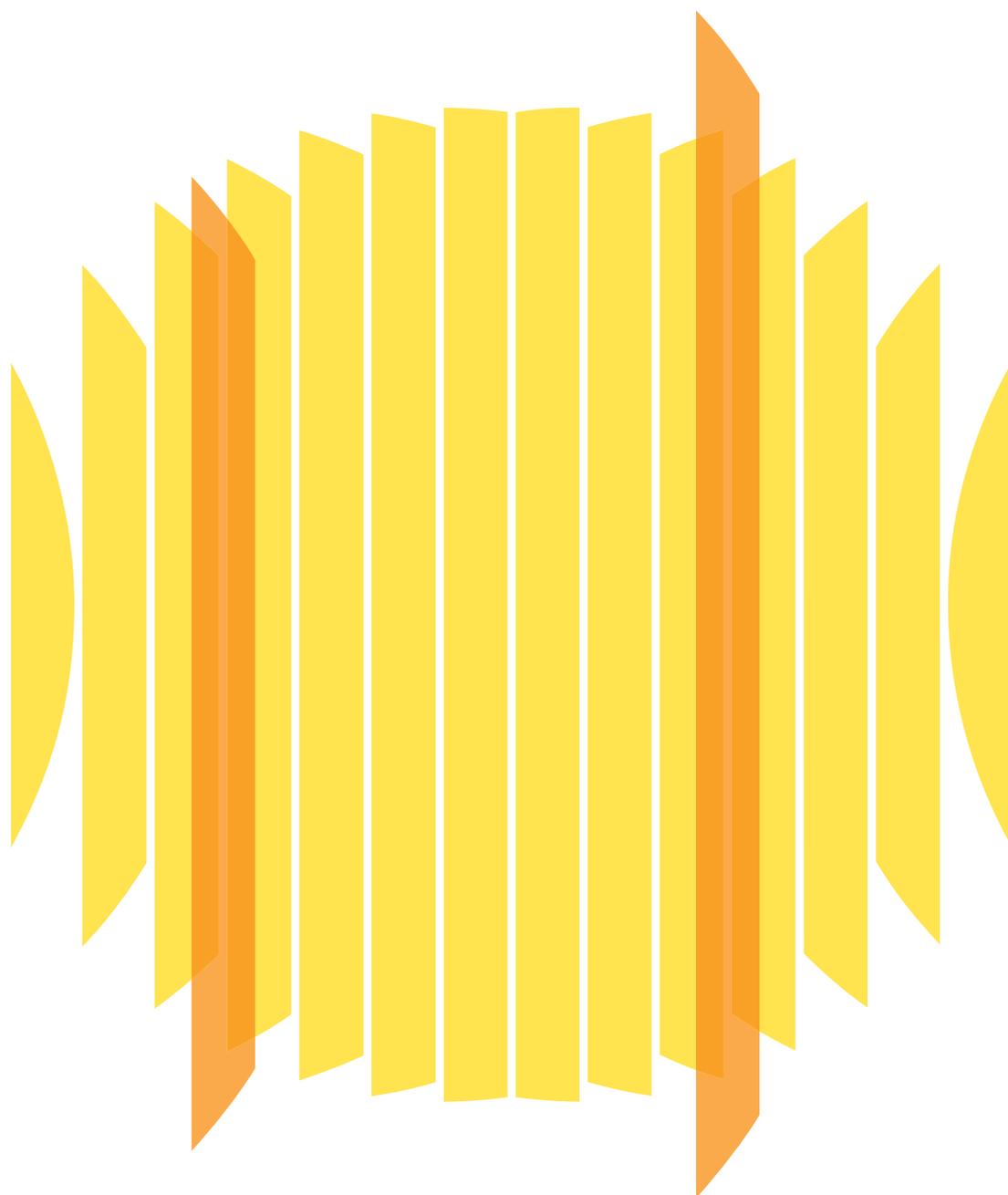


# 季報 エネルギー—総合工学

Vol. 38 No. 3 2015.10.



一般財団法人 エネルギー—総合工学研究所  
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

# 目 次

## 【巻頭言】

「暮らし」と「モノづくり」を支える

電気事業連合会 専務理事 小野田 聡 …………… 1

## 【寄稿】

パリ合意国際枠組みの効果的なデザインのエッセンス

(有) クライメート・エキスパーツ 代表取締役 松尾 直樹 …………… 3

## 【寄稿】

最新のマネジメントシステム規格 (MSS) および環境問題

IMS コンサルティング(株) 顧問 寺田 博 …………… 7

## 【調査研究報告】

欧州の原子力発電所の最近の廃止措置実施状況

プロジェクト試験研究部 原子力グループ 特任研究員 林道 寛 …………… 18

## 【調査研究報告】

米国エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E) 取り組みの最新状況

プロジェクト試験研究部 地球環境グループ 主管研究員 守家 浩二 …………… 32

【研究所のうごき】 …………… 42

【編集後記】 …………… 46

# 巻頭言

「暮らし」と「モノづくり」を支える

小野田 聡 (電気事業連合会  
専務理事)



1970年代に国家的大混乱を引き起こした「オイルショック」を正確に語ることができる人が少なくなっているが、それは、単に時間が経過したからではない。当時8割も依存していた我が国のエネルギー源の石油が輸入できなくなってしまったという教訓を活かして、省エネルギー技術を進化させたことに加え、エネルギー源の多様化、即ち、燃料転換のための設備投資をすすめる。電力では、20年以上経過した2000年代にようやく、石油、石炭、天然ガスの火力と、水力、原子力がバランスよく運転できるようになった。こうした努力により、石油依存度が低下し、必要なエネルギーが安定供給されるようになったため、国民が危機感を感じなくなり、「オイルショック」を語る必要がなくなったからではないだろうか。

その後、地球温暖化対策の必要性が増し、その切り札として、原子力発電の比率を高めていこうとしていたが、2011年の東日本大震災において福島原子力発電所の事故が発生したため、順次、原子力発電所の運転が停止し、電力の安定供給のために、代替の化石燃料を年間で3兆6,000億円も追加輸入する必要性が生じ、電力料金の値上げを余儀なくされた。原子力の信頼性が失われ、再生可能エネルギーへの期待感が増したこともあって、原子力の比率を極力下げることが決定されたが、急激な太陽光発電の導入により、系統電力の安定性が脅かされ、賦課金も増え続けるという、欧州等の失敗例が十分活かされない事態も発生している。

こうしたことを受け、政府は安全を前提にしたエネルギーセキュリティー、経済性、環境性のいわゆる「S + 3E」の観点から、エネルギー自給率の低い我が国において、ペー

スロード電源を確保し、電力システムの安定性や地球温暖化対策にも配慮したバランスのとれたエネルギーミックスを決定した。「暮らし」と「モノづくり」を支える電力業界にとって、このエネルギーミックスを実現することが極めて重要であり、それには、新たな技術開発や設備投資も必要である。オイルショック後に20年かけて対策したことを考えれば、2030年のエネルギーミックス達成のためには、「ゆっくり」ながらも、「着実な」企業努力の積み重ねが必要である。再生可能エネルギーの導入や一定程度の原子力発電を維持することに加え、温暖化対策のために悪者にされがちな石炭火力にも重要な役割があることを考え、目先の対策のみにとらわれず、効率的でバランスの良い使い方をしていくべきである。

自給率を高めつつ、エネルギーを大事に使っていく社会を構築し、それを守っていくことを誇れる文化を築いていくことが、未来の子供達のためにも大切なことである。

[寄稿]

## パリ合意国際枠組みの効果的なデザインのエッセンス

松尾 直樹 (有) クライメート・エキスパート  
代表取締役



### 1. 気候変動に関する国際制度の変遷

気候変動問題は、経済成長のベースでもあるエネルギー消費に大きな転換を迫るという点において、単なる環境問題の範疇にとどまらない現代文明にとってもっともチャレンジングな問題のひとつである。

言うまでもなく、この問題はグローバルな取組が不可欠であり、その解決に向けて、1992年に採択された国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の下で、締約国会議（COP）が、すでに20回開催されてきている。

ただ、その国際的取組の基本的スタンスは、コペンハーゲン会議（2009年）を境に、京都議定書型ではなく、現在は「各国の自主性重視」型に軸足を移している（図1参照）。

これは、京都議定書型のトップダウン的な

規制型では、米国や途上国が参加できない、という現状を表しているが、逆に自主性を重視するなら、米国も途上国も参加できる、ということでもある。

この状況を受けて、2020年以降の国際枠組みに関して、新しい国際協定が、いよいよ今年12月のパリにおけるCOP21で採択される予定となっている。

### 2. パリで決定されることの意味合い

パリでの決定は、パッケージの形をとり、国際協定の部分（各国に持ち帰って批准プロセスが必要）と、それ以外の通常のCOP決定の部分から成る。おそらく

- 「国際協定」はコアとなるNDC（自主目標）<sup>※1</sup> プロセスを動かすための「仕組み」を規定す

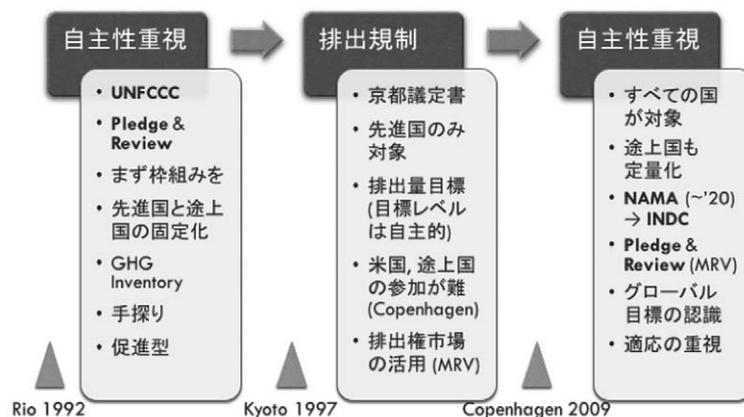


図1 気候変動国際枠組みの基本的スタンスの経緯

注1：NDC（Nationally Determined Contribution）は、定期的に改訂される自主目標。その最初の「案」が、INDC（Intended NDC）で、日本語では「約束草案」と意識されている。

る。NDCは定期的にチェックし改訂されていくことが想定されていて、そのための各国の通報/レビュー/改訂、そして世界全体の軌道修正などの「強化サイクル」と「タイムフレーム」を規定。コンプライアンスとファシリテーションの仕組みも規定。

- 「COP 決定」では、NDCの要素や、各種の運用則をいつまでに決定するか?を規定（たとえば市場メカニズムやレビューの詳細に関する点）

となると想定される。

京都議定書のように、各国の数値目標を国際協定において規定することはしない。数値目標の値自体をCOP決定で規定することもせず、あくまで「自主性」に基づくもの（各国が独自に決定しプレッジする）となる。

この新しい枠組みの意味合いを考えてみよう。上述のように、京都議定書タイプのトップダウン型の規制は多くの国にサポートされないことがコペンハーゲンで明らかになった。その状況下<sup>\*2</sup>では、各国が「自主的に」できることを行っていくしか道はない。問題は、どのような枠組みを形成すれば、自主的とはいえ、対策がきちんと実施そして目標が強化され、GHG排出量がグローバルに減っていくことができるか?という点にある。

そのソリューションとして、

- 各国が自主的に自国目標をプレッジ
- 進捗報告
- 事前・進捗・事後などの手厚いレビューを行う
- 世界全体での目標に照らした世界全体のレビュー

などを定期的、おそらく5年毎に行うことで、対策の実効性を高め、世界全体での対策強化のトリガーとなる仕組みを入れておくことが企図されている。すなわち、各国レベルおよびグローバルなレベルにおけるPDCAサイクルを導入しようとしている。

NDCおよびその最初の草案であるINDCは、先進国の場合には「GHG排出量の絶対量に対する目標」という形をとるが、途上国の場合には、エネルギー原単位の向上率、BAU（対策を講じない場合）からの乖離度合いなど、さまざまな形をとり、その国が選択する。先行したNAMA<sup>\*3</sup>策定の方法論を拡張して設定する国が多い。

重要なのは、このINDCやNDC策定プロセスそのもので、その国が自国の状況を再認識し、省庁横断的な体制を作って、国として取り組むべく計画を策定し、方法論や目標と見通しをたて、定量的な評価プロセスを導入



図2 NDCによる定期的対策強化PDCAサイクルのイメージ

注2：ここで留意すべき点は、京都議定書型の場合にでも、実効性を保つことは簡単ではないということがある。たとえ国際協定の内容に合意できたとしても、京都議定書の場合の米国のように国内批准ができないケース、カナダのように遵守できそうになかったら脱退するケースなどを排除することはできないなど、法的強制力があるとはいえ、現実には遵守強制力は弱い。また、数値目標自体も、交渉プロセスにおいて各国が「受け容れる」ことが必要で、自主目標との実質的差異は少ない。

注3：NAMA (Nationally Appropriate Mitigation Action) とは、途上国における国内対策（個別プロジェクトからマクロ的な対策や国家目標まで含めて）を、定量化し、その検証まで行うこと。先進国のサポートが得られる場合もある。

するというプラクティスは、途上国の場合には未経験であるケースが多い。

現時点（2015年9月13日）では、先進国と途上国合わせて33カ国が、INDCを提出しており<sup>\*4</sup>、インドネシアなど9月中旬に提出予定の国も多い。

NDCプロセスが、どのようなPDCAプロセスとしてデザインされ、またそれが有効に機能できるかどうかは、現時点で判断はできないが、期待するところ大である。

### 3. 途上国の INDC 策定への課題

INDC 策定プロセスは、途上国にとって非常に大きな意味を持つ。

とくに途上国においては、気候変動問題を管轄する環境庁には、政策に対して実質的権限がなく、かなり弱い調整官庁に過ぎないことが多い。その意味で、「国としての」目標や計画策定プロセスを導入することは、気候変動問題自体を、他の主要省庁が認識し、その分野の政策や計画に折り込むことを意味し、「気候変動問題の主流化」とも呼ばれる。

この INDC 策定に先立って、気候変動国際枠組みにおいて、NAMA という仕組みが動いてきている。CDM（クリーン開発メカニズム）にはじまった対策の定量化という点で、INDC の先駆的な意味合いと重要性を持つ。

ただ、現時点で NAMA として登録されている活動は、100 件を超えるが、その実施状況は芳しくない。途上国にとってのインセンティブは、対策を NAMA 化することで先進国からのサポートが得られる可能性が高まるということであった。しかし、現実には、能力育成サポートはあるもののプロジェクトの財政的サポートの実例は少ない。

その中で、ドイツと英国政府の形成する“NAMA Facility”というプログラムのみが突出して、実質的な財政サポートを行ってきており、両国の国際協力と気候変動問題にお

ける戦略性がよく現れている。

また INDC としても、コロンビアなどは先進国のサポートを受けて、非常にすぐれた準備を行ってきている。インドネシアも日本の技術協力などを背景に、省庁横断的な体制を敷き、よく練った INDC を策定してきている。

### 4. パリ合意に向けての課題

国際交渉において、しばしば最終決定に大きな影響をもたらすものが、「財政支援」である。

現在、条約の新しい財政メカニズムである GCF（緑の気候基金）が機能し始め、先進国からも途上国からも資金拠出プレッジが集まっている。

一方で、2020 年における長期ファイナンスとして、先進国は 2020 年に、公的および民間資金の合計で年間 1,000 億ドルもの資金の拠出をプレッジしている。おそらく、途上国は、パリ交渉において、2020 年に至る道筋や中間年目標の指定などを求めて来るであろう。先進国がそれに応えられるかどうかは現時点では不透明である。

公的資金自体は、より大きな民間資金を動かすためのレバレッジとして用いることで、より有効に用いることができる。ただ、そのために、各種金融手法を適材適所にデザインするといったグランドデザインを描く主体やイニシアティブは、いまのところ存在しない。

CDM の市場がほとんど閉ざされてしまっている中、「新しい市場メカニズム」をどうするかという国際交渉は、実質的なものはほとんど進んでいない。

現在、中国などでも散発的に地域的な排出権市場が動き出しつつあり、それらを市場統合する、つまり、排出権に互換性を持たせるようにすることができないかという動きはある。ただ、あくまで国が単位となる UNFCCC の国際枠組みの交渉において、それは決して簡単ではない。

注4：10月7日時点では、INDC 提出国は 120 に及んでいる。

現時点では「市場」メカニズムとは言えないものの、日本の主張する JCM（二国間クレジット制度）が、どうなるかもきわめて不透明である。市場メカニズム自体の有用性は多くの国が認めるため、何らかの形で、今後の交渉を行うべくタイムラインが設定される可能性はある。

## 5. 長期的視野におけるポイント

おそらく、パリ合意において、グローバルな長期的目標が示されると想定される。たとえばそれが「産業革命以前から 2℃ 上昇を抑える」というような目標だった場合、上述の INDC/NDC の総和との整合性が問題となる。

今はまだ顕在化することはないだろうが、たとえば 2020 年時点、2025 年時点になると、対策が絶対的に不足していること、目標が緩すぎることで顕在化するであろう。

そのときに、軌道修正 = 目標強化がスムーズにできるかということが、この NDC をベースとした仕組みが有効に機能できるかどうかの試金石となろう。

[寄稿]

## 最新のマネジメントシステム規格（MSS）および環境問題

寺田 博<sup>※</sup>（IMSコンサルティング(株) 顧問）



### 1. MSS の展開と集約

国際標準化機構（ISO）が、いわゆる製品規格から離れて、マネジメントシステム規格（MSS：Management System Standard）を制定してから、既に四半世紀が経過している。これらのMSSの多くは認証登録の基準として使用され、現在では表1に示すように多くの組織が、さまざまなMSSによる認証登録を果たしている。

これ以外にも、記録、事業継続、道路交通安全、持続可能なイベント運営、アセット、労働安全衛生など、MSSの枚挙にはいとまがない。これらの規格を作成するISO技術専門委員会（ISO/TCと呼ばれる）はそれぞれ独立しているため、でき上がったMSSの構成、記述方式、あるいは用語などには一貫した統一性が見られず、複数のMSSを併用する組織にとっては甚だ難儀なものであった。

そもそもマネジメントシステムはマネジメントの対象分野に依らず、共通的な要素で構成されるはずであり、上記のような統一性を欠く

規格の発行が使用者に混乱をもたらすことは自明であった。この点を解消することを目的として、ISO技術管理評議会（ISO/TMB）のもとにタスクグループが結成され、MSSの共通化作業が始められ、約3年の検討を経て2012年にはMSS作成のための共通的なテキストがまとめられた。その内容は、ISO業務指針の附属書（Annex）SL項に公示されており、2014年以降に発行されるMSSは、附属書SL（Annex SL）と通称されるこの共通テキストに沿って記述されることになった。

### 2. 共通テキスト（附属書SL）の構成

図1に示すように、SLにはすべてのMSSは項のタイトルおよび項ナンバーはもちろん、共通的に用いられる用語は、定められた定義とすること、および要求事項を記述する文章も共通テキストに従わねばならないこととされている。マネジメントの分野によっては、共通テキストでは不足する事項もあるが、この際には追記（文章、箇条の追加など）し、共通テキスト

表1 MSS 認証登録の現状（2014年）

規格	認証件数	年間増加率（%）
ISO 9001（品質）	1,138,155	1
ISO 14001（環境）	324,148	7
ISO 16949（自動車品質）	57,950	8
ISO 22000（食品安全）	30,500	14
ISO 13485（医療機器品質）	27,791	8
ISO 27001（情報セキュリティ）	23,972	7
ISO 50001（エネルギー）	6,778	40

（出所：ISO Survey 2014 のデータを基に筆者作成）

※ ISO/TC207/SC1 国内対応委員会委員、ISO/PC242 国内対応委員会委員、ISO/TMB/JTCG 国内対応委員会委員



図1 マネジメントシステム規格の共通化

記述の削除などはできないことになっている。

基本的なテキストの構成は、表2に示すように、要求事項7箇条とそのなかに含まれるいくつかの小箇条からなり、全体としては、「6計画」から始まるPDCA（plan-do-check-act）の構成となっている。

「4 組織の状況」について、従来の規格では取り立てた記述はなく、あったとしてもいずれかの箇条の中で、触れられる程度であり、

共通テキストで改めて取り上げられた要求事項であるといえる。特に「4.1」および「4.2」はマネジメントシステムを構築するに当たっては、必須のアセスメント項目であり、共通テキストの新しい着目点ともいえる。

また、「6.1 リスクおよび機会」に関する要求事項も新しい視点である。マネジメントの対象としての“リスク”の概念は、従来から存在したが、“機会”をマネジメントする考

表2 付属書 SL MSS 共通テキスト目次構成

4 組織の状況
4.1 組織の状況の理解
4.2 利害関係者のニーズおよび期待の理解
4.3 マネジメントシステム適用範囲の決定
4.4 マネジメントシステム
5 リーダーシップ
5.1 リーダーシップおよびコミットメント
5.2 方針
5.3 組織の役割、責任および権限
6 計画
6.1 リスクおよび機会に向けての行動
6.2 目的およびその達成計画
7 支援
7.1 資源
7.2 力量
7.3 認識
7.4 コミュニケーション
7.5 文書化情報
8 運用
8.1 運用の計画および管理
9 パフォーマンス評価
9.1 監視、測定、分析および評価
9.2 内部監査
9.3 マネジメントレビュー
10 改善
10.1 不適合及び是正処置
10.2 継続的改善

えが登場したのは2011年に制定された「ISO 50001のエネルギーマネジメントシステム規格」が最初である。その意味でこの項もまた新しい視点とみることができる。

2015年9月に発行された、改定版の「ISO 9001品質マネジメントシステム」および「ISO 14001環境マネジメントシステム」はSL共通テキストに沿って改定されたものであり、それ以前に発行されたマネジメントシステム規格ではコンプライアンス（法順守）、アセット、事業継続および道路交通安全などが共通テキストに準拠したものとなっている。

新しいISO 9001およびISO 14001はいずれも共通テキストに沿ったものであるが、追加の細分箇条あるいは追加の記述文にはかなりの差が見られる。例えば、ISO 9001の計画に関する「6.1」および「6.2」は共通テキストのままであるが、ISO 14001では「6.1」がさらに4項に細分されている。また、「7.1資源」の項について、ISO 14001では共通テキストのままであるが、ISO 9001では細分箇条5項が追加されている。「8運用」について、ISO 14001では、細分箇条1項が追加されているのみであるが、ISO 9001では小箇条6項およびそれらの細分箇条多数が追加されて、記述の分量も規格本文の4割を占めている。

このようにマネジメントの分野によって、細分箇条の追加あるいは記述内容には大きな差が見られるが、これは対象分野によってマネジメントシステムのどの要素に重点が置かれるべきかで見解が分かれたことによるものである。

### 3. 新しいマネジメントシステムの強調点

先に述べたように、いくつかの分野のマネジメントシステム規格において共通テキストに沿った改定／制定が進んだが、ここで新しい規格が示すマネジメントシステムの強調する点を考えてみよう。これに関してはISOがさまざまな文書で示しているが、ここでは次

に示す8点を捉えてみた。このほかにISOの文書ではコミュニケーションに関する要求も上げているが、ここでは割愛した。

- (1) マネジメントの目的の明確化
- (2) プロセスの重視
- (3) マネジメントシステムおよびビジネスプロセスの統合
- (4) リーダーシップおよびコミットメント
- (5) 組織の状況把握
- (6) リスクおよび機会への取り組み
- (7) アウトソーシングのマネジメント
- (8) パフォーマンスの改善

以下において、上記の重点項目ごとに規格の要求事項を検討するが、ここでは主としてISO 9001品質、およびISO 14001環境の両規格に注目している。

#### (1) マネジメントの目的の明確化

マネジメントシステムには目的があり、この目的を効率よく達成するために種々の要素があり、さらにこれらの要素間の相互関連が重要である。マネジメントシステムの要素は共通テキストが明示したように、“計画”、“支援”、“運用”、“評価”、“改善”が中心であり、これらは分野に依らず共通である。これらの要素を形にするのは、比較的容易であるが、これら要素間の相互関連を明確にして、これを有効に運用するのは、やや困難な作業となる。後に触れるが、この相互関連を明確にして、有効に活かすための手法がプロセスアプローチとされている。マネジメントシステムの目的となると、さらに不明瞭になりがちである。マネジメントシステムの目的を文書にすることは、どの組織でも実施されているが、本当にそれを目的にした運用がなされるかは別問題のようで、一例としてマネジメントシステムの目的が“認証取得”になっていることが多いのは周知の通りである。

ISO 9001ではマネジメントシステムの目的が顧客満足の向上であることは、改定以前からいわれていたことである。しかし改定版で

は、“顧客”を広くとらえることが必要になっており、顧客とは社会全般であると解釈するのが適切である。

一方、ISO 14001では目的がやや不明瞭であったが、新しい規格によってマネジメントシステムの目的は、環境保護（汚染の予防、持続可能な資源の利用、気候変動の緩和、生物多様性の保護など）および環境状態への適応（変化する気候あるいは環境条件に適応してその影響を緩和すること）であることが明記された。

## （2）プロセスの重視

プロセスという言葉はISO 14001:2004ではほとんど使用されていなかったが、新しい規格では何か所かでプロセスの確立、実施、維持等が明瞭に要求されることになった。一方、ISO 9000においては、従来から“インプットをアウトプットに変換する、相互に関連し、相互に作用する一連の活動”と定義されており、プロセスに関する要求事項はもちろんのこと、プロセスアプローチの考え方もあった。ISO 9001:2015ではさらに一歩進んで、プロセスアプローチそのものが要求されるようになっている。

一方、ISO 14001においては、従来、直接的にプロセスを要求することはなかったが、共通テキストに従って、プロセスの定義が採用され、いくつかの重要なマネジメントシステムの要素においてプロセスの確立、実施、維持が要求されることになった。従来は、そのようなマネジメントシステムの要素に関しては、これを実現するための手順を確立、実施することが要求されていたわけである。手順とは“活動又はプロセスを実行するために規定された方法”であるから、手順の要求の前提には活動又はプロセスがあったことになる。またプロセスには実行するための手順が必要なことはいうまでもないが、実行する前に計画も必要であり、実施するための資源も、管理も必要である。手順にはそれらも含めて

いるといえば、そのような解釈もできるが、正確に言えば手順だけでは足りない。そのような背景にあってISO 14001:2015でも、プロセスを要求する場面が増え、その反面、手順の要求はすべて消されることになった。このような経緯を経て、環境マネジメントシステムにおいても品質マネジメントシステムと同様にプロセスの考え方が明瞭にされたわけである。

この考え方は、すべてのマネジメントシステムに共通で、マネジメントシステムを実現するためには、必要なプロセスの確立、実施、維持が求められることになる。ただ、注意を要するのは、文中の用語が何のプロセスを指すかを明確に理解することが必要である。ISO 9001ではマネジメントシステムのプロセスを指す場合もあるが、製品あるいはサービス実現のプロセスを指す場合も見られるからである。

## （3）マネジメントシステムおよびビジネスプロセスの統合

ビジネスを推進するためには、マネジメントは必須であり、マネジメントシステムはビジネスの様々な側面を支援するためのものとなる。従って種々のマネジメントシステムの要求事項をビジネスプロセスに統合することは当然であるが、従来のマネジメントシステムではともするとマネジメントシステムがビジネスから遊離して、マネジメントシステムのためのマネジメントとなりがちであった。世にいわれる、本業とは別になった無用なマネジメントシステムである。

この弊害を正すために、共通テキストでは、マネジメントシステムの要求事項をビジネスプロセスに統合することが強調され、リーダーシップは、その実現のためのコミットメントを確実にしなければならないと要求している。この要求は、あるいは理解が難しいかもしれない。別の言葉を借りれば、マネジメントシステムの方向が、組織のビジネス戦略に一致

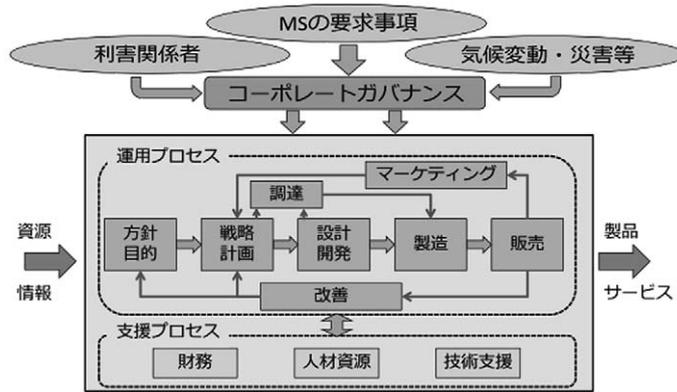


図2 組織のビジネスプロセス

していることとも表現される。要は、マネジメントシステムの要求事項は、すべてのビジネスプロセスにおいて満たされなければならないという事である。組織によってそのビジネスプロセスは様々であるが、その一例は図2のように示される。組織のビジネスプロセスをよく把握し、整理し、そのすべてのビジネスプロセスにおいてマネジメントシステムの要求事項を満たすよう計画することが重要である。

#### (4) リーダーシップおよびコミットメント

共通テキストの「5 リーダーシップ」は、リーダーシップおよびコミットメントの実証、および方針の確立などを要求する3箇条で構成されている。いずれも従来から、要求事項とされていた内容に近いが、“リーダーシップおよびコミットメント”のタイトルが付けられた箇条は、ISO 14001ではこれまで取り上げられていなかった。その意味で本稿では新しいマネジメントシステムが強調する点に取り上げている。

ここには、システムの有効性に関する説明責任、組織の戦略的方向に沿った方針、目標の確立、マネジメントシステムの要求事項のビジネスプロセスへの統合、資源利用の可能性、EMSへの適合の重要性の伝達、意図した成果の達成、要員がEMSの有効性に寄与するよう指揮すること、継続的改善の促進およ

び管理層のリーダーシップ発揮のための支援の9項目のコミットメントをトップマネジメントが実証することが求められている。

これらの項目の内、説明責任を負う事およびマネジメントシステムの要求事項を組織のビジネスプロセスに統合することの2点は従来にない新しい要求である。従来、マネジメントシステムが本来のビジネスから遊離しがちであったことから、ともすればトップのリーダーシップとも遊離しがちであったことへの反省が込められた、新しい要求事項であるといえる。さらに強調しておきたいのは、ここでの要求がリーダーシップおよびコミットメントの“実証”とされていることである。“実証”とはリーダーシップおよびコミットメントが確実に実現されていることを示すことである。

#### (5) 組織の状況把握

先にも述べたように「4.1 組織の状況の理解」、「4.2 利害関係者のニーズおよび期待の理解」は、従来規定されていなかった新しい要求事項である。いずれの要求事項もマネジメントシステムを構築運用するに当たっては必須事項であるが、改めて要求はされていなかった。しかしながらこれらの事項を、詳細にアセスメントした上で、マネジメントシステムを計画し、運用するのは当然のことであり、改めてこれらのことを要求事項として取り上

げたのは、裏を返せば、要求事項が明確に規定されていなかったが故に、おろそかにされていたといえるのではなからうか。

ここで要求される組織の状況を把握することの適切性、妥当性の評価はなかなか難しい。その内容は組織によって大きく異なるであろうし、時々刻々と変化をするはずであるから、適宜見直しも必要になる。しかしながらその適切性、妥当性によって、マネジメントシステムの成果は完全に左右されるのである。従ってマネジメントシステムを計画する際には、組織の状況把握は慎重かつ綿密に実施するべきである。

要求事項の内容、および、ここで要求される組織内外の課題、利害関係者およびそのニーズ、期待に関する概念事例を表3に示す。環境マネジメントシステムの場合には、これらに加えて、組織を取り巻く環境状態（災害、異常気象、資源・エネルギー、生物多様性の状況など）の把握も重要である。

#### (6) リスクおよび機会への取り組み

先にも述べたように、共通テキストの計画段階では、組織が取り組むべきリスクおよび機会の決定と、それを実施する方法の計画を求めている

“リスク”の概念は、従来からマネジメントシステム規格の中には存在した。しかしながら“機会”をマネジメントの対象として規定したのはISO 50001のエネルギーマネジメントシステムが最初であったと思う。ISO 50001では、計画段階で実施されるエネルギーレビューの最後のステップとして改善の機会の決定を要求したのである。

共通テキストでは、ISO 31000の定義を多少改編して、リスクを“不確かさの影響”と定義した。この定義には4箇条の注記がつけられているが、注記1に、“影響とは、期待されていることから、好ましい方向または好ましくない方向にかい離することをいう”とある。そのうえで、リスクおよび機会への取り組み、すなわちリスクおよび機会をマネジメントの対象とすることを求めたのである。この点がISO 14001の改定を進めるTC207における議論の紛糾を呼ぶことになった原因でもあった。リスクには結果として好ましい影響が得られることも含まれることから、リスクと機会を対語的に使用することは矛盾があるという議論である。ここでは長くなるので、この議論の詳細には触れないが、規格が取り上げたリスクおよび機会は単純に、マネジメントの対象としてとらえられているものであることと理解していただきたい。

リスクを“不確かさがもたらす期待からのかい離”とすれば、機会は“確実性の高い期待実現の可能性”くらいに捉えておきたい。マネジメントシステムは目的達成のためのツールであり、期待することは目的達成である。とすると期待からのかい離、すなわちリスクを避けて、期待を実現する可能性を持つ機会を追及することがマネジメントとなる。この考え方は、マネジメントの神様と言われるP.F.ドラッカーの考え方にも見ることができる。

従来のマネジメントシステムでは、リスクに注目して期待からかい離することのないように意を注いできたが、新しいマネジメントシステム規格は、それと同時に期待を実現する可能性の高い機会に注目してマネジメント

表3 要求される組織内外の課題、利害関係者とそのニーズ、期待に関する概念事例

外部の課題	国際紛争, 地理的条件, 経済市況, 競合関係, 金融機関, エネルギー・資源, インフラ, サプライチェーン, アウトソーシング, 近隣社会, 業界, 異常気象, 生物多様性, 自然災害等
内部の課題	統治体制, 経営組織, 情報システム, 売り上げ・利益, 使命・戦略, 方針・目的, 人材, 知識・技術, プロセス・製品・サービス等
利害関係者	顧客, 投資家, 自治体・社会, 委託・供給者, 役員・従業員・家族等
ニーズ, 期待	法規制, 協定, 適合性, 価値観, ワークライフバランス, 環境配慮等

しようとするものである。リスクへの注目には、不確実性への備えが見られるが、機会への注目には、不確実性への挑戦が見られる。機会の決定およびその取り組みには独創性が大いに力を発揮する。

その意味で、受け身のマネジメントシステムから、革新性のあるマネジメントへの転換が新しいマネジメントシステムであるといえるのではなかろうか。先に述べたようにISO 50001のエネルギーマネジメントシステム規格では、共通テキストに先立って、機会の追及を求めたのである。最近になってマネジメントシステムの認証とはあまり縁がなかったように思われていたトヨタが全社規模でISO 50001の認証取得を果たした理由の1つとなっているように思う。

新しいマネジメントシステム規格ではこのように、リスクへの取り組みが求められているが、ISO 31000に示される全てのプロセスを備えた厳密な意味でのリスクマネジメントが求められているわけではない。しかしながら、新しい規格が求める“リスクおよび機会の決定”には何れに関しても、ある程度の分析、評価は必要なはずである。リスクおよび機会も組織によって特有なものもあるし、時間の経緯に伴って変化するはずである。組織の状況とも関連して十分の吟味が必要であり、その決定結果はマネジメントシステムの成果に直接影響する。

参考までに、品質、環境およびその他のリスクおよび機会の例を表4に示す。

#### (7) アウトソーシングのマネジメント

共通テキストでは、アウトソースの用語を動詞として定義しており、運用の項でアウトソースした組織のプロセスには管理が必要であると要求している。これを受けて、ISO 9001, ISO 14001ともに同様な規定を設けている。アウトソーシングに関するマネジメントの規定は、従来のマネジメントシステム規格にも見られたが、その要求を明示したことで、やはり新しい規格がこの点を強調していると言える。

現在の経済活動は、グローバル化あるいは分業が著しく進んでおり、サプライチェーンの構造もますます複雑さを増している。100社のサプライヤーを持つ組織も45段階先を見れば、10000を超える組織網につながっているといわれるほどである。こうした状況で自組織内のプロセスをいかに完全にマネジメントしたところで、製品、サービスの全体を見ればどこにほころびが見えるかしれないのである。最近の新聞紙上をにぎわしている不祥事又は事故の中で、アウトソース先あるいは子会社に端を発するものが多いことはよく知られており、多くの経営者が今後はアウトソーシングの拡大およびそのマネジメントが最大の課題であるといっている。

表4 リスクおよび機会の事例

	品質	環境	その他
リスク	プロセス操作、運用 チェック機能 調達品の適合性 供給者管理への反応 製品への意図的攻撃 顧客ニーズの変化 想定外事象の発生	法順守 資源・エネルギー入手 化学物質使用 排出・放出・廃棄 自然災害・異常気象 金融融資条件 サプライチェーン管理	価格決定圧力 コスト削減、利益圧力 規制コンプライアンス 情報漏洩サイバー攻撃 新技術の台頭 利害関係者の信頼 人材、技能の入手
機会	製品、プロセス改良 新技術、新プロセス 外部調達見直し 競合の回避 事業見直し 顧客ニーズの創造 従業員教育、技能向上	エネルギー・原材料転換 効率向上、新技術 ラベル、エコファースト参加 新製品、新サービス 新事業の展開 法的インセンティブ活用 有利な金融条件	企業理念の確立 生産性向上 アウトソーシング活用 新マーケットチャンネル 新興国需要増大 イノベーション推進 労働環境、条件改善

一方、これだけ広範囲に拡大されたアウトソース網の全領域にわたって、直接的なマネジメントをするのは至難の業である。規格ではアウトソースしたプロセスをどのように管理するかは組織のマネジメントシステムの中で決めるように要求しており、管理の程度、あるいはどれほどの影響を及ぼすかは、組織の決定にゆだねられているのである。

また、少し視点を変えて、製品・サービスのライフサイクルを考えた場合、下流側の管理も無視できないことが分かる。ISO 14001:2015ではこの点を重視して、ライフサイクル視点に立ったマネジメントを要求している。製品・サービスの設計・開発段階において、ライフサイクルを通じた配慮が求められており、必要に応じて輸送、配送、使用、最終処分なども含めたすべての段階において何らかの管理(要求事項あるいは情報の伝達など)を行う事を求めている。

#### (8) パフォーマンスの改善

パフォーマンスの用語は共通テキストにおいて初めて定義され、“測定可能な結果”となっている。要求事項である箇条9のタイトルは“パフォーマンス評価”とされており、評価の対象は、品質(環境)パフォーマンスおよびそれぞれのマネジメントシステムの有効性である。定義文から理解できるように、重要なのは、マネジメントした結果である。新しいマネジメントシステムで強調されたとして、最初に取り上げた点は目的を明確にすることであったが、これもまた結果として、パフォーマンスが確実に向上することにつながり、パフォーマンスへの注目が重要なことがよくわかる。

ところで、このパフォーマンスという言葉は、若干わかりにくいというえに、その重要さから多様に使用されるため、しばしば混乱を生じることがある。共通テキストでは、“XXXパフォーマンス”と記述されており、XXXの部分それぞれのマネジメントの分野に置き

換えて使用することとされている。このルールにそのまま従えば、ISO 9001であれば品質パフォーマンスと表記され、ISO 14001であれば環境パフォーマンスと表記されることとなる。ISO 14001では従来から“環境パフォーマンス”の用語が定義されており、本文中でも環境パフォーマンスに関する要求事項が見られており、ISO 14001:2015でもこれを踏襲している。一方のISO 9001では、今次改定の作業中DISの段階までは“品質パフォーマンス”の用語が使用されていたが、結局この言葉は姿を消してしまった。

ISO 9001:2015では、単純にパフォーマンスとして使用されることも多いが、そのほか、組織のパフォーマンス、QMSのパフォーマンス、製品・サービスのパフォーマンス、外部調達先のパフォーマンスなどとして使用されている。

一方のISO 14001:2015は一貫して、“環境パフォーマンス”の用語を使用しており、一か所だけ、“EMSのパフォーマンス”の表現が見られるのみである。このようにパフォーマンスに関する表現には、規格によって相違がみられるが、新しいマネジメントシステムにおいては、マネジメントシステムの要素あるいはプロセスがいかにか構成されているかよりも、結果であるパフォーマンスが重視されたものと考えてよい。要するにISO 9001では目的とする顧客満足がいかにか充足されるかでパフォーマンスが評価され、ISO 14001ではいかにか環境保護に寄与でき、あるいは組織がいかにか環境への適応を果たしているかの評価が重要となる。

新しいマネジメントシステム規格では、以上の8点が強調されているとして取り上げたが、ISO 14001:2015では、コミュニケーションに関しても、そこで取り上げられる情報が正確なものであること、マネジメントシステムの結果として得られたものであることなどが強調されているので、この点にも留意が必要である。

#### 4. 地球環境の問題とマネジメントシステム

以上で新しくなったマネジメントシステム規格 (MSS) に関して、その背景および強調されたポイントについて述べてきたが、最後にマネジメントシステムが実際に組織を取り巻く問題といかに関わるべきかについて環境マネジメントシステムを例にとって考えてみよう。

ここ 2～3 世紀の間に地球人口は爆発的に膨張し、現在の 70 億人はさらに増加を続けて、今世紀半ばには 100 億人を突破する勢いである。一方、科学技術の急速な発展の裏で、天然資源の枯渇、合成化学物質による汚染、温暖化などが急速に進んでおり、地球環境が深刻な状況にあることは誰の目にも明らかでこととされている。

地球環境の深刻さを表す、資料には枚挙にいとまがないが、ここでは、地球の許容限界を図示した例を紹介する。図 3 は、年々ストックホルム大学のレジリエンスセンターが更新しているものの 2015 年版である。9 つの指標が表示されている。一部のデータが欠落しているが、ご覧のように、バイオ関連項目、気候変動、土地利用などの指標は、安定域を超えた不確実領域に達しており、特にバイオ関連の、窒素循環、リン循環、生物の多様性などの項目では既に「カタストロフ」の状況 (破滅的状況) に達していることがわかる。

また、図 4 は、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC) の『第 5 次評価報告書』からの引用であるが、地球の平均気温は急速に上昇しており、その原因が人為的な温室効果ガスの排出であることは断定されている。大気

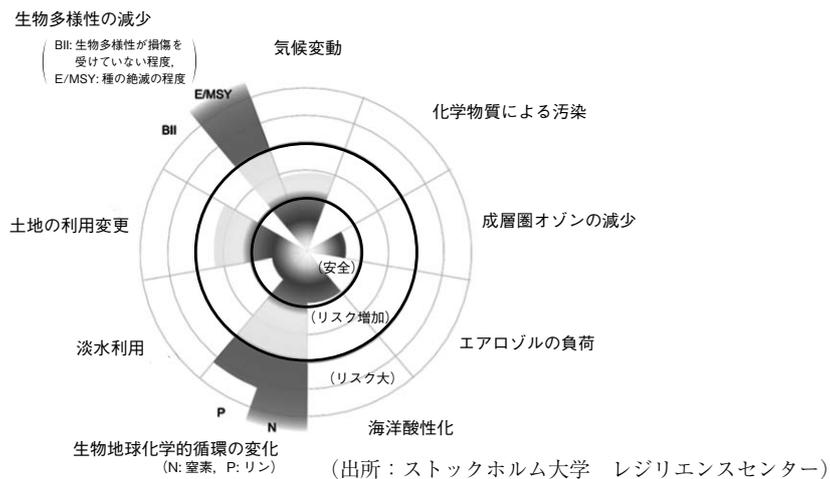


図 3 地球の限界

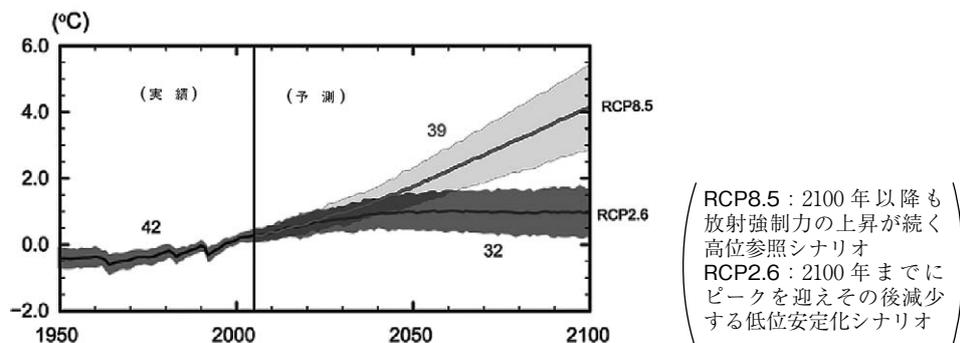


図 4 予測による地球の平均地上気温の変化 (1986 年～2005 年が基準)

中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度は産業革命以来上昇し続けているが、このところその速度は急速に上がっており、現在のCO<sub>2</sub>濃度は、ここ80万年例を見ないものであるとされている。我々人類は何億年もかけて地球が蓄積してきた炭素を化石燃料の燃焼という形で、際限なく大気中に放出しているのである。

過去100万年の間、続いてきた、氷期、間氷期のサイクルからすれば、今まさに温暖な間氷期を終わって氷期に入ろうとしていたところが、人類の営みが絡んで将に将来の見通しに、不確実さを増しているのである。温室効果ガスの影響は、温暖化に伴う気候変動のみならず、先に紹介した地球の許容限界指標として取り上げられた海洋の酸性化にも、生物の多様性にも、その他感染症の発生にも関連している。そのほか人類存続の要となる水、食料問題をも支配している。表5を見れば分かるように、我々が排出する温室効果ガスの削減は、環境保護の最たる項目である。

新しいISO 14001の目的である、環境保護の項目には、天然資源の持続的な利用および気候変動の問題と並んで生物多様性の問題が取り上げられている。生物多様性が失われつつあることも、多くの事柄で実証されており、識者の間では現在我々は地球6度目の大絶滅期に入っているとさえ言われており、その原

因を作っているのは地球史上初めてのことであるが、生物（人類）であり、人類が今新しい地質時代（人新生）を作りつつあるといわれている。

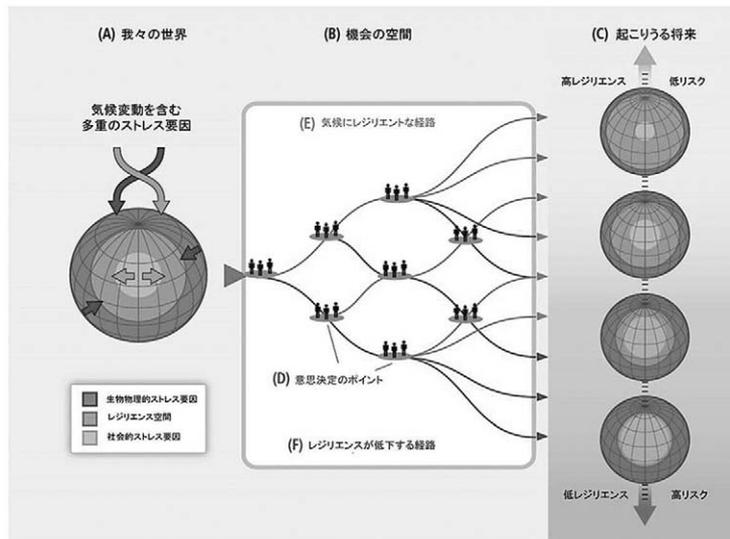
このような状態にあることは明らかなのであるが、組織が事業活動の中で、マネジメントシステムの運用を通して生物多様性の保護を図っていくのは大変わかりにくい。多くの企業は生態系の健全性とビジネスの総合パフォーマンスの関連を見出だせないでいるはずである。まず組織は生態系およびそのサービスに、自らの事業がどの程度依存し、どの程度影響を与えているかを十分に認識しなければならない。

さて、ISO 14001:2015に示されるように、環境マネジメントシステムのもう一つの目的は、上記で見てきたように激変しつつある環境条件に適応して存続を図ることである。エネルギーを始めとする天然資源の枯渇問題、気候変動がもたらす異常気象の多発、損なわれつつある生物多様性の問題に組織がいかにして適応してゆけるのかを、我々は模索せねばならない。

新しいマネジメントシステムは、マネジメントの対象として、リスクおよび機会の決定とそれらへの取り組みをマネジメントの基本とするように規定した。従来の環境マネジメントシス

表5 温暖化による危機の予測

温度上昇	水	食糧	健康	土地	環境
1℃	氷床融解 5千万人水不足	穀類収量増	欧米凍死者減少 世界で30万以上の 気候関連死	極地の永久凍土 層融解（建築物・ 道路等被害）	陸生生物10%絶 滅の危機、サンゴ 礁80%が白化
2℃	南ア・地中海20～ 30%水不足	熱帯の穀類収量低下	6000万以上マラリ ヤ罹病（アフリカ）	沿岸住民1000万以 上が毎年浸水被害	北極熊、カリブー など15～40%が絶 滅危機に
3℃	南欧深刻な干ばつ に、世界の40億が 水不足	5億5千万が食糧 不足	300万人の栄養不 良死	沿岸部浸水被害毎年 1億7000万人以上	20～50%の生物種 絶滅の危機に
4℃	南ア・地中海50% 以上水不足	オーストラリアの 一部農業停止ア フリカ穀類35%減	8000万人がマラリ ヤ罹病（アフリカ）	沿岸部浸水被害毎年 30億人以上	極地のツンドラ半減
5℃	ヒマラヤ氷河消滅、 中印数億の水飢饉	酸性化により海洋 のエコシステム崩 壊		海面上昇による浸 水被害（ロンドン、 ニューヨーク等）	



(出所：『第5次評価報告書：政策決定者向け要約』, IPCC 第二作業部会)

図5 気候変動の緩和および適応への機会

テムでは、汚染のリスク（法的要求事項への不適合を含めて）をいかにして削減するか主力を置いてきたが、これからのマネジメントシステムでは、むしろそのリスクを機会に変えることが求められる。殊に前述したように激変する環境条件への適合を図るためには、これを変えたり、避けようとするのではなく、これに適合することが要求されるのである。地球史を見れば過去に多くの生物が、その置かれた環境条件に適合することによって生き延びてきたことを示している。組織のマネジメントシステムが効果を上げるうえで、われわれの周囲を取り巻くリスクへの対応も重要であるが、それ以上に求められることは、機会の模索および機会への挑戦ではなかろうか。

ここでは環境マネジメントを例にしてリスクおよび機会への取り組みを提示してみたが、その活用は環境問題にとどまらない。わが国の原子力発電所の事故、メキシコ湾の原油流出事故等に代表される環境の大規模汚染はもとより、大量のリコール問題など製品事故、情報流出、子会社管理、不適切会計等、我々の周囲には多くのリスクおよび機会をはらむマネジメントの分野があるのである。

最後に示した図5は、IPCC/WG2の第5次

アセスメントリポートから引用したもので、地球の未来が、機会ごとの我々の選択の如何によって、強靱な地球を生むことにも、脆弱な地球を生むことにもなることを示したものである。

新しいマネジメントシステムを活用して、様々な分野において、多くの組織が機会のマネジメントを重視し、成果をあげられることを願っている。

## 欧州の原子力発電所の最近の廃止措置実施状況

林道 寛 (プロジェクト試験研究部 原子力グループ)  
特任研究員



### 1. はじめに

東海発電所に続き、国立研究開発法人・日本原子力研究開発機構のATR原型炉「ふげん」が2003年に、中部電力(株)の浜岡1, 2号機が2009年にそれぞれ運転を終了、廃止措置(廃炉)が実施されている。また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により未曾有の爆発事故が発生した福島第一発電所1～4号機の解体を含むサイト修復、その後の5, 6号機の廃止措置決定に至っている。新規制基準の適用に伴い、運転年数が約40年の発電所である関西電力(株)の美浜1, 2号、九州電力(株)の玄海1号、中国電力(株)の島根1号および日本原子力発電(株)の敦賀1号が恒久運転停止となり、廃炉に向けた対応を行っている。さらに、運転年数が30年を超える原子力発電

所が18基を数えるに至っている。このように我が国でも、多くの原子力発電所が廃炉を迎える時代になってきている。

国際原子力機関(IAEA)によれば、図1に示すように、現在恒久運転停止や廃炉段階および廃炉が終了した世界の原子力発電所は156基である。廃止措置は過去の実績に基づく知見が役立つ場合が多く、諸外国では“Lessons Learned”や廃止措置の“Knowledge Management System”という考え方が定着しつつある。

(一社)日本技術者連盟は、このような状況を踏まえて、平成26年～27年に3回の欧米廃炉調査団を派遣し、廃炉に関する実態調査を行った。筆者はこの調査団の団長として参加する機会を得た。本稿では、調査を実施した廃炉段階のスペイン、英国、フランス、ド

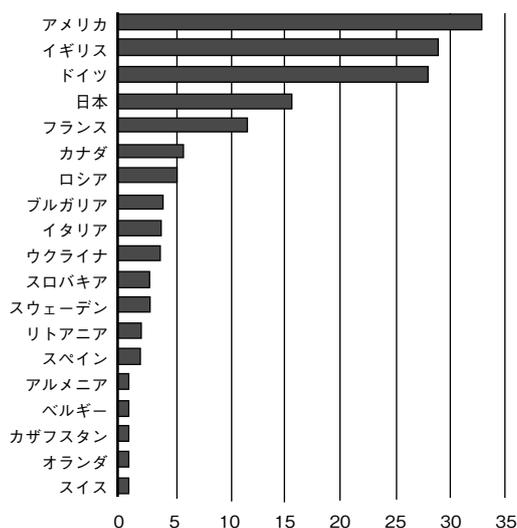


図1 恒久運転停止、廃炉段階および廃炉終了の原子炉数<sup>(1)</sup>

ドイツの原子力発電所のうちの3つのプラントに対して、技術的な事項のみならず、廃炉に伴う課題（進め方、実施体制、資金、雇用対策、跡地利用、利害関係者（ステークホルダー）との関わり等）とその対策の事例を紹介する。

## 2. 欧州における廃炉の取組み例

調査を実施したスペイン、英国、フランス、ドイツはいずれも欧州連合（EU）の加盟国である。

EUは既に88基の原子力発電所が廃炉段階にあり、各国が炉型やその特徴を考慮した廃炉を実施している。また、EUは2011年7月に、「使用済み燃料および放射性廃棄物に関する指令」を採択し、加盟諸国に対して2015年までに放射性廃棄物に関する国としての計画を策定し報告する事を求めている。この計画では、廃止措置を含む全放射性廃棄物およびその将来発生量予測、放射性廃棄物の発生から処分に至る管理の考え方や技術的課題の解決方法や費用評価とその根拠や資金調達の様式などが含まれている。

このように、EUは、原子力発電所の廃止措置とそれに伴い発生する放射性廃棄物の処理処分やそのための技術課題とその解決方法について、加盟諸国に対して国家計画として実行性のあるものを策定することを要請しており、廃炉についても影響を与えることになる。以下に廃炉の取組状況の例を紹介する。

## 3. ホセカブレラ原子力発電所 （スペイン）

### （1）概要

スペインの原子力発電所の廃炉シナリオは、40年間の運転期間後、3年間の移行期間を経て、7～10年間で廃止措置を行う（火災事故を起こしたヴァンデロス-1は例外）。移行期間中に運転により発生した放射性廃棄物の処理・搬出や使用済燃料の搬出を行う。

原子力発電所の運転期間中はプラントの運転会社が責任を持ち、運転から廃止措置への移行期間中は運転会社が許可を維持し、メンテナンスを行う。国営会社であるENRESAは、法律によりスペインで発生する全ての放射性廃棄物（原子力発電所、医療、研究センター等）の処分と原子力施設の廃止措置の責任を有している。

移行期間中は廃炉の準備作業、使用済燃料の中間貯蔵の実施を行う。この間は、運転会社とENRESAの協力が不可欠であり、この段階で運転停止後の新たなリスク管理の考え方が適用されて、規制の要求を徐々に低減していく。この期間中に系統除染、系統からの冷却水のドレン、新たなシステムや設備の設置、非放射性設備の撤去、プラントの汚染分布特性評価や危険物の撤去などを行う。

ENRESAはヴァンデロス-1（1998年～2003年）、PIMIC（原子力研究所：2006年～2010年）に続き、現在、ホセカブレラ発電所



図2 ENRESAが行っている原子力施設の廃止措置とその経験の反映

(2010年～2017年の予定)の廃炉を実施中である。廃止措置は複合技術を結集して実施すべきものであり、単に解体して終了という事ではなく、図2に示すようにENRESAは「実施した過去の知見を次のプラントにどう反映していくか」(Lessons Learned)が重要と考えている。これらの解体廃棄物および操業廃棄物の中低および極低レベル放射性廃棄物はENRESAが所有するコルドバのエルカプリル処分場で処分される。

ホセカブレラ発電所は、1968年に運転を開始し、2006年4月30日に運転が終了した。その後、2010年までの廃炉への移行期間を経て、廃炉が開始された。ホセカブレラ原子力発電所はウェスチングハウス社製の電気出力160MW(熱出力510MW)の1系統の加圧水型原子炉であり、原子炉压力容器の直径は2.82m、ヘッド部を除いた高さは5.87mである。現在第3段階の工程の解体作業を実施中であり全体の工程を図3に示す。プラント規模が小さいこともあるが、準備作業からサイト解放まで約7年間と工程は極めて短くなっている。放射性廃棄物が発生する解体作業は2012年から開始されており、2016年までの5年間で終了する予定となっている。スペインは放射性廃棄物の処分までの道筋が明確になっており、解体廃棄物は滞りなく処分できる。また、スペインは再処理施設がないことから、使用済燃料の最終的な取扱いは未定であり、サ

イト隣接地に中間貯蔵を行うことにしている。この施設は空冷自然循環方式のコンクリート製の乾式貯蔵である。現在12基が設置されており、8基が使用済燃料貯蔵、4基が原子炉内構造物の解体物である。この施設は60年間の貯蔵期間を考慮して設計されている。

解体の準備作業(使用済燃料の取出しや新しい設備の設置を含む)は2006年の最終停止から廃炉への移行期間から開始された。非放射性領域の設備は一部を除いて既に終了している。また、2012年から開始された放射性廃棄物が発生する機器・系統(ホット設備)の解体は順調に進捗しており、2014年の時点で補助建屋と原子炉建屋の約60%の解体作業が残っている。解体作業は2016年に終了予定となっている<sup>(2)(3)</sup>。

## (2) 解体技術

放射化或いは汚染された機器・系統の解体には、機械的切断、ガス溶断、円盤ブレード、ダイヤモンドワイヤーソーなど通常の切断技術が適用されている。解体技術は商業ベースで入手できるが、適用するにあたり、既存の技術を如何に組み合わせて効率的な作業をできるようにする工夫が必要である。一例として原子炉容器や炉内構造物の遠隔解体があげられる。これらの機器の解体作業は図4に示すように、使用済燃料プールと原子炉容器の隔壁を切断して往来ができるようにする。その後、炉内構造物や原

ACTIVITY	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1. PREPARATORY ACTIVITIES								
Systems - Switch Off	■							
Systems - Modifications		■						
Conditioning Facilities		■						
2. CONVENTIONAL DISMANTLING								
Major Rad components			■					
Other components			■					
3. RADIOLOGICAL DISMANTLING								
Major Rad components			■					
Other components			■					
4. DECONTAMINATION & DEMOLITION								
Major Rad components					■			
Other components					■			
5. MATERIAL MANAGEMENT								
Major Rad components			■					
Other components			■					
6. SITE RESTORATION								

図3 ホセカブレラ発電所の廃止措置工程(現行計画)

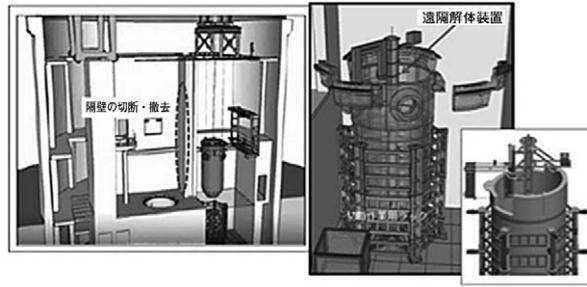


図4 原子炉容器の遠隔解体



図5 ダイヤモンドワイヤーソーを用いた炉内構造物の遠隔解体装置

子炉容器を吊り上げて、使用済燃料プールをワークショップとして遠隔解体装置を用いて細断作業を行うようにしている。原子炉容器の解体には、切断時に原子炉容器を動かさないように固定するラックを用いる。図5には、遠隔解体装置による炉内構造物の解体として熱遮蔽板の解体方法を示す。細断の大きさはその後の処分容器を考慮している。炉内構造物は細断後に貯蔵キャスク内に設置された角形容器内に封入後モルタルを充填して中間貯蔵施設に移送される。これらの一連の方式により、作業時間の短縮、作業の効率化、オペレータの負担低減が可能となった。

### (3) 解体廃棄物

内装設備を撤去した後のタービン建屋は解体廃棄物の処理等のためのワークショップとして使用する。必要な改良を行って運転中の現有設備を有効利用している。また、強度を考慮しつつ、廃棄物の輸送のために仕切り壁に開口部を設けている。解体廃棄物はワークショップで廃棄体化されて、エルカプリル処分場に輸送される。

解体廃棄物量は全体で104,000トンと評価されている。表1に示すように、放射性廃棄物量は4,000トン(約4%)である。内訳は汚染のない一般コンクリートが95,300トン、

表1 解体廃棄物量(実績を踏まえた評価)

項目	物量(トン)	備考	
全解体物量	104,000		
内 訳	一般コンクリート等	95,300	
	再利用可能解体物	4,700	
	放射性廃棄物	4,000	
	一次系解体物	400	
	レベルの高い解体物	40	サイト隣接地で保管
	その他の解体物	360	エルカプリル処分場で処分
その他	一次系以外の解体物	3,600	エルカプリル処分場で処分
	使用済み燃料	175	サイト隣接地で保管

再利用可能な解体物が4,700トン、一次系の放射性廃棄物は400トンで、このうち放射能レベルの高い40トンは使用済燃料とともにサイトの貯蔵施設で保管し、残りは他の放射性廃棄物3,600トンとともに、エルカブリル処分場で処分する。

汚染領域から発生する解体物は放射化計算や分析による評価を行った後に選別を行い、この結果を規制当局が評価して、一般廃棄物としての取扱いが可能か否か判断される。

解体物は必要に応じて除染処理後にクリアランス測定装置（縦2m、横1m、高さ1.2m程度）で放射能濃度測定（ $\gamma$ 計測）を行い、リリースされる。

#### （４）組織と要員

プラント運転停止後に、ホセカブレラ発電所はENRESAに業務が移管された。ENRESAは所長の下に技術部署が廃止措置そ

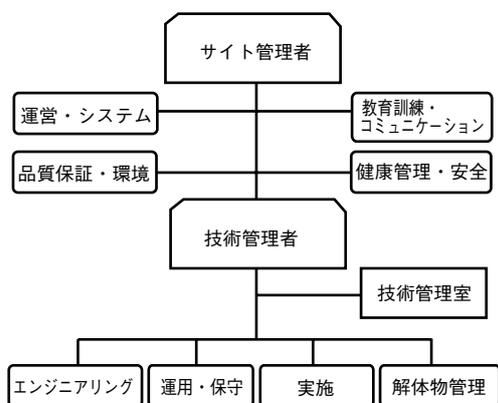


図6 廃炉の実施体制

のものを実施するが、作業者の訓練を行う部署、品質管理部署、健康・安全管理部署と一般管理部署がある。図6に組織体制を示す。廃炉のための要員は地元雇用を重視している。251人の作業員のうち、地元雇用が95人、周辺地域から11人、プラントが立地しているガダラジャ県から59人、その他が86人となっている。参加企業は30社であり、そのうちの4社が解体実務を担当している。

#### （５）廃止措置資金

スペインの廃炉資金については、引当金制度が確立しており、発電費用に廃止措置資金が計上される仕組みになっている。2003年の評価結果であるが、解体に直接係る予算として、使用済燃料の管理費用を除いて約1億3,500万ユーロと評価している。その内訳を表2に示す。費用の見積もりには20%程度の不確実性を考慮している。コスト評価は4年毎に実施しており、2014年には1億6,000万ユーロと再評価しており、ENRESAのウェブサイトでも公表している。

#### （６）広報活動とステークホルダー

地元住民との情報交換は1回/年実施している。これには周辺市町村の住民とENRESA、環境省と経済省が参加する。また、インフォーマルな形ではあるが、住民との情報交流の場として情報センターを設置し、廃炉の現状と共に仕事の創出や資金についても分かるようにしている。廃炉の作業内容が分からない人は危険な

表2 廃炉費用の内訳（2003年の評価）

廃炉プロジェクトの主要な活動	コスト（百万ユーロ）
エンジニアリング等	34
停止後の作業と系統除染	5
移行作業（2006～2010年）	6
解体作業	29
解体物と放射性廃棄物管理	11
サイト修復	23
その他	4
計	112
（想定外への対応）	22（20%）
全体費用	～135

（注）使用済み燃料管理費用（～3500万ユーロ）は含まれていない。

作業と思いついでいる人もいるので、正確な情報を提供する事が大事である。

情報公開のカギとなる要因は、(a) 情報を正しく伝える事、(b) 否定的な意見や行動を中立的に考える事、(c) 間違った期待感を排除すること等があげられる。ホセカブレラの廃炉は国際的にも好例として考えられており、諸外国からも既に2,100名が現場や情報センターを訪問している。サイトの視察状況はENRESAのウェブサイトで公開している。

#### (7) 廃炉終了後のサイトの活用

廃炉が終了するとENESAはサイトを所有者に返却する事になっている。解体撤去後のサイトはサーベイを実施後にグリーンフィールドにする。2017年に返却予定であるが、その後のサイトの利用については未定である。周囲は農村でありサイトの有効利用については、厳しい現実がある。

### 4. ブレニリ原子力発電所（フランス）

#### (1) 概要

ブレニリ原子力発電所は電気出力70MWの重水減速、炭酸ガス冷却炉であり、フランスが初期に建設した9基の発電炉の1つであり、1967年より運転を開始したが、1985年に経済性の観点から運転を停止した。廃炉方法についてはIAEAのアドバイスもあり、即時解体を選定した。フランス電力会社(EDF)は、ブレニリ原子力発電の廃炉を、フランスの原子力発電所の解体のモデルケースと位置づけており、解体作業は当初25年間の計画で行う予定であった。しかしながら、欧州法とフランス法の解体に対する考え方の相違や高放射性廃棄物の処分に課題があったため、解体作業は4年間中断した。現在は原子炉容器の解体以降の安全報告書を作成しており、この報告書が認可されると2026年までに原子炉容器、格納容器、建屋の解体撤去および除染が実施されて、解体が完了する予定となる。(4)(5)

#### (2) 廃炉作業の現状

2014年1月現在でブレニリ原子力発電所全体の50%の解体作業が終了している。解体途中の施設内には非汚染区域と汚染区域が混在していた。フランスではクリアランスの制度はなく、ゾーニングと呼ばれる方法で汚染区域と非汚染区域を分けている。解体作業は、放射性廃液処理建屋、タービン発電機設備、コンクリート建屋の解体のように段階的に進められている。解体に当たっては、解体に必要な設備を新たに用意することもあるが、既にある設備等を利用することが合理的である。ブレニリ原子力発電所の解体では、タービン建屋を廃棄物の中間貯蔵施設として使用している。建屋内部の解体現場は、換気空調が行き届いており、区域毎に放射線状況(空間線量率、表面汚染密度、空気中放射性物質濃度)を測定し、データを掲示している。現在、原子炉建屋には水平型の原子炉と撤去されつつある熱交換器があるが、それ以外の機器は解体が終了している。

#### (3) 熱交換器の解体

ブレニリ原子力発電所は重水減速炉であり周辺設備の解体と並行して、1994年に系統から重水を回収した。その後、補助建屋等の設備を撤去した。重水を撤去した後の解体・切断には水を使用しない技術を適用して、液体廃棄物を発生させないようにしている。液体廃棄物処理施設からの廃水路からの土壌汚染の対応で苦慮した経験を踏まえた対応である。原子炉以外の大型機器の解体で技術開発も含めて工夫を要するのは、熱交換器である。熱交換器の解体準備作業として、熱交換器前方に解体作業を行うための水平・垂直のワークショップの設置、モックアップ試験等が行わ

表3 熱交換器の主要仕様

サイズ	20mL × 1mφ × 50mmt
重量	37トン/基
基数	16基
平均放射能濃度	75Bq/g
最大線量率	2mSv/h (下部)
集団線量 (評価)	60man・mSv

れ、2013年より解体作業が開始された。2015年には終了予定である。表3に熱交換器の主要仕様を、また、図7にワークショップと16基の熱交換器の配置を示す。

適用する切断技術は全て機械切断である。最初に接続配管の切断が現場にて行われる。切断技術はオービタルソーを開発して適用した。図8に配管にセットしたオービタルソーと切断後に養生を行った熱交換器を示す。接続配管と切り離された熱交換器は垂直ワークショップで5つに輪切りにされ、その後水平ワークショップで細断される。ワークショップは切断時に粉塵（放射性物質）が施設内に拡散するのを防ぐための仕切り（カバー）で覆われている。また、火災防護のためのライニングが施されている。

#### (4) 解体廃棄物

ブレニリ原子力発電所の解体による全体の放射性廃棄物量は明確ではないが、大型機器である熱交換器の解体により、極低レベル1,100トン、低中レベル240トンの放射性廃棄物が発生すると試算されている。これらの放射性廃棄物は、ANDRAのオーブやモリビリエの処分場で処分される。

#### (5) 原子炉の解体計画

2015年から2026年にかけて、原子炉、格納容器等の解体が行われる計画となっている。原子炉は放射線量が70Sv/hと極めて高く遠隔解体を行う。このための技術開発や3Dモデルを使用した検討が行われてきた。当初、制御棒の保守装置を改良して適用することを検討した

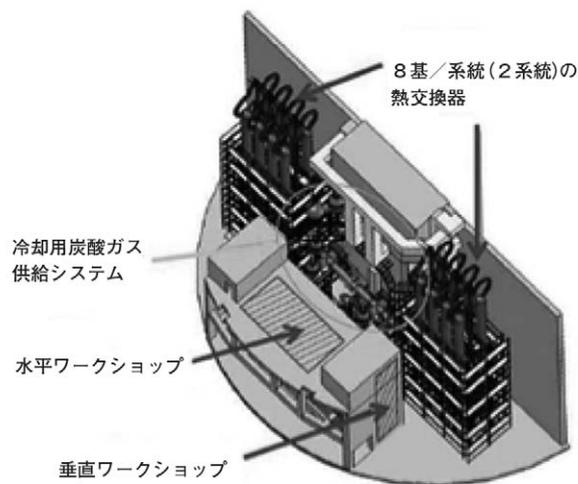


図7 16基の熱交換器と解体作業用ワークショップ



図8 熱交換器の接続配管にセットした切断装置（オービタルソー）と切断後の熱交換器

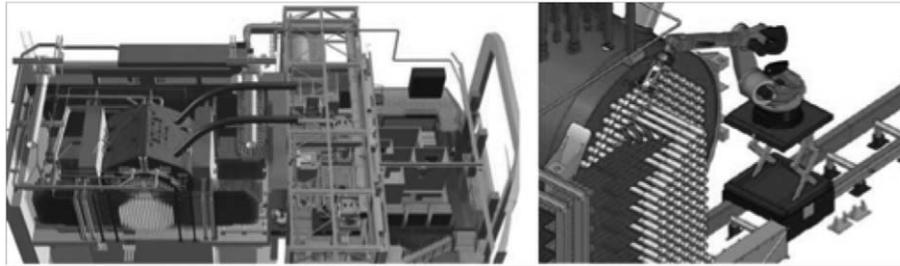


図9 原子炉の解体用構造物の設置（左）と遠隔解体装置（右）

が、制御姿勢の観点から断念し、図9に示すように支持構造上に鉄製の構造物を設置して、開発した遠隔解体装置を適用する予定である。炉内構造物の切断には材質の一部が可燃物であり、火災防止のための工夫が必要となる。

#### (6) 解体資金

フランスでは9つの原子力発電施設の解体が進められている。これらの廃止措置コストは約20億ユーロである。この予算はEDFの予算ではなく国が管理しており、3年ごとにコストの妥当性を検討している。費用は運転時に解体資金として発電単価に組込まれているが、放射性廃棄物の処分費用は含まれていない。

#### (7) 解体後のサイト環境修復ならびにサイト利用

フランスでは土壌汚染を規定する法律が未整備であった。このためブレニリ発電所敷地の汚染評価、環境修復はEDFが案を策定し、国から認可を取得した。ブレニリ原子力発電所の解体後サイト利用については、自治体等との話し合いを行っているものの、現在まで具体的な計画はない状況にある。

## 5. グライフスヴァルド原子力発電所（ドイツ）

### (1) 概要

グライフスヴァルド原子力発電所は、ベルリンの北方200kmほど離れた旧東ドイツのバルト海沿岸に位置する。当初8基の原子力発電所を計画していたが、5基の発電所を運転後（5基目は試運転中）、東西ドイツの統一により、旧西ドイツの原子力法に適合しないことから廃止措置を行う事が決定された。表4にグライフスヴァルド発電所の主要諸元を示す。廃止措置は、連邦政府直結のEnergiewerke Nord社（EWN）が行う事になった。EWNは極力雇用を維持するとともに、解体を合理的に行う観点から、即時解体で行う事にした。また、放射性廃棄物の処分場がないこともあり、巨大な解体廃棄物の中間貯蔵施設（Nord）を建設した。この戦略が、現在のEWNの新たな戦略の展開につながっている。

EWNは廃止措置の実施から20年の経験を有する。1990年までは、グライフスヴァルド発電所とラインスベルグ発電所の運転管理を国の業務の一環として実施していたが、その

表4 グライフスヴァルド原子力発電所の主要諸元（EWN社）

ユニット	原子炉型	電気出力 (MWe)	運転開始	運転停止	総発電量 (MWh)
1号機	WWER230	440	1973	1990.12.18	41.321
2号機	WWER230	440	1974	1990.02.15	40.040
3号機	WWER230	440	1978	1990.02.28	36.028
4号機	WWER230	440	1979	1990.06.02	32.077
5号機	WWER213	440	1989	1989.11.29	240
6号機	WWER213	440	運転認可待ち		
7号機	WWER213	440	主要機器設置完了・建屋完成		
8号機	WWER213	440	主要機器設置完了・建屋完成		

後旧東ドイツの廃止措置プロジェクトの管理（計画と許認可およびスタッフ自身による実施を含む）を担う事になり、これが主要な業務となった。1993年からは、原子力発電所の国際プロジェクトに参画、2003年からはロシアの原子力潜水艦（120基）の廃止措置を実施している。さらに、ユーリッヒにある高温ガス研究炉（AVR）の廃止措置管理を行っており、2006年からは、カールスルーエの再処理パイロット施設（WAK）の廃止措置の管理も実施している。

これまでの経験を活かし、国際プロジェクトには、ブルガリア、スロバキア、リトアニア、ウクライナ、ロシア、アルメニア等の廃炉ビジネスに参入しているが、今後も東欧諸国を中心としてビジネスとして参入する予定である。「経験を活用する」(Lessons Learned) という観点からは、EWN社は教育プログラムを作成し廃炉に関する企業研修も行っている<sup>(5)(6)</sup>。

## (2) 取組の基本的な考え方

グライフスヴァルド発電所は利用できる建物は再利用し、跡地の有効活用を行うことにしている。これは廃止決定から3年間、計画策定の時期に戦略を練った際に方針を変更し、建屋を利用する事にしたためである。

内部を除染した後の建屋の解放基準につい

て規制当局と交渉しているが、キーポイントは、建屋の中を除染した後も建屋の安定性を保つ必要がある、その期間が50年と想定している点にある。どのような除染基準を適用するかは、まだ明確ではない。

## (3) 廃炉費用

旧東ドイツの原子力発電所であるグライフスヴァルドは旧西ドイツのように廃炉の拠出金制度がないため、すべて国家予算により行われている。予算は当初約42億ユーロと想定したが、原子炉容器や大型機器等の一括解体方式など、合理的な方法を適用することによりコスト削減を図り、現状では32億ユーロと評価している。また、廃止措置の工程は、一括解体方式を適用することにより、約15%削減している。

## (4) 解体廃棄物

解体廃棄物は2013年末の時点で565,000トン、このうち放射性廃棄物が16,000トン（全体の約3%）となっている。解体廃棄物は図10に示すように、運転時の既存の処理施設と新たに設置した処理施設により、処分が可能な廃棄体にした後、中間貯蔵施設で保管される。

固体廃棄物は、中間貯蔵施設の側に設置されたワークショップにおいて、材質等に応じて高圧水・研磨・化学（リン酸塩）・シウ酸

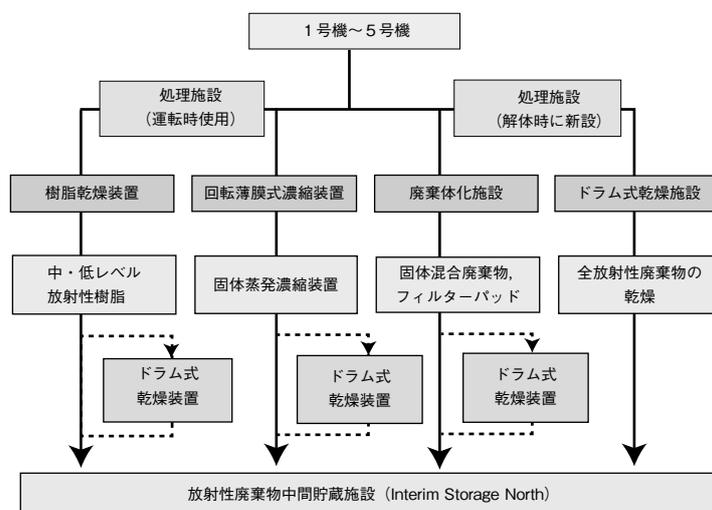


図10 解体に伴う放射性廃棄物の処理装置（既存・新設）

を用いた除染装置により除染され、フリーリリース（クリアランス）してリサイクルするか、クリアランスできない廃棄物は細断後に廃棄体化し中間貯蔵施設で保管する。切断技術は熱的切断、油圧せん断、バンドソーなど、市販品を適用している。

### （５）解体準備段階の対応

廃炉が決定された後、汚染しているところ以外の解体には、事前許可を得て解体を開始した。平行して、汚染部分の解体技術の準備を行った。移行期間中に解体作業計画を策定するが、運転中の要員をそのまま活用する必要がある。

廃炉で重要な事は最初から適切な枠組みがあること、移行期間中（運転から廃炉）に許認可前の作業を行う際に経済的にどう行うかを考える事である。移行期間において重要なやるべきことは2点ある。1つはインベントリデータを揃えることであり、もう1つは、最も経済的・効率的なやり方を考えることである。解体物を放射能レベルに分別するために、物理的データを収集し、核種分布を測定により評価する。廃棄物の分類の考え方として、1～4号機は長く運転、5号機は運転が極めて短い、タービンホールは汚染はないことを考慮して合理的に対応した。

### （６）主要な課題と対策

運転中の原子力発電所から廃炉に移行する際の課題にどう対応するか、特に組織の再構築、職員のモチベーションの維持や労働レベルの確保、職員の削減などに直面する。廃炉を決断する際には、廃炉の全体的な進め方についての技術戦略を極力早く決めることである。特に高いスキルのある人は廃止措置時にも確保しておく必要がある。

### （７）要員の確保

グライフスヴァルド発電所は即時解体を行う事にしたが、運転時の従業員を活用する観点から自ら工夫しながら解体を行う事にした。

廃炉に必要な業務を行うためには、従来の運転のための要員とは異なるスキルを必要とするため、個々の要員のトレーニングを行う必要がある。特に新たな施設の運用維持管理のための資格者、解体作業に必要な有資格者、廃棄物管理者、放射線安全および環境安全管理者、解体時の品質管理者などである。

このために、図11に示すように、当初の1990年代前半には述べ700名、また徐々に減ってはいるが、1997年頃から現在に至るまでは、400～500名が個人的に教育訓練を行っている。これは廃止措置には様々な分野のエキスパート

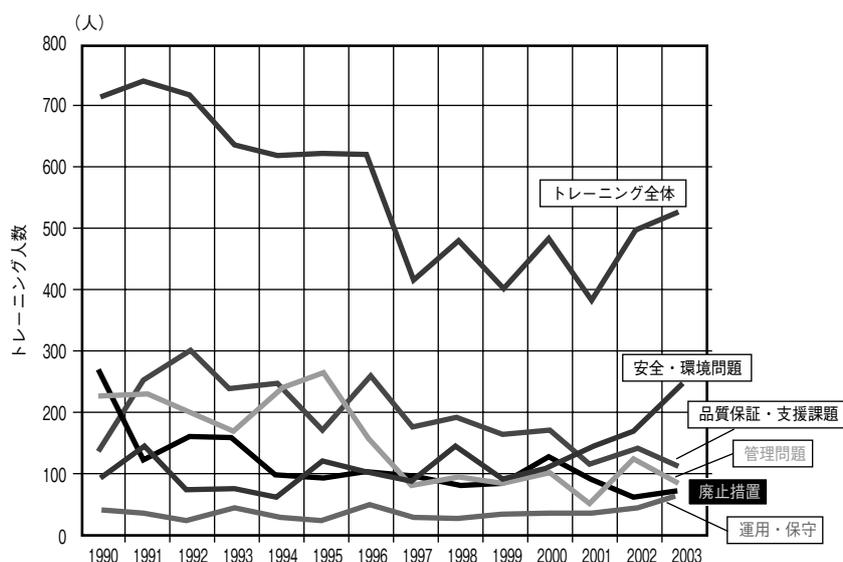


図11 廃止措置に関わる従業員の教育訓練（要員対策）

が必要となるからである。品質保証要員の養成はマネジメントと同様に極めて重要である。

#### (8) 体制の再構築と廃炉ビジネスへの展開

一般的に、運転時のようなプロジェクトマネジメント型の組織は体制が複雑である。廃炉段階の人員の配置については、進め方を理解している技術部門が深く関与して組織を作っていく必要がある。

前述のように、トレーニングは非常に重要であるが、多くの時間をかけているわけではない。プロジェクトマネジメントの総合能力、廃炉の作業項目の把握、放射性廃棄物管理や放射線防護、環境回復に関する知識等を習得することが重要である。このうち、解体物の管理は最も重要である。EWNでは放射性廃棄物管理に関する環境規定を作成し、それを基に作業を行っている。内容は、対象物ごとに除染方法や取り扱いの判断基準、搬送先等を経済的な視点も含めてまとめたものである。

運転・建設から、突然廃炉への方向転換を行う必要があったEWNは、従業員が他の企業で再就職できるような訓練・支援も行い、3分の1は再就職、3分の1はEWN社に残って廃炉に携わり、3分の1は解雇せざるを得なかった。

1990年時点は、5ユニットの運転で約5,500人が従事していたが、廃炉(解体作業)が始まった1995年時点で、約2,000人まで減少した。当初は、2015年までに30人規模まで縮小する計画であったが、ドイツ国内外の廃炉計画への参画、教育訓練ビジネスなど、経験を活用して新たなビジネスへの展開を図ってきた。この結果として、図12に示すように、現在873名の要員を確保している。

#### (9) 解体戦略と解体技術等

ドイツは処分場が確保されておらず、解体廃棄物の処分は出来ない状況にある。このため、大型機器は一括解体を行い、中間貯蔵施設で保管する。また、蒸気発生器や原子炉以外の機器類は、大きく解体後に別の施設で除染・細断するという方式も採用している。大型機器の解体は線量の半減期(Co-60)が関係するため、線量率に応じて中間貯蔵期間を考慮している。放射化している原子炉容器の内部構造物については、100～120年貯蔵すれば、線量率が大きく減衰するため、切断も容易になるが、貯蔵期間は最終処分場が用意できるか否かにも依存する。ドイツでは2050年ごろまでに最終処分場ができる話もあるが、柔軟

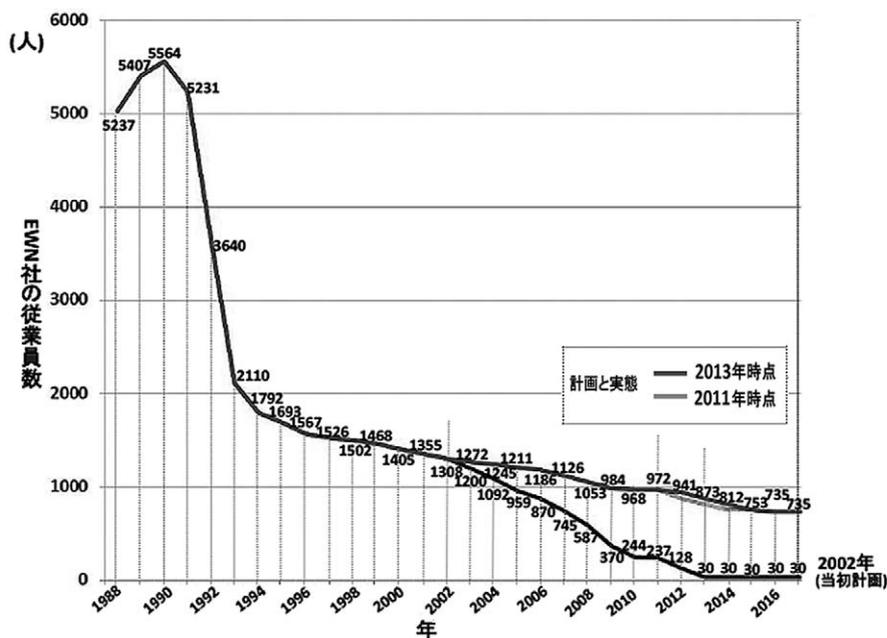


図12 グライフィスヴァルド発電所の廃炉開始後の要員の推移 (当初計画と現在)

性を持って対応することとしている。

廃炉技術は、市場で実績のある物を使うのが効率的である。解体については、現状の技術を組み合わせて適用することや運転時から知見を有している職員を使うことが重要である。トラブルも含めてプラントの履歴を分かっている人が解体に関与する事が廃炉をスムーズに行うことにつながる。グライフスヴァルドは、図 13 に示すように原子炉容器等線量の高い部分の解体には遠隔技術（切断技術はバンドソー）を適用するが、その他の部分に対しては既存の技術を適用している。

#### (10) 原子炉容器の解体

当初の計画では、主要機器の据え付けが終了した段階で廃止となった7・8号機の原子炉压力容器を用いて炉内構造物や原子炉压力容器の遠隔解体技術を確立し、線量の低い5号機から順次適用する予定であった。原子炉の解体は図 14 に示すように、炉内構造物は原子炉压力容器内で水中解体、原子炉圧力容

器はそのまま搬出して細断、これらを撤去後に生体遮へい体は原子炉容器室で解体する計画であった。原子炉压力容器1・2号炉の解体から開始し、原子炉内構造物は水中でバンドソー切断を行ったが、途中で工程が3年間遅延した。この経験を踏まえて戦略を見直し、コストと時間を削減するため、3-5号炉の原子炉内構造物は切断せずに原子炉压力容器とともに中間貯蔵施設に貯蔵する方法に変更した。解体は極力細断せずに実施したほうが、作業の早期化、汚染拡大の防止、事後処理といった点で効果的である。

また、搬出時の遮蔽は測定結果に基づき、必要最小限に留めている。図 15 に2号炉の原子炉压力容器の搬出状況を示す。炉心中央部は高放射線量のため、遮蔽を行っている。

#### (11) 跡地利用

グライフスヴァルドは旧東ドイツでも特に失業率の高い地域であり、廃炉を進めるにあたり、従業員のリ雇用を確保することが大き

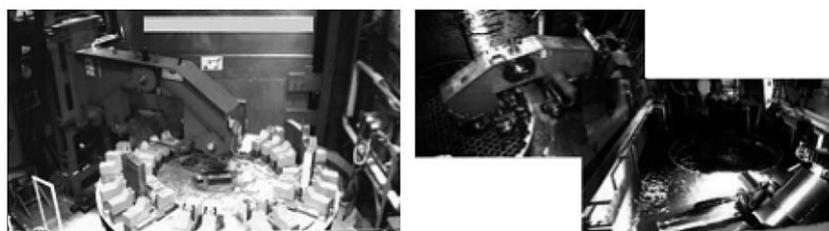


図 13 原子炉压力容器等の高線量機器の遠隔解体・撤去

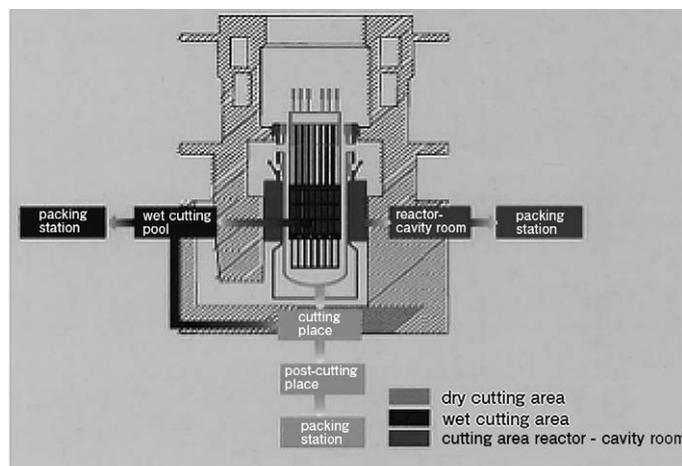


図 14 原子炉压力容器等の解体



図 15 炉内構造物を撤去した 2 号炉の原子炉圧力容器の搬出

な課題の 1 つであった。このため、サイトの 120 ヘクタールを産業地域とすべくステークホルダーの代表者による検討が行われた。この結果、港湾の喫水レベルを 7 m として大型船舶の接岸を可能とし、鉄道も港湾の近くまで 360 m 延長した。2005 年時点で 30 社を誘致し、650 名の雇用を確保した。現在は誘致企業も増加し、約 1,000 人以上の雇用を確保している。図 16 に誘致した工場の例を示す。タービン建屋は 50m (奥行き) × 1,200m (幅) × 50m (高さ) の巨大な建物であり、内装設備を撤去後多くの企業が利用している。

## 6. おわりに

原子力発電所の廃止措置の計画・実施・終了している施設は、EU28 カ国で既に 88 基に

達している。代表的な国と施設として、スペイン、英国、フランスおよびドイツの 5 つの廃炉中の原子力発電所を訪問し、様々な視点から廃炉の実態を調査した。このうち 3 つの原子力発電所の実施状況を紹介した。特徴的な事項をまとめると下記の通りである<sup>(3)(5)</sup>。

- 廃炉を計画的・効率的に進めるためには、解体廃棄物の処分までの道筋が明確になっている必要がある。処分場が確保されていない場合は、ドイツのように中間貯蔵施設をサイトの近くに用意する方法もある。
- 廃炉を国営あるいは国策会社を設立して実施している場合が多く、廃炉を計画的に実施できる要因の 1 つと考えられる。スペインは廃炉の専門機関である ENRESA を国が準備、英国はバックエンド業務を担う機関として NDA を設立した。フランスの全ての



図 16 タービン建屋の有効利用による誘致企業と港湾設備整備

原子力発電所は1つの会社、EDFが担っている。EDFは民間会社であるが、85%の株式を国が保有している。ドイツは旧東ドイツの原子力発電所の廃炉に際し、廃炉を行う機関としてEWNを設立、その資金は国から提供されている。旧西ドイツの調査プラントは中間貯蔵施設もなく、廃炉は計画に対して遅れ気味である。

- 旧東ドイツの原子力発電所を除いて、廃炉の資金については、拠出金制度、積立金制度が確立しており、運転中の一定期間内に必要な費用を確保している。しかしながら、各国とも実施費用の低減化に取り組んでいる。廃炉期間20年近くを要するため、小さなことを積み上げながらコスト削減を図っている。
- 廃炉技術については、この技術がないと廃炉ができないという技術はないと考える。しかしながら、遠隔技術等既存の技術を如何に組み合わせ、適合させていくという観点からの技術開発は必要となる。各発電所とも、プラントの型式や特徴を考慮し、このような観点から技術開発を実施し、実プラントに適用している。
- 原子力発電所の立地場所は他の産業がほとんどない場所に設置されることが多く、今回の訪問先も同様である。発電所が廃炉段階になると地元経済が冷え込むこともあり、各発電所とも廃炉に際し地元の企業や地元出身者を多く雇用している。
- 廃炉後の跡地利用については、運転停止段階からステークホルダーとの議論を行っている。しかしながら、跡地利用につながらないのが実態である。

今回の調査で、EU諸国の廃炉の一端しか分からないことは言うまでもない。しかし、実際の廃炉の現場を直接確認し、携わっている人の経験や課題とそれをどう克服したかといったことを知ることは、今後廃炉が本格化するわが国においても参考になるものと考えられる。

#### 参考文献

- (1) IAEA, 世界の原子力発電所情報データベース (PRIS)  
<https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ShutdownReactorsByCountry.aspx>
- (2) JOSÉ CABRERA NPP DISMANTLING AND DECOMMISSIONING PROJECT, ENRESA, July 16, 2014
- (3) EUにおける原子力発電所の廃炉実態調査団(II)報告書, (一社)日本技術者連盟 平成26年9月
- (4) THE DISMANTLING OF THE BRENNLIS POWER PLANT, EDF, January 15, 2014
- (5) Decommissioning of NPPs and other nuclear facilities -20 years experiences-, EWN, July 18, 2014
- (6) EUにおける原子力発電所の廃炉実態調査団(I)報告書, (一社)日本技術者連盟 平成26年3月

[調査研究報告]

## 米国エネルギー高等研究計画局（ARPA-E）取り組みの最新状況

守家 浩二（プロジェクト試験研究部 地球環境グループ）  
主管研究員



### 1. はじめに

エネルギー技術開発に関し、日本では特に石油危機を起点として「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）が施行され、特に産業分野の省エネルギーに関連する技術開発が進んできた。1990年頃から地球温暖化対策に関する社会的要請に対応して、温対法（地球温暖化対策の推進に関する法律）が施行された。化石エネルギー利用によって大気に排出される、温暖化ガスである炭酸ガスの削減は喫緊の課題であり、エネルギー技術の中で炭酸ガス排出削減技術は主要課題となっている。この課題に対して、炭酸ガスを排出しないエネルギーの技術開発、炭酸ガスの排出を抑える効率向上技術、二酸化炭素回収貯留（CCS）などの炭酸ガスを固定化する技術が取り組まれてきた。

米国は京都議定書に参加せず、当時国としては温暖化対策には積極的でなかったとされているが、技術力低下を憂慮する声は多く上がっていた。様々な議論を経て成立した米国競争力強化法成立の2007年を起点に、エネルギー技術開発への米国政府の取り組みも変化を見せた。エネルギー技術の分野では競争力強化を急速に回復させるために革新的な取り組みを行うエネルギー高等研究計画局（ARPA-E：Advanced Research Projects Agency-Energy）が設立された。ARPA-Eは設立以降発展してきており、現在も活発に活動している。ここでは、ARPA-Eの最新のプ

ログラムを確認することで米国のエネルギー技術開発の動向を探る。

### 2. ARPA-Eの概要

#### （1）ARPA-Eのスコープ<sup>(1)</sup>

ARPA-Eは、米国エネルギー省（DOE）が実施している研究開発プログラムのうち比較的高いリスク分野ではあるものの、エネルギー業界へのインパクトが大きい技術の開発案件に対して支援を行っている。その範囲はエネルギー技術全般をカバーするものであり、基礎研究が進んでいるテーマに対して実用化開発までの橋渡し、いわゆる「死の谷」を越える領域を支援することを目的としている。

ARPA-Eは単にプロジェクト実施者に資金供与するだけではなく、優れたプログラムディレクター（PD）がプロジェクト実施者に深く関与し、革新的な方法で開発に当たることを求める。また、市場展開などプロジェクト実施者の苦手とする部分を補う能力を備えたメンバーが協力する。このような体制により、少ない投資で最先端領域を活性化し実用化に結びつける。

#### （2）設立の背景<sup>(2)</sup>

ARPA-Eの設立は、米国競争力強化法（The America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education and Science Act）を根拠にしている。

米国競争力強化法は、21世紀初頭頃までの中国等の急成長により、競争の激化や米国企

業の海外移転など米国の競争力に陰りが差してきたことが明確になったことから、産業界や学会から競争力強化を政策で支援することの求めに対応したものである。

競争力評議会<sup>※</sup>は通称「パルミサーノ・レポート」“Innovate America” (2004年)の中で、「米国の競争優位はイノベーション以外にはない」と結論づけ、イノベーションを促進する環境づくりに米国社会を最適化する方策として、「教育人材」、「研究開発」、「社会インフラ」の3つの側面からの政策を提言した。これが引き金になり、上下両院および共和党・民主党の科学政策関係議員から全米アカデミーズに対し、21世紀の国際社会において米国が競争、繁栄、安全の面で成功を収めるよう米国政府がとるべき戦略についての検討の依頼がなされた。その結果、通称「オーガスティン・レポート」“Rising above the Gathering Storm” (2005年)が報告された。

「オーガスティン・レポート」においては、「米国は、第2次世界大戦以降、経済的・戦略的に世界的なリーダーではあるものの、近年、市場と科学技術分野での強みが失われ始めており、包括的かつ早急な対応が必要である」とされた。レポートは中国、インドに注目し、これに対応して競争力を強化するため、初等中等教育における科学・数学教育の充実、理学・工学研究の強化、理工系高等教育の充実、イノベーション環境の整備などを提言している。「オーガスティン・レポート」の発表により議会での議論は更に活発化し、この状況を踏まえて、ブッシュ大統領が2006年一般教書演説において、国立科学財団(NSF)、エネルギー省科学局、国立標準技術研究所(NIST)の政府予算の10年間での倍増、企業への研究開発減税の恒久化、科学・数学教育の抜本的強化などを内容とする「米国競争力イニシアティブ」を発表するに至った。

米国競争力イニシアティブの発表は多くの議員の関心と呼び、競争力強化に資する多数

の法案が第109議会(2006年)に提出された。これら多数の法案を踏まえて、第110議会(2007年)において、上院では「米国の技術・教育・科学における卓越性に関する意味ある促進機会の創造法」が、下院では「2007年21世紀競争力法案」が提出され、2007年7月には上下両院協議会により、米国競争力法として取りまとめられて成立した。同法は8月9日に大統領が署名し発効している。

### (3) ARPA-E の予算

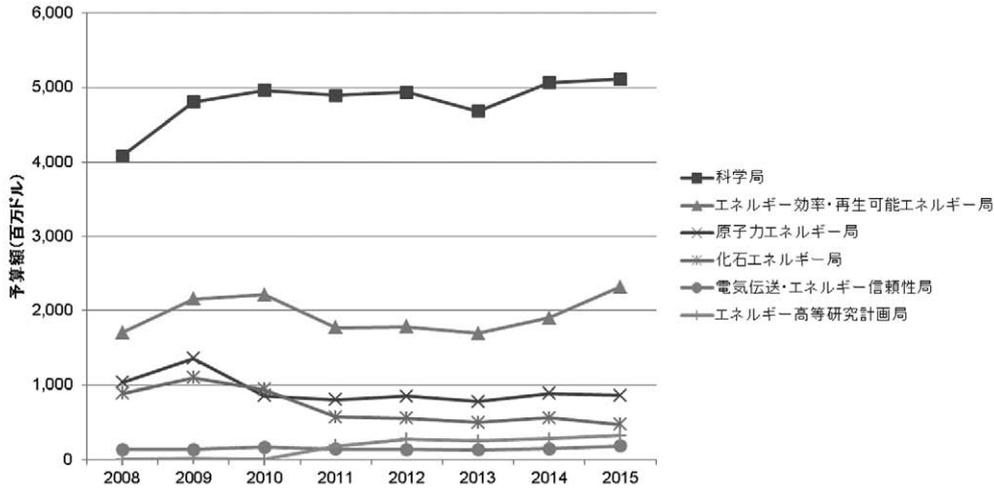
ARPA-Eの予算はDOEの予算の一部である。DOEは、10のプログラム部局、13のスタッフ部局、21の国立研究所、センターに加え、国家核安全保障局、エネルギー情報局などから構成されている(2014年6月現在)。エネルギーの研究開発には6つのプログラム部局が関与しており、所掌区分は次のようになっている<sup>(3)</sup>。

- 科学局：エネルギー分野の基礎研究
- エネルギー効率・再生可能エネルギー局：再生可能エネルギー、エネルギー効率
- 原子力エネルギー局：原子力エネルギー
- 化石エネルギー局：化石エネルギー
- 電気伝送・エネルギー信頼性局：送配電
- エネルギー高等研究計画局：研究イニシアティブ

DOEの2016年度予算は299億2,400万ドルであり、ARPA-Eの予算はその1%強の3億2,500万ドルである。DOE予算の伸び率が9.2%であるのに対し、ARPA-E予算の伸び率は16.1%である。図1にエネルギー研究開発を担当する部局予算の推移を示す。ARPA-Eの予算については、発足以降増加傾向を辿っている。

米国のファンディング(資金提供)システムは目的に応じた多様な研究資金が併存する「マルチ・ファンディング・システム」をとる。各省庁がそれぞれの政策分野ごとに基礎・応用・開発研究を支援している。各省庁は組織内部における研究開発と、外部への資金提供

※米国の競争力強化を目的に産業界や学会などのリーダーによって1986年に設立された非営利組織：Council on Competitiveness



年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016(要求)
予算額(M\$)	15	0	180	275	251	280	280	325

(出所：ARPA-E ホームページ，米国予算教書)

図1 米国エネルギー省エネルギー研究開発予算の推移 (表は ARPA-E 分)

の両方の機能を担っている。政府研究開発費 1310 億ドル (2012 年) のうち 77% が、アメリカ国立衛生研究所 (NIH) など資金配分機関を通じて外部組織へ配分されている。

ARPA-E の資金も同様に産業界，大学等を問わずプロジェクト実施者に供給される。

#### (4) ARPA-E スキームの特徴

##### ① ARPA-E が参考とした DARPA

ARPA-E にはモデルが存在する。国防省が実施する研究開発プログラムである国防高等研究計画局 (DARPA) <sup>(4) - (6)</sup> である。DARPA (改称前は ARPA) は 1958 年にソビエト連邦による世界最初の人工衛星スプートニクの打ち上げが直接の契機となって，宇宙に進出する能力を得る上で，教育における科学技術の重視が不十分であるという議会の考えに基づき設立された。DARPA は，科学技術上のニーズを満たすため企業や大学，研究所との契約が行えるという，柔軟性を持つ国防総省で唯一の中心的な研究開発機関であり，最新技術の進歩や創造に寄与するプロジェクトを推進することができている。その成果の一部は広く民間転用されており，インターネットや GPS，自立作業ロボット等社会に大きな

インパクトを与えるものとなっている。

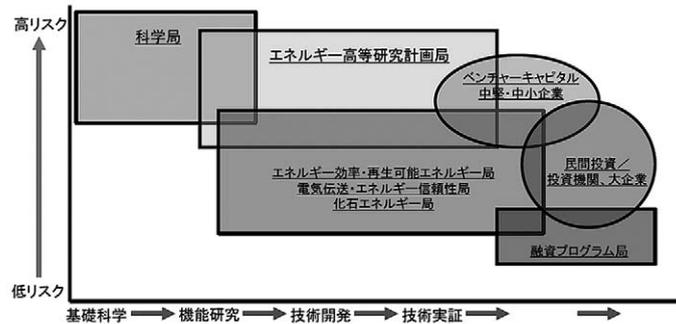
ARPA-E のスキームは DARPA のスキームの多くを踏襲している。一例を以下に列挙する。

- 極めてハイリスクであるがインパクトの大きい研究開発に資金支援
- 基礎研究と実用化をつなぐいわゆる「死の谷」をこえる領域に資金支援
- 優秀なプログラムマネージャ (PM, ARPA-E ではプロジェクトディレクター (PD) に相当) を産官学から招聘，プログラム期間は基本的に同一の PM に権限付与
- PM を 3～5 年に入れ替え，常に新たなアイデアを取り込む

##### ② ARPA-E の役割

ARPA-E の役割は DARPA のものとよく似ている。図 2 に ARPA-E の役割のイメージを示した。

ARPA-E は科学局が担当する「基礎科学」ではなく，「機能研究以降の領域」を支援対象としている。対象となる技術については，リスクが高すぎてプログラム部局 (エネルギー効率・再生可能エネルギー局，電気伝送・エネルギー信頼性局，化石エネルギー局) や産業界では対応困難な研究を支援する役割を担う。従って，ARPA-E の採択プロジェクトは，「技術概念の創出」「技術概念の検証」および「研究環境下の技術開発・試作」のレベルが多くを占めることになり，投資家などの支援が



(出所:「ARPA-Eの概要」, JST/CRDS 海外動向ユニット)

図2 ARPA-Eの役割

得られ難い「“死の谷”にあるプロジェクト」を重点的に支援している。

DARPAの役割は、米軍が今直面しているニーズに対応するのではなく、将来のニーズに対応するための革新的研究を支援し実用化を加速するものであり、ハイリスクすぎたりミッションと一致しない等、他の軍所属研究所では扱わない技術や既存のシステム・概念を壊すような技術、軍司令部は現時点では必要と認識していないが、将来的に必要なとDARPAが考える技術に先行投資するものである。DARPAは、大学や国立衛生研究所、DOE等による基礎研究、最先端の発見、システム概念の発明などと軍が実施する実用化研究との間のギャップを埋める橋渡し役も担う。

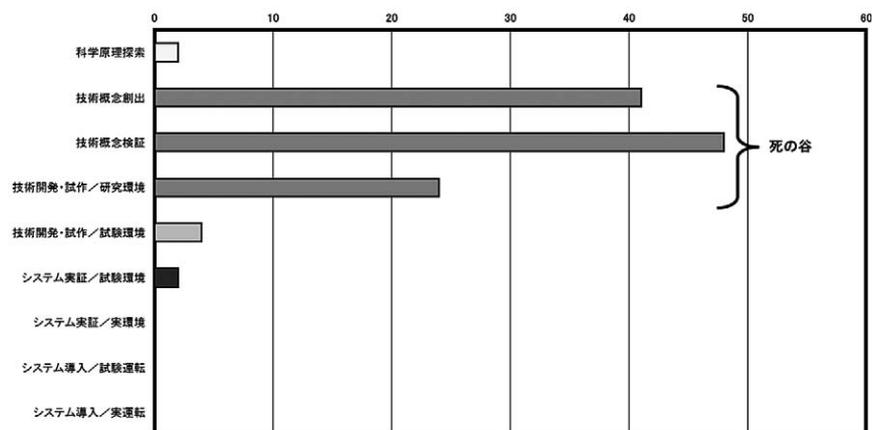
ただ、DARPAが完成させた技術を軍が使うのに対して、ARPA-Eが完成させた技術は企業に採用を働きかけたり、新会社を設立し

たりして商品化にまでこぎ着ける必要がある。このため、ARPA-Eには商品化を支援する部隊が組織され、活動している。

図3には、ARPA-Eの技術熟成度毎のプロジェクト採択件数を示した。ARPA-Eの役割通りのリスクの高い領域を支援していることがわかる。

### ③ ARPA-Eのプロジェクト・ディレクター (PD)

ARPA-Eでは研究開発の中核を担うPDに対し“集中したマネジメント権限”を付与している。その結果、PDが主導する形で、独創的プログラムが立ち上がっている。研究プログラムは、企画段階からPDが統括する。このため、“卓越した研究プログラム構想を有する人材”を優先して登用している。PDの要件として以下の内容を設定している。



(出所:「ARPA-Eの概要」, JST/CRDS 海外動向ユニット)

図3 技術熟成度毎のプロジェクト採択件数

- エネルギー関連の理学または工学の博士号
- ARPA-E の投資対象となり得る卓越した研究プログラム構想
- 学术界，産業界，技術投資機関等での6～8年以上のエネルギー分野の経験
- プログラムマネジメント及び技術移転に対する優れた能力
- 技術及び産業に対する高度の知見
- エネルギーについて少なくとも1つの技術領域に精通し，その領域に関わる広範で学際的な展望を有すること

PDの採用は，3年間の任期付き契約を基本としている。応募条件に対応し，起業実績や産業界での業務経験を有する人材が数多く登用されている。一例を下記に示す<sup>(7)</sup>。

- Dr. Jonathan Burbaum：Azure Therapeutics社，Gnosys Consultingの創業者
- Dr. Joe Cornelius：モンサント社，ファイザー社，BASFでの業務経験
- Dr. Sonja Glavaski：ユナイテッド・テクノロジーズ社，ハネウェル社での業務経験
- Dr. James Klausner：フロリダ大学教授
- Dr. John Lemmon：パシフィック・ノースウエスト国立研究所，GEでの業務経験

ARPA-EのPDが強力な権限を有するスキームは，DARPAにおいてプログラム・マネジャー（PM）がそのような役割であるのと似ている。PMは3～5年の任期（期限付き契約，通常4年）である。これは新しいアイデアと新しいスタッフのエネルギーをコンスタントに取り入れることが利益となるという考え方に基づいている。PMは毎年25%程度が交代することを目標としている。

PMの採用にあたっては，企業や政府・大学等で経験を積んでいるトップレベルの人材を毎年採用している。実際には，DARPA関係者の口コミからの採用が多いようで，PMによる後任の推薦，DARPA関係者やOBによる紹介，DARPAから資金提供を受けていた研究者などが担当している。PMに必要とされる能力は以下の3点が強調されている。

- 特定技術分野に関する専門知識・人脈，予算管理能力，説明能力
- 特に様々なステークホルダーとのコミュニケーション能力を重視
- ウォーカー副局長は「PMには，Capability（専門能力），Creativity（創造力），Passion（熱意），Character（性格）の4つが必要」とコメントしている

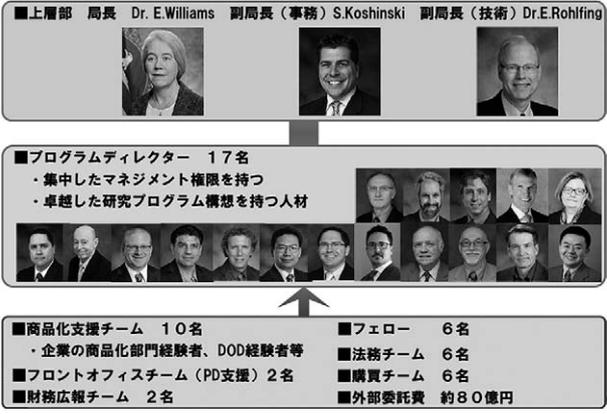
**(5) ARPA-E の組織**

ARPA-Eの組織の概略を図4に示した。図からわかるように，小規模な本部機能の下でPDが直接本部機能に繋がるようなフラットな組織で運営されている。PDの活動を支える部隊が準備され，特に商品化支援に経験者を配している。また，文書作成等細かな作業については，巨額の外部委託費用を準備している。

**(6) ARPA-E の運営**

①革新的で実用性に富む研究プログラムを発掘する公募方法

研究プログラムの公募については大きく2つの特徴がある。1つは市場性やコスト競争



(出所：ARPA-E ホームページ (2015年6月) より作成)

図4 ARPA-E の組織

力を加味した上で革新性を維持する選定方法と2つの公募方式である。

先にも述べたように DARPA が国防上の研究課題克服が目的であるのに対して、ARPA-E はエネルギー分野の商品創出が必要である。このため、実用性に劣る提案を排除する目的で外部専門家によるレビュー方式を用いて多面的評価を実施している。一方、実用性ばかりを重視すると革新性の高い提案書を排除することに繋がりがねないため、評価結果を提案者へ開示し、追加説明を受諾、革新性の高い提案を維持するような運営を行っている。

公募方式には、PD が特定課題を指定したプログラムに対応したプロジェクトを公募する提案公募 (Funding Opportunity Announcement) と、エネルギー全般を対象としたプロジェクト募集で、公募対象が広範となり複数の PD が関与する包括型提案公募 (Open Funding Opportunity Announcement) の2つがある。提案公募が PD のスコープ内の限定的なプロジェクトを対象としているのに対して、包括型提案公募は領域を限らないため幅広い領域の革新的な提案をすくい上げることができる。

## ②ハイリスク型プロジェクト向けのスムーズな契約

ハイリスク型プロジェクトの効率的な推進のために、資金供給契約は PD とプロジェクト受託者が主体で行うことができる。ディレクターの全体戦略に合致し、実効性の高い計画となるよう契約することができる。採択案件確定後原則として2カ月以内に契約成立するように運営されるため、契約が長引くことによる機会損失防止することが出来る。また、達成目標、マイルストーンが明確で、達成目標に応じた資金提供条件設定される。

リスクの高い研究開発においては柔軟な契約が求められる場合が多い。このため米国には、国との契約に関する柔軟な制度 (Other Transaction Authorities) が準備されている。この制度は以下の特徴を有する。

- 国の調達規則 (Federal Acquisition Regulation) によらない制度
- 研究開発機関が計画の立案に当たり事前に話し合うことを許容する。
- 計画立案段階で、役割分担等を調整可能。
- 価格競争によらず計画遂行に必要な技術を重視して契約できる。
- 契約後においても目標値等は話し合いで変更できる。

また、支援体制が充実している。技術、財務、プロジェクト管理に関わる多様なエビデンスを迅速にそろえるために、外部委託費を用い外部調査機関、コンサル会社等を活用することができる。

## ③目標指標を明確にした管理

プロジェクトの目標指標は「技術開発」と「市場導入」の2つの項目から構成され、3カ月毎に進捗度評価が行われる。プロジェクト採択後「資金供給契約」段階で提案段階での目標は詳細な見直しが行われ、明確な管理が行えるように変更される。その際、PD、技術スタッフ、市場導入スタッフの3名が処理にあたる。目標指標達成度による判断は厳密に実施され、評価結果をもとにプロジェクト継続の可否が判断される。ただ、3カ月毎の評価段階においても、指標の修正が可能な枠組みを持つ。

管理に関する支援体制も充実しており、ここでも外部調査機関、コンサル会社等活用が可能である。支援業務に制限はなく、技術、財務、管理など広範な領域をカバーしている。

## 3. 採択プロジェクトの最新状況

### (1) 最新のプログラム

表1にプログラムの内容およびそのプログラムに属するプロジェクト件数を示した。2015年6月時点で公開されているプログラムは26、プロジェクトは393件である。

2011年の開始時にはPETRO, REACT, HEATS, GENI, SolarADEPTの5プログラム、61件のプロジェクトが採択された。

表 1 ARPA-E の最新プログラム

略 称	プログラム名	内 容	プロジェクト数
1	ADEPT	Agile Delivery of Electrical Power Technology	14
2	AMPED	Advanced Management and Protection of Energy Storage Devices	14
3	BEEST	Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation	10
4	BEETIT	Building Energy Efficiency Through Innovative Thermodevices	17
5	CHARGES	Cycling Hardware to Analyze and Ready Grid-Scale Electricity Storage	2
6	DELTA	Delivering Efficient Local Thermal Amenities	11
7	Electrofuels	Microorganisms for Liquid Transportation Fuel	13
8	FOCUS	Full-Spectrum Optimized Conversion and Utilization of Sunlight	13
9	GENI	Green Electricity Network Integration	15
10	GRIDS	Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage	12
11	HEATS	High Energy Advanced Thermal Storage	15
12	IDEAS	Innovative Development in Energy-Related Applied Science	15
13	IMPACCT	Innovative Materials and Processes for Advanced Carbon Capture Technologies	7
14	METALS	Modern Electro/Thermochemical Advances in Light Metals Systems	15
15	MONITOR	Methane Observation Networks with Innovative Technology to Obtain Reductions	18
16	MOVE	Methane Opportunities for Vehicular Energy	8
17	OPEN 2009	Open Funding Solicitation	13
18	OPEN 2012	Open Funding Solicitation	41
19	PETRO	Plants Engineered to Replace Oil	66
20	RANGE	Robust Affordable Next Generation Energy Storage Systems	10
21	REACT	Rare Earth Alternatives in Critical Technologies	22
22	REBELS	Reliable Electricity Based on Electrochemical Systems	14
23	REMOTE	Reducing Emissions using Methanotrophic Organisms for Transportation Energy	13
24	SBR/STTR 2012	Small Business Innovation Research/Small Business Technology Transfer	15
25	SOLAR ADEPT	Solar Agile Delivery of Electrical Power Technology	6
26	SWITCHES	Strategies for Wide Bandgap, Inexpensive Transistors for Controlling High-Efficiency Systems	7
		電力変換効率向上およびそのための構成要素開発 (回路, トランジスタ, コイル, トランス等) 蓄電装置向け制御・保護技術 車載用蓄電池 ヒルのエネルギー効率向上 系統蓄電用バッテリーの評価データベース形成 局所空調技術開発 微生物を使った燃料製造 太陽電池と集光のハイブリッド化 送電効率・信頼性の改善で自然エネルギー導入増大 系統用低コスト蓄電技術 低コスト蓄電技術 エネルギー技術の新たなパラダイム構想 低コストCO <sub>2</sub> 回収技術 金属構造材の軽量化 メタン漏洩検知技術 低コストメタン貯蔵技術 選定にあたっては、3,700以上の提案から36を選ぶ(1億7,600万米ドル) 選定にあたっては、4,000以上の提案から66を選ぶ(1億3,000万米ドル) 植物由来燃料 安全で耐久性のある蓄電池 希土類を使わない低コスト強磁性材料 中温領域を中心とした燃料電池 生物学的メタン転換プロセス 中小ビジネス向け研究および技術移転 太陽電池の変換効率向上 GaN/SiC などの高効率変換できる材料開発	14

(出所: ARPA-E ホームページ (2015年6月) より作成)

2012年には AMPED,S BIR/STTR, MOVE の3プログラム, 34件のプロジェクトが追加された。2013年には, RANGE, REMOTE, METALS, SWITCHES の4プログラム, 69件のプロジェクトが採択された。

表2にプロジェクト数および充当資金を分野別に整理した。2013年9月時点に比べ現在ではエネルギー効率向上に関連するプロジェクトが特に増強されている。

エネルギー貯蔵の分野は資金比率で4分の1を占めており, 重要視されている分野である。プログラムについても, 熱貯蔵の HEATS, 自動車用蓄電池低コスト化を目指す BEEST, 電気自動車用高耐久低コスト蓄電を支えるシステム開発を目指す RANGE, 送電網の低コスト蓄電技術開発を目指す GRIDS, 蓄電装置向け制御・保護技術の AMPED など5プログラムが運営されている。

バイオエネルギーの分野にはエネルギー貯蔵に次いで多くの資金, 比率では5分の1が投入されている。プログラムとしては微生物を使った液体燃料生成を目指す Electrofuels,

微生物発生ガスから液体燃料を生産する REMOTE, 非食用作物から液体燃料を直接生成する PETRO が運営されている。

近年強化されたエネルギー効率向上の分野では, ビルのエネルギー効率向上を目指す BEETIT, 局所空調技術開発の DELTA, GaN 等の高効率変換低コストデバイス材料開発を目指す SWITCHES がプログラムとして運営されている。

太陽エネルギー, 風力エネルギー, 地熱エネルギー, 海洋エネルギーなどの再生可能エネルギーへの取り組みも全体の10%を占めている。太陽エネルギー分野においては, 太陽電池システムの高効率化を目指す SOLAR ADEPT や太陽電池と熱利用のハイブリッドなどを目指す FOCUS がプログラムとして運営されている。

エネルギー伝送の分野では送電網の効率や信頼性を改善して再生可能エネルギーの導入を目指す GENI や回路技術を用いて電力変換効率向上を目指す ADEPT が運営されている。化石エネルギーの分野では, CCS のための二

表2 プロジェクト件数および充当資金の分野別整理

2013.9 分野	プロジェクト数	充当資金		2015.6* PJ数	充当資金	
		金額(ドル)	配分比率(%)		金額(ドル)	比率(%)
エネルギー貯蔵	99	232,395,724	28.7	106	268,134,438	24.4
バイオエネルギー	50	154,557,182	19.1	59	213,510,981	19.5
エネルギー伝送	38	97,972,282	12.1	35	95,507,350	8.7
化石エネルギー	43	90,873,489	11.2	39	105,561,912	9.6
エネルギーの戦略材料	32	63,277,111	7.8			
エネルギー効率	23	49,945,770	6.2	64	154,986,256	14.1
太陽エネルギー	19	46,743,432	5.8	29	71,125,258	6.5
自動車技術	7	22,756,028	2.8	37 材料含む	108,941,109	9.9
風力エネルギー	4	18,728,584	2.3	4	22,733,584	2.1
地熱エネルギー	1	9,151,300	1.1	1	9,141,030	0.8
海洋エネルギー	2	1,093,260	0.1	5	10,442,315	1.0
その他	14	22,070,372	2.8	14	37,512,817	3.4
合計	332	809,564,534	100.0	393	1,097,597,050	100.0

(出所: 左表は DOE の各種公開情報に基づき 科学技術振興機構 (JST) / 研究開発戦略センター (CRDS), 右表は当所作成)

酸化炭素回収効率向上を目指す IMPACCT や自動車用低コストメタン貯蔵、走行システムの MOVE が運営されている。

## (2) 新規のプログラム

ARPA-E では現行運営しているプログラムに加え、新規のプログラムを企画しプロジェクトを組織化している。新たに検討されているプログラムを表3に示した。ARPA-E は予算も増加傾向にあり、さらなる発展が見込まれる。

## (3) プロジェクトの成功例

ARPA-E は、ARPA-E プロジェクトと投資家や商品化を目指す企業をつなぐためのマッチングイベント「エネルギー・イノベーション・サミット」を例年2月に開催している。2015年のサミットでは、ARPA-E Highlights として11件のプロジェクトを提示した。また、ARPA-E は2015年2月に Select ARPA-E Projects として101件のプロジェクトをホームページに掲載している。ARPA-E は基礎研究と商品化をつなぐことを主たる役割としており、ARPA-E の選定基準は商品化研究

に繋がる点を重視している。Select ARPA-E Projects においては、民間からの投資を得たもの、起業したもの、政府からの次のファンドを得たものを選んでいる。ARPA-E 開始から5年を超え、プロジェクト期間終了を迎えるものが多くなっているなかで、次のステージに移るプロジェクトが多くなっていると思われる。

## (4) エネルギー・イノベーション・サミット

多くの企業、政府関係部署が ARPA-E エネルギー・イノベーション・サミットを支援している。2015年のイベントにおける支援組織は合計で88で、民間はBASF Corporation, Siemens AG, Shell, ABB等68社、政府関係部署はDODのAir Force Energy Office, Navy Energy, Energy Information Administration等20組織となっている。Showcase参加者は合計で322組織、ARPA-Eの資金獲得者252組織、その他支援組織等が70とかなり多くの組織が参加していた。ARPA-Eの各プロジェクトの概要はホームページに掲載されているが、具体的な内容や進捗情報などは個別プロジェクトの実施者から情報を得る必要がある。

表3 新規のプログラム

	略 称	プログラム名	内 容
1	IDEAS	Innovative Development in Energy-Related Applied Science	インパクトがあるが懐疑的でもある概念の確認のための短期的プロジェクト
2	ALPHA	Accelerating Low-cost Plasma Heating and Assembly	核融合のための低コストプラズマ発生技術
3	ARID	Advanced Research In Dry-cooling	冷却水を節約できる次世代空気冷却技術（吸収、放射、蓄熱等）
4	GENSETS	GENERators for Small Electrical and Thermal Systems	小型コージェネの低コスト高効率化（レシプロエンジン、タービン、熱発電含む）
5	TRANSNET	Traveler Response Architecture using Novel Signaling for Network Efficiency in Transportation	輸送に関するエネルギーの高効率化（運転方法やエンジンの高効率化も含む）
6	TERRA	Transportation Energy Resources from Renewable Agriculture	遺伝子変換による植物からのバイオ燃料の生産性向上（遺伝子配列の予測から育種まで）
7	MOSAIC	Micro-scale Optimized Solar-cell Arrays with Integrated Concentration	マイクロアレー集積型太陽電池
8	OPEN 2015	Open Funding Solicitation	領域を限らない技術開発
9	MODES	Network Optimized Distributed Energy Systems	分散発電システムとネットワーク化の融合による自然エネルギーの導入強化

（出所：ARPA-E ホームページ（2015年6月））

エネルギー・イノベーション・サミットは情報収集の機会でもある。

#### 4. まとめ

ARPA-E はアメリカの経済、セキュリティおよび環境の急速な向上に資するエネルギー関連の挑戦に焦点を当てている。このため、基盤技術確立や継続的な研究は対象範囲外としている。このように支援対象の技術進展度合いの焦点を絞ることで、小規模な組織でありながらも効果的な運営が行えていると思われる。また、卓越した研究プログラム構想を有する人材を PD として登用し、その構想を実現するために PD に強力な権限を付与している。また、PD の活動を様々な面から支援するスキームが存在する。その1つは PD が主体となったフレキシブルな契約が許されることとその契約締結を支援する要員の存在である。また、運営面でも外部委託を活用できるなど、PD が本来のプログラム運営に集中できるようになっている。

プロジェクトの選択にあたっては2つの公募方式があり、PD の構想を実現するための公募と PD の構想外のものを選択するオープン公募がある。これにより、PD の構想を強力に進めることができると共に PD たちの構想に漏れた領域の革新的なプロジェクトをすくい上げることができていると思われる。

ARPA-E は立ち上がってから既に7年が経過しており、新規に会社を立ち上げたプロジェクトや商品化につながったプロジェクトが存在する。これらの成果は ARPA-E 自身が公表しているものもある。社会を変革するほどのインパクトがある成果かどうかは今後の評価を待つ必要があるが、エネルギー関連技術に関与する者は ARPA-E の動きを見極めておく必要があるだろう。なお、ARPA-E の動きを知るには例年2月に行われているエネルギー・イノベーション・サミットに参加することが効果的と思われる。

#### 参考文献

- (1) ARPA-E ホームページ
- (2) 『平成 20 年版科学技術白書』, 文部科学省など
- (3) 「米国 ARPA-E (エネルギー高等研究計画局) の概要」, JST/CRDS, 2014 年 6 月
- (4) DARPA における Transformative Research ファンディングのプログラム設計とマネジメント, Mr. Richard McCormick, Special Assistant to the DARPA Director, Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) [http://www.jst.go.jp/po\\_seminar/h21semi/pdf/mccormick\\_longpdf](http://www.jst.go.jp/po_seminar/h21semi/pdf/mccormick_longpdf)
- (5) William B. Bonvillian, Richard Van Atta, ARPA-E and DARPA : Applying the DARPA model to energy innovation, J Technol Trans (2011) 36: 469-513
- (6) Advanced Research Projects Agency - ENERGY, FY2010 Annual Report [http://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/ARPA-E%20FY%202010%20Annual%20Report\\_1.pdf](http://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/ARPA-E%20FY%202010%20Annual%20Report_1.pdf)
- (7) ARPA-E ホームページ, プロジェクト・ディレクターの経歴

## 研究所のうごき

(平成 27 年 7 月 2 日～10 月 1 日)

### ◇ 月例研究会

#### 第 347 回月例研究会

日 時：7 月 31 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. FDIS (最終国際規格案) に基づく ISO 14001 環境, ISO 9001 品質マネジメントシステム規格改定最新情報  
(IMS コンサルティング(株) 取締役 顧問 寺田 博 氏)
2. 夢ではない人工光合成技術～酸化物半導体タンデムセルによる太陽光と水からのワンス トップ水素製造～  
(東京理科大学 名誉教授 荒川裕則 氏)

#### 第 348 回月例研究会

日 時：8 月 28 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 途上国向け高効率石炭火力発電技術  
(電源開発(株) 国際営業部 部長代理 宮城 盛邦 氏)
2. インドネシア石炭鉱業の課題と展望  
(エネルギー資源アドバイザー 田中一哉 氏)

### ◇ 外部発表

[講演]

発表者：益田 泰輔

テーマ：Power System Operation with Battery Charge/Discharge Scheduling Based on Interval Analysis

発表先：ICEE2015 (香港)

日 時：7 月 6 日

発表者：松井 一秋

テーマ：「原子力安全」の現状

発表先：第 3 回軽水炉燃料・材料・水化学 夏季セミナー

日 時：7 月 8 日

発表者：坂田 興

テーマ：水素社会に向けた動き

発表先：電気倶楽部

日 時：7 月 14 日

発表者：坂田 興

テーマ：水素エネルギー利用に関する研究開発動向

発表先：次世代電力ネットワーク研究 第 29 回検討会

日 時：7 月 15 日

発表者：都筑 和泰

テーマ：国内外の太陽熱の産業利用の動向及び関連データの状況

発表先：集光型太陽熱技術研究会 第 2 回研究会

日 時：7 月 23 日

発表者：小碓 創司

テーマ：数値計算を利用した集光系の評価・検討

発表先：集光型太陽熱技術研究会 第 2 回研究会

日 時：7 月 23 日

発表者：ペリグリニ, マルコ

テーマ：Modeling of Rayleigh-Taylor Instability for Steam Direct Contact Condensation

発表先：16th International Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulic (NURETH-16)

日 時：8 月 31 日

発表者：黒沢 厚志

テーマ：苫小牧 CCS パイロット試験 - CCS のイントロダクションとネガティブ・エミッション

発表先：ネガティブエミッションに関するオープンセミナー (北海道大学, 主催 Global Carbon Project)

日 時：9 月 2 日

発表者：加藤 悦史

テーマ：第 2 世代農産バイオマス

発表先：ネガティブエミッションに関するオープンセミナー (北海道大学, 主催 Global

Carbon Project)  
 日 時：9月2日  
 発表者：ペリグリニ, マルコ  
 テーマ：Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPS: Best Estimate Case Comparison  
 発表先：16th International Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulic (NURETH-16)  
 日 時：9月2日  
 発表者：内田 俊介  
 テーマ：An Approach Toward Evaluation of FP Behaviors in NPPs under Severe Accidents  
 発表先：NURETH-16  
 日 時：9月2日  
 発表者：内藤 正則  
 テーマ：The findings Obtained During the OECD/NEA BSAF Activities with the employment of the SAMPSON Code  
 発表先：NURETH-16  
 日 時：9月3日  
 発表者：徳田 憲昭  
 テーマ：戸建て住宅の再生可能エネルギーの活用及び省エネ効果  
 発表先：(一社) 日本木造住宅産業協会  
 日 時：9月8日  
 発表者：(エネ総研) 森田能弘, 鈴木洋明, 内藤正則, (JAEA) 加治芳行, 根本義之  
 テーマ：原子力安全工学（原子力施設・設備, PSA を含む）（使用済み燃料プールの安全性向上）；使用済み燃料プールの事故時の安全性向上に関する研究；  
 (5) SAMPSON を用いた冷却機能喪失事象解析  
 発表先：日本原子力学会 2015 秋の大会（静岡大学静岡キャンパス）  
 日 時：9月9日

発表者：内藤 正則  
 テーマ：部会・連絡会セッション 11. 計算科学技術部会セッション「シビアアクシデント解析の現状と Challenge」；シビアアクシデント解析コードの概要  
 発表先：日本原子力学会 2015 秋の大会（静岡大学静岡キャンパス）  
 開催日：9月9日  
 発表者：内藤正則, 鈴木洋明, 岡田英俊, ベルグリニ, マルコ, 富永直利, 森田能弘, 溝内秀男, 木野千晶  
 テーマ：伝熱・流動（エネルギー変換・輸送・貯蔵を含む）（福島原発事故関連 1）；テーマ：東京電力福島第一原子力発電所炉内状況把握の解析・評価  
 (52) SAMPSON コードにおけるモデル改良と事象進展への影響（内藤正則, 鈴木洋明, 岡田英俊, ベルグリニ, マルコ）  
 (53) SAMPSON コードによる福島第一原子力発電所 1 号機の事故進展解析（富永直利, 内藤正則, 鈴木洋明, 森田能弘）  
 (54) Analysis of the accident at Fukushima Daiichi unit 3 by the SAMPSON code（ベルグリニ, マルコ, 溝内秀男, 鈴木洋明, 内藤正則）  
 (55) 溶融炉心移行挙動解析モジュール MCRA における溶融物粒子化モデルの検証（木野千晶, 内藤正則, 岡田英俊, 溝内秀男, ベルグリニ, マルコ, 鈴木洋明）  
 発表先：日本原子力学会 2015 秋の大会（静岡大学静岡キャンパス）  
 日 時：9月10日  
 発表者：内田俊介, 岡田英俊, 内藤正則, 鈴木博之, 伊藤あゆみ, ベルグリニ, マルコ  
 テーマ：伝熱・流動（エネルギー変換・輸送・貯蔵を含む）（ソースターム評価）；原子炉過酷事故における放射性核分裂生成物放出挙動の評価；  
 9. FP の汚染水としての流出量評価（内田俊介, 岡田英俊, 内藤正則, 鈴木博之, 伊藤あゆみ, ベルグリニ, マルコ）  
 10. 環境に放出された FP の核種比 134Cs

/137Cs の評価 (鈴木博之, 内田俊介, 岡田英俊, 伊藤あゆみ, 内藤正則, ペルグリニ, マルコ)

11. SAMPSON コードによる原子炉周辺 FP 分布評価 (伊藤あゆみ, 内田俊介, 岡田英俊, 内藤正則, 鈴木博之, ペルグリニ, マルコ)

12. 原子炉建屋内の線量率の評価 (岡田英俊, 内田俊介, 内藤正則, 伊藤あゆみ, 鈴木博之)

発表先: 日本原子力学会 2015 秋の大会  
(静岡大学静岡キャンパス)

日 時: 9月10日

発表者: 内藤 正則

テーマ: ポスト福島原発事故セッション [一般公開] 6. 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション「福島第一原子力発電所の中長期戦略と研究開発」個別セッション B 燃料デブリ/炉内状況: SAMPSON コードによる事故事象進展の解析

発表先: 日本原子力学会 2015 秋の大会  
(静岡大学静岡キャンパス)

日 時: 9月11日

発表者: 益田 泰輔, 福見 拓也, フォンセカ・ジョアン, 大竹 秀明, 村田 晃伸

テーマ: 太陽光発電予測を利用した電力系統運用における運転予備力の評価

発表先: 電気学会・電力技術電力系統技術合同研究会

日 時: 9月17日

[寄稿]

寄稿者: 田中 健一

テーマ: 原子力発電所の廃止措置

寄稿先: 『エネルギーレビュー』(7月号)

寄稿者: 田中 健一 他

テーマ: Improvement of a calculation procedure of neutron-flux distribution for radioactivity inventory estimation for decommissioning of nuclear power plants

寄稿先: Progress of Nuclear Energy 誌 (7月号)

寄稿者: 坂田 興

テーマ: 平成 26 年の水素の動向

寄稿先: 日本エネルギー学会誌 (9月号)

寄稿者: 松井 一秋, 楠野 貞夫, 笠井 滋, 林道 寛, 藤井 貞夫

テーマ: 平成 26 年における重要なエネルギー関係事項「原子力」

寄稿先: 日本エネルギー学会誌 (9月号)

#### ◇人事異動

○7月31日付

(出向解除)

鈴木 博之 原子力工学センター 主任研究員

○8月1日付

(採用)

野村 和之 総務部研究員兼企画部兼技術開発支援センター

(出向採用)

朝川 文雄 プロジェクト試験研究部 主任研究員

石原 正浩 プロジェクト試験研究部 主任研究員

(嘱託採用)

鈴木 博之 原子力工学センター 嘱託研究員

(兼務)

井野 大輔 業務部主任研究員兼総務部兼企画部兼エネルギー国際標準(ISO)センター兼技術開発支援センター

高橋 知慎 経理部主任研究員兼総務部兼エネルギー国際標準(ISO)センター兼技術開発支援センター

○9月1日付

(採用)

川村 太郎 プロジェクト試験研究部 主任研究員

鈴木 博之 原子力工学センター 主任研究員

伊藤あゆみ 原子力工学センター 主任研究員

原澤 菊美 原子力工学センター 研究員

(非常勤嘱託採用)

根井 弘道 原子力工学センター 特別嘱託研究員

○9月18日付

(嘱託採用)

Mirco di Giuli 原子力工学センター 嘱託研究員

○10月1日付

(出向採用)

飯田 重樹 プロジェクト試験研究部 主管研究員

清水 秀高 プロジェクト試験研究部 主任研究員

(嘱託採用)

Hector Lopez De Abajo

原子力工学センター 嘱託研究員

(異動)

竹田 知幸 原子力工学センター 部長 (参事)

## 編集後記

先月半ば頃、帰宅途中の自宅近くで不意に金木犀の強い香りが漂ってきた。一瞬芳香剤を疑ったが、道路脇の植え込みに確かに小さなオレンジ色の花が咲いている。思わぬところで秋の気配を感じさせられることとなった。

とは言え、今夏の暑さは尋常ではなかったのではないだろうか。1875年の観測開始以来140年間での最長記録となる8日連続猛暑日となった東京をはじめ、全国各地で猛暑日の連続日数が過去最高を記録した。ただ、意外ではあるが、ある調査によれば、今年の夏の終わりは早かったと感じた人が全国で8割に上ったらしい。

その理由としては、8月後半の冷夏傾向が上げられるようだが、確かにその時期、不順な天候の連続ではあった。中でも「関東・東北豪雨」では、茨城県常総市で鬼怒川の氾濫を引き起こしたほか、同県や栃木県などの多くの地域で人的・物的被害が発生した。この豪雨の原因となったのは、台風17号や台風18号など

の影響により発生した多数の「線状降水帯」とのことであるが、この豪雨を含む不順な天候をもたらした要因は、昨夏から続くエルニーニョ現象が影響しているといわれている。地球温暖化がエルニーニョ現象に与える影響は定かではないが、地球温暖化が進めば、長期的傾向として極端な高温や豪雨の頻度が増加すると予想されている。

2020年以降の温室効果ガス排出削減に係る新たな枠組みを決定するCOP21の開催が約2カ月後に迫っているが、事前交渉の難航が伝えられている。もとより、すべての国が参加する枠組みであればその交渉は容易なものではないであろうが、是非各国の最大限の努力により新たな枠組みの合意がなされるとともに、より重要なこととして、温室効果ガス排出削減に向けた対策をそれぞれの国が着実に講じていくことを期待したい。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第38巻第3号

平成27年10月20日発行

編集発行

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

FAX (03) 3501-1735

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

---

(印刷) 株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。