トン(「その他プラスチック」1kg当たり0.32kg)の節約になり、また、

20%の発電効率でごみ発電する場合と比べると17.4万トン(「その他プラスチック」1kg当たり0.30kg)の原油の節約になる。再商品化による原油の節約はごみ発電に比べると非常に大きい。これは、再商品化では処理される「その他プラスチック」とほぼ同量の原油が節約されるが、ごみ発電では全国平均とごみ発電の効率の差に相当する原油しか節約されないためである。

6. 容器包装リサイクル法によるCO₂排出削減費用

「その他プラスチック」の再商品化ではプラスチックの再生材料が得られ、ごみ発電では電気が得られる。処理した後に得られるものが異なっているので、その優劣を直接的には比較できない。しかし、廃棄物処分場の不足を解消することができる点、CO₂排出削減効果がある点では共通している。ここでは敢えて、CO₂排出削減の面だけを取り上げて比べてみる。

第4章で既に、可燃ごみの収集・処理の費用は可燃ごみ1kg当たり約31~49円であり、「その他プラスチック」の再商品化の費用は1kg当たり約114~304円であることを示した。「その他プラスチック」をごみ発電に利用すれば、現状の可燃ごみとほぼ同額で処理できると考えられるので、費用の面からはごみ発電の方が優位であると考えられる。一方、第5章で示したように、「その他プラスチック」の再商品化は、CO₂排出削減の観点からはごみ発電よりも優位である。

そこで、処理するための費用をCO₂排出削減量で割り、1kgのCO₂を削減する費用を求めることにする。「その他プラスチック」を再商品化する場合には単純焼却に比べ約63~169円/kg-CO₂、10%の発電効率でごみ発電する場合には単純焼却に比べ約76~119円/kg-CO₂の削減費用になる。発電効率20%の場合は約38~60円/kg-CO₂である。従って、ごみ発電に利

用する方がCO₂排出削減費用の観点からは優位である。

ここで計算したCO₂排出削減費用は、例えば、欧州で実施されているCO₂の排出権取引制度での価格約1.5円/kg-CO₂と比べると非常に高い⁽²²⁾。しかしその中でも、発電効率20%でのCO₂排出削減費用は、太陽光発電の約60円/kg-CO₂⁽²³⁾よりも安く、CO₂排出抑制の観点からは、高効率ごみ発電を進めることが有効であることがわかる。

さらに、「その他プラスチック」の再商品化を「その他プラスチック」の全量が発電効率10%で処理された場合と比較すると、「その他プラスチック」1kg当たり約83～256円の追加費用をかけて1.39kgのCO₂排出削減を実施していることになるので、約60～184円/kg-CO₂のCO₂排出削減費用になる。発電効率20%の場合と比較する時には約85～261円/kg-CO₂のCO₂排出削減費用になりCO₂排出削減を進めるための費用としては非常に高い。これらの結果は、再商品化のために必要となる分別収集の費用が高価である割には、ごみ発電と比べてCO₂排出削減量が大きくならないことに起因している。

また、単純焼却と比べた「その他プラスチック」の再商品化による原油の節約量と、同様に単純焼却と比較した発電効率10%のごみ発電での原油の節約量の差を、第5章で計算した追加費用で割ると、発電効率10%のごみ発電で処理されていた「その他プラスチック」を再商品化することにより節約された原油の値段を算出することができる。これは259～800円/kg-原油となる。発電効率20%でごみ発電する場合と比べると277～853円/kg-原油である。現在、原油の国際取引価格は1バーレル(165リットル)、当たり80～90ドル⁽⁵⁾なので、1ドルを80円、1リットルを0.85kgとして換算すると原油価格は45～51円/kgになる。ごみ発電と比べて再商品化を実施することにより節約できる原油の価格は、原油の国際取引価格より非常に高いことになる。

以上の計算は、「その他プラスチック」のリサイクル(再商品化)の費用として、材料リサイクルとケミカルリサイクルの平均である63円/kgを使っているが、材料リサイクルの落札価格は、前述したように、ケミカルリサイクルに比べ1kg当たり約15円も高い。従って、材料リサイクルだけを取り上げると、容器包装リサイクル法による「その他プラスチック」CO₂排出削減費用はさらに高額なものとなる。

7. 廃プラスチックの焼却処理の可能性

容器包装リサイクル法による「その他プラスチック」の処理を仮に中止するとすれば、埋め立て処分場の増設は困難な場合が多いので、「その他プラスチック」は市町村で焼却処理またはごみ発電に利用されることになると思われる。しかし、廃プラスチックの焼却・ごみ発電への利用は地域住民に反対される場合があり簡単には進まない。その理由の1つが、1995年12月に所沢市の川越市・狭山市・三芳町との行政境にまたがる地域(通称「くぬぎ山地域」)において、高濃度のダイオキシンが検出されたとの報道に始まり、1999(平成11)年に、一部マスコミの報道により野菜価格の暴落に発展したダイオキシン問題である。

ダイオキシン問題に対する対策として、1997年に「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」が改訂され、さらに、同年8月に、廃棄物焼却施設に係る構造基準・維持管理基準の強化、規制対象施設の拡大などを内容とする廃棄物処理法施行令等の改正が行われた。これらにより、廃棄物焼却施設は、廃棄物の安定的な供給、800℃以上での燃焼、排ガス温度のおおむね200℃以下への冷却、高度な排ガス処理の実施などが義務づけられ、また、ダイオキシン類の排出濃度に関する基準およびダイオキシン類濃度の測定義務も設けられた。さらに、1999年3月に「ダイオキシン対策推進基本指針」が、また「ダイオキシン類対策特別措置法」が1999年7月に制定され、2000

年1月から運用された結果として、2002年末に全国のごみ焼却施設でダイオキシン類対策工事が完了して以降、図10に示すようにその排出量は極めて低い値になっている。

また、プラスチックを燃焼すると炉が傷むと言われる場合があるが、ごみ収集車が運搬してきたごみを一時的に貯留しておくごみピットでの混合攪拌によるごみ組成の均質化や、炉材や耐火物の定期補修時における交換、ボイラー水管に使われる合金鋼などの耐蝕材料の開発などにより、技術的に既に克服されている。

2009年度の調査では、日本には1,243のごみ焼却場がある⁽³⁾。最も大規模な施設は東京都

江東区の新江東清掃工場で1日に1,800トンの処理能力がある⁽²⁵⁾。しかし、日本全体での処理能力の平均は、2009年度には年間3,452万トンのごみが1,243の施設で焼却処理されている⁽³⁾ので、運転日数を年間300日と仮定すると、93トン/日の規模でしかない。さらに、図11に示すように、1,243の施設のうち、304施設にしか発電設備がない⁽³⁾。EU諸国の1施設当たりの1年間のごみ焼却量⁽²⁶⁾から年間稼働日数を300日として計算すると、500トン/日程度の処理量になるので、日本のごみ処理施設の規模は非常に小さいことがわかる。

ごみ発電は一般に、規模が大きいほど発電効

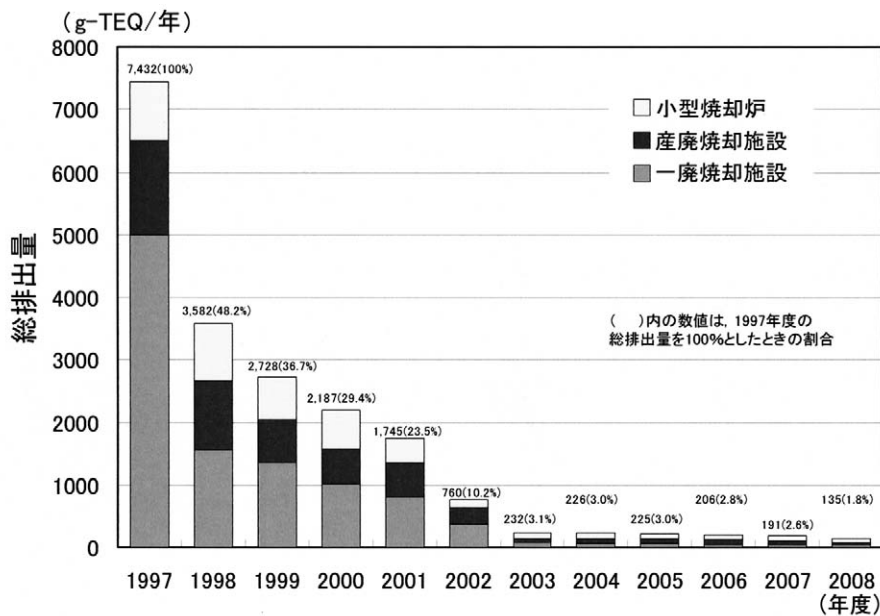


図10 廃棄物焼却施設からのダイオキシン類排出量の推移⁽²⁴⁾

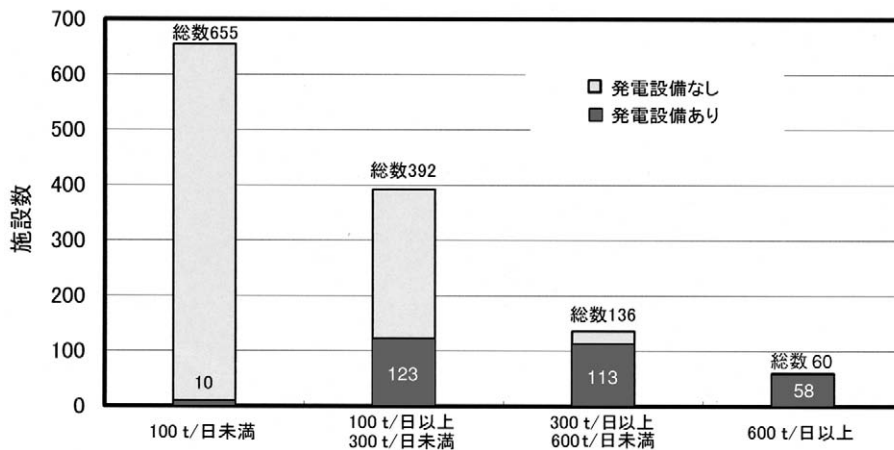


図11 日本におけるごみ焼却施設の発電設備の有無と規模別分布⁽³⁾

率が高い。最も高効率のごみ発電である施設は広島市中工場で、約24%の発電効率になっている。また一般に、規模が大きいほど外部への送電量が大きい。500t/日の施設では、発電量のうち75%程度の外部供給が期待できる⁽²⁷⁾。

図12に環境省の廃棄物処理施設の入札・契約データベース（熱回収施設）⁽²⁸⁾を用いて作成した最近のごみ発電施設の建設費を示す。データのばらつきが大きいのが、500トン/日のごみ焼却場の建設費を約200億円と読み取ることができる。前述したように、2008年度を例にとると容器包装リサイクル法により「その他プラスチック」は年間約384億円をかけて材料リサイクルされているので、材料リサイクルにかかる費用をごみ発電所の建設に使用すれば年間約2基の発電所が建設できる。前述したように、CO₂排出削減の観点からは高効率ごみ発電は重要な技術であり、これを推進することが必要であると思われる。

福島第一原子力発電所の事故以降、ごみ発電への期待は高まっている。しかし、ごみ発電の発電容量は一般の発電所に比べると非常に小さい。前述したように、2009年度には304のごみ焼却施設に発電設備があるが、その発電容量は合計1,673,000 kWである。通常発電所を100万kW程度と考えると日本全体で通常発電所約1.5基分の発電容量しかない。ま

た、廃棄物発電のポテンシャルは440万kW（一般廃棄物で250万kW、産業廃棄物で190万kW）と試算されており⁽²⁷⁾、日本全国合わせても通常発電所約4.5基分しかない。このように考えると、ごみ発電は市町村が行う廃棄物処理に伴う効率向上の技術ととらえるべきであり、エネルギー供給源として過度に期待することは避けるべきであると思われる。

ここで想定している500トン/日のごみは約50万人分のごみに相当する。これは東京都の杉並区と板橋区のごみの排出量とほぼ同じである⁽²⁹⁾。また、日本全体で考えると山間部も多く、大規模設備の設置を考える場合には、広域でのごみ処理の是非についてさらに検討することが必要である。

8. 廃プラスチックの処理の今後

以上を総合的に考え、中間報告書では今後の廃プラスチックの処理方法を次のように考えた。

まず、家庭から出るごみについて、①家庭から出るごみの中でも単一素材であるPETボトルや白色トレイは消費者の協力により分別収集が進展し、費用に見合った材料リサイクルの方法が既に存在する。この2つについては、さらに、材料リサイクルを推進すること

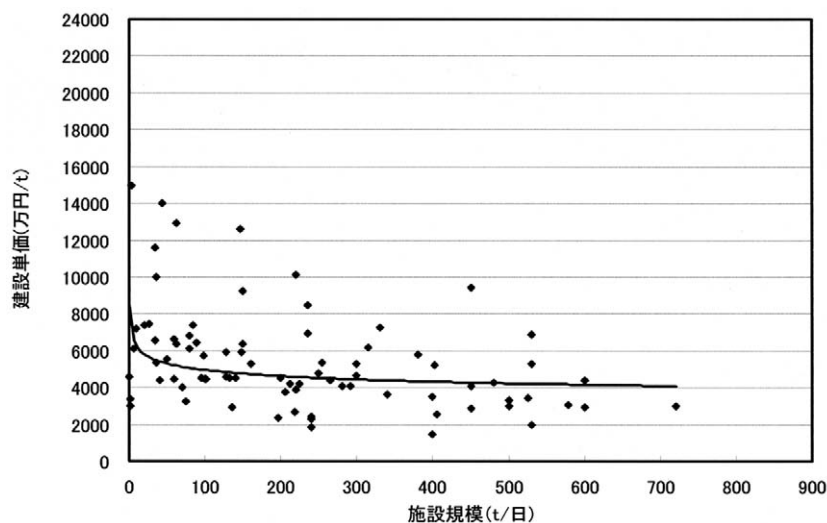


図12 最近のごみ発電施設の建設費⁽²⁸⁾

が重要である。② 家庭から出る混合プラスチックごみの分別収集が可能で、それを高炉還元剤やコークス炉化学原料化ならびにRPF化が可能な設備がある地域では、それらの設備を利用することでCO₂の排出抑制と資源の有効利用を進めることができる。また、中間報告書では触れられていないが、セメントのキルンで利用することも効果的と考えられる。

産業から出る廃棄物については、③ 工場の端材など単一の素材の廃棄物が大量に出る場合は、材料リサイクルを進めることができる。また、単一素材ではない混合プラスチックも大量に出ることが考えられるので、④ 高炉還元剤やコークス炉化学原料化ならびにRPF化やセメントキルンの原料に利用することが家庭から出るごみよりも容易だと考えられる。

しかし、⑤ 家庭から出る混合プラスチックや、⑥ 産業から小規模に排出される混合プラスチックは、「可燃ごみ」としてごみ発電に使う方が良いと考えられる。その場合、当たりまえであるが、発電だけでなく焼却場の熱も利用の方が効率的である。

以上の①から⑥のごみ処理のイメージを表6にまとめた。

廃プラスチックの焼却が反対される理由は、前述したダイオキシンが発生するという疑念と同時に、現存する「もの」を燃やすのは「もったいない」という価値観に起因している場合がある。鉄やアルミやガラスでは、リサ

イクルで再び鉄やアルミやガラスができるので「もったいない」という価値観を損ねることがない。しかし、廃プラスチックを焼却しエネルギーを回収するごみ発電は、通常のごみ発電所で使われている石炭や天然ガスを節約することができるにも係わらず、廃プラスチックそのものが無くなることを理由に反対される傾向がある。ごみ発電が、他の場所での石炭や天然ガスの節約に役だっており、「もったいない」という価値観に合致していることをもっと伝える必要がある。

また、プラスチックごみを材料リサイクルすべきという考え方は、とすれば材料リサイクルが比較的容易な単純な構造の汎用プラスチックを大量に使うことを支持する方向に動く。このことは、日本の化学産業がより高度な使用に耐えるプラスチックを技術開発することを妨げる可能性がある。高度な使用に耐えるプラスチックを開発し、使用済みとなった後は焼却しエネルギーを回収することが、日本の産業を活性化させ、またエネルギー問題の一助となると思われる。

プラスチックごみの処理は、歴史的にも多くの議論を経て決められて来た。ここ数十年の間にその量と質が大きく変化し、焼却炉等の技術もめざましく発展している。プラスチックごみの処理の現状を知り、将来に向けてより良い処理方法を見出して行く努力を続けることが重要である。この中間報告を基に、

表6 私たちが考える廃プラスチックの処理方法

	プラスチックの排出形態		処理方法
一般廃棄物 (家庭ごみ)	資源ごみ	①PETボトル 白色トレイ	材料リサイクル
		②混合プラスチック (右記での利用が経済的に成り立つ場合)	高炉還元剤化、コークス炉化学原料化、ガス化、RPF化、セメントキルンでの利用
	⑤プラスチック含有ごみ		燃やせるごみとして焼却場での発電や熱利用
産業廃棄物	⑥小規模排出混合プラスチック		
	家電リサイクル・自動車リサイクルなどで大規模に排出されるプラスチック	④混合プラスチック	高炉還元剤化、コークス炉化学原料化、ガス化、RPF化、セメントキルンでの利用
	工場の端材など	③単一素材	材料リサイクル

プラスチックごみの処理方法について議論が広まり、また深まることを期待している。

【謝辞】

本稿は、「環境管理, 2011年11月号(印刷中)」と多くの部分で重複している。重複を許可してくださった社団法人産業環境管理協会に感謝します。

参考文献

- (1) プラスチックごみの処理方法を考える研究会「中間報告」, <http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwb1046/TRhookoku20110904.pdf> (2012年9月確認)
- (2) 容器包装リサイクル法:公益財団法人日本容器包装リサイクル協会, <http://www.jcpa.or.jp/law/what/what01/index.html> (2010年5月確認)
- (3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課, 一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成20年度)について, 平成22年4月16日, http://www.nippo.co.jp/ippan_h20.pdf (2011年5月確認)
- (4) 産業構造審議会・容器包装以外のプラスチックのリサイクルの在り方に関する懇談会, 第2回参考資料, 容器包装以外のプラスチックのリサイクルの在り方に関する現状の整理について, 平成22年6月29日, pp.4-5 (2010)
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/committee/m.html#2
- (5) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課, 廃棄物処理技術情報(平成20年度) http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h20/index.html, 処理状況, 全体集計結果(ごみ処理体制).xls, 分別数等(2011年5月確認)
- (6) 「産業廃棄物の適正処理の徹底について 廃プラスチックの発生抑制・リサイクルの推進について一答申」, 平成16年5月, 東京都廃棄物審議会(2004)
- (7) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会,
<http://www.cpra.or.jp/recycle/recycling/recycling13/index.html>
- (8) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会,
http://www.jcpa.or.jp/archive/cycledata/total_fee.html
- (9) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会,
<http://www.jcpa.or.jp/archive/cycledata/cycledata02.html>
- (10) 杉並区「事業別コスト計算書・ABC分析～平成22年度～」, <http://www2.city.suginami.tokyo.jp/library/library.asp?genre=203010> (2011年5月25日確認)
- (11) 中環審, 産構審再商品化手法検討会合同作業チーム(H22/4/12)資料, <http://www.env.go.jp/council/03haiki/y0321-04b.html> (2011年5月25日確認)
- (12) 北海道札幌市, <http://www.city.sapporo.jp/seiso/toukei/cost/index.html>
- (13) 千葉県佐倉市, http://www.city.sakura.lg.jp/haiki_taisaku/gomi/gomi_info/info-gomikeihi_top.htm
- (14) 東京23区清掃一部事務組合・事業内容・清掃工場別処理単価(平成21年度決算)
<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/plan/syoritanka/21tanka.pdf>
- (15) 大川隆司ら, 自治体の容器リサイクルコスト, 廃棄物学会誌, 15, (6), pp.275-280 (2004)
- (16) 第27回中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会資料, 平成16年度効果検証に関する評価事業調査(市町村等における分別収集・選別保管費用に関する調査)中間報告, 平成17年3月環境省廃棄物・リサイクル対策部, pp.10-13 (2005), <http://www.env.go.jp/council/03haiki/y030-27/mat04.pdf>
- (17) 産業構造審議会・容器包装以外のプラスチックのリサイクルの在り方に関する懇談会, 第2回参考資料, 容器包装以外のプラスチックのリサイクルの在り方に関する現状の整理について, 平成22年6月29日, p.21 (2010)
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/committee/m.html#2
- (18) 経済産業省化学工業統計年報(平成21年)
http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/02_kagaku.html#menu2
- (19) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会,
http://www.jcpa.or.jp/recycle/recycling/recycling13/pla_3.html
- (20) 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会, プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等検討委員会, 概要版(http://www.jcpa.or.jp/00oshirase/pdf/lca_gaiyou.pdf), 完全版(http://www.jcpa.or.jp/00oshirase/pdf/lca_kanzen.pdf), 資料(<http://www.jcpa.or.jp/00oshirase/pdf/lca.pdf>), 平成19年6月(2007)
- (21) 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会プラスチック製容器包装に係る再商品化手法専門委員会, 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会, 容器包装リサイクルWGプラスチック製容器包装に係る再商品化手法検討会合同会合(第13回)資料5, 平成22年2月29日, <http://www.env.go.jp/council/03haiki/y0315-13/mat05.pdf>
- (22) 三井住友銀行ニュースレター「機構変動と排出権取引」4月号, p.3 (2011)
- (23) 首相官邸・地球温暖化問題に関する懇談会・開催状況・中期目標検討委員会・第6回平成21年3月27日・議事次第・資料2-4(1), 国立環境研究所AIMチーム:
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tikyuu/kaisai/dai06tyuuki/siryou2/4_1.pdf
- (24) ダイオキシンの排出量の目録(排出インベントリ)平成21年11月, <http://www.env.go.jp/air/report/h21-05/full.pdf>, 環境省(2009)
- (25) 東京二十三区清掃一部事務組合・新江東清掃工場
<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/koujou/shinkouto/>
- (26) CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants, 欧州廃棄物発電施設連盟), <http://www.cewep.eu/index.html>

- (27) 角田芳忠, ごみ処理施設における高効率発電の推進, 日本エネルギー学会誌, 90.622-626 (2012)
- (28) 環境省・循環型社会形成交付金サイト・廃棄物処理施設の入札・契約データベース(熱回収施設)(平成23年5月), http://www.env.go.jp/recycle/waste/3r_network/7_misc.html
- (29) 東京二十三区清掃一部事務組合処理統計
<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/jigyonaiyo/jigyounenpou/gomi.pdf>

福島原発で起きた原子炉建屋の損傷 —水素爆発に至る経緯を中心として—

内藤 正則 (原子力工学センター
安全解析グループ 部長)



1. はじめに

東北地方太平洋沖地震は2011年3月11日14時46分18秒、三陸沖を震源として発生した。マグニチュード9.0の巨大地震と、それに伴う大津波が関東から東北地方の太平洋岸一帯を襲った。10月7日の警察庁発表によれば、この地震と津波による死者は1万5,822人、行方不明者3,926人、負傷者5,942人に達する悲惨な災害であった。この災害によって建造物も甚大な被害を受けた。中でも、福島第一原子力発電所は原子炉建屋で発生した水素爆発によって内部に閉じ込められていた多量の放射性物質が環境に放出され、多くの人達が今なお避難生活を余儀なくされている状況にある。

本稿では、福島第一原子力発電所で起きた大事故に焦点を絞り、事故の進展状況とそのシミュレーションについて述べる。

2. 東北地方太平洋沖地震の概要

地震の原因は地球表面を覆う岩盤（プレート）の移動によるものとされている。図1に示すように、東北地方の東側海底では、北アメリカプレートと太平洋プレートが接しており、太平洋プレートは北アメリカプレートの下に徐々に沈み込んでいた。この沈み込みによって北アメリカプレートの先端が下方方向に引きずられていたが、この動きが限界に達したとき、「北アメリカプレート先端部の跳ね上

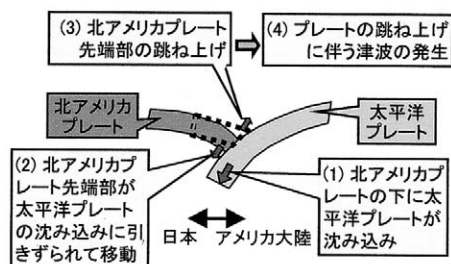


図1 地震発生のメカニズム

げ」という現象が発生した。これが地震の原因であるが、プレート先端部の跳ね上げによって、海面が押し上げられ、津波が発生した。

地震の震源地は図2に示すように東北地方の太平洋沖合い130km、海底24kmで、プレートの沈み込みは3回にわたって発生した。

プレートの跳ね上げによって生じた津波は地震発生後約1時間で関東および東北地方の沿岸に到達し、その高さは10mの防波堤を裕に超える巨大なものであった。

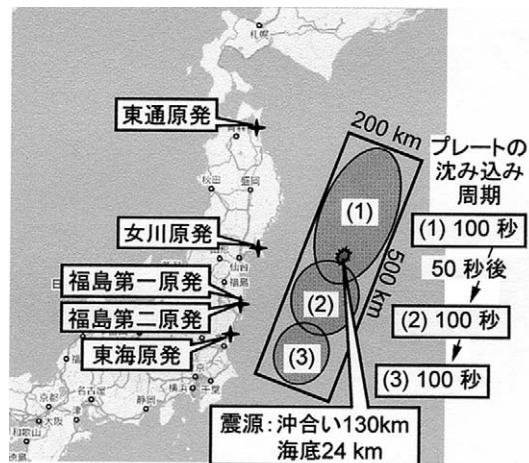


図2 地震の震源

関東地方から東北地方にかけての沿岸部には、図2に示したように5カ所に原子力発電所がある。このうち、福島第一原子力発電所を除く4カ所の原子力発電所では、地震と津波による被害はあったものの、原子炉は安定に停止し、放射性物質の環境への放出も生じていない。一方、福島第一原子力発電所は、津波の襲来によってタービン建屋に海水が浸入し、^{*}これまでに大きく報道されている通り、環境への放射性物質の大量放出という大惨事に至っている。

3. 福島第一原子力発電所各号機の仕様

福島第一原子力発電所には、6基の原子炉がある。このうち、1号機から3号機までは、地震発生時まで通常運転をしていた。4号機～6号機は、定期点検中であり、原子炉の運転は停止（核分裂は停止）していた。表1に、放射性物質の大量放出という大惨事に至った1号機～3号機の主な仕様を示す。

表1 福島1～3号機の主な仕様

	1号機	2号機	3号機
運転状況	運転中	運転中	
原子炉型式	BWR-3	BWR-4	
格納容器型式	MARK-I	MARK-I	
定格熱出力 (MWt)	1,380	2,381	
定格電気出力 (Mwe)	460	784	
燃料集合体数	400	548	
ウラン装荷量 (トン)	69	94	
原子炉容器 直径	4.78mφ	5.57mφ	
高さ	19mH	22mH	
ドライウエル寸法	(全高 約32m)	(全高 約33m)	
球部×円筒部内径	17.7m×9.6m	20m×10.9m	
圧力抑制室寸法			
円環断面内径	8.08m	8.9m	
プール水量 (m ³)	1,750	約3,000	
原子炉建屋寸法 平面	41m×41m	45m×45m	
高さ	49m	62m	
使用済み燃料プール			
容積 (m ³)	1,020	1,425	
保管燃料体数	292	587	514
発熱量 (kW)	70	464	232

2号機と3号機の仕様はほとんど同一であり、プラント出力は1号機の1.7倍である。これに対して、原子炉に装荷されている燃料集合体の数は1号機の1.37倍であり、燃料集合体1体あたりの出力が2、3号機では1号機よりも大きくなっている点に特徴がある。

図3に、1～3号機の原子炉建屋内の配置を示す。炉心と称する部分に多数の燃料集合体が垂直に林立している。原子炉压力容器（以下、压力容器）には原子炉内で発生した蒸気をタービンに送る主蒸気管や炉心冷却のための給水管などが接続されており、その先は格納容器を貫通している。格納容器（ドライウエル）は、上記した各種配管が貫通しているほか、作業や機材の搬入のためのマンホール、電気系統の配線の貫通部などがある。

また、ドライウエルの下部は8本のベント管を介して圧力抑制室（ウェットウエル）に通じている。円環状の圧力抑制室内は、中ほどまで水（圧力抑制プール）が満たされている。主蒸気管には、弁（安全弁）を介して配管が圧力抑制プールに繋がっており、原子炉の圧力を低下させる必要が生じた場合に安全弁が開いて炉内で発生した蒸気をプール中に導き、蒸気を凝縮させて圧力を低下させる仕組みになっている。

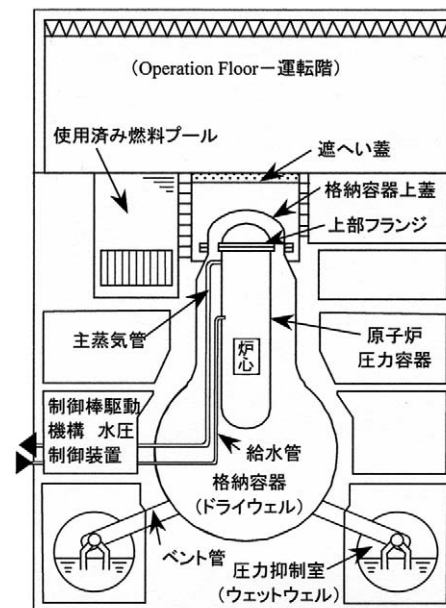


図3 原子炉建屋内の構造

* 原子炉及び冷却水の循環系統などの重要機器類を収納している原子炉建屋は水密構造となっている。

4. 地震発生後のプラント状態の推移

福島第一原子力発電所1号機～3号機は地震発生時には通常運転をしていたが、いずれの号機も地震の信号によって自動的に運転が停止（核分裂が停止）した。

原子炉では、核分裂が停止しても、それまでの核分裂によって生成した放射性の「核分裂生成物」が燃料内部に蓄積している。核分裂生成物から放出される放射線は、熱に変わる（これを崩壊熱という）。崩壊熱は運転停止後の時間経過に伴って減少していくが、発熱そのものは長時間続く。そのため、運転停止によって核分裂が停止した後も崩壊熱除去のための冷却を継続することが必須である。

1号機～3号機においても地震の信号によって核分裂が停止した後、設計通りに非常用の機器類が作動し、崩壊熱の除去を開始した。しかし、地震の約1時間後に襲来した津波によって非常用のディーゼル発電機が使用不能となり、いわゆる「全交流電源喪失」の事態が生じた。わずかに残った直流電源（バッテリー）も徐々に機能を失い、崩壊熱除去のための機器類がすべて冷却機能を失う事態となった。

冷却システムが作動しなくなると、燃料内部で発生する崩壊熱によって、燃料は過熱し、ついには溶融するに至り、溶融物の一部は原子炉圧力容器の底を貫通して格納容器内に落下した。このような過程において、原子炉内に残っていた冷却水は蒸発して水蒸気となり、気体状の核分裂生成物は水蒸気とともに大量に格納容器内に放出された。また、ウラン燃料そのものは通常、ジルコニウム合金の被覆管の中に入っているが、ジルコニウムは高温になると、水あるいは水蒸気と反応して水素を発生する。このとき発生した水素も格納容器内に放出された。

格納容器内に放出された水蒸気は高温であるため、格納容器の温度と圧力が上昇し、格納容器上蓋やマンホール部を密封するためのガスケットの強度が弱まり、格納容器の気密

性が失われた。その結果、格納容器内に放出された大量の放射性物質や水素が原子炉建屋内に充満するに至った。1号機と3号機においては、建屋上部（運転階）に蓄積した水素が爆発し、運転階の壁は鉄骨を残して飛散し、その結果大量の放射性物質が環境に放出されるという事態になった。

このような事故の進展挙動から、福島第一原子力発電所からの大量の放射性物質の放出は、建屋の水素爆発に起因するものと考えられることができる。なお、その後、消防車などによる海水（その後淡水に切り替え）注入が実施され、現在は溶融炉心は固化しており、さらなる放射性物質の放出はない。

次に、水素爆発までの挙動に絞って、1号機を代表例として、プラント状況の時間変化を詳述する。

東京電力(株)がプレス発表した情報のうち主要な部分を時系列に表2に示す。また、東京電力公表のプラントデータのうち圧力の時間変化を図4に示す。

地震発生から56分後に津波が押寄せ、すべての交流電源が喪失する事態となった。通常、原子力発電所には、全交流電源喪失の事態に

表2 1号機プラント状況の時間経過

3月	1号機で発生した事象
11日	
14:46	・地震発生→制御棒全挿入→核分裂停止 ・送電線の鉄塔の一部が倒壊し、原発外部からの受電が不能となる(外部電源喪失)
14:52	・IC(非常用復水器)自動起動
15:03	・IC(非常用復水器)手動停止
15:42	・津波襲来→オイルタンク流出、タービン建屋に海水浸入→非常用ディーゼル電源停止(全交流電源喪失)
16:36	・逃がし安全弁で圧力制御中
20:07	・原子炉圧力7.0MPaを確認
12日	
0:30	・ドライウェル圧力600kPaに上昇
2:30	・原子炉圧力0.8MPaに低下
4:00	・ドライウェル圧力840kPaに上昇
14:30	・圧力抑制室内の気体をベント
15:30	・ドライウェル圧力540kPa
15:36	・原子炉建屋運転階にて爆発発生
19:04	・海水注入開始
22:15	・余震により海水注入中断
13日	
2:00	・海水注入再開

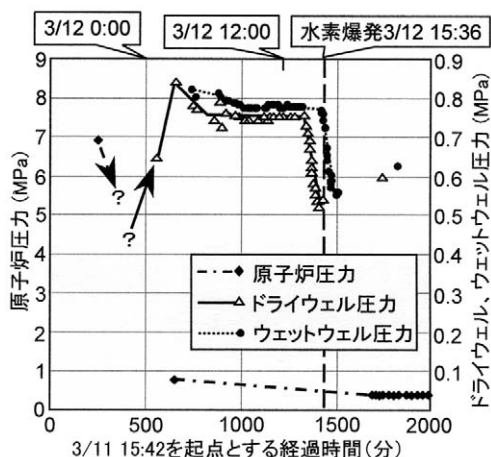


図4 1号機圧力の時間変化

備えて、約6時間ほど非常用機器を作動させるための直流電源（バッテリー）が設置されているが、福島原発では津波の影響もあって、直流電源による機器類の作動は期待したほどの効果を発揮するには至らなかった。ここまでは、全号機に共通する事象である。

1号機には、他の号機にはない非常用の冷却設備として非常用復水器（IC: Isolation Condenser）が設置されている。ICは電源を必要とせず、自然循環冷却方式によって原子炉内の蒸気を凝縮させ、凝縮後の水を原子炉内に戻す系統である。1号機では、このICが地震発生後に自動起動した。ICの作動によって低温になった水が炉内に戻る際、原子炉圧力容器の壁も冷却することになる。このとき、原子炉圧力容器が急激な温度低下によって損傷することを防止するために、温度低下率が55°C/hrを超える場合にはICを停止させることになっている。運転員は、このマニュアルにしたがって、ICを作動後11分の時点で手動停止した。この時点は津波襲来の前であり、非常用ディーゼル電源が働いていたので、操作は中央制御室で行なわれたと推定される。

原子炉の運転停止後、前章に述べた安全弁が働いて、原子炉圧力は7 MPa前後でほぼ一定値を維持していたと推定される。安全弁は、圧力を一定値に保つよう機械的作用によって弁が開閉する仕組みのものである。ICの停止

後、原子炉に注水する系統が全く作動できなかったために、安全弁が開く都度、原子炉内の蒸気が圧力抑制プールに排出されたことにより、原子炉内の水量は徐々に減少していった。同時に高温蒸気の凝縮は、ドライウエルおよびウェットウエルの圧力上昇を招いた。原子炉圧力は11日の20時7分に7MPaが記録されていたが、12日の2時30分には0.8MPaに低下している。この間に安全弁シート部への異物付着等の何らかの理由で継続的に炉内の蒸気が排出され、炉圧が低下したものと推定される。この炉圧低下のタイミングは現在のところ不明である。ドライウエル圧力は上昇を続けて、最高で840kPaにまで達した。その後格納容器の気体を大気中に放出するベントがなされ、圧力は低下するが、ほどなく原子炉建屋の運転階で水素爆発が発生した。

図4に示した圧力の時間変化から、ドライウエル圧力は、12日の午前4時頃に最高値を示した後、10時間ほど少し低い圧力でほぼ一定値となっている（ウェットウエル圧力も同様の傾向）。これは、格納容器内部の気体が原子炉建屋に漏れ出たためと推定され、これが水素爆発の要因となったと考えられる。

5. 1号機プラント挙動のシミュレーション

(1) シミュレーションの方法

当研究所が所有するシビアアクシデント解析コードSAMPSONを用いて福島1号機のプラント挙動を解析した。解析では、図5に示すように炉心を同心円状に8領域に分割し、実機と同様に燃料領域と制御棒領域を交互に配置した。制御棒領域8の外周部が炉心シュラウドに相当する。

炉圧低下のタイミングは解析の結果に大きく影響する重要なパラメータであるが、実態として未だ明らかにはなっていない。本解析においては、3月11日20時7分に7 MPaが実測された直後に減圧したと仮定し、解析の入力値として与えた。

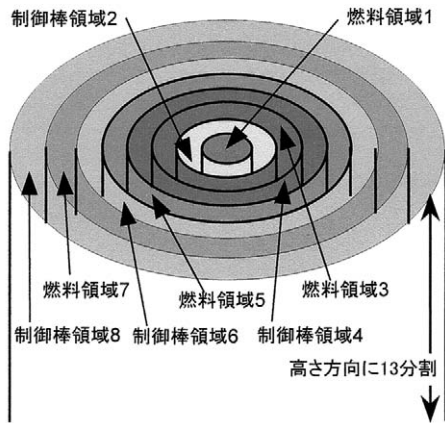


図5 炉心の領域分割

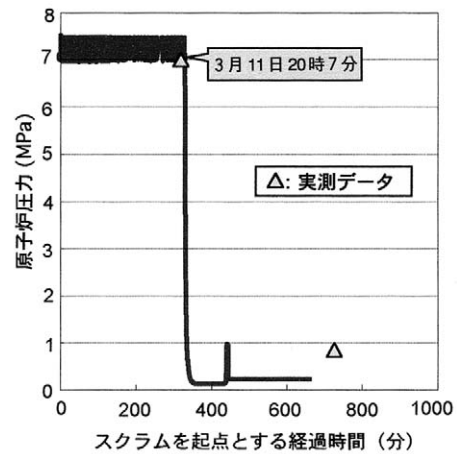


図6 原子炉圧力の時間変化

(2) シミュレーションの結果

① 圧力と水位の変化

図6に原子炉停止（スクラム）後の原子炉圧力の時間変化を示す。解析では、3月11日20時7分に原子炉圧力を実測した直後に安全弁が開放されたと仮定した。スクラム後、約450分の時点で炉圧が一時的に1MPa程度まで急上昇しているがこの原因については後述する。

図7に、原子炉内の炉心領域における水位の変化を、図8には下部プレナム及び格納容器水位の変化を示す。スクラム後に炉圧を約7MPa程度に維持するために安全弁が開閉を繰り返した結果、安全弁が開いていたタイミングで炉内の冷却材が流出し、3月11日20時7分に安全弁を開放して減圧する以前（スクラム後255分）に、水位は炉心下端にまで低下し、以降は燃料が完全に空焚き状態となった。

スクラム後320分の時点で一時的に炉心領域の水位が回復しているように見えるのは、このタイミングで安全弁を開放して減圧したため、炉心下部（下部プレナム）に残っていた水が減圧沸騰し、一時的に下部プレナム残留水を押し上げたことによる。

下部プレナム水位は、炉心の下部支持板が破損したタイミングで急減している。これは、炉心支持板の破損によって溶融した炉心が下部プレナムに落下し、残存していた水を急激に沸騰させたことによる。さらに、压力容器破損の時点でも急減しているが、これは、圧

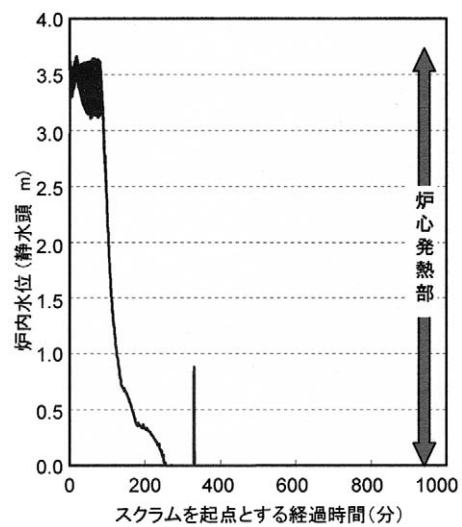


図7 炉心領域における水位の変化

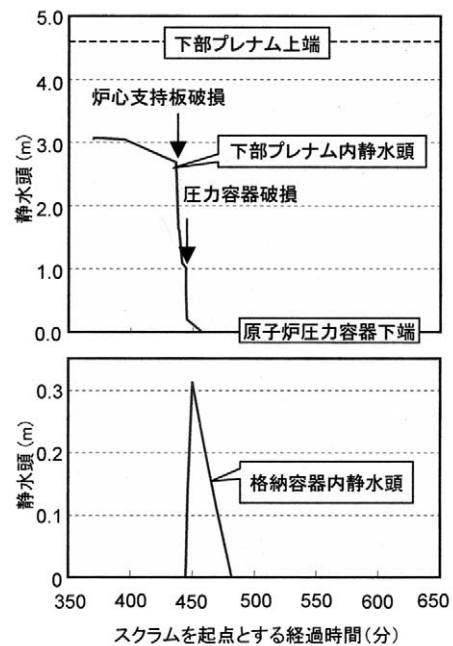


図8 下部プレナムおよび格納容器水位の変化

力容器下部の貫通口から水が格納容器内に漏洩したことによる。

② 温度変化

図9に、燃料棒及び制御棒表面の最高温度の時間変化を示す。

スクラム後、安全弁の間欠的な開閉の繰り返しによって冷却材は減少し続けているが、約100分間は、炉心冷却が維持されている。その後、炉心の燃料は冷却材から露出して温度が上昇する。320分後の安全弁開放による炉圧急減に伴って、下部プレナムに残っていた冷却水が激しく減圧沸騰し、発生した蒸気の冷却効果によって、燃料棒及び制御棒の温度は一時的に減少する。スクラム後410分で、燃料棒の温度は二酸化ウランの融点である3,123Kに達し、炉心溶融が開始した。炉心溶融開始から30分後には炉心支持板が破損し、炉心は溶融領域を拡大しつつ、溶融したものは下部プレナムに落下し始めた。

表3に主な事象の発生時刻を東京電力の解析及び国が実施した解析と比較して示す。東京電力は米国のElectric Power Research Institute: EPRIが開発したMAAPコードを導入して使用しており、国は米国の原子炉規制当局(USNRC)が開発したMELCORを導入して使用している。

1号機では、事故対応のために作業員が原子炉建屋に立ち入る目的で、3月11日21時50分頃、運転階の放射線レベルを調べたところ288mSv/hrという高い線量率が測定されたため、立ち入りを断念したとの記録が残されて

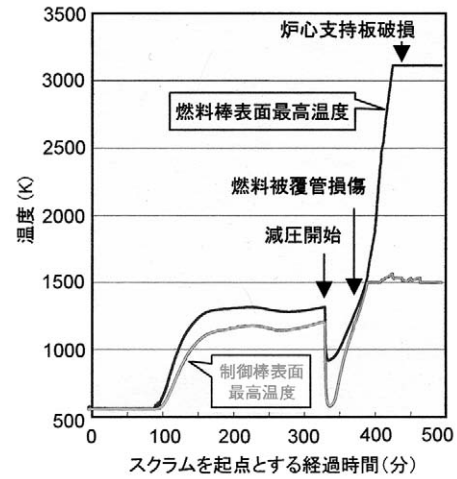


図9 燃料および制御棒の温度変化

いる。この高い線量率は、格納容器内のガスが漏洩したためと考えられ、この時刻にはすでに压力容器底部は破損して溶融炉心が格納容器内に落下していたと推定できる。

この時刻を指標として、表3に示した結果をみると、MAAPコードによる解析では、压力容器破損が翌日早朝となっており、事故進展の挙動が緩やか過ぎる結果であることが分かる。一方、MELCORコードは、压力容器破損が20時であり、若干早くなっている。SAMPSONの解析結果は、上記の線量率上昇のタイミングと比べると約30分程度、事故の進展を緩やかに評価したことになる。

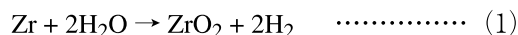
③ 水素発生量

次に、水素爆発について検討する。一般にウラン燃料は被覆管の中に収められている。被覆管の構成材料はジルコニウムである。ジルコニウムが高温になると以下の総括反応式

表3 主な事象の発生時刻

主な事象	MAAP	MELCOR	SAMPSON
水位が炉心下端に低下	4時間55分 (3月11日19時41分)	4時間41分 (3月11日19時27分)	4時間15分 (3月11日19時1分)
炉心溶融開始	5時間46分 (3月11日20時32分)	4時間26分 (3月11日19時12分)	6時間49分 (3月11日19時35分)
炉心支持板破損			7時間18分 (3月11日22時4分)
压力容器底部貫通破損	15時間2分 (3月12日5時48分)	5時間14分 (3月11日20時0分)	7時間25分 (3月11日22時11分)

にしたがって、水（あるいは水蒸気）と反応して水素が発生する。



このときの反応速度を表わす式はいくつか提案されており、いずれの式も反応表面積、温度、反応時間等の関数であるが、簡便な式として以下のBager-Justの式が広く知られている。

$$W^2 = 33.3 \times 10^5 \times t \times \exp(-45,500/RT) \quad \dots (2)$$

ここで、

W：ジルコニウムの酸化量 (mg/cm²)

t：反応時間 (s)

R：ガス定数 (=1.9872 cal/mol・K)

T：ジルコニウムの温度 (K)

(2) 式より、ジルコニウムの表面積、温度、反応時間が分れば、反応するジルコニウムの質量が求まる。これをモル数に換算すると発生する水素量が(1)式より求められる。このような方法で解析された、福島1号機における水素発生率の時間変化を図10に示す。

この発生水素が格納容器内に蓄積し、圧力バランスによって原子炉建屋の運転階に漏洩、蓄積したとすると、運転階における濃度は約15%となった。

運転階を密閉構造とし、その壁や床は完全剛体として扱い、破損しないという前提を置いて水素燃焼挙動を解析した結果、建屋運転階の圧力は約5気圧に達した。

原子炉建屋の構造強度解析は実施していないが、建屋は耐圧構造ではなく、運転階の壁は鉄骨にパネルを貼った構造であるため、内圧が5気圧にも達する前に壁は破損すると考えられる。

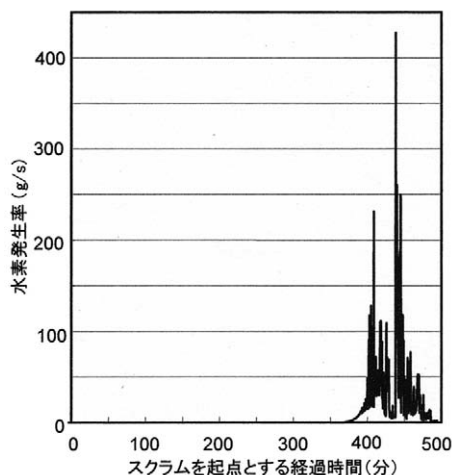


図10 水素発生率の時間変化

6. おわりに

本稿では、福島第一原子力発電所で何が起きたのかを概説し、1号機を代表例としてシミュレーションの結果を示した。本稿に示したシミュレーションは、地震発生後の対応に不明点が多い中でいくつかの推定・仮定を置いて実施したものであり、いわば予備解析的な位置づけにある。

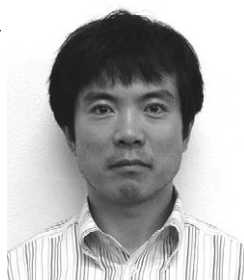
津波襲来後の混乱した状況の中、現地では懸命の事故収束作業が続けられたと推定しているが、この間の具体的なプラント操作の内容については、国の事故調査委員会が調査を継続中であり、近くその実態が明らかになると期待している。

事故調査委員会によって詳細なプラントの操作内容が明確になってから、現実的な条件の下で再解析を実施し、シミュレーションの観点からも事故の進展挙動を明らかにしていきたいと考えている。

CO₂制約に向けた世界協調のあり方の検討

都筑 和泰[※] (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

黒沢 厚志^{※※} (プロジェクト試験研究部
部長 副主席研究員)



1. 研究の背景と目的

地球温暖化対策は国際的な関心事項であり、京都議定書に続く新たな枠組みの検討が行われてきている。しかしながら、2010年12月の気候変動枠組み条約締約国会議（COP16：カンクン会議）においても、方向性は示されたものの、具体的な目標やその実現に向けた枠組みについては合意に至っていない。

このような状況を踏まえ、本検討においては、2100年までの長期にわたる世界エネルギー需給構造を評価し、現実的かつ実効的な二酸化炭素（CO₂）排出対策を提言することを目的とする。地球温暖化は世界全体の課題であることから、国際協調のあり方についても留意する。

検討にあたっては、まず、CO₂制約、最終需要シナリオを設定し、対応するエネルギー供給構成をエネルギーモデルにて算出する。計算結果について、コスト評価、感度分析などを実施し、必要に応じてCO₂制約、最終需要シナリオを見直す。このようにすることで、世界が合意できるような現実的なCO₂制限のあり方と、それを実現するためのエネルギー構成を提案していくこととした。

2. CO₂排出カーブの想定

(1) CO₂制限シナリオの概況

気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）に

おいては、CO₂排出量と気温上昇との関係、気温上昇の影響やその対策の評価について、広範な研究成果がとりまとめられてきている。それらの成果を踏まえて、“IEA Energy Technology Perspectives (2010)”⁽¹⁾においては、温室効果ガスによる温度上昇を産業革命前の2.0～2.4℃に抑える政策的要請があること、そのためには2050年までにCO₂排出量を半減すべきであることが記載されている。さらに、「ブルーマップシナリオ」として、CO₂制限を実現するための具体的なエネルギー需給構造の検討も進められてきている。

(2) オーバーシュートシナリオ

温度上昇を2℃程度以下に抑えるには、大気中のCO₂等価濃度を450～550ppm程度に抑える必要があるとされている。しかしながら、この実現は非常に困難であり、このシナリオをベースに国際間で合意を形成することは容易ではない。そのような状況を踏まえ、松野らによって、より現実的なシナリオが提示されている⁽²⁾⁽³⁾。このシナリオは、2150年以降CO₂排出をほぼ0にすることを条件に、2050年までの排出はある程度許容するというものである。本検討においては、このシナリオをベースにエネルギー構成の検討を進めることとする。なお、このオーバーシュートシナリオは、2150年までの累積炭素発生量を650Gt以下にするということから「Z650シナリオ」と称することとする。

3. 計算手法・計算条件

(1) GRAPEについて

本検討においては、Cool Earthエネルギー革新技術計画の検討や、IPCC評価報告書に引用された実績がある、GRAPE⁽⁴⁾⁽⁵⁾という統合評価モデルのエネルギーモジュールを利用した。エネルギーモデルには色々な種類があるが、本モデルは、エネルギーシステム最適化モデルに属する。すなわち、エネルギー需要やCO₂制約条件は、入力条件として与え、その条件下で世界エネルギーシステムコストを最小化するようにエネルギー供給、転換構造を求めることとなる。

エネルギー需要の設定の前提となる人口や国内総生産（GDP）については、国際連合の推計⁽⁶⁾⁽⁷⁾や国際通貨基金⁽⁸⁾など比較的一般的な想定を採用した。主要ポイントは次の通り。

- ① インド、アフリカ、東南アジアなどで人口が大幅に増加し、2050年で世界90億人となる
- ② 途上国においても1人当たりのGDPが着実に増加し、先進国との比は現状で10分の1程度、2050年では3分の1程度となる。
- ③ その結果今世紀半ばには途上国のエネルギー消費量が先進国を追い越す。

4. Z650を実現するためのエネルギー構成

(1) 一次エネルギー供給

図1にCO₂制限がある場合とない場合の一次エネルギー供給量を比較して示す。CO₂制

限がない場合、2100年まで化石燃料中心の世界が続く。一方、CO₂制限がある場合、原子力や再生可能（おもに風力）の導入が進み、2050年においては化石燃料の寄与はほぼ半分にまで低下する。2100年は、主に太陽光の寄与が大きくなることにより、化石燃料の寄与は約3分の1にまで低下する。

CO₂削減がどのような技術で実現されているかより詳細に評価するため、以下、発電、産業・民生の非電力需要、運輸の順に技術構成を示していくこととする。

(2) 発電部門のCO₂削減対策

図2にCO₂制限がある場合とない場合の発電電力量の内訳を比較して示す。CO₂制限がない場合、世界の電力需要の伸びは、主に石炭火力によって支えられることとなる。原子力や風力はある程度の規模で導入されるが、太陽光発電はほとんど利用されない。これは、太陽光のコストダウンが進んでも、石炭火力より割高であるということに相当する。一方、CO₂制限がある場合には、石炭の使用はガス化発電（IGCC）のような高性能のものを含めても2020年にはピークアウトしている。主要な代替発電は原子力と風力である。2050年からは太陽光発電も大規模に導入されている。

もう1つの主要なCO₂排出削減技術として、CO₂回収・貯留（CCS）がある。2030年からCCSの利用を想定しているが、2050年までには大部分の火力発電所がCCS付になっている。

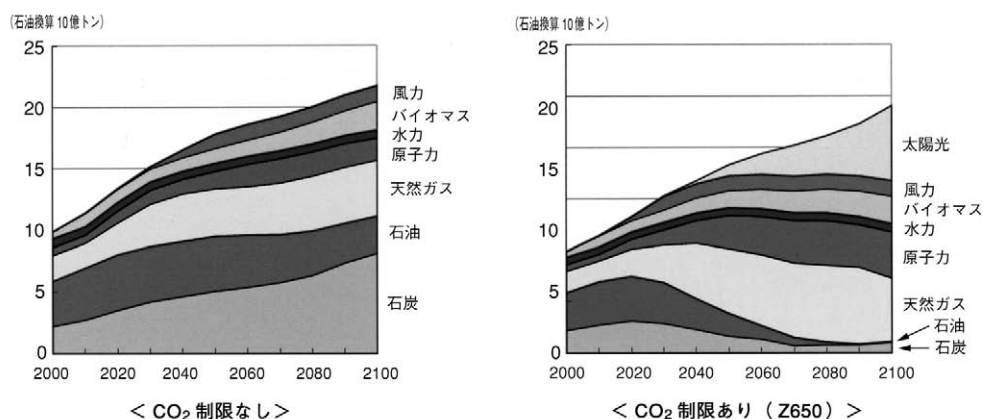


図1 世界の一次エネルギー構成

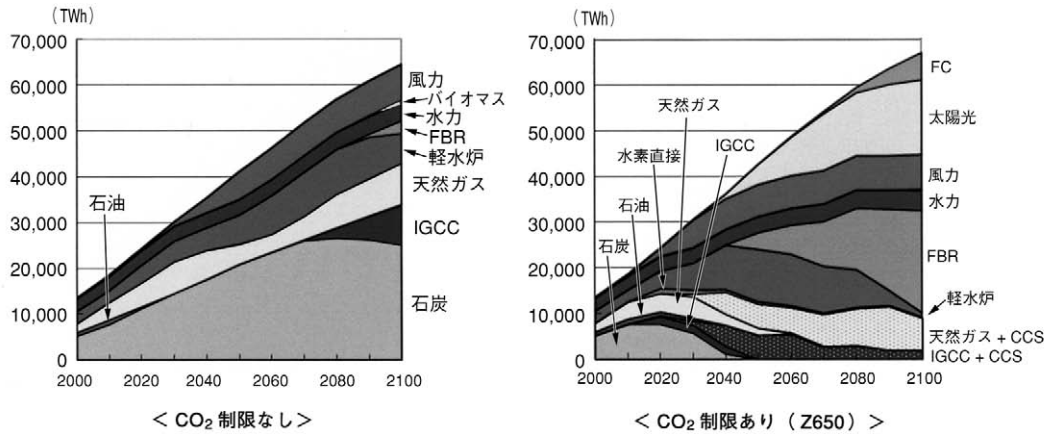


図2 世界の発電電力量内訳

すわなち、発電部門においては、2050年までにはほぼCO₂排出が0となっている。

(3) 運輸部門のCO₂削減対策

① 乗用車

乗用車のCO₂対策としては、内燃機関の性能向上、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車という流れが想定されている。条件によっては燃料電池車も利用される。

本検討においては、電気自動車の総合的なコスト{(車両費+燃料費)/単位サービス(人・キロ)}は2050年以降ガソリン自動車と同程度と想定しており、CO₂制限がなければ緩やかに、CO₂制限があれば急速に移行が進む。

ただし、2050年までの電気自動車の普及率は10%程度としており、CO₂削減としてはむしろバイオ燃料の寄与の方が大きい。2050年以降の電気自動車のシェアは急速に拡大し、2100年頃までにほぼ100%となっている。

② 乗用車以外

バス、トラック、航空機、船舶などの乗用車以外の運輸需要については、負荷が大きいことから電化は想定していない。主要な石油代替策としては、天然ガス、水素とバイオ燃料を想定した。これらの技術は通常の石油系燃料より割高であり、CO₂制限がなければほとんど利用されない。CO₂制限がある場合は、2050年には一部のトラックなどで利用され始

め、2100年にはかなりの比率を占めるようになる。

(4) 産業・民生の非電力需要

産業の熱や動力、民生のガス、石油など、電力以外の需要も無視できない。日本の現状では、産業の80%、民生の55%が非電力の需要である⁽⁹⁾。この部分の脱化石は発電や運輸と比べて相対的に困難である。2050年に向けた対策は、CO₂排出原単位が相対的に小さい天然ガスを利用することと、バイオ燃料を利用することであるがその効果は限定的である。ヒートポンプ給湯の利用も有効であるが、産業ではより高温の熱源が必要なこともあり、その利用範囲は限られている。2070年以降CO₂制約がより厳しい条件では、水素の利用も行われている。

(5) CO₂削減技術のまとめ

これまで延べてきた、各部門の技術の導入時期・優先順位を比較するため、図3にCO₂制限がある場合とない場合の排出量の比を部門別に示す。

① 現在~2030年

CO₂制限がない場合、石炭火力が主であったものが、風力、原子力に置き換わることでより発電部門でCO₂削減が進展。

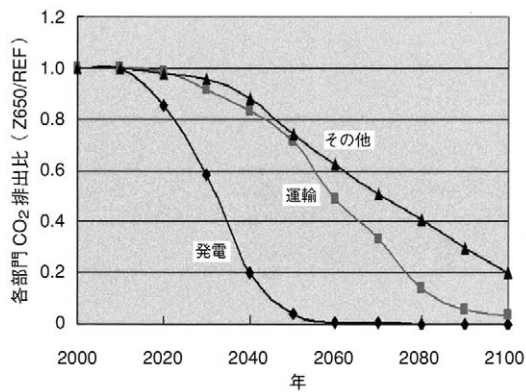


図3 部門別CO₂排出比

② 2030～2050年：

発電部門は、原子力や再生可能エネルギーのさらなる普及に加え、火力発電にCCSをつけることで、2050年過ぎに排出ゼロ達成。運輸は主に燃費向上やバイオ燃料導入、定置はガス化、バイオ化が進展するも、2050年では2割減程度にとどまる。

③ 2050～2100年：

Z650シナリオの特徴である2150年以降CO₂排出ゼロに向けて、各部門の対策が進展する。運輸は電気自動車（EV）の本格的普及、定置は水素化によりCO₂削減する。産業・民生の非電化については最も対応が遅れるが、最後は水素利用により大幅削減を図る。

5. コスト評価

(1) 一次エネルギー供給

図4に総エネルギーコストをCO₂制限があ

る場合とない場合とで比較した結果を示す。ここでエネルギーコストとは、燃料供給、転換（発電、石油精製、水素製造など）、車両購入に要する費用の総和である。

2050年あたりまでは両者の差はそれほど顕著ではなく、CO₂対策をする場合の2050年断面での追加コストは、CO₂対策をしない場合の15%程度に抑えられている。これは、2050年までの主要な対策であるCCS、原子力、風力などの発電単価コストが、元の石炭火力の発電単価とそれほど差がないということによる。言い換えると、Z650シナリオは、現実的なコストで実現可能なものになっているといえる。

一方、2050年以降については、対策コストが大幅に上昇していき、2100年にはCO₂対策が無い場合のほぼ2倍に達している。これは、Z650シナリオが、今世紀前半の放出を許容している代わりに後半に急速な削減を要求しているため、より高コストの対策が必要となってくるからである。Z650シナリオの技術的・経済的成立性を評価するうえでは、後半部分の急速な削減の可否は非常に重要であるが、その一方、この時期においては、技術的、社会的な不確実性が非常に大きい。ここではその詳細を議論することはせず、「需要が2050年以降も急増するような社会に対して、現在想定しえる技術の組み合わせで対応しても、2倍程度のコストで急速なCO₂排出削減は達成しえる」という程度の理解にとどめることとする。

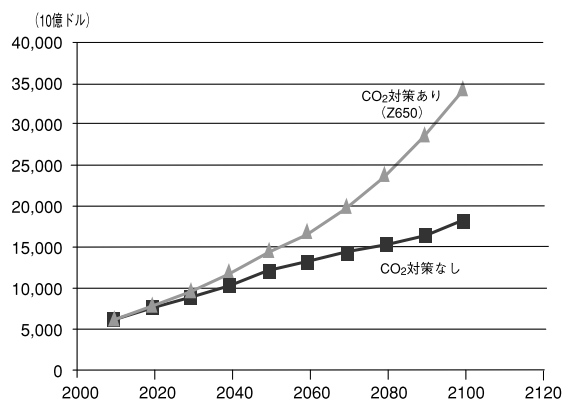


図4 総エネルギーコストの比較

6. 先進国により厳しい制約をかける場合

これまでの解析は、世界で協調してCO₂削減に取り組むことを前提としてきた。一方、国際交渉の場においては、先進国80%減といったような厳しいシナリオも議論されている。その影響を評価するため、世界のCO₂排出制限を保持しつつ、2050年まで先進国は80%減という制約を追加して、エネルギー構成の計算を行った。その総エネルギーコストに与える影響を図5に示す。

2050年まででみると、CO₂対策なしに対する追加費用はZ650シナリオの標準的なケースのほぼ倍となっている。これは、80%減という無理な削減を実施するために、先進国においてより割高な技術を使用することになったことによる。具体的には、燃料電池車の大量普及や、太陽光発電の早期大量導入などの影響が大きい。一方、途上国では、CO₂制限が緩くなるものの、エネルギーコストはあまり変化しない。従って、世界全体でみると、先進国が無理な削減をするよりも、世界で協調して削減に取り組んだ方が合理的であるといえる。

しかし、これまでCO₂を排出してきた先進国がより多くの削減努力をすべきという考え方は倫理的にはあり得る。上記結論はあくまでも技術の観点からのものであり、公平性については、別の観点からの議論が必要である。この点については、国際交渉などにより解決されていくことを期待する。

7. 原子力の導入が進展しない場合の影響評価

(1) 検討の背景・目的

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故により、世界の原子力の導入に何らかの影響が生じることは避けがたい状況となっている。これまで紹介してきたZ650シナリオにおいては、2050年の発電電力量が2000年の5.5倍という原子力高成長を想定していることもあり、原子力の今後の動向はシナリオに大きな影響を与え得る。

震災後の各国の反応を見ると、世界の原子力計画にはそれほど大きな変動はないようではあるが、ここではケーススタディとして、原子力フェーズアウトケース（2020年以降世界全体で新設無し、既設炉は寿命（50年と想定）がくるまで利用）について検討する。

(2) Z650シナリオにおける原子力の取り扱い

図6に今回の計算における原子力の発電量の変化を示す。Z650シナリオにおいては、2100年に向けて原子力発電量が急速に立ち上がっている。なお、2030年までの傾きは、震災前の建設計画がすべて順調に実施されることによる。2030年以降もそのペースを維持し、2100年まで着実に増加していくと想定している。このようなペースで原子力発電が増加していくと、現在想定しているウラン資源の未確認を含む究極理

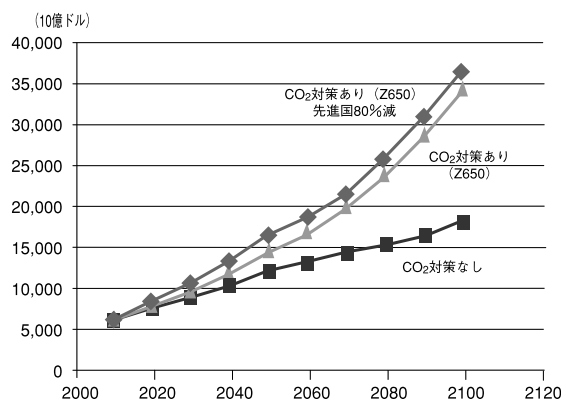


図5 総エネルギーコストの比較（先進国のCO₂排出2050年で80%減）

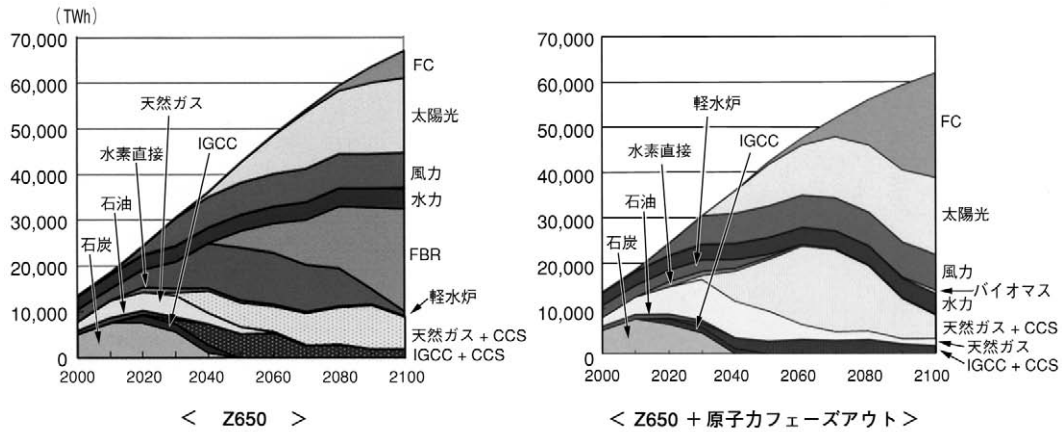


図6 世界の発電電力量内訳

蔵量である1,500万トン⁽¹⁰⁾を超えてしまうことになる。そのため後半については高速増殖炉(FBR)の導入が急速に進められている。

(3) 原子力フェーズアウトの影響

図7に標準的なZ650シナリオと、その条件で原子力をフェーズアウトさせた場合の世界全体の発電電力量を比較して示す。原子力の減少分は2050年前には主に天然ガスによって代替される。太陽光発電の大規模導入時期は約10年前倒しとなり、2050年には主要な代替発電の1つとなる。

2050年以降、化石燃料の使用はCCS貯留ポテンシャルにより制限され、急速に減少する。一方、原子力は燃料の増殖速度に制限があり、太陽光や風力は系統連系の関係上比率に制限がある。本計算では、再生可能エネルギーで一度水

素を生成することでエネルギー貯蔵を行い、それを燃料電池(FC)にて熱電併給するという解が得られている。ここで、電力貯蔵については、水素化が唯一の解というわけではなく、現実には蓄電池や揚水などを組み合わせて実施することになると思われるが、モデルでは他の電力貯蔵の選択肢が含まれていないので、水素化が選択されている。その位置づけは、「一般には高コストとなる電力貯蔵の導入が不可避となる」可能性を示唆したというものである。

図7に世界エネルギーコストを示す。2050年までのコスト上昇は、主要な原子力代替策である天然ガス+CCSが原子力よりもやや割高であることによる。太陽光発電はさらに割高であり、導入量はそれほど多くないものの、コストへの影響は無視できない。いずれにしても、2050年までの価格上昇はそれほど大きなものではない

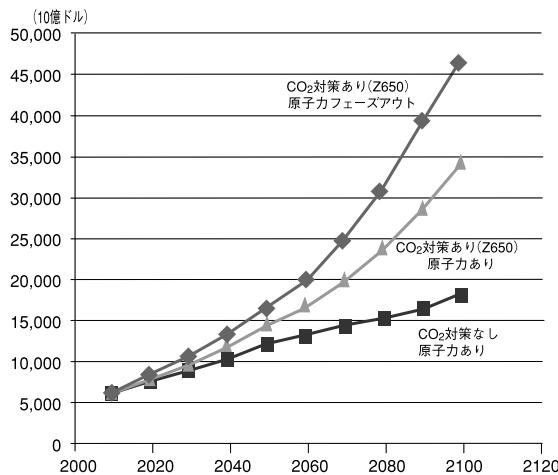


図7 総エネルギーコストの比較(原子力フェーズアウトの影響)

といえる。一方、2050年以降、上述のとおり、高コストの蓄電技術を導入していくことにより、対策コストは急増していく。

以上まとめると、原子力をフェーズアウトの影響は以下の通り。

- 当面は天然ガス火力による代替が可能である。ただし、本エネルギーモデルでは考慮していないが、天然ガスの需要が急増することにより、市場原理で価格が急騰するリスクはある。
- 天然ガス火力+CCSや太陽光発電は原子力よりもやや割高であるため、エネルギーコストは若干(10%程度以下)増加する。
- 中長期的には、火力発電も使えなくなってくるので、原子力をフェーズアウトさせると電源は再生可能エネルギーしかなくなる。特に、太陽光や風力の出力は不安定であり、それらを安定的かつ合理的なコスト範囲で運用できるかは不透明。

なお、原子力を大量に導入しているのは、米国、中国、インド、東南アジアである。当然のことながら、原子力フェーズアウトの影響はこれらの国で顕著にみられることとなる。

8. まとめ

温暖化の影響を2℃程度以下に抑えるための現実的な方策として提案されたCO₂制限のオーバーシュートシナリオ(Z650シナリオ)について、それを実現するためのエネルギー需給構造を検討した。

2050年くらいまでは下記に示すような比較的实现性の高い技術の組み合わせで実現可能であることを示した。また、実現のためのコストも現実的な範囲であることを示した。

- 発電：原子力、CCS、再生可能
- 定置：天然ガス、バイオ燃料
- 運輸：プラグインハイブリッド車、電気自動車

先進国のみにより厳しい制限を課すなど、CO₂制限をさらに厳しくすると、割高な技術が前倒しで導入され、エネルギーコストが急増することを示した。

以上より、CO₂制約実現にあたっては、Z650シナリオに世界協調で取り組むことが合理的であると考えられる。

東日本大震災を踏まえたケーススタディと

して、原子力がフェーズアウトした場合の需給構造について検討した。2050年あたりまでは天然ガスを中心とした代替が可能であり、追加コストもそれほど大きくない。ただし、天然ガスの需要が増加することに伴い、価格が高騰するリスクは高まる。中長期的に見た場合、CCS付きの火力発電も使えなくなってくるので(貯留地に限りがあるため)、原子力以外の電源は再生可能エネルギーしかなくなる。原子力を中長期的に廃止するためには、再生可能エネルギーによって、必要な電力を安定に供給出来るようなシステムを合理的なコストで構築し得ることが必要条件となるが、技術的・経済的に不確実性が大きい。

[謝辞]

本検討は、キヤノングローバル戦略研究所の委託事業として実施された。関係者のご指導、ご協力に謝意を表する。

参考文献

- (1) IEA Energy Technology Perspectives 2010, International Energy Agency (2010)
- (2) T. Matsuno, K. Maruyama and J. Tsutsui, "Equilibrium stabilization of the atmospheric carbon dioxide via zero emissions - An alternative way to stable global environment Part 1: Examination of traditional stabilization concept", submitted to, Proc. Japan Academy, Ser. B (2011)
- (3) T. Matsuno, K. Maruyama and J. Tsutsui, "Equilibrium stabilization of the atmospheric carbon dioxide via zero emissions - An alternative way to stable global environment Part 2: A practical zero-emissions scenario", submitted to, Proc. Japan Academy, Ser. B (2011)
- (4) A. Kurosawa, Progress in Nuclear Energy, Vol. 37, No. 1-4, pp101-106, 2000, Elsevier
- (5) A. Kurosawa, Energy Economics, Vol 26, Issue 4, pp.675-684, 2004, Elsevier
- (6) World population prospects: The 2006 Revision Population Database, United Nations, 2007 <http://esa.un.org/unpp>
- (7) World Population to 2300 final (2004)
- (8) IEA World Energy Outlook 2008, International Energy Agency (2008)
- (9) 資源エネルギー庁エネルギー白書, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/>
- (10) Uranium 2005: Resources, Production and Demand, A Joint report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency (2005)

ISO50001普及促進事業について

(財) エネルギー総合工学研究所
エネルギー国際標準(ISO)センター

1. ISO50001の概要

ISO50001とは、企業等の組織がその事業活動におけるエネルギーの使用の効率化を図るための仕組みを構築し、実施しながら継続的な改善を行うエネルギーマネジメントシステム(EnMS)の国際規格です。同様のマネジメントシステム規格にはISO9001(品質管理)やISO14001(環境管理)などがあります。本規格には次のような導入メリットが挙げられます。

① 既に省エネ法やISO14001に対応している企業様は、容易にISO50001によるエネルギーマネジメントシステムを導入・構築し、さらなる省エネの効果を上げることが可能です。② 発行間もない現時点での他社に先駆けた本規格の認証取得によって、エネルギー管理や省エネルギーに熱心な企業としての先進性や社会貢献への企業姿勢のPR効果が期待できます。

2. 規格開発の経緯と今後の予定

(1) 規格開発の背景

エネルギー資源価格の高騰と地球環境問題

の深刻化により、エネルギー管理を体系的、効率的に行うためのエネルギーマネジメントシステムを導入する国や企業が増大し、それにつれて各国が独自に開発したマネジメントシステム規格の国際標準化の要請が高まってきました。その機運を受けて、2007年に米国とブラジルがエネルギーマネジメントシステム規格の開発を共同提案し、2008年よりPC242(現在のTC242)がISOに設置され、ISO50001の開発が始まりました。

(2) これまでの経緯とISO50001の発行について

当研究所は2007年の提案時から経済産業省の委託を受け、国内の体制構築と運用および4回の国際会議への参加を通じてわが国の主張を規格開発に反映し、去る6月15日ISO50001が発行されました。また、本規格の普及促進策として、今年10月にはJISが発行される予定になっております。図1にこれまでの経緯等について示します。なお、政府調達時の優遇措置についても8月31日に資源エネルギー庁の委託事業(研究開発、調査など)の加点要件となることが発表されました。

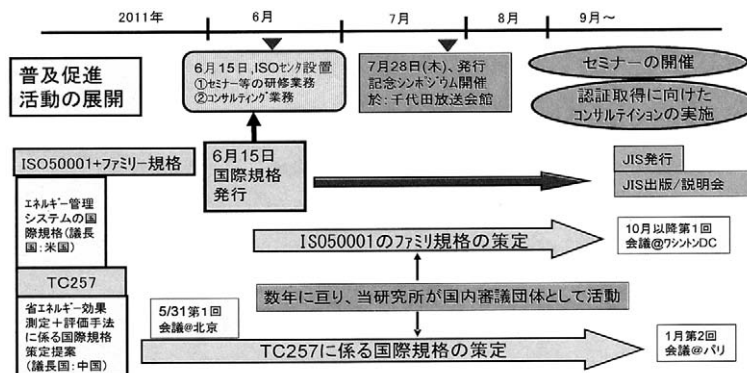


図1 これまでの経緯等

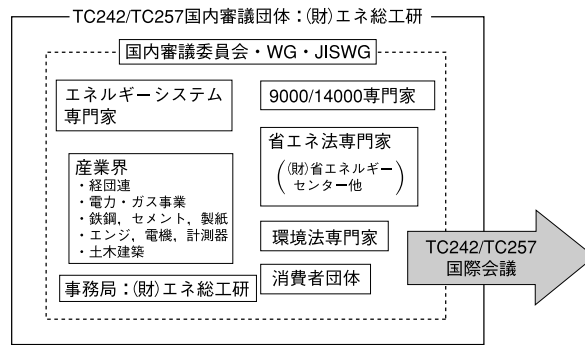


図2 規格開発の国内体制

(3) 規格開発の国内体制

図2に規格開発の国内体制を示します。当研究所は経済産業省よりTC242及びTC257（中国提案の省エネ評価・検証国際規格）の国内審議団体として認定を受け、その下に委員会、WGを置いて規格開発を進めるとともにJIS WGも設置し、ISO50001のJIS化対応を行っています。

(4) ISOセンターの設立と省エネルギーの普及促進活動について

当研究所ではISO50001発行にあわせ、去る6月15日にISOセンターを設立いたしました。ISOセンターでは、省エネルギーの一層の普及促進をめざし、表1のISO50001の研修に加え、コンサルティング事業も展開してまいります。

研修会の実績と予定を表2に、具体的な研修プログラムについては表3、表4に示します。

実習を含む実践的な研修により、ISO50001によるエネルギーマネジメントの理解が深まり、実効性の高いエネルギーマネジメントシステムの構築が可能となります。

平成24年1月以降の研修会の開催につきましては現在調整中です。研修日程の追加等につきましては、次のURLをご覧ください。

<http://www.iae.or.jp/iso-center/>

また、研修、コンサルティングに関するお問合せは、下記へお願いいたします。

当研究所ISOセンター

電話：03 - 3508 - 8891

メール：iso-center@iae.or.jp

表1 当研究所が提供するISO50001研修

名 称	概 要
ISO50001 EnMS 導入・構築研修	ISO50001 規格への理解を深め、エネルギーマネジメントシステムの構築手順及びポイントを理解するための研修です。
ISO50001 EnMS エネルギーレビュー 実践研修	効果的なエネルギーマネジメントシステムの構築に欠かせないエネルギーレビューなどのエネルギー計画の立案に関わる実務を行うために必要な知識技能を習得するための研修です。
ISO50001 EnMS 内部監査員研修	エネルギーマネジメントシステム内部監査を実施するために必要な知識及び技能を習得するための研修です。

表2 ISO50001研修会の実績と予定

	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
導入・構築研修	7/8	7/22	8/26	9/15	11/24
エネルギーレビュー 実践研修	10/24	12/9			
内部監査員研修	12月以降で調整中				

表3 EnMS 導入・構築研修プログラム

時間	学習内容	備考
9:30～9:45	はじめに - コース案内及び研修施設の案内	説明
9:45～10:15	エネルギーマネジメントシステム(EnMS)の目的及びISO50001規格制定の背景 - ISO50001 制定の経緯、背景を通して EnMS の目的及び必要性について理解を深めます。	講義
10:15～12:00	ISO 50001EnMS の理解 - ISO50001 規格の要求及びその意図を学習し、EnMS の全体像を把握します。	講義・演習
12:00～13:00	昼食	
13:00～14:00	EnMS 構築のポイント - EnMS 構築の手順及び構築の際に考慮すべき重要な点について学習します。	講義
14:00～16:00	エネルギー計画の立案 - 効果的な EnMS 構築のために必要なエネルギー計画の立案について理解を深めます。 - ここでは特に以下のような事項を取り上げます。 > エネルギーレビュー > エネルギーパフォーマンス指標及びエネルギーベースライン > 監視、測定及び分析	講義・演習
16:00～16:30	戦略的エネルギーマネジメントのために - 戦略的エネルギーマネジメントの実現のためにエネルギーに関連するリスク及び EnMS 構築のメリットについて理解を深めます。	演習・講義
16:30～17:00	質疑応答 - 質疑応答を行います。	

表4 EnMS エネルギーレビュー実践研修プログラム

時間	学習内容	備考
9:30～9:45	はじめに - コース案内及び研修施設の案内	説明
9:45～10:15	エネルギーレビューの要求事項 - ISO50001 のエネルギーレビューに関連する要求事項及びエネルギーレビューのアウトプットに関する取り扱いについて理解を深めます。	講義
10:15～12:00	エネルギーレビューの手法 - エネルギーレビューに必要な情報及び、一般的なエネルギーレビューで用いられる分析手法について理解を深め、エネルギーレビューの実施に必要な知識を習得を目指します。 > エネルギーレビューへのインプット情報 > エネルギーレビューの手法・ツール	講義・演習
12:00～13:00	昼食	
13:00～14:30	改善の機会の特定 - エネルギーパフォーマンス改善の機会の特定の手法について理解を深めます。 > 改善の機会の特定に関するフロー > ベストプラクティスの活用	講義・演習
14:30～15:30	エネルギーベースライン及びエネルギーパフォーマンス指標 - エネルギーベースライン及びエネルギーパフォーマンス指標の設定に関する理解を深めます。	講義・演習
15:30～16:30	効果的なエネルギー行動計画の作成のために - 効果的なエネルギー行動計画作成のポイントについて確認します。	講義
16:30～17:00	質疑応答 - 質疑応答を行います。	

研究所のうごき

(平成23年7月2日～10月1日)

◇ 第38回評議員会

日 時：7月13日(水) 11:00～12:00

場 所：経団連会館(5階) 502号室

議 題：

- 第一号議案 役員の一部改選について
- 第二号議案 評議員の委嘱について
- 第三号議案 平成22年度事業報告書および決算報告書について
- 第四号議案 公益法人制度改革への対応について
- 第五号議案 その他

◇ 月例研究会

第303回月例研究会

日 時：7月29日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. この夏の節電対策の状況と長期的な見通しについて
(東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 准教授 岩船由美子 氏)
2. ジャイロ式波力発電の開発
(神戸大学 名誉教授 神吉博 氏)

第304回月例研究会

日 時：8月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. 環境保全に貢献するスーパー樹木の開発に向けて
(独)森林総合研究所 研究コーディネータ
(生物機能研究担当) 篠原健司 氏)
2. 東日本大震災後の地熱利用の飛躍的拡大に向けて
(弘前大学 北日本新エネルギー研究所 教授 村岡洋文 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：内藤 正則、内田 俊介、岡田 英俊、越塚 誠一(東京大学)

テーマ：Validation of Code System DRAWTHREE-FAC for Evaluation of Wall Thinning due to Flow Accelerated Corrosion by PWR Feed Water Piping Analysis

発表先：米国機械学会(ASME) ASME Pressure Vessel & Piping Conference 2011 (ASME PVP2011)

日 時：7月19日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：Technology Roadmap for Green Innovation

発表先：低炭素社会を設計する国際環境リーダー育成国際ワークショップ

日 時：8月8日

発表者：蓮池 宏

テーマ：消費者選好モデルを用いた次世代自動車の普及分析

発表先：(社)自動車技術会第13回次世代自動車・エネルギー委員会

日 時：8月22日

発表者：石本 祐樹

テーマ：SENSITIVITY ANALYSIS ON HYDROGEN COST IN INTER-CONTINENTAL RENEWABLE ENERGY TRANSPORTATION

発表先：World Hydrogen Technology Convention (WHTC2011)

日 時：9月16日

発表者：小野崎 正樹

テーマ：石炭発電におけるCCSの全体システム

発表先：第4回CCSフォーラム「CCSの実現に向けた持続可能性と安全性」東京大学主催、Global CCS Institute後援

日 時：9月16日

発表者：内藤 正則、岡田 英俊、内田 俊介

テーマ：連成解析による気液二相流中構造物の振動・腐食評価手法の開発

(第54報) V&V法による流れ加速型腐食評価手法の検証(内藤 正則)

(第55報) V&V法による液滴エロージョン評価手法の検証(岡田 英俊)

(第56報) 系統内のFe²⁺イオン移行と流れ加速腐食に及ぼす影響の評価(内田 俊介)

発表先：日本原子力学会2011秋の大会

日 時：9月20日

発表者：内藤 正則、岡田 英俊

テーマ：Evaluation Method for Pipe Wall Thinning due to Liquid Droplet Impingement

(1) Overview

(2) Comparison of Calculations with Measurements at Actual Nuclear Power Plants

発表先：NURETH-14 (The 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-hydraulics)

日 時：9月27日、28日

[寄稿]

発表者：坂田 興

テーマ：「二次エネルギー」水素

発表先：日本エネルギー学会誌 2011年8月号

(Annual Energy Review号)

発表日：平成23年8月

◇ 人事異動

○9月30日付

(出向解除)

吉澤秀夫 原子力工学センター 部長

編集後記

1356, この数字は2010年に海外から日本に入港したLNG船の隻数。GIIGNL(国際LNG輸入者連盟)の2010年版のレポートによる。石油について,このような詳細な数字は把握していないが,石油連盟のデータおよび貿易統計から推定すると,2010年に凡そ660隻のタンカーが海外からわが国に石油を運んでいる。また,石炭については,一般炭・原料炭等の合計で,2009年に約1900隻が輸入のために運行されたと推定される(Coal Market Survey 2010-2011)。乱暴な計算だが,化石燃料の輸入のために,あわせて年間約4000隻の大型輸送船が運航されている計算になる。1日当り約11隻である。言うまでも無く,石油タンカーが一番大きく平均約27万トン,石炭輸送船は9万トン弱,LNGタンカーは5万トン強と,それぞれ巨大な輸送船である。

エネルギー自給率4%(原子力を準国産エネルギーとして算入しても19%)の島国にとって,従って,エネルギー輸入のための航海が阻害される事態が何を意味するのか。化石燃料調達 of 断続的努力に加えて,航海の安全確保,そして当然,

自給率の向上が,この国の存続にとって極めて重要な課題であることを,今一度思い出すべきではないか。セキュリティ上の問題が,往々にして忘れ去られているような気がしてならない。

再生可能エネルギーについても,自給率向上の観点から,国産エネルギーとしてその重要性を考える必要がある。その意味で,長い間見過ごされてきた地熱が,最近見直されつつあるのは大変喜ばしい。すぐに,と言うわけには行かないが,この安定なエネルギー源を地道に開発していく努力に期待が掛かる。太陽・風力については,不安定な出力を,火力や蓄電池で如何にバックアップするかという問題への,実現可能な対応策を見出さねばならない。

言うまでも無く,再生可能エネルギーが,短中期的にわが国一次エネルギー供給のメジャーな割合を担えるとは考えにくい。化石,原子力,そして再生可能エネルギーのベストミックスを,常に,冷静に,考えていく必要があるだろう。

編集責任者 正田知士

季報 エネルギー総合工学 第34巻第3号

平成23年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2

新橋SYビル(8F)

電話 (03) 3508-8894

FAX (03) 3501-8021

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

(印刷) 株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。