

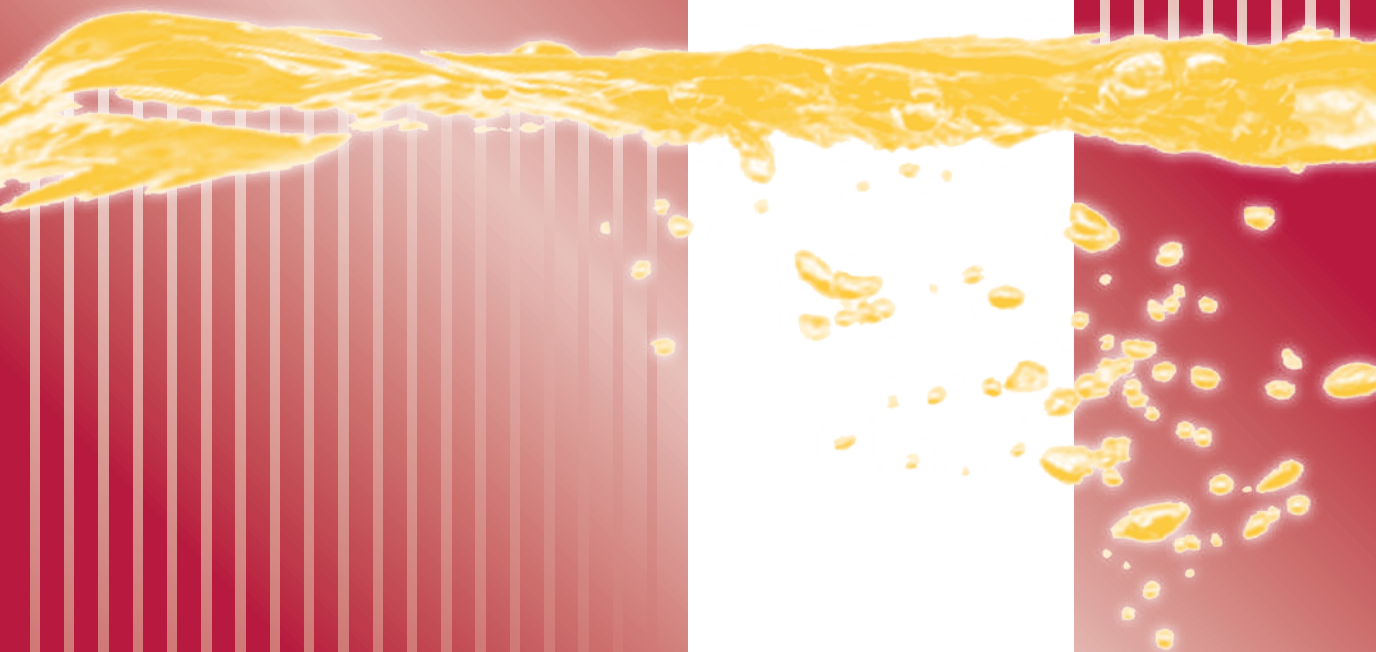
FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2014

FEBRUARY

187



持続可能な社会のために。

No.187

目次



■ 国内事情

国内企業のエネルギーマネジメントの状況と成熟度モデルの提案(3)
佐藤 研

■ 解 説

2014年の経済展望(7)
宮崎和貴

■ 紹 介

実用高温ガス炉の炉心設計(13)
中野正明 / 田澤勇次郎 / 大橋一孝 / 岡本太志

自治体向け環境放射線監視テレメータシステムの構築(18)
河口哲朗 / 野牛英昭 / 百目木幸雄 / 前川 修

東日本大震災廃棄物焼却炉の実績と研究開発について(23)
千代 亮 / 武仲五月 / 佐藤康士

JT-60SA用ダイバータターゲットの製作(28)
山田弘一 / 櫻井真治 / 中村誠俊

FAPIGの機構(32)

FAPIGギャラリー募集(36)

表紙デザイン：杉本里美

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。

エネルギー技術を、究める。富士電機

CONTENTS

■ Domestic Information

Realities of Energy Management of Japanese Company, and Proposal of Maturity Model	(3)
K. Sato	

■ Commentary

Economic Outlook for 2014	(7)
K. Miyazaki	

■ Introduction

Core Design for Commercial-size High Temperature Gas-cooled Reactor	(13)
M. Nakano / Y. Tazawa / K. Ohashi / F. Okamoto	
Establishment of the Remote Radiation Monitoring System in Environment for Local Municipalities	(18)
T. Kawaguchi / H. Noushi / Y. Domeki / O. Maekawa	
Production and Development of Incinerator System for the Great East Japan Disaster Waste	(23)
R. Chishiro / S. Takenaka / K. Satoh	
Manufacturing of Divertor target for JT-60SA	(28)
H. Yamada / S. Sakurai / S. Nakamura	

Cover Design : Satomi Sugimoto

国内企業のエネルギーマネジメントの状況と成熟度モデルの提案 Realities of Energy Management of Japanese Company, and Proposal of Maturity Model

佐藤 研*
Ken Sato

〔概要〕

企業経営にとってエネルギーマネジメントは最重要課題の一つとなっている。日本においては3.11以降、供給サイドの責任で賄われてきたエネルギー調達や安定供給に関し、需用サイドでもその対応について捉えなおし、エネルギーマネジメントの導入とその高度化を進める必要があると考える。

本稿では、JEITA (Japan Electronics and information Technology Industries Association : 電子情報技術産業協会) にて実施された企業向けアンケートの調査結果と、それとともに策定したエネルギーマネジメントの成熟度モデルについて紹介する。

1. はじめに

エネルギーマネジメントの重要性は年々高まってきたており、わが国の場合はエネルギー政策が最重要事項の一つとして省エネ法の改正に代表されるように、エネルギー関連の法規制が国、自治体などで相次いで制定されている。また従来、安定供給とコスト安定化をどちらかといえば供給サイドに対して求めてきたと言ってもよいと思うが、環境問題へ関心の高まりや、3.11以降のエネルギー事情の変化によって、需用サイドにもその責任の一旦を負う必要性が増してきていると言っただろう。

一つには、エネルギーコストの問題である。一時的にせよ、国内の電力需要にこたえるため火力発電に頼らざるを得ず、原油価格の高騰が電力料金に（さらに言えば電力各社の利益圧迫）に直接的に影響を与える結果を招いている。需用サイドの企業にとっては、業種によって異なるものの、事業運営に関わるエネルギーコスト比率は、数～十数%を占め、この増減が（一企業ではコントロール不可能な）原油価格によって上下することは好ましいこととは言えない。

二つ目には、安定供給の問題である。2011年、

2012年に電力枯渇を引き起こさないため、国を挙げて取り組んだ出来事がまた起こらないという保証はなく、それによる事業の安定的継続が脅かされる事態に陥ることも望ましいことではない。

三つ目には、エネルギー対策に対する世間の評価である。CO₂をはじめとする温室効果ガス抑制は、世界中で最も関心の高い事項であり、これに代えてその排出量と削減対策をCSR報告書などで公開する企業が以前よりも増えている。SCOPE3という取引先の排出量までをカウントして公開するような企業横断的で先進的な動きも出始めている。かつてフェアトレードへの対処を問題視された企業が、不買運動による損害を被った例があるが、エネルギー対策によって同じことが将来的に起こらないとは限らない、というのは考えすぎだろうか。

このように列挙してみると、需用サイドの企業にとって、エネルギーマネジメントは重要な経営課題の一つであると言えるだろう。そして、供給サイドと協調して国内のエネルギー問題に対処していくことは、持たざる国のエネルギー安全保障とサステナブル社会を築く上で重要なこと考える。

* (株)富士通総研 環境事業部

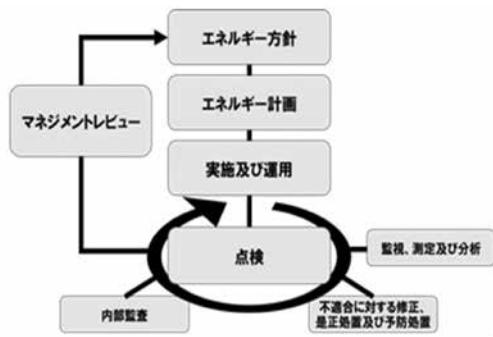


図1 ISO50001エネルギーマネジメントシステム概念図

2. 国内企業のエネルギーマネジメントの状況

2.1. ISO50001認証取得状況

2011年にエネルギーマネジメント規格ISO5001が発行された。ISO50001は環境マネジメント規格ISO14001で対象とする環境側面のうちエネルギーに特化しており、さらに方針設定、計画化、エネルギーパフォーマンス改善に関する数値的な裏づけを求めていること、方針設定、計画化、改善を目的としたレビューなどに経営が関与することを求めているところに特徴がある³⁾。

2011年に発行されたエネルギーマネジメント規格ISO50001の国内での認証件数は2013年現在30社に満たず、これを見る限りエネルギーマネジメントはあまり普及していないように見える。1996年に発行されたISO14001の取得数推移と比較してもその伸び率は一桁程度低いのが現状である³⁾。

ちなみに、ISO14001取得数は発行年の1996年には約150件、2年後の1998年に約1,500件、5年後の2002年には約8,000件に増加した。

認証取得数によって必ずしもその関心の高さや取り組み実態を抑えることはできないので、筆者らはJEITAの活動の一環で、国内企業のエネルギーマネジメントを定着させ高度化するための施策を検討することを目的に、アンケート調査を実施した。

2.2. アンケート調査概要

JEITAでは2009年度よりソリューションサービス事業委員会の下に「環境ソリューション専門委員会(委員長：筆者)」を設置し、企業の環境経営に資するソリューションの研究や調査を行ってきた。中でも、エネルギーとCO₂に関する課題は最重要であり、その活動の一環として2012年度に国内企業を対象と

したアンケート調査を実施した。先に述べたように、エネルギーマネジメントの定着と高度化を支援することが目的であり、まずは各企業の実態がどうなっているのかを調べることにした。

アンケートの質問項目はISO50001に沿ったものとし、約1,000社に対して調査票を送付し、243社の回答を得た。その概要は下記のとおりである。

調査票タイトル：エネルギーマネジメントに関する実態調査

調査対象：上場企業および未上場有力企業

配布数：1,033社

調査期間：2012年11月～12月

調査方法：質問紙郵送法

回答数：243社(回収率24%)

調査主体：電子情報技術産業協会

分析に当たっては、後述する「エネルギーマネジメントモデル」の考え方に沿って点数化した。点数付けの例示を下記に3点示す。

①実施の有無と取組みの範囲

実施している方が点数が高い。

さらに実施している範囲は広いほど高い。

ex. 個別組織での活動(低)→全社で活動(高)

②経営戦略との合目的性

活動指標としてエネルギー以外の経営指標(売上や利益、事業活動量など)を加味しているほど高得点とする。

ex. エネルギー使用量と、売上高や従業員数、設備規模、生産量などの相関を考慮していれば高得点とする。

③トップマネジメントの関与

ex. 責任者(役員クラス)の設置の有無、マネジメントレビューの実施有無

2.3. アンケート結果(トピックス)

筆者らは、回答数を業種(製造業と非製造業)、規模(売上1,000億円未満と1,000億円以上)によって4グループに分け、その傾向について分析を試みた。回答のあった243社は表1のように分類された。

アンケート調査表はISO50001に沿っており、その項目は大きく「エネルギー方針」、「エネルギー計画」、「実施および運用」、「点検(監視、監査、不適合是正を含む)」、「マネジメントレビュー」

表1 グループ別回答社数

	売上1千億円未満	売上1千億円以上
製造業	73社	67社
非製造業	46社	48社

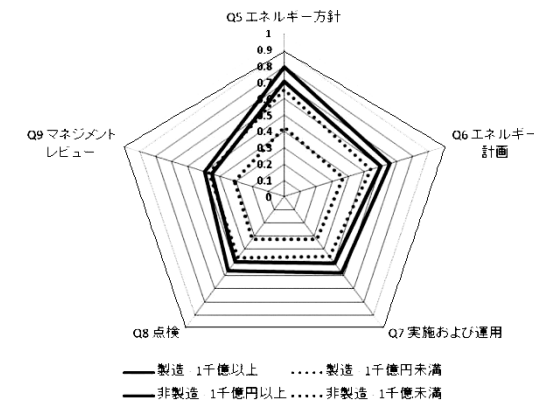


図2 アンケートの大項目別・グループ別傾向

の5つに大別される。その大項目に沿って各グループの平均得点は下記のとおりとなった。

これを見ると、非製造業の小規模企業では比較的得点が低いが、製造業では規模に関わらず得点が高く、大規模な非製造業も得点が高い。従来より、省エネ法や自治体条例などによって、一定程度以上のエネルギー消費拠点に対する管理・報告義務が課されていたことが影響していることも考えられる。いずれにせよ、これらの企業では、ISO50001の観点からも一定程度のマネジメント水準を達成しているものと推測できる。

一方、非製造業の小規模企業などの得点の低い企業が少なくないことは、マネジメント導入とその支援設備(センサーなど)への投資などのコスト負担があり、その大きさに見合うメリットを得ることの困難さを示しているとも見られるだろう。

また、全体的に「エネルギー方針」については得点が高いものの、「マネジメントレビュー」の得点が低い。トップマネジメントとして方針や目標は立てるものの、活動結果に対し、「何に基づいて」、「何を」、「どのように」評価するかということがわかりづらく、関与が不十分となっているのではないかと考える。EnPI(Energy Performance Indicator)などの評価指標を如何

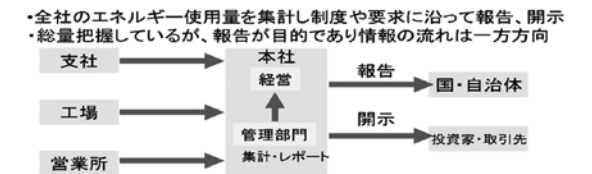


図3 レベル2のイメージ

に設定するかを企業内で更に検討をすることや、実績の記録と情報の利活用に力を入れ、エネルギー以外のマネジメント情報との関連性などを比較分析していく必要があるように思う。後述のエネルギーマネジメントモデルはそうしたことを検討する上で参考になればという考えから策定したものである。

なお、アンケート詳細についてはJEITAのホームページにて公開しているので、そちらを参照いただきたい³⁾。

3. エネルギーマネジメントモデルの各レベルとイメージ

JEITAで定義したエネルギーマネジメントモデルとは、組織のマネジメントの成熟度を示すものであり、レベル0から5の6段階に分け、数値が大きいくほどレベルが高い。各レベルとそのイメージを下記に示す。

【Level 0】組織としてエネルギーマネジメントに関する課題認識がなく、活動があるとしてもその是非は個人もしくは部門の判断に任されている状態。

【Level 1】エネルギーマネジメントに関する課題認識ができており、一部ではエネルギー使用量を把握している状態。(2010年改正前の工場・事業所ごとのエネルギー管理・報告がなされるレベル)

【Level 2】全社において方針が決められており、エネルギー使用量が計測され、法規制に対する対処がなされている状態。(2010年に改正された省エネ法の、企業単位の管理・報告がなされるレベル)

【Level 3】著しくエネルギーを使用する拠点(もしくは部門や設備)を特定し、その拠点に関わる組織においてエネルギー効率向上の取り組みを実施している状態。

【Level 4】全ての拠点(部門)において継続的な改善が行われ、エネルギー行動計画が戦略と合

- 全社のエネルギーパフォーマンス改善に対する経営の関与
- エネルギー消費の著しい事業における改善サイクル
- 節電や省エネ対策による総量削減

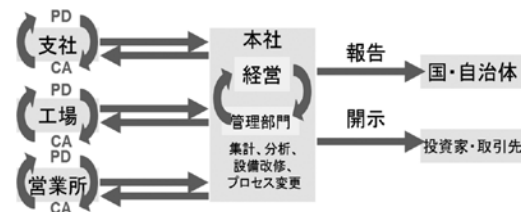


図4 レベル3のイメージ

- EnPIをエネルギー絶対量ではなく収益比などで定義
- エネルギー効率を目的とした改善
- 経営との目的性を向上

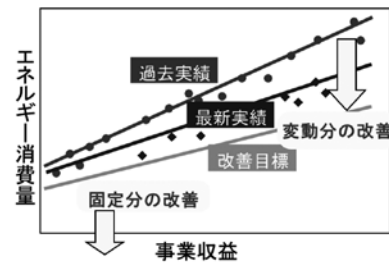


図5 レベル4のイメージ

目的性を持ちうるような仕組みを構築できている状態。

【Level 5】継続的な改善の結果、経営戦略との目的性が達成され、他のマネジメントと統合するなど、プロセスが最適化されている状態。

これらは、「COBITの成熟度モデル」を参考として策定したものである。COBITはITに関わるマネジメントに関するものであるが、その考え方やフレームには、ITにとどまらず広くマネジメントに活かすことのできるものである。

マネジメントシステムを導入し、プロセスを改善していくためには、組織に求められる事項の定義と、取組み状況を客観的に評価する尺度が必要である。ISO50001がエネルギーマネジメントに求められる要求事項とプロセスの雛形を提示しているのに対し、われわれの提案するエネルギーマネジメントモデルは、その取組み状況を客観的に評価することを目的としている。

目標とする「あるべき姿」を設定し、現状を評価・把握した上で、次に目指す状態をイメージできれば、改善に向けた具体的課題が抽出しやすく

なるのではないかと、というのが基本的な考え方である。ここに示したモデルを参考に企業・組織ごとにカスタマイズして活用いただければ幸いである。

4. おわりに

3.11以降、良くも悪くも日本は世界中からの注目度が高まったようである。幾多の災害や戦後復興を経て経済大国となった国が、今後どのようなエネルギーミックスを選択し、持続可能な社会を築くのか。そのための政策や、技術開発に注目が集まっている。

一般家庭にまで発電設備が導入され始めていることが象徴するように、エネルギー需用サイドにとっては、エネルギー選択の自由が生まれつつあり、余剰エネルギーを利益に変える手立ても出てきている。冒頭に述べたように、需用サイドの役割と責任範囲が変わっていくことが予想でき、企業経営にとってはエネルギーに関する舵取りが重要な事項になってきていることは間違いないところである。

さらに、これはエネルギー問題にとどまらず、環境問題や高齢化などの世界各国が共有する問題が密接に関わっており、この複雑な問題を紐解いて課題解決に至るにはもっと多くの時間と議論が必要とであろう。

まずは、そのための第一歩として、企業市民としてのエネルギー問題対応を向上させるに、本稿で紹介した情報やモデルなどが、何らかの参考になれば幸いである。

最後に、JEITAの活動をともにしていただいた委員各位、JEITA関係者、アンケートにご協力いただいた各社にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) ISO50001:2011エネルギーマネジメントシステム解説と適用ガイド, 日本規格協会
- 2) 国内のISO50001認証取得企業一覧, エネルギーマネジメントシステム審査員評価登録センター
http://www.eccj.or.jp/cemsar/companies_list/html
- 3) 「企業におけるエネルギーマネジメント」の公表, 電子情報技術産業協会
<http://home.jeita.or.jp/cgi-bin/page/detail.cgi?n=563&ca=1>

2014年の経済展望 Economic Outlook for 2014

宮崎 和貴*
Kazutaka Miyazaki

〔概要〕

アベノミクスがスタートして1年。第一の矢「大胆な金融緩和」と第二の矢「機動的な財政政策」の期待以上の効果により、円安・株高が進行し、企業・家計のマインドが改善する中で、景気は緩やかに回復している。一方、肝心の第三の矢「民間投資を喚起する成長戦略」の力不足が指摘され、4月の消費税率引き上げによる影響が懸念される中で、日本経済が本当にデフレから脱却できるかは依然不透明な状況にある。本稿では、2013年のアベノミクスの歩みを振り返ると共に、デフレからの脱却の正念場を迎える2014年の日本経済について展望してみたい。

1. 本当は「アベノミクス」が流行語大賞？

2013年の流行語大賞に、「今でしょ」「お・も・て・な・し」「じぇじぇじぇ」「倍返し」の4つが選出された。どれも一世を風靡し、非常に記憶に残る言葉ではあるが、2013年の1年間を通して注目された言葉といえば、「アベノミクス」を於いて他にない。筆者は、なぜ「アベノミクス」が流行語大賞に選ばれなかったのか不思議に思っている。

日本経済はバブル崩壊後、デフレ経済の下、「失われた20年」とも言われる低迷局面が長期化した。それに敢然と立ち向かったのが、2012年12月に発足した第二次安倍政権である。「アベノミクス」の三本の矢を使って、日本経済に漂う沈滞ムードを払拭し、デフレ経済からの脱却を試みた。後述するように、「アベノミクス」の1年目は、円安・株高が進行する中で、企業・家計のマインドも大幅に改善し、期待した以上に成果が挙げたと言って良い。1年間を通して、「アベノミクス」は“賞味期限切れ”を免れたのである。しかし2年目である2014年も、この調子で順調に進むかはまだわからない。

本稿では、2013年の「アベノミクス」の歩みを振り返ると共に、2014年の日本経済を展望しつつ、「アベノミクス」が引き続き“賞味期限切れ”とならないためには何がポイントかを考えてみたい。

2. 2013年日本経済の回顧 ～ アベノミクスがもたらした希望

2013年は、日本にとって久しぶりに将来への希望が感じられる年になった。2012年12月に就任した安倍首相の経済政策、いわゆる“アベノミクス”への期待は日本国内にとどまらず、海外からの注目度も非常に高かった。その経済政策は、①大胆な金融緩和、③機動的な財政政策、②民間投資を喚起する成長戦略、で構成され、「三本の矢」に例えられる。

第一の矢に当たる「大胆な金融緩和」は、2012年末に行われた衆議院選挙の中で首相就任前の安倍自民党総裁が金融緩和の強化を繰り返し訴えたことにより、為替市場で円安が進行するという形で効果が表れ始めた。安倍首相就任後、日銀が政府からの要請を事実上受け入れる形で、2013年1月には「物価安定の目標」2%（それまでは「中長期的な物価安定の目標」1%）が導入され、インフレの目標値が引き上げられた。さらに、2013年春に任期を迎えた日銀総裁・副総裁の人選では金融緩和に積極的な人物という観点が重視され、黒田総裁、岩田・中曾副総裁という新執行部が3月に発足した。新体制となった日銀は、4月に「量的・質的金融緩和」を導入したが、これは2年程度の期間にマネタリーベースおよび長期国債・ETF（上場投資信託）の日銀保有額を2倍

* みずほ総合研究所株式会社

に拡大し、長期国債買入れの平均残存期間を2倍以上に延長することなどを内容としている。そして、物価安定の目標が実現するまで、量的・質的金融緩和を継続することも明言した。一連の金融緩和策を受け、為替レートは2012年秋時点の80円／ドル前後の水準から、2013年春先に100円／ドル程度まで円安が進行した。円安で業績改善が見込まれる輸出関連業種を中心に株価が上昇し、2012年秋時点で9,000円前後の水準にあった日経平均株価は、5月時点で15,000円台まで急回復し、その後一進一退の局面もあったが、12月末には年初来高値を更新（16,291円）して年を越した。

第二の矢である「機動的な財政政策」では、安倍政権発足直後の2013年1月に事業規模約20兆円（補正予算の規模は約13兆円）の緊急経済対策（「日本経済再生に向けた緊急経済対策」）を閣議決定した。これに含まれた約5兆円の公共事業は春以降に順次執行され、復興事業の一部では遅れがみられるものの、夏場にかけて成長率を押し上げる要因となっている。

第三の矢である「民間投資を喚起する成長戦略」については、産業競争力会議などでの議論を経て6月に「日本再興戦略」が閣議決定された。日本再興戦略が想定する成長の道筋は、民間投資の活性化などを通じて産業競争力を向上させ、国内外の需要を開拓していくというものだ。民間企業の競争力・収益力向上があって初めて家計にも賃金増の形で恩恵がおよぶとの考え方が背景にあり、子ども手当に代表される家計への直接給付を志向した民主党政権からは政策の方向性が大きく変わっている。そして、政府の役割は「安定的なマクロ経済環境の整備や経済連携の立ち後れの解消、低コストでのエネルギー供給の実現、投資を阻害する諸規制・制度の見直しなど、日本企業の競争条件の改善」とされた。高度成長期における重化学工業のように、かつては政府が有望産業を育成する産業政策が採られていた時期もある。しかし、製品サイクルが格段に短くなった現在、特定業種を成長産業として振興するような産業政策は現実的でなくなっている。その意味で、企業の競争条件の改善を政策目標とした方向性は正しいといえるだろう。ところが、金融市場が期待した法人税

減税や設備投資減税、また正社員の解雇ルールの見直しなどのいわゆる岩盤規制の緩和が含まれていなかったこともあり、日本再興戦略に対する金融市場の当初の反応は芳しくなかった。安倍首相は10月に2014年4月からの消費税率8%への引き上げ最終決定と同時に経済対策を講じることを表明し、それを受けて12月に「好循環実現のための経済対策」（国費約5.5兆円、事業規模約18.6兆円）が閣議決定された。

対策には低所得者向けの現金給付、住宅購入者向けの現金給付といった家計向け給付に加えて、震災復興費用、社会資本の老朽化対策や防災・減災費用などが計上された。しかし、法人税減税や岩盤規制への対応は引き続き検討課題として残されている。

加えて、2013年には日本経済の中長期的動向を左右する重要な出来事が2つあった。一つはTPP（環太平洋経済連携協定）交渉への参加を決定したこと（3月）、もう一つは2020年夏季オリンピック・パラリンピックの開催地が東京に決まったこと（9月）である。TPPには貿易活性化や外資系企業の国内立地増、オリンピック開催には観光客増加や関連インフラ投資の加速といった中長期的な経済効果が期待される。

更に、7月の参議院選挙で与党は大勝し、衆・参のねじれが解消する中で、「決められる政治」の状況を手に入れた。

このように2013年は日本経済にとって極めて重要な政策転換がなされた年であった。实体经济にもアベノミクス効果の一部が表れ始めている。日銀による金融緩和への期待がもたらした円安により製造業の業績は急回復し、輸出が持ち直した。また、株価上昇に伴う消費者マインド改善を受けて高所得者を中心に個人消費が活性化し、百貨店では高額商品の販売が増加している。東日本大震災の復興事業が続く中、緊急経済対策による全国的な公共投資増と消費税率引き上げをにらんだ住宅投資の活発化も重なり、建設業界では資材価格上昇や人手不足による人件費高騰が深刻になる事態が生じた。業績改善や生産活動の回復を背景に設備投資も下げ止まり、緩やかながら持ち直している。外需・国内民間需要・公的需要がそろって

表1 世界経済予測（2013年12月9日公表）

暦年	(前年比%)				(前年比年率%)					
	2011年 (実績)	2012年 (実績)	2013年 (予測)	2014年 (予測)	2012		2013		2014	
					上期	下期	上期	下期	上期	下期
予測対象地域計	3.8	3.2	2.9	3.3						
日米ユーロ圏	1.4	1.3	0.9	1.7	1.6	0.2	0.8	2.0	1.6	1.7
米国	1.8	2.8	1.7	2.4	3.4	1.7	1.2	2.8	2.1	2.4
ユーロ圏	1.6	▲0.6	▲0.4	0.9	▲0.7	▲1.1	▲0.6	0.7	0.9	1.2
日本	▲0.5	1.4	1.7	1.4	1.5	▲2.0	3.2	2.3	1.4	0.5
アジア	7.5	6.1	6.0	5.9						
NIEs	4.1	1.7	2.5	2.9						
ASEAN5	4.4	6.1	5.0	4.9						
中国	9.3	7.7	7.6	7.3						
インド	7.5	5.1	4.7	4.7						
オーストラリア	2.6	3.6	2.4	2.8						
ブラジル	2.7	1.0	2.3	2.0						
ロシア	4.3	3.4	1.5	2.5						
日本(年度)	0.3	0.7	2.5	0.8	▲0.9	0.6	3.2	3.0	▲1.0	2.0
原油価格(WTI, \$/bbl)	95	94	98	96	98	90	94	101	96	96

(注) 予測対象地域計はIMFによる2011年GDPシェア(PPP)により計算。
(資料) IMF, みずほ総合研究所

拡大する好循環が生まれ、2013年度の実質GDP成長率は2%台半ばの高成長が見込まれる。

3. 2013年の海外経済 ～ 米QE3縮小と中国のシャドーバンキング問題が焦点に

2013年の海外経済は、総じて緩やかな景気拡大を維持したものの力強さを欠き、回復感に乏しい展開となった。プラス材料は、ギリシャ・ポルトガル・アイルランド・スペイン・イタリアなどの政府債務や大手金融機関の経営悪化に対する懸念が峠を越し、ユーロ圏が1年半にわたって続いたマイナス成長から脱したことである。2013年4～6月期、7～9月期のユーロ圏は2四半期連続でプラス成長となった。ユーロ崩壊のような極端なリスクシナリオの可能性が後退したことで、それまでのように金融市場で投資家のリスク回避行動が強まり、円高が再燃する懸念も薄れた。

一方、米国は政府支出削減が景気を下押ししたものの、住宅市場が回復し、膨れ上がっていた家計債務負担の調整が進む中で、民間最終需要は堅調に推移した。ところが、雇用者数が順調に伸びて失業率が7%台前半まで低下してくると、それ

までの量的金融緩和(QE3)を連邦準備制度理事会(FRB)が縮小・停止すると観測が強まり、金融市場に多大な影響をおよぼした。2013年5月頃から米国の長期金利が急上昇するとともに、程度の差こそあれ多くの新興国から資金流出が起きた。通貨安・株安・債券安のトリプル安に見舞われた一部の国は、通貨防衛のために利上げするなどに対応に追われた。一時は9月にもQE3縮小(FRBによる国債などの買入額縮小)が始まるとの見方が強まったが、その後、2014年度予算案や政府債務上限問題を巡って米国議会が紛糾し、10月には政府機関の一時閉鎖という事態に至ったこともあり、QE3縮小観測は一旦後退した。後述するように、FRBは12月にQE3の縮小開始を決定したが、金融市場は概ね落ち着いた動きを示している。

リーマン・ショック後の世界経済をけん引してきた中国では、投資に依存した成長を続けることの弊害が意識され始めた。鉄鋼をはじめとする多くの素材・製品分野において供給力の過剰が生じ、ストック調整を漸進的に進めていくことが課題になっている。過剰投資体質からの転換を目指す中国政府の政策運営もあり、2012年から実質

GDP成長率は前年比+7%台で推移している。過剰投資と表裏一体の問題として、2013年にはシャドーバンキング（影の銀行）問題がクローズアップされた。シャドーバンキングとは、当局規制の厳しい銀行貸出以外の形態（オフバランス）での資金供給を指し、中国では企業間の貸借を仲介する委託貸出、主に個人から集めた資金を各種金融商品や不動産・企業貸付などで運用する理財商品などの形をとっている。全貌は不明ながらシャドーバンキングの規模はGDP比で約4割に達しているとの推計もあり、これらが不良債権化して金融危機や中国経済の失速を引き起こすことが懸念されている。

4. 2014年の世界経済は、先進国を中心に緩やかに回復

2014年の世界経済成長率（みずほ総合研究所が予測対象としている国・地域の加重平均値）は+3.3%と、2013年見込みの+2.9%に比べて小幅ながら加速すると予測している（表1）。財政引き締めに伴う景気下押し幅が小さくなり、先進国の成長高まる見通しである。米国の成長率が2%台に高まるほか、ユーロ圏は3年ぶりのプラス成長に復するであろう。一方、中国政府は過剰投資からの脱却に向けた政策運営を続けるとみられ、成長率は7%台前半に低下する見通しである。通貨下落に対処して2013年に利上げを実施したイン

ド・インドネシアの成長率が伸び悩むこともあって、アジア経済は全体として2013年並みの成長にとどまると予測している。

2014年にかけての世界経済を左右する最大のファクターは、米国のQE3の行方だろう。2013年12月、FRBはQE3縮小開始を決定した。具体的には、2014年1月から米国債とエージェンシーMBS（住宅ローン担保証券）の毎月の買入額を50億ドルずつ減らし、それぞれ400億ドル、350億ドルとする。同時に、インフレ率の長期目標が2%を下回ると予想される限り政策金利を現行水準で据え置くことを表明した。金融市場は「実質ゼロ金利が長期間続く」ことへの安心感から、長期金利安定・株高で反応し、為替市場ではドル高・円安が進行した。金融市場の混乱を引き起こすことなく、このままQE3縮小が順調に進めば、2014年の円ドルレートは円安傾向で推移することが期待できる。

ただし、FRBがQE3縮小を進めていくプロセスのどこかの時点で、長期金利の急騰や新興国からの資金流出を引き起こしてしまうリスクを完全に排除することはできない。また、中国のシャドーバンキング問題が再びクローズアップされ、世界的な株価下落や中国経済の急減速を招くリスクは引き続き残存している。2014年は米国・中国という二大国の動向が世界の实体经济・金融市場におよぼす影響に注意していく必要がある。

5. 2014年の日本経済は、消費税率引き上げの影響で減速するも、その後緩やかに回復

2014年1～3月期の日本経済は、消費税率引き上げ前の駆け込み需要によって個人消費の伸びが高まり、高成長が見込まれる。みずほ総合研究所では、個人消費と住宅投資を合わせた駆け込み需要の規模を約3兆円（GDP比0.6%）と見積もっているが、その大半が2014年初に集中するであろう。

しかし、4～6月期には駆け込み需要の反動および消費税率引き上げによる実質所得目減りの影響が同時に発生する。3%の消費税率引き上げにより、消費者物価は2%強上昇することが見込まれ、その分だけ家計の実質所得は目減りする。政労使会議の場などを通じて政府が企業に賃上げを要請しているが、物価上昇分をカバーできるほど

の名目賃金上昇は見込めそうもない。駆け込み需要の反動も加わって個人消費・住宅投資が大きく落ち込み、4～6月期の実質GDPが大幅なマイナス成長となることは避けられないだろう。一方、2013年12月に閣議決定された約5.5兆円の経済対策（「好循環実現のための経済対策」）は、ある程度景気の下支え役を果たすとみられる。経済対策の実質GDP押し上げ効果は0.5%Pt程度と試算している。

2014年7～9月期以降については、円安・海外景気回復を背景とした輸出増、企業収益の改善に支えられた設備投資回復が支えとなり、景気は緩やかな回復軌道に戻る見通しである。個人消費（実質）は年間を通じて前年の水準を下回るものの、前期比ベースで見ると駆け込み需要の反動で落ち込んだ4～6月期の水準からは徐々に持ち直していくだろう。2014年度の実質GDP成長率は+0.8%と2013年度見込みの+2.5%から大きく低下する見通しだが、景気後退には至らないと予測している（表2）。

生鮮食品を除く総合消費者物価指数（コアCPI）は2013年末時点で前年比+1%近傍まで上昇しているが、原油高・円安に伴うエネルギー価格上昇の寄与が大きい。エジプト・シリア情勢の悪化などを受けて2013年夏に高騰した原油価格がこのところ落ち着きを取り戻しているため、2014年春先以降はエネルギー価格によるコアCPI押し上げ幅は小さくなっていくとみられる。その他の財についても、消費税率引き上げ後の内需減少により、企業が値引きによってシェアを獲得する動きが出やすくなり、価格が上がりにくくなることが想定される。その結果、2014年度のコアCPI前年比（消費税率引き上げの影響を除く）は+0.6%（消費税率引き上げの影響を含むベースでは+2.8%）と2013年度見込みの+0.7%並みにとどまると予測している。「物価安定の目標」2%の達成が難しくなった日銀は、量的・質的金融緩和の強化・延長に踏み切ることが予想される。

6. 2014年はアベノミクスの正念場

以上が2014年のメインシナリオであるが、日本経済がアベノミクスによって真の再生に向かうか

表2 日本経済予測（2013年12月9日公表）

（単位：%, %Pt）

	2012年度 （実績）	2013年度 （予測）	2014年度 （予測）	2012年度		2013年度		2014年度		2012年度	2013年度	2014年度
				上期 （実績）	下期 （実績）	上期 （実績）	下期 （予測）	上期 （予測）	下期 （予測）	（寄与度） （実績）	（寄与度） （予測）	（寄与度） （予測）
実質GDP	0.7	2.5	0.8	▲0.9	0.6	3.2	3.0	▲1.0	2.0	-	-	-
国内需要	1.5	2.5	0.1	0.1	1.0	2.9	3.3	▲1.9	1.2	1.5	2.6	0.2
民間需要	1.5	2.1	▲0.2	0.0	0.4	2.0	3.9	▲3.0	1.5	1.1	1.6	▲0.1
個人消費	1.5	2.6	▲1.2	0.6	1.7	2.5	3.6	▲4.8	1.3	0.9	1.6	▲0.8
住宅投資	5.3	6.9	▲6.1	5.4	9.8	5.6	6.2	▲17.0	6.6	0.2	0.2	▲0.2
設備投資	0.7	0.6	3.4	▲3.4	▲4.2	0.8	4.3	3.6	2.4	0.1	0.1	0.5
公的需要	1.4	3.7	1.1	0.5	2.8	5.6	1.3	1.5	0.0	0.3	1.0	0.3
政府消費	1.5	1.9	1.6	0.7	2.6	2.2	0.8	1.7	2.1	0.3	0.4	0.3
公共投資	1.3	12.9	▲1.8	0.2	4.5	22.0	3.2	0.8	▲9.2	0.1	0.6	▲0.1
純輸出（寄与度）	▲0.8	▲0.1	0.6	▲1.1	▲0.4	0.2	▲0.4	1.0	0.8	▲0.8	▲0.1	0.6
輸出	▲1.2	3.8	5.7	▲2.2	▲5.9	9.4	3.2	6.0	7.4	▲0.2	0.6	0.9
輸入	3.8	4.0	1.8	4.5	▲2.8	6.9	5.0	0.1	2.2	▲0.6	▲0.7	▲0.3
名目GDP	▲0.2	2.1	1.7	▲2.1	0.1	2.8	2.5	1.2	2.2			
GDPデフレーター	▲0.9	▲0.3	1.0	▲0.9	▲0.9	▲0.4	▲0.3	0.8	1.2			
鉱工業生産	▲2.9	3.2	2.4	▲3.4	▲3.2	2.6	4.2	▲0.2	1.2			
完全失業率	4.3	3.9	3.8	4.3	4.2	4.0	3.9	3.9	3.8			
経常収支（対GDP比）	0.9	0.9	1.6	1.1	0.8	1.2	0.7	1.4	1.9			
国内企業物価	▲1.1	1.9	3.7	▲1.5	▲0.6	1.4	2.3	3.6	3.7			
消費者物価	▲0.2	0.7	2.8	▲0.1	▲0.2	0.4	1.0	2.8	2.7			
長期金利（%）	0.78	0.71	0.86	0.83	0.73	0.75	0.68	0.78	0.95			
日経平均株価（円）	9,650	14,500	16,000	8,961	10,339	13,880	15,200	15,550	16,450			
為替相場（円/ドル）	83.1	100.0	106.0	79.4	86.8	98.8	100.5	104.5	106.5			
原油価格（WTI, ドル/バレル）	92.0	98.0	96.0	92.8	91.3	100.0	96.6	96.0	96.1			

（注1）年度は前年比変化率、GDPの半期は前期比年率（GDPデフレーターは前年比変化率）。

（注2）鉱工業生産の半期は前期比。完全失業率の半期は季調値。

（注3）国内企業物価、消費者物価の半期は前年比変化率。消費者物価は、全国・除く生鮮食品。

（注4）原油価格はWTI先物期近、長期金利は新発10年国債。

（資料）内閣府「国民経済計算」、経済産業省「生産・出荷・在庫指数」、総務省「労働力調査」、「消費者物価指数」日本銀行「国際収支統計」、「国内企業物価指数」

はまだ不透明である。行く手には様々な障害が待ち受けており、それを不退転の決意で乗り越えていく必要がある。筆者は、アベノミクスが成功し、日本経済がデフレ脱却・真の再生へ辿り着くためには、2014年が一番の正念場であると考えている。

以下では、2014年にアベノミクスが頓挫しないためには何がポイントかを、4点ほど列挙したい。

第1に、消費税率引上げ後の景気腰折れを回避することである。政府が昨年12月に消費税対策として「好循環実現のための経済対策」を決定したことにより、景気の下支え効果はある程度は見込める。しかし、景気が持続的に回復していくためには、やはり個人消費の復調が不可欠である。そのための鍵は企業の「賃上げ」である。安倍首相は経済団体に対して賃上げを要請しているが、企業経営者がそれにどこまで応えるかは不透明である。景気回復を大きな流れを頓挫させず、景気拡大の好循環を作り出すためにも、企業経営者には是非先行投資的な位置づけで積極的な「賃上げ」を期待したい。

第2に、市場のアベノミクスへの「期待」を維持することである。2013年にアベノミクスがうまくスタートを切れたのは、何といても市場がアベノミクスに「期待」して、円安・株高の好環境を作り出したことにある。市場の「期待」が途切れれば、一転円高・株安への動きが加速し、一気にアベノミクスは頓挫しかねない。それを喰い止める手段としては、まず、日銀がタイミング良く追加緩和を実施することである。財政ファイナンスリスクを内含している「大胆な金融政策（異次元緩和）」を更に進めることには賛否があるが、既にルビコン川を渡っている以上、ここで躊躇するわけには行かない。加えて、市場のアベノミクスに対する「期待」の維持の最大の鍵は、「成長戦略」の踏み込んだ追加策の発表と着実な実行である。市場が注目している岩盤規制の緩和と更なる法人税率引下げにどこまで踏み込めるかがポイントである。

第3に、市場からの「攻撃」を回避することである。市場からの「攻撃」とは、先進国最悪の財政状況にある日本に対して、大幅な「日本売り」

を仕掛けられることである。「日本売り」による大幅な円安・株安、そして長期金利の急騰が起ってしまうと、日本は破滅の坂を転げ落ちることになる。それを回避するためには、「財政健全化」への配慮が欠かせない。日本再生のためには、「デフレ経済からの脱却」と「財政健全化」の両輪が必要である。2015年10月に予定されている10%への消費税率引上げは余程のことが無い限り実行すべきである。2014年末に予定される安倍首相の決断に掛かっている。同時に、高齢化社会が進行する中で、痛みを伴う社会保障制度改革も待ったなしである。これらから逃げることは日本経済に対する背信行為である。安倍政権に科された課題は重い。

第4に、安倍政権は現在の高支持率を維持することである。高支持率があればこそ、既得権益者などの反対勢力を抑えて大胆な政策を実行できる。高支持率は「決められる政治」の生命線と言ってよい。世論は移ろい易い。国民の支持をガッチリと繋ぎ止めて置く為にも、日本経済の再生を第一とする「経済重視」のスタンスを貫くことが重要である。安全保障政策の強化も重要な課題ではあるが、国民の意見が分かれやすいテーマでもあるだけに、まずは「経済重視」を優先して日本経済の再生を成し遂げてもらいたい。そのためには、近隣諸国との無用な摩擦は避ける必要がある。安倍首相には信条よりも国益を優先した判断を是非お願いしたい。

以上が2014年にアベノミクスが“賞味期限切れ”と成らないための、4つのポイントである。バブル崩壊後、今ほど日本経済復活の条件が揃っている局面はない。それを生かすも殺すも安倍政権と日本国民の覚悟次第である。ここで国民が忘れてはならないのは、政府は経済成長に向けた環境を整備する役割でしかなく、主役はあくまでも「民間」である、ということである。安倍政権のデフレ脱却への環境整備に向けた果敢な実行力に期待すると共に、国民（民間）が自ら未来を切り拓いていくという気概を持って、2014年を実りのある年にしたいものである。

実用高温ガス炉の炉心設計

Core Design for Commercial-size High Temperature Gas-cooled Reactor

中野 正明* 田澤 勇次郎* 大橋 一孝* 岡本 太志**
Masaaki Nakano Yujiro Tazawa Kazutaka Ohashi Futoshi Okamoto

〔概要〕

本稿では、熱出力600MWの実用高温ガス炉の炉心設計および減圧事故時の温度挙動に関する安全評価を行った結果を紹介する。安全評価と整合を取りつつ炉心設計を行い、出力分布を最適化することで、通常運転時および代表的な設計基準事故である減圧事故時にそれぞれ制限温度を満足する結果が得られた。それにより、本原子炉が優れた固有の安全性を有しており、長時間の全電源喪失の際にも炉心の崩壊熱を自然に除去し、安全性を確保できることがわかった。

1. 緒言

高温ガス炉（HTGR）は、燃料としてセラミック被覆の被覆燃料粒子を用いていること、冷却材として相変化のないヘリウムガスを用いていること、炉心の構造材が、熱容量が大きく、高温強度の優れている黒鉛であることから、熱的な裕度が極めて大きい。この特長を利用することで、福島第一原子力発電所の事故のような全電源喪失を伴う過酷事故時においても、受動的機器のみで原子炉を冷却し、被覆燃料粒子の制限温度以下に維持することで安全性を確保できる設計にすることができる。つまり、高温ガス炉は、動的機器に依存する「止める・冷やす・閉じ込める」ではなく、さらに一歩進めて「自然に止まる・自然に冷える・その結果、閉じ込められる」の特性を持つ原子炉として実現可能である。

受動的機器による熱伝導、輻射および自然対流という自然放熱によって崩壊熱を除熱するためには、炉心の出力や出力密度、形状寸法を制限する必要がある。その制限を明らかにして、炉心仕様を決めるが炉心設計である。本報では、高い安全性を有する高温ガス炉の炉心設計についてまとめる。

実用高温ガス炉の原子炉の概念を図1および表1に示す。原子炉圧力容器（RPV）の下方側部の

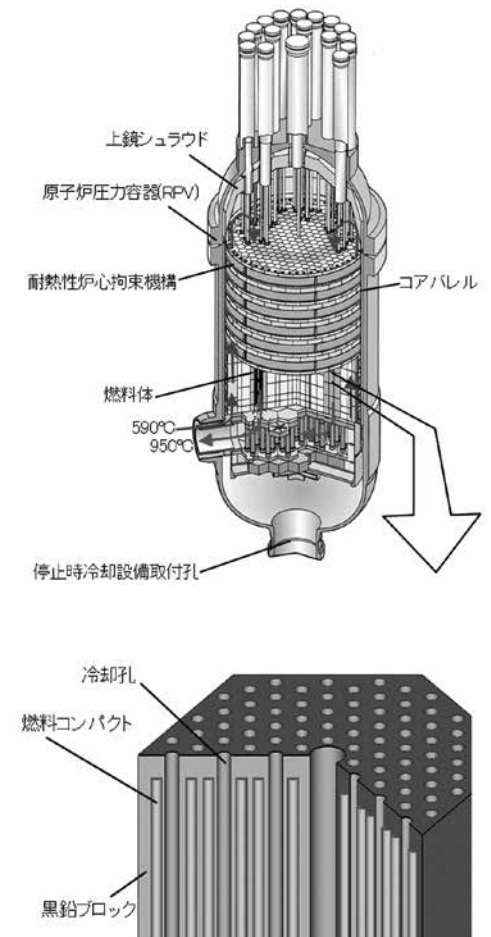


図1 実用高温ガス炉の原子炉と燃料体の概念図

* 富士電機(株) 先端技術研究所 高温ガス炉プロジェクトグループ

** 同社 発電プラント事業部 原子力技術部

表1 主要な炉心設計条件

原子炉熱出力	600MW
燃料の種類	濃縮ウラン(UO ₂)
燃料体の形式	マルチホール型
冷却材圧力	5MPa
冷却材流量	321kg/s
冷却材原子炉入口/出口温度	590/950℃
運転サイクル長さ	550日(1.5年)
燃料交換バッチ数	2バッチ
燃料燃焼度	120GWd/t(取出平均)
炉心高さ	8m(ブロック数10段)
炉心内径/外径	3.0/5.2m
燃料体配列ピッチ	0.362m
燃料カラム数	126
平均出力密度	5.5W/cm ³
制御棒本数	36(外側反射体部)
通常運転時燃料温度制限	1300℃以下
事故時燃料温度制限	1600℃以下
通常運転時原子炉圧力容器温度制限	371℃以下
事故時原子炉圧力容器温度制限	538℃以下

二重管の外管から入った冷却材ヘリウムは、炉側部を上昇し、炉頂部で下方に向きを変えて、炉心部で熱を奪い昇温しながら下方へ流れ、二重管内管から原子炉外へ出て行く構造となっている。また、炉心はブロック状の燃料体を積層した構造であり、事故時の炉外からの自然放熱による除熱性を高めるために環状としている。

原子炉熱出力は実用規模として想定している範囲では最大である600MW、冷却材原子炉出口温度は、直接サイクルガスタービンによる高効率発電や水素製造にも適用可能なように950℃とした。

燃料体は、被覆燃料粒子を黒鉛マトリックス材で焼結した燃料コンパクトを六角柱状の黒鉛ブロックに挿入、ヘリウムによる冷却のための冷却孔を設けた構造である。通常時の燃料温度をできるだけ低くするために、熱特性が優れ、米国で実績のあるマルチホール型を採用した。

炉内構造物としては、出口温度950℃達成のため、黒鉛構造物を外側から固縛する耐熱性の炉心拘束機構や、高温工学試験研究炉(HTTR)で採用したシール機構を各部に設け、炉心をバイパス

する冷却材流れを減らす構造とした。さらに、上鏡シュラウド、コアバレルの設置により、RPVの過熱を防止する構造としている。事故時の崩壊熱除去では、強制循環方式の停止時冷却設備に依るのではなく、熱伝導、輻射により、最終的には自然循環を利用した原子炉キャビティ冷却系を通して原子炉を冷却する。

使用材料としては、黒鉛材は、HTTRで実績のあるIG、PGXなどを採用する。また、RPVは、軽水炉で実績のある低マンガン鋼とした。

炉心設計では、通常運転時の燃料およびRPVの温度制限を満足するだけでなく、事故時に受動的な機構により崩壊熱を除去し、それぞれの温度制限を満足するように、次節以降に示す核設計、熱流体力設計および安全評価を繰り返して実施して、炉心仕様を決めていく。

2. 核設計

核設計にはHTTRの核設計で実績のある衝突確率法を用いた断面積作成コードDELIGHT¹⁾および中性子拡散コードCITATION²⁾を用いた。DELIGHTにより炉心各領域の燃焼依存のエネルギー6群の均質群定数を求め、それを用いてCITATIONにて3次元出力分布を計算した。計算は平衡炉心を対象とした。

図2に高さ方向の代表的な燃焼時点として燃焼初期(0日)、燃焼中期(300日)、燃焼末期(550日)および3、4節の通常時および事故時で燃料温度が最高となった400日時点での出力密度分布の計算結果を示す。燃焼が進むに従い高さ方向の出力分布が変動していることがわかる。同図に示す出力分布は、3、4節に示すように通常運転時の燃料温度だけでなく、事故時の燃料温度制限を満足するように、燃料のウラン濃縮度や可燃性毒物、制御棒の挿入深さの調整を行い、燃焼による出力分布の変動が少なく、かつ、平坦な分布となるようにした結果である。なお、図中の出力分布の凹凸は、燃料交換バッチの相違によるもので、凸部は1サイクル目の燃料体、凹部は燃焼が進んだ2サイクル目の燃料体を示している。

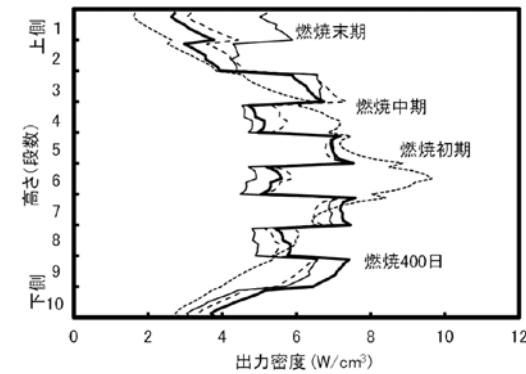


図2 高さ方向の出力密度分布

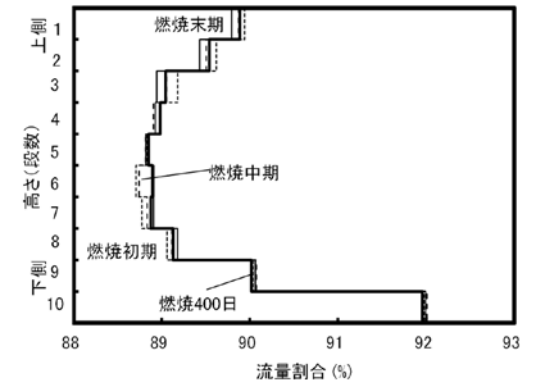


図3 燃料体冷却孔の流量割合

3. 熱流体力設計

熱流体力設計では、通常運転時に確保できる燃料を冷却する冷却材流量を求め、それと2節に示した出力分布から燃料温度を求め、それが制限温度(1300℃)を満足することを確認する。

冷却材は燃料ブロック内の冷却孔内に流れるだけでなく、隣接ブロック間の隙間や、上下ブロック積層面間の隙間にも流れ、これらの流れは本来冷却材が流れるべき燃料体冷却孔の流量を減らすことになる。流量配分設計では、ブロック間の流れや他の漏れ流れをモデルに組み込み、燃料体の冷却孔の流量配分を計算する。計算には炉内流動解析コードFLOWNET³⁾を用いた。FLOWNETでは、炉内の流路網にノードと呼ばれる代表点を取り、各ノードを一次元の流路ブランチで、流路ブランチ間を伝熱路で結合して炉内流路をモデル化し、流路網内の定常状態における温度、圧力および流量配分を計算するものである。

代表的な燃焼時点での高さ方向の燃料体の冷却孔に流れる冷却材流量割合の計算結果を図3に示す。炉心上部の入口から下方に冷却材が流れるに従い冷却材の流量割合は減少し、上から6段目の燃料体で最小となり、その後は回復していく傾向となる。燃焼により出力分布が変化しても、燃料体内の冷却材の流量割合はほとんど変化せず、高さ方向最小値で約89%であることが分かった。

通常運転時の燃料温度は汎用の有限要素プログラムANSYSにより定常伝熱計算を行い求めた。

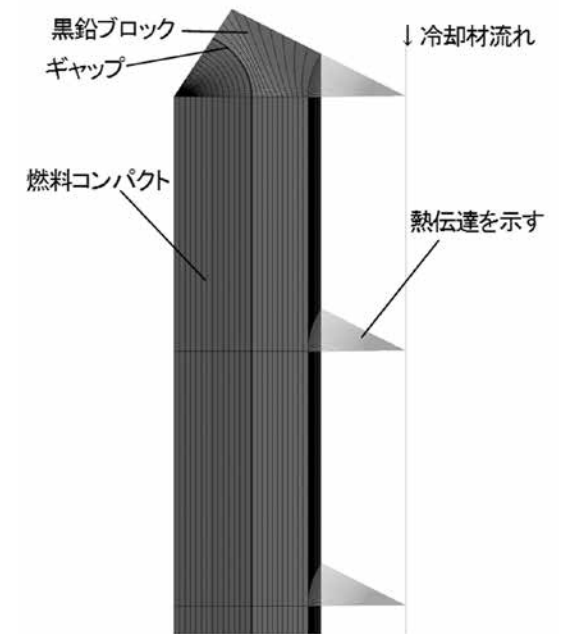


図4 通常時燃料温度計算モデル

計算対象として図4に示すように、水平断面での燃料体の最小繰り返し単位について、炉心高さ燃料体10段分をモデル化した。原子炉入口部の冷却材温度、上記で求めた燃料ブロックの冷却孔の流量、2節で求めた出力分布を与え通常運転時の燃料温度を計算した。燃料コンパクトで発生した熱は、燃料コンパクトと黒鉛ブロック間のギャップを熱伝導と輻射で伝わり、黒鉛ブロックを熱伝導で伝わった後、熱伝達により冷却材に伝わる。その結果、冷却材温度は下方に流れるに従い上昇していく。

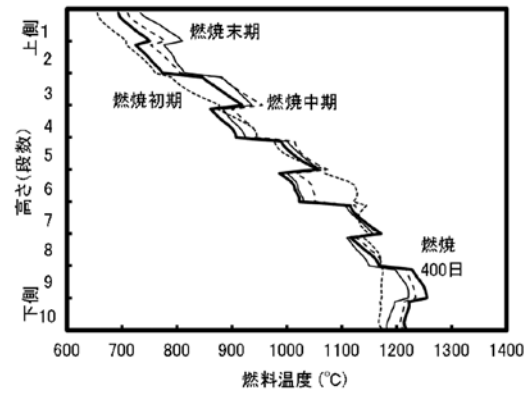


図5 通常運転時の高さ方向燃料温度分布

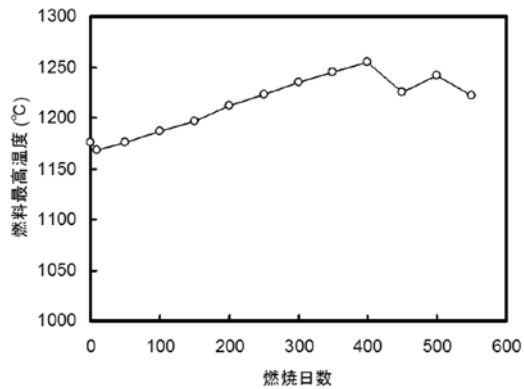


図6 通常運転時の燃料最高温度

図5に代表的な燃焼時点での軸方向温度分布を示す。また、図6に各燃焼時点での燃料最高温度を示す。高さ方向に出力分布が図2のように燃焼により変化するためにそれに伴い燃料最高温度も変化するが、設計目標である通常時燃料温度制限1300℃以下を満足する結果となっている。

4. 安全評価

「自然に止まる・自然に冷える・その結果、閉じ込められる」という高い安全特性を達成することを目標としているが、ここでは炉心が「自然に冷える」について検討した結果を示す。

「自然に冷える」特性の実現のためには、事故時の崩壊熱の除熱は自然放熱に依ることになる。その場合、最終除熱源への放熱の方式は種々考えられるが、ここでは、図7に示す原子炉キャビティ冷却系により大気中へ自然循環により放熱され

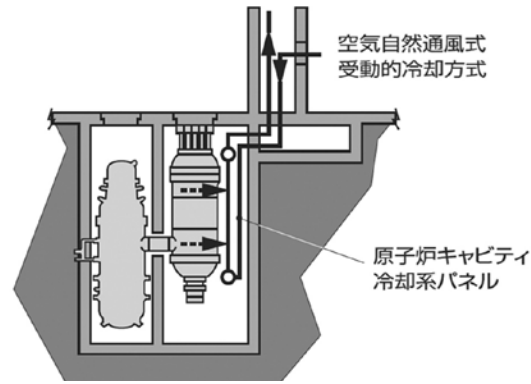


図7 崩壊熱除去時の原子炉冷却概念

る方式を採用した。炉心での崩壊熱は、熱伝導と輻射により炉側部さらにはRPVへ伝わる。RPVからは、輻射と自然対流により原子炉側部に設けた原子炉キャビティ冷却系パネルへ熱が伝わり、それを外気から導入した空気による自然対流により冷却する。

代表的な設計基準事象である減圧事故を安全評価の検討対象事象とした。この事象は軽水炉での冷却材喪失事故（LOCA, Loss of Coolant Accident）のことである。減圧事故は、配管の破断により通常運転時に強制循環している冷却材が一次系外へ放出され、大気圧となる事象である。

解析には2次元伝熱コードTAC⁴⁾を用いた。計算は2次元軸対称モデルを用い、原子炉と原子炉側部に設けた原子炉キャビティ冷却系パネルまでをモデル化範囲とした。炉心部の燃料体部分は、別途水平断面で伝熱解析を行い、それをもとに等価的な熱伝導率を求めることで、均質化した物質としてモデル化した。冷却材が減圧すると原子炉は停止、炉心での発熱量は崩壊熱レベルになるとし、その時の発熱分布形状については、通常運転時に発熱密度が高い部分は崩壊熱も比例して大きいため、2節で求めた通常運転時の出力分布と同一とした。

図8に燃料が最高温度に達したとき（事象開始後約60時間後）の高さ方向の燃料温度分布を示す。このように、燃料温度は通常運転時の出力密度により大きく変わる。除熱機構として熱伝導や輻射に依っているため、発熱密度が高いと燃料最高温度も高くなる。最高温度は燃焼400日の時点で約

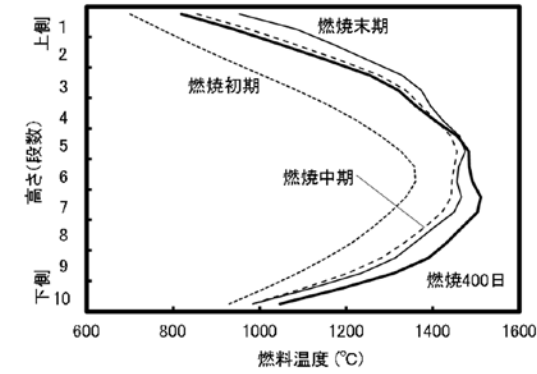


図8 減圧事故時の燃料温度（最高温度発生時点）

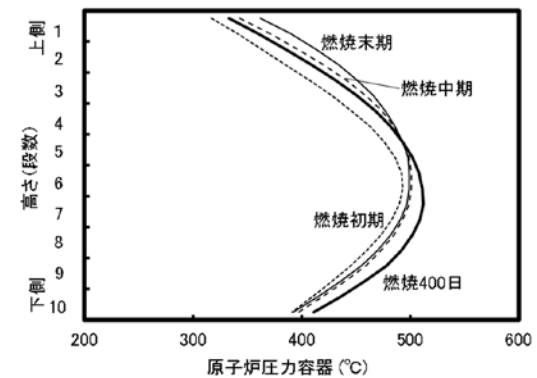


図9 減圧事故時の原子炉压力容器温度（最高温度発生時点）

1511℃であり、評価余裕を考慮しても制限温度1600℃以下を満足する結果となった。

通常運転のRPV温度最高温度は341℃となった。減圧事故時について、図9に、RPVが最高温度に達したとき（事象開始後約60時間後）の高さ方向のRPV温度分布を示す。RPV最高温度は511℃であり、評価余裕を考慮しても制限温度538℃を満足する結果となった。

5. 結言

安全評価と整合を取りつつ炉心設計を行い、高温ガス炉の安全特性を活かして、事故時において受動的な冷却のみにより崩壊熱を除去することで安全性を確保できる原子炉炉心概念を構築した。設計条件として、通常時の燃料温度制限ではなく、減圧事故時の燃料温度制限により、通常時の炉心の最大出力密度が制限される傾向にあることが分かった。

今後は、さらに「自然に止まる」、つまり、制御棒の挿入なしで事故時に負の反応度フィードバック特性により原子炉が停止することを動特性評価により確認し、さらに高い安全性を有した高温ガス炉の原子炉概念を構築していく。また、各炉内構造物の具体化を図っていく。

参考文献

- 1) 野尻, 他, 高温ガス冷却炉・格子燃焼特性解析コード「DELIGHT-8」, JAERI-Data/Code 2004-012, (2004)
- 2) T. B. Fowler, et al, Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION, ORNL-TM-2496-Rev.2 (1971)
- 3) 丸山, 他, 炉内流動解析コードFLOWNETの検証, JAERI-M 88-138, (1988)
- 4) Argonne Code Center Reference Material, Abstract 408: TAC-2D, EW212, (1969)

自治体向け環境放射線監視テレメータシステムの構築

Establishment of the Remote Radiation Monitoring System in Environment for Local Municipalities

河口 哲朗* 野牛 英昭* 百目木 幸雄* 前川 修**
Tetsuaki Kawaguchi Hideaki Noushi Yukio Domeki Osamu Maekawa

〔概要〕

環境放射線監視テレメータシステムとは、原子力施設周辺の空間放射線量率を24時間365日連続で測定・監視し、環境放射線監視センター、オフサイトセンター、県庁、市役所などの主要防災拠点や、ホームページを介し近隣の住民へ測定データを広く配信するものである。

富士電機は、鹿児島県全域の空間放射線量率を測定する環境放射線監視テレメータシステムにおいて、衛星通信によるデータ伝送路の多重化、非常用発電機による電源強化、サーバシステムの多重化を行い、大規模災害発生時も継続して測定を可能とする震災対応型システムを構築した。また、県庁災害対策本部室への大型LCDマルチスクリーン設置やタブレット端末を用いた屋外での監視業務の実現など、最新のIT技術も採用したので、これらについて紹介する。

1. ま え が き

日本は、エネルギー資源が乏しくエネルギー自給率は約5%程度であり、資源確保は国家としても大変重要な問題である。わが国のエネルギー政策は、多種多様なエネルギーを活用するエネルギーベストミックス路線を歩んでいた。

このエネルギー政策の中でも原子力エネルギーは、燃料の再利用が可能であること、二酸化炭素の排出量が少ないことから推進する方針であったが、2011年に発生した東日本大震災により、原子力エネルギーを取り巻く状況は変化してきている。

しかしながら、国外からの化石燃料の輸入増大は、国内経済へ悪影響を与えており、原子力エネルギーの活用は必要不可欠である。

現在、原子力発電所の再稼働に向けて耐震工事が急ピッチで行われており、安全が確認された発電所より、順次起動する予定である。

このような状況下、原子力施設周辺の環境放射線監視の重要性が高まっている。

環境放射線監視テレメータシステムは、原子力災害発生を想定し、オフサイトセンター、県庁、

市役所など、主要防災拠点に対して、空間放射線量率などのリアルタイム配信や緊急時迅速放射線影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）との連携機能を有する一方、定常時においては、インターネットや駅などに設置される大型ディスプレイなどを介して広く情報公開している。

本稿では、富士電機が構築した鹿児島県全域の空間放射線量率を測定する環境放射線監視テレメータシステムにおいて、東日本大震災を踏まえた震災対策と最新のIT技術を適用したシステムについて紹介する。

2. 環境放射線監視テレメータシステムの概要

環境放射線監視テレメータシステムは、モニタリングポストやモニタリングカー、川内原子力発電所内に設置される放射線検出器（NaI（TI）シンチレーション検出器、電離箱検出器など）から出力される測定値をテレメータ子局装置で受信し、一定周期でサーバシステムに伝送する。サーバシステムは、受信した測定値を演算・編集しデータベースに保存する。データベースに保存された測定値は、県庁、オフサイトセンター、市役所、

支所、駅など、各所にデータ伝送され、地図や帳票、グラフなどで表示される。また、タブレット端末、プロジェクターを用いた可搬表示装置により、県職員が屋外からでも状況を把握することも可能である。

サーバシステムは、サーバ本体、ストレージ、ネットワーク機器など、全てが完全に独立し、多重化されている上、環境放射線監視センター（薩摩川内市）と鹿児島県庁（鹿児島市）別々に設置しており、万が一、何れかのシステムが被災しても、監視機能は継続される。

テレメータ子局からサーバシステム間は、VPN有線回線で接続されるが、大規模災害発生時、有線回線の寸断（不通）が想定されるため、発電所付近の主要モニタリングポストには、通信衛星を介した無線回線を使用したバックアップ伝送を整備している。

監視拠点の中心である環境放射線監視センターには、環境放射線監視テレメータシステム専用の非常用発電機を整備し、無給油で5日間以上の給電を可能としている。

図1に環境放射線監視テレメータシステムのシステム構成図を示す。

3. 環境放射線監視テレメータシステムの構成

3.1. テレメータ子局装置

テレメータ子局は、鹿児島県全域に配置されるモニタリングポストや川内原子力発電所などに設置され、放射線測定器より測定データを受信し、サーバシステムに伝送する機能を有している。

ハードウェアは、富士電機製PLC（MICREX-SX）を採用しており、Ethernet,RS232C,デジタル/アナログ信号などのインターフェースを持ち、あらゆるメーカーの放射線モニタとの接続を可能としている。（PLC：ProgrammableLogicControllerの略）

また、ファンレス、長寿命であり、基本的にメンテナンスフリーであることから、信頼性が優先されるシステムに最適な装置である。

収集したデータは、一定期間をメモリに保存しており、万が一、伝送回線が停止した場合でも、回線復旧後にデータのりカバリが可能である。

タッチパネルディスプレイも具備しており、調整中の設定/解除、PLC内部の状態確認、各種入出力の状態を特別な装置やパソコンを使用せず設定、確認することが可能であり、メンテナンス性を向上させている。

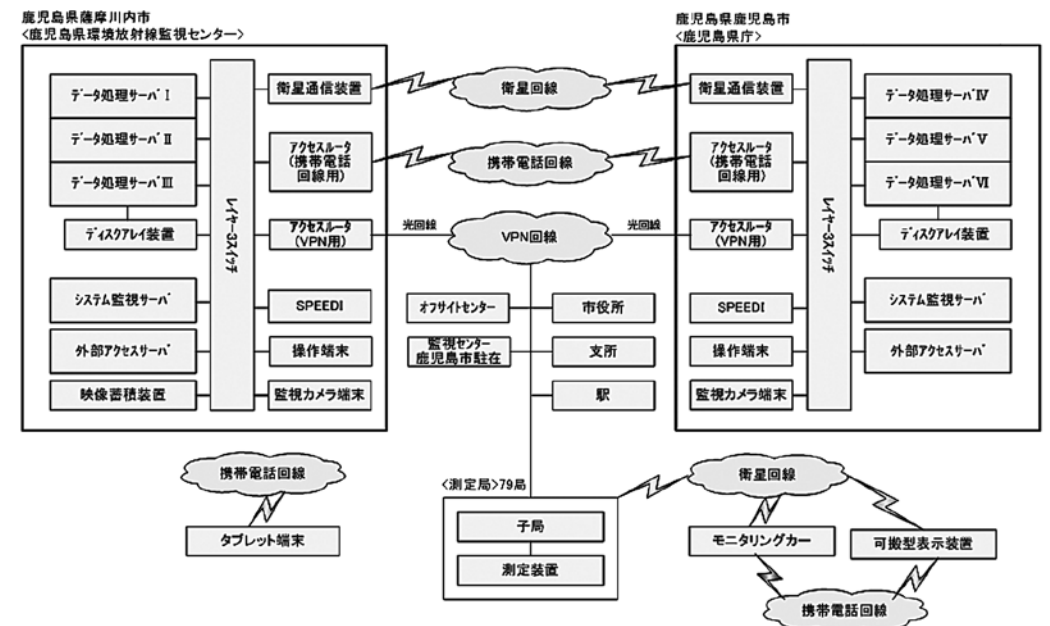


図1 環境放射線監視テレメータシステム システム構成図

* 富士電機(株) 産業インフラ事業本部 東京事業所 システム技術センター 施設システム部

** 同社 産業インフラ事業本部 計測制御システム事業部 放射線システム部

写真1にテレメータ子局装置を示す。

3.2. 監視カメラ

各モニタリングポストには周辺監視および測定データ変動時の要因解析を目的として全周囲監視カメラを設置している。写真2に全周囲監視カメラを示す。

また、原子力発電所近傍のモニタリングポストには旋回型一方位監視カメラを設置し、原子炉建屋を撮影可能としている。写真3に旋回型一方位監視カメラを示す。



写真1 テレメータ子局装置

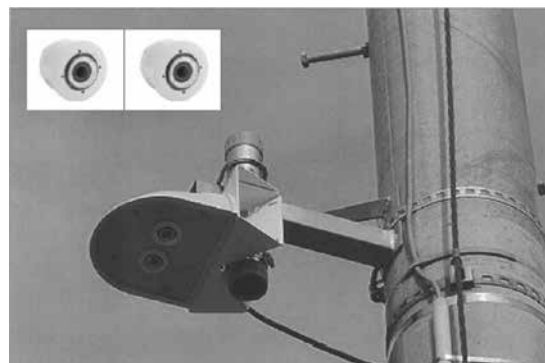


写真2 全周囲監視カメラ



写真3 旋回型一方位監視カメラ

これら監視カメラの画像はVPN回線を経由して監視センター、県庁、オフサイトセンターに伝送され、監視カメラ端末からリアルタイムで見ることができる。さらに画像は、映像蓄積装置に蓄積しており、過去の画像を確認することも可能である。

3.3. サーバシステム

環境放射線監視テレメータシステムは、原子力施設におけるシビアアクシデントはもとより、自然災害あるいは通常でも起こりえる突発故障などにおいても監視機能を継続する必要がある。

従来、環境放射線監視センターに常用監視サーバとバックアップ用サーバの2台を設置することで二重化を実現し、監視機能の中核を担っていた。

しかし、一拠点へ監視機能を集中させることは、被災によるサーバ停止のリスクが高くなる。このようなリスクを分散させるために、サーバは地理的に離れた拠点に配置して両者を通信ネットワークで連携するシステム構成とした。

この遠隔拠点監視を実現するためのシステムの特長は、以下のとおりである。

- (1) 複数拠点のサーバを相互に補完するバックアップ機能
- (2) サーバ間同士で測定データを高速で等値化するデータ等値機能
- (3) 拠点間をネットワークで接続する場合のセキュリティ管理

3.4. マルチディスプレイ

マルチディスプレイは主要な防災拠点に配置し、鹿児島県全域の空間放射線量率および気象データをリアルタイムかつ一括で大型ディスプレイに表示し、環境放射線監視業務を支援している。

測定データは、時系列データ一覧、時系列グラフ、発電所周辺マップ形式でマルチディスプレイに表示し、さらに4分割、9分割、16分割レイアウトで複数の情報を同時に表示することを可能としている。マルチディスプレイの表示は操作端末(パソコン)を利用して自由に切り替えを可能としている。

また、環境放射線監視センターは全測定地点の状況を常に監視する必要があるため、大型ディスプレイには最大79局の時系列グラフを同時に表示



写真4 マルチディスプレイ



写真5 監視表示装置

する機能を持たせ、県内各所の測定データを一覧で監視することを可能としている。

写真4にマルチディスプレイを示す。

3.5. 監視表示装置

発電所周辺の市役所、支所、および駅など近隣住民が集まる県内各所に監視表示装置を配置し、近隣住民向けに環境放射線情報の提供を行っている。

各ディスプレイ近傍にはタッチパネル端末を配しタッチ操作により監視表示装置の表示内容を自由に切り替えることができる。

また、環境放射線監視テレメータシステムの概要や放射線の知識などの説明動画を表示し、近隣住民に対して放射線監視の概要、安全に対する県の取り組みなどを周知することに役立っている。

監視表示装置の上部にはメッセージ欄を設け、県からのお知らせを近隣住民にリアルタイムで通知する機能も有している。

監視表示装置の表示スケジュール、表示メッセージ、およびお知らせなどの表示内容は環境放射線監視センターおよび県庁の操作端末(パソコン)から遠隔操作にて設定することを可能とし、運転スケジュール機能によって夜間や祝日などには自動的に電源を落とし、無駄な電力使用を抑制している。

写真5に監視表示装置を示す。

3.6. 緊急通報システム

緊急通報システムは、大規模災害時、職員や関係者による迅速な対応を可能にすべく、環境放射線監視テレメータシステムからの警報を受信し、予め登録されている関係者へ、警報内容を音声通報(電話)およびメール配信にて通報する。

通報受信者は、携帯電話向けの職員専用サイトから各測定局のモニタリングデータが閲覧できるため、空間放射線量率などの迅速な把握が可能である。

3.7. 走行サーベイ車

常設のモニタリングポストは一定の距離間隔を持って設置されているが、緊急的あるいは重点的に測定が必要な場合、緊急モニタリングポイントが設定される。緊急モニタリングポイントは、サーベイメータによる測定や走行サーベイ車による測定が行われる。

サーベイ測定の測定地点と測定データは、モバイル型タブレット端末と携帯電話回線を利用してリアルタイムでサーバへのデータ送信が可能である。また、走行サーベイ車による測定データも携帯電話回線や衛星通信を用いて、リアルタイムでサーバへ送信することが可能である。

タブレット端末や走行サーベイ車の測定データは、GPS座標により各測定ポイントを自動的に把握し、それらの情報は常設のモニタリングポストの測定データと共に、システムの地図データ上に放射線マップとして同時に表示される。

3.8. ホームページ

住民向けにインターネットのホームページでリアルタイム情報の公開を行っている。表示している測定値は、モニタリングポストで測定した2分ごとの測定値であり、実測データの取得から2分以内に最新値の更新を行っている。

過去の測定データについては、線量率だけでなく、降雨情報もトレンド表示しているため、降雨による自然放射線の変動も一目で分かるようにな



図2 ホームページ画面(1)

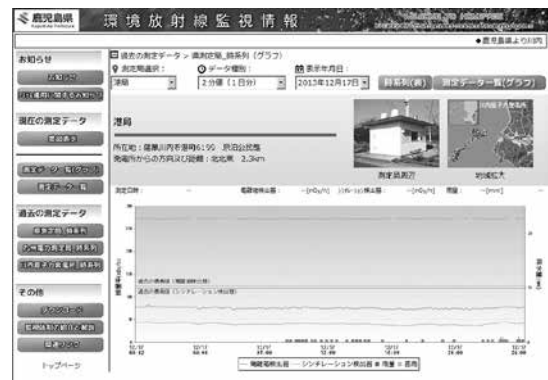


図3 ホームページ画面(2)

っている。

図2, 図3にホームページの画面を示す。

3.9. 非常用発電機

監視拠点の中心であり、サーバシステム(主系)や大型マルチディスプレイ, SPEEDI端末を具備する環境放射線監視センターには、環境放射線監視テレメータシステム専用の非常用発電機を整備した。大震災発生による電源系統停止時においても、5日間無給油で給電可能であり、災害発生後の最も重要な期間も監視機能を継続することが可能である。



写真6 衛星通信設備

3.10. バックアップ回線

各測定局との通信回線には、VPN回線, 携帯電話回線, 衛星通信回線という多様な通信手段を確保しており、テレメータ子局装置およびサーバは、最適な通信回線を自動判別しながら測定データの収集を行っている。

万が一、いずれの回線も使用できない場合は、テレメータ子局装置に最長1ヶ月分の測定データを蓄積しており、回線復旧後、自動的にサーバが測定データを取り込む機能も有している。

写真6に衛星通信設備を示す。

4. あとがき

環境放射線監視テレメータシステムについて、富士電機が取り組んできた内容について紹介した。

今後は、東日本大震災で発生した原子力災害の経験を踏まえ、環境放射線モニタリングの重要性を再認識し、システムの更なる信頼性向上に注力することで、原子力発電所の再稼動に対する不安を払拭し、原子力エネルギーの信頼性向上に貢献する所存である。

東日本大震災廃棄物焼却炉の実績と研究開発について
Production and Development of Incinerator System for the Great East Japan Disaster Waste

千代 亮* 武仲 五月* 佐藤 康士*
Ryo Chishiro Satsuki Takenaka Kouji Satoh

〔概要〕

2011年3月に発生した東日本大震災により過去に類を見ない多くの災害廃棄物が発生し、特に被害の大きかった沿岸3県(岩手県, 宮城県, 福島県)では、可燃廃棄物の焼却処理に、既設焼却炉や広域処理の活用だけでなく、仮設焼却炉と称する新設の焼却炉を随時建設し、処理を行ってきた。その結果、岩手県, 宮城県では当初の計画通り、2013年度にてその処理をほぼ終了できる見込みである。一方福島県については、福島第一原子力発電所の事故によって放出された放射性物質により汚染された災害廃棄物だけでなく、環境除染に伴い発生する廃棄物も処理対象とするなど、仮設焼却炉に対しても放射性物質の処理に対応する必要性が生じ、電離放射線障害防止規則を改正(2013年7月施行)し、2014年には汚染廃棄物対策地域とされる旧非難区域においても仮設焼却炉を設置し、焼却処理を進める予定である。

本稿では、川崎重工業が宮城県に建設した仮設焼却炉(2基)について述べるのと同時に、福島県にて設置が予定される仮設焼却炉の設計データを取得する目的で行った実証試験の概要を述べる。

1. 緒言

先の東日本大震災では地震と津波により東日本の13道県245市町村において、合計約3,000万トン¹⁾の災害廃棄物および津波堆積物(以下、災害廃棄物と総称)が発生した。このうちその8割以上となる約2,600¹⁾万トンが岩手県, 宮城県, 福島県で発生している。災害廃棄物の処理方針, スケジュールなどについて、政府では平成23年5月に「東日本大震災により発生した災害廃棄物の処理指針(マスタープラン)」を定め、同年8月に公布・施行された「東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法」により、処理に関する基本的な方針と処理の内容および実施時期などを明らかにした工程表を定めることとした。

これをうけた災害廃棄物処理詳細計画に従い、宮城県, 岩手県では焼却処理する必要のある廃棄物については、広域処理や既設の廃棄物焼却炉の利用とともに、新設の仮設焼却炉を設置、処理を推進し、これまでにその90%以上の処理を完了²⁾させている。

2. 宮城県の仮設焼却炉³⁾

宮城県の災害廃棄物処理では、分別体制が整備されていたため、廃木材などの可燃物比率が比較的高くなることが想定された。このため、通気燃焼させるストーカー式焼却炉を採用するメーカーもあった。しかし、津波堆積物や土砂が付着した可燃性災害廃棄物を処理対象物としているため、分別後の廃棄物にも水分の多い土砂の混入が避けられないと考え、また阪神淡路大震災時の経験も踏まえ、弊社では、通気燃焼できないごみ質にも対応可能なロータリーキルン式焼却炉を採用した。

また排ガス処理設備には新設炉のダイオキシン類と同じ0.1ng-TEQ/Nm³⁴⁾の排出基準値他、有害ガス排出基準値を満足する設備を設置した。なお、処理前の廃棄物中セシウム(Cs-134+Cs-137)放射能濃度で1,000Bq/kgに満たないものがほとんどであり、焼却後の焼却灰ならびに、排ガス処理設備より排出される排気ガス中の放射能濃度についても十分に低いと想定されたため、排ガス処理設備や灰出設備には既存の焼却炉と同等のものを採用している。焼却炉の処理フローを図1に示す。

* 川崎重工業(株) プラント・環境カンパニー エネルギープラント総括部 原子力プロジェクト室

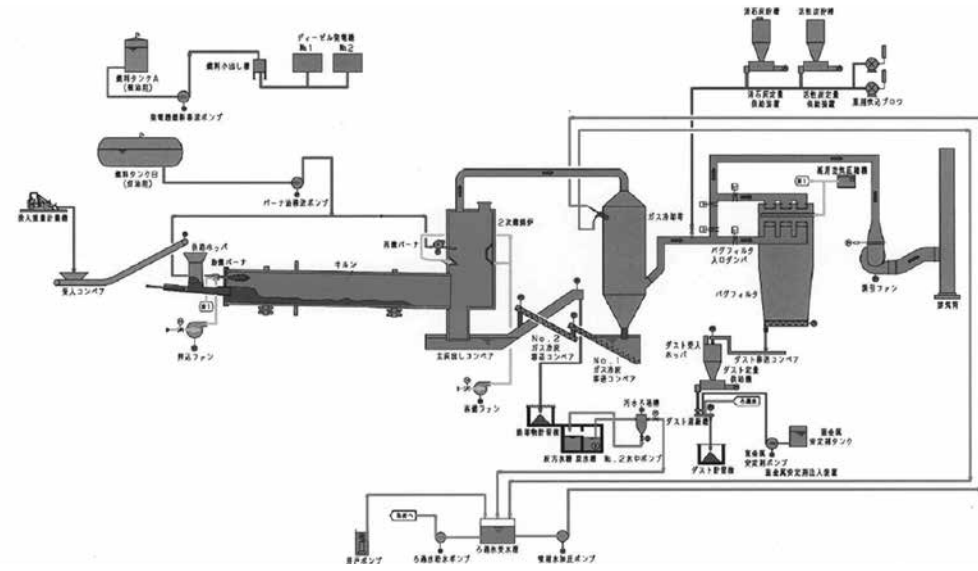


図1 仮設焼却炉処理フロー（仙台市向け）



図2 仙台市仮設焼却炉外観



図3 山元町仮設焼却炉外観

2.1. 仙台市の仮設焼却炉

(1) 設備概要

発注元：仙台市殿
 設置場所：仙台市若林区荒浜字今切
 炉形式：ロータリーキルン式
 処理量：300トン/24時間
 排ガス処理：活性炭・消石灰噴霧+バグフィルタ方式

基数：1基
 運転開始：2011年12月
 備考：外観写真を図2に示す。

(2) 現在の状況

当初の予定より3ヶ月早く、2013年9月にて焼却炉の運転は終了。2013年10月より解体作業中。

2.2. 山元町の仮設焼却炉

(1) 設備概要

発注元：フジタ・東亜・青木あすなろ・大豊・本間・河北・佐藤JV殿
 設置場所：山元町高瀬字浜砂地内
 炉形式：ロータリーキルン式
 処理量：200トン/24時間
 排ガス処理：活性炭・消石灰噴霧+バグフィルタ方式

基数：1基
 運転開始：2012年5月
 備考：外観写真を図3に示す。

(2) 現在の状況

2013年12月に全ての対象廃棄物の処理を完了し、2013年12月より解体工事を開始している。

3. 放射性廃棄物焼却試験

福島県にて設置が予定されている仮設焼却炉は、災害廃棄物だけでなく、除染廃棄物を処理する計画とする自治体もあるため、特に「汚染廃棄物対策地域」内では比較的高い濃度の放射性物質を含むことが予想される。

福島県向けの仮設焼却炉排ガス処理装置にはバグフィルタを採用することが計画されているが、フィルタを経てスタックより排出される排気ガス中放射能濃度は、ガイドライン（廃棄物関係ガイドライン：環境省）が定める基準以下とすることが求められている。これを達成するには、排ガス処理装置中のバグフィルタなどの集じん機にて排ガス中の微小飛灰とともに、セシウム化合物を除去する必要がある。バグフィルタを通過する排ガスは200℃以下であるため、この温度域でのCs化合物（多くは塩化物と考えられる）は気体で存在していることはなく、微粒子として排ガス中の飛灰に付着して存在すると考えられるためである。環境省では福島県内の既存都市ごみ焼却炉での調査データをもとにバグフィルタの放射性セシウム除去率を99.9%としている⁵⁾。ただし、このデータではバグフィルタのろ布種やろ過速度などが明確でなく、またいずれの場合も、バグフィルタ出口の結果がND（not detect：検出限界値以下）となっているため、どの程度の裕度が存在するのか不明である。

弊社ではこれらの設計データを得るため、既存設備である廃棄物焼却溶融試験設備にて、非放射性のセシウム化合物を用い、排ガス処理設備中のフィルタ前後のセシウム化合物の除去性能を把握する試験を行っている。

(1) 設備概要

使用する溶融設備はインキャン式高周波誘導加熱炉である。RI（Radio Isotope）研究機関にて採用する計画のインキャン式高周波誘導加熱方式の実規模炉を模擬したものであり、通常はセラミック製のろつぼ（「キャニスタ」）を用いて溶融を行うが、ステンレス鋼製の焼却筒（図4参照）を炉内に入れて焼却筒を赤熱することで、模擬廃棄物を焼却処理することができる。高周波により内筒

表1 試験設備仕様

項目	仕様	
溶融炉	入力電源	3φ, 400V, 680kVA
	出力	1kHz, 200kW
	加熱コイル	φ520_560H mm
	炉本体外形寸法	約φ1000×約910H mm
排ガス処理設備	温度, 流量	400℃, 200Nm ³ /h
	主要機器	①二次燃焼器(1基) ・電気ヒータ式 ・容量:35Nm ³ /h 400℃→850℃ ②冷却器(1基) ・空冷式 ・容量:35Nm ³ /h(入口側) 850℃→200℃ ③バグフィルタ(2基) ・容量:26.6Nm ³ /h ④排風機(2基) ⑤バグフィルタ(1基) ・バイパスガスの除塵用に設置

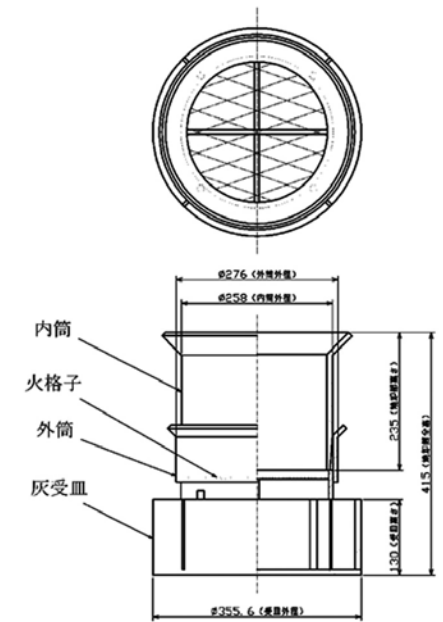


図4 焼却筒外形図

を加熱し、間接的に可燃物などを加熱すると共に底部より燃焼空気を導入することにより火格子を形成し燃焼を行う。焼却炉には排ガス処理設備が接続されている。図5に焼却溶融設備系統図、図6に加熱炉の本体外観、図7に排ガス処理設備外観を示す。

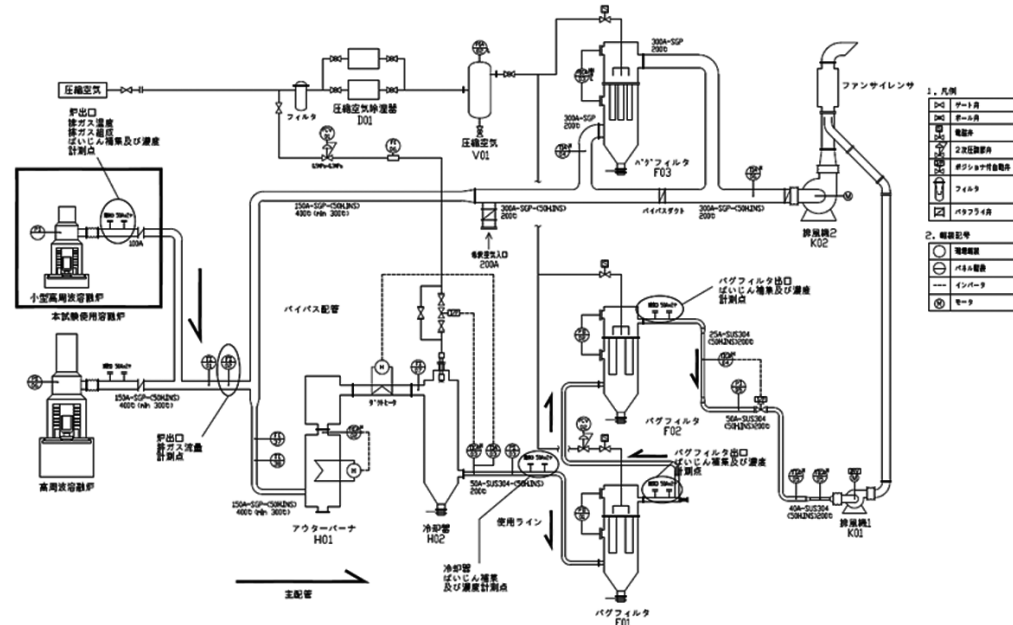
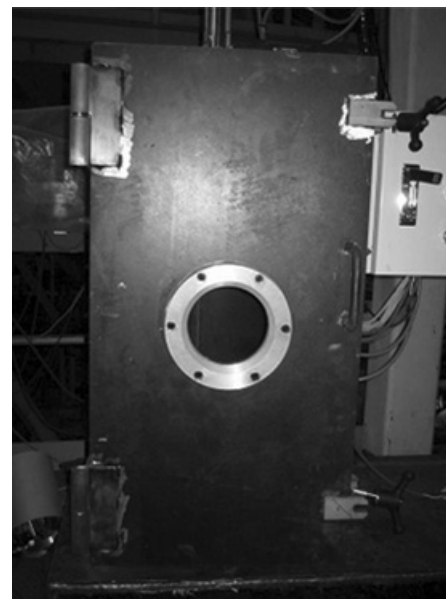


図5 焼却溶解試験装置系統図



高周波加熱炉 側面



投入ボックス (炉上部)

図6 焼却溶解炉本体外観

(2) 試験目的

以下の福島県向け仮設焼却炉用設計データを得ることを目的としている。

- ・バグフィルタのセシウム化合物除去率
- ・ろ過速度と除去率の関係

・多段のフィルタの除去率

(3) 試験方法

模擬廃棄物はウッドチップにポリエチレンを約20wt%加えたものとし、そこへ必要量のセシウム化合物を添加した。フィルタ前後のガス中セシウ



図7 排ガス処理設備外観

ム濃度を測定し、その比率により除去率を求めた。

(4) 試験結果

ガス中のセシウム濃度分析の結果、ガス状のセシウム化合物はほぼ存在せず、煤塵と混在したダストの形状で存在することがわかった。またバグフィルタの除去率を取得することができた。除去率99.9%以上のデータを得ることができたが、試験によってばらつきも大きかった。

4. 最後に

福島県で計画されている仮設焼却炉では改正電離則の適用を受け、非密封の放射性物質を取り扱うという点で、これまでの仮設焼却炉とは異なると言える。ただし、廃棄物性状にあわせた燃焼処理を行う、燃焼ガス中の大気汚染物質およびダイオキシンを規制値以下とするといった要求事項は変更がなく、これまでの災害廃棄物処理実績を活かし、放射性物質の閉じ込め、放射線管理、従業員の被ばく対策などを考慮しつつ、福島県向けの仮設焼却炉の開発を進めているところである。

参考資料

- 1) 東日本大震災にかかる災害廃棄物の処理工程表 (2012年8月環境省)
- 2) 災害廃棄物等処理の進捗状況 (3県沿岸市町村 (避難区域を除く)) (2013年12月環境省廃棄物・リサイクル対策部)
- 3) 日本環境衛生施設工業会機関紙No.60 (2012年3月日本環境衛生施設工業会)
- 4) ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン (1996年1月環境省)
- 5) 対策地域内に設置する仮設焼却炉の排ガス処理効果及びモニタリング方法の実験的な確認について (2012年12月環境省)

JT-60SA用ダイバーターターゲットの製作 Manufacturing of Divertor target for JT-60SA

山田 弘一* 櫻井 真治** 中村 誠俊**
Hirokazu Yamada Shinji Sakurai Shigetoshi Nakamura

〔概要〕

核融合エネルギーの早期実現に向けて行う活動として「幅広いアプローチ (BA) 活動」が実施されており、その中で核融合プラズマの高性能化をめざす研究開発のために日本原子力研究開発機構のJT-60の改造が実施されている。

JT-60では、高加熱プラズマの維持時間が制限されていたため、真空容器下部に設置されるダイバーターターゲットは炭素タイルをヒートシンクにネジ止めした慣性冷却構造であったが、改造後のJT-60SAでは100秒間の高加熱運転に耐えるためモノブロック構造受熱タイルを冷却管に冶金学的接合した強制冷却ダイバーターが適用される。

しかしながら、受熱タイルと冷却管とは適用される材料の線膨張率が異なり、その材料接合部間で欠陥が生じ易く、その欠陥が断熱箇所となり所定の除熱性能を得ることが難しい。そこで当該機器製作では、ロウ付け施工条件と受熱タイル構造の改善を行うことで対応した。本稿では、高い除熱性能を満足するダイバーターターゲット製作の実施内容について報告を行う。

1. 緒言

国際熱核融合実験炉 (ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor) は、核融合エネルギーの実現可能性の実証を目指し、世界7極が参加する大型国際共同プロジェクトである。その一方で、ITER計画の中では実証できない材料開発や中性子照射試験、発電用ブランケットなどの炉工学技術の研究開発および原型炉のための設計などは、日欧間での共同研究活動である「幅広いアプローチ (BA) 活動」の中で実施される。

BA活動のうち、ITER実験支援と原型炉に向けた高性能プラズマの研究開発を目的として、日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所の核融合試験装置であるJT-60が、JT-60SA (Super Advanced) に改造される¹⁾²⁾。本改造はプラズマの形状制御の向上や維持時間の延長などを実現させるためのものであり、それに伴いプラズマ対向機器であるダイバーターの改造も実施される。ダイバーターは真空容器内下部に設置され、主プラズマから排出されるHeやプラズマによるスパッタリングで炉壁からはじき出された不純物などがプラ

ズマに戻るのをそらす (=Divert) とともに高熱負荷を受け止める機器である。JT-60SAへの改造によりプラズマからの熱流束の増大やプラズマ維持時間の増加に対応するため、ダイバーターターゲットはこれまでの炭素タイルをステンレス鋼製ヒートシンクにネジ固定した慣性冷却構造から、モノブロック構造受熱タイルを銅合金製冷却管に冶金学的接合した強制冷却構造に変更される³⁾。JT-60SAにおけるダイバーターの構造を図1に示す。実機にはダイバーターターゲットが約1000本設置される予定であり、そのうちの10%である100体の製作がダイバーターターゲット改造の第一弾として位置づけられている。

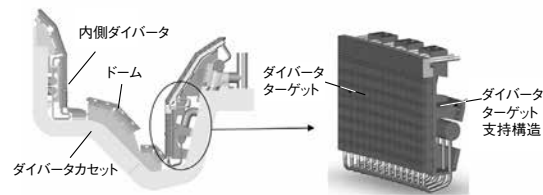


図1 JT-60SAにおけるダイバーターターゲット構造
(出展: 日本原子力研究開発機構)

2. 機器仕様

JT-60SA改造後のダイバーターターゲットには最大で15MW/m² (定常) の熱流束が予測される。そのため、極めて高い除熱性能を有する炭素繊維複合材 (Carbon Fiber Composite。以降、CFC) モノブロック型強制冷却ダイバーターターゲットが必要である。ダイバーターターゲットのCFCモノブロック部の目標性能 (仕様) は10MW/m² (定常) ×10000回、15MW/m² (定常) ×3000回の熱負荷に耐えられることである。また、ダイバーターターゲットのうち、プラズマからの熱負荷が低い冷却水下流側にはCFC平板が設置され、定常熱負荷3MW/m² ×10000回、使用期間として5年が目標仕様として想定されている。そのため、冷却流路部品はCFCモノブロックが設置される円筒部分とCFC平板が接合されるヒートシンクブロック部分が連続した管付きブロックともいふべき形状にする必要がある。

ターゲットのトロイダル方向幅 (受熱タイル横幅) は、製作コスト低減と組立性の向上および除熱性能との両立などの観点から、32mm程度に設定される。

CFCモノブロック内に配置された冷却流路部品には、高い伝熱性能と高温状態での高強度が求められるため、ITERダイバーターの冷却管同様、銅合金材料 (CuCrZr材) が適用され、冷却流路内には伝熱面積の向上と冷却水の乱流化を目的として、M10のネジきり加工がなされている。

上記構造に対し、流速~12m/s、水温~40℃、水圧2.0MPaの冷却水を供給して、所定の除熱性能を有するダイバーターターゲットを製作する必要がある。

3. 実施内容

JT-60SA用ダイバーターターゲット製作で実施する施工のうち、最も重要なのは、緒言でも記載したようにCFC材の冶金学的接合であるが、それ以外にも管付きブロック部品内部に施工される内ネジ加工や外部のステンレス鋼製冷却配管とCuCrZr材製の管付きブロック部品の接続部で行う異材接合も本機器を製作するに当たり重要な項

目である。以下にその内容を示す。

(1) 管付きブロック部品内部ネジ加工

当該部品図を図2に示す。全長は約465mmであり、CFCモノブロックが接合され内部にねじ切り加工がなされる円筒部分とCFC平板が接合されるブロック部分から構成されている。冷却水は図2の左側に位置する円筒端部からブロック部分に向けて流れ、ブロック部下部に取り付けられたL字型の流路から外部に抜ける。

円筒部分の内側に施されるM10のネジきり加工については、円筒部分長さ約345mmに対しM10のネジ切り加工を実施することとなる。ネジ切り加工においては、ネジ呼びに対し、メネジ深さは約10倍程度に抑えないと、工具破損の危険性が無視できなくなることから、本加工に際しては、部品の上流側と下流側から下穴の加工およびねじ切り加工を行い、円筒部分の中央部で継ぎ合わせる工法を適用した。

(2) CuCrZr材-ステンレス鋼の異材接合加工

ダイバーターターゲットは実機適用に際しては、遠隔保守での交換が可能なダイバーターカセットに取り付けられ、管付きブロック部品の冷却流路上下流端部両端部にはステンレス鋼製の配管がTIG溶接により接続されるため、管付きブロック部品製作段階でCuCrZr材とステンレス鋼材を接続するための継ぎ手となるインコネル材製の短管を取り付ける必要がある。しかしながら、CuCrZr材はインコネル材に比べて熱伝導率が高いため、溶接時の入熱が小さいと素材を溶融する前にCuCrZr材側に熱が逃げてしまい、広い範囲で熱影響による機械強度の低下などの変化が懸念される。

そこで、本施工では入熱の大きなEB溶接を適

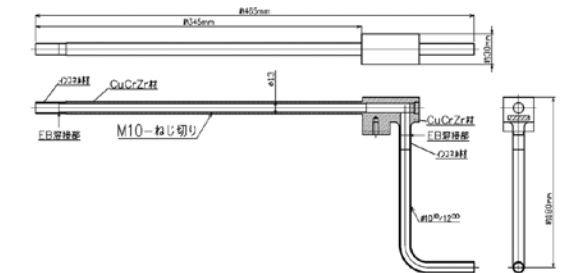


図2 管付きブロック部品 構造図

* 川崎重工(株) プラント環境カンパニー エネルギープラント総括部原子力プロジェクト室

** 日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 トカマクシステム技術開発ユニット JT60本体開発グループ

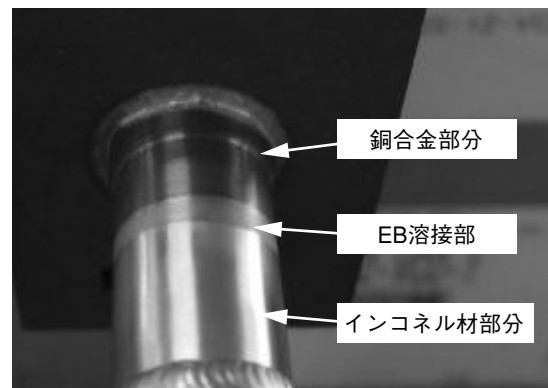


図3 銅合金とインコネル材のEB溶接部 詳細

用するとともに、入熱箇所を配管の突合せ部からずらすことで、CuCrZr材とインコネル材を同じように溶融させ、熱影響部も小さくすむ溶接を実現した。EB溶接で接合した当該部位の詳細外観を図3に示す。

(3) CFC材の冶金的接合加工と受熱タイル構造の改善

JT-60SA改造によるダイバーター熱負荷の増大に対応するため、JT-60SA用ダイバーターターゲットでは高い除熱性能が求められ、その実現にはCFC部表面が受けた熱をCuCrZr材部品を通して冷却水に効率よく伝える必要がある。ダイバーターターゲットを構成するCFC材やCuCrZr材は上記要求条件から極力高い熱伝導性を有する素材が選定されているが、当該機器全体として高除熱性能を実現するためには、それらの材料を接合部に熱遮断部となるような空隙部を形成させずに接合することが不可欠となる。

しかしながら、受熱部であるCFC材と冷却水路である管付きブロック部品を構成するCuCrZr材とでは熱膨張率が4～10倍（CFC材の異方性による）も違う。そこで機器製作では、CFC材とCuCrZr材の接合部に、CFC材とCuCrZr材間の膨張率差の緩衝するため、熱膨張率がCuCrZr材の1/2倍である銅とタンゲステンの合金材（Cu-W材）製の円筒部品を介する構造を適用した。実機の当該部品構成を図4に示す。Cu-W材を緩衝材に用いると共に、ロウ付け施工条件を調整することで、CFC材と銅合金との接合を改善したが、CFC材とCu-W材間の接続面には幾つかの未接合

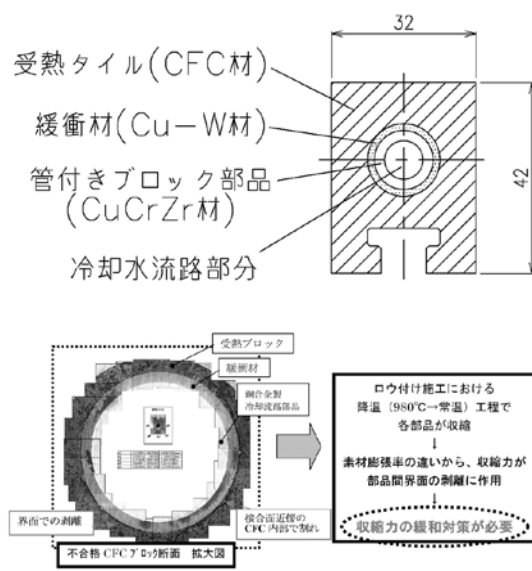


図4 除熱タイル断面構造とロウ付け接合部における問題点

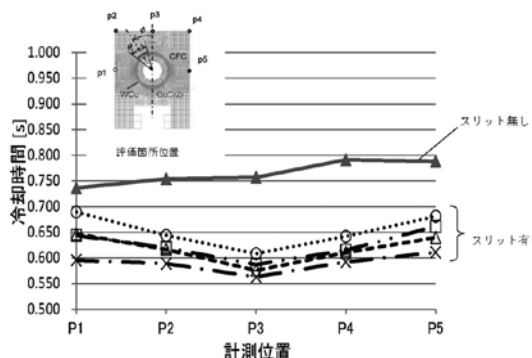


図5 除熱タイルのスリットの有無による除熱性能の差異

部が発生している。これは、ロウ付け施工プロセス中のCuCrZr材の溶体化処理を兼ねた急冷処理においてCu-W材製緩衝材とCFC部品の収縮量の違いによる剥離を完全には防止できないことが要因とされている。

ダイバーターターゲットのCFCモノブロック部分での熱負荷条件（最大15MW/m²）に適合するためには、未接合部の更なる低減が不可欠である。それに対し、今回のダイバーターターゲットの製作では、CFC材とCu-W材製の緩衝材にスリットを設け、ロウ付け過程における冷却プロセスでの部品収縮をCFC材や緩衝材を変形させることで、接合界面の剥離を抑制する構造案を検討した。図5に、CFC材とCu-W材製緩衝材にス



図6 JT-60SA ダイバーターターゲット 製品外観

リットがある構造とない構造の試作品の除熱性能の比較結果を示す。除熱性能は、冷却管に95℃の温水を流した後に5℃の冷水に切り替えた際の表面温度の時間変化を測定する赤外サーモグラフィ法^{4),5)}で評価した。具体的には、CFC材モノブロックの熱負荷面と両側面の5箇所について、表面温度が90℃から60℃に下がるのに掛かった時間をスリットなしと幅の異なるスリットを有する試作品と比較した。スリット構造を有するものは、スリットなし品よりも冷却時間が短いことが認められた。上記結果から、試作品のなかでも最も冷却時間が短かったスリット幅の構造を、実機構造に適用した。最終的なダイバーターターゲット外観を図6に示す。本構造を実機に適用することで、10MW/m²ないしは15MW/m²の熱負荷に耐えるJT-60SAダイバーターターゲットを100体製作することを実現した。

4. 結 言

高熱負荷に耐えるJT-60SA用モノブロックダイバーターターゲットの量産化に向けて初期ロット100体を製作するに当たり、受熱タイルと冷却管

の間の熱膨張率差に起因する接合欠陥と除熱性能の低下が問題となった。それに対し、ロウ付け時の冷却プロセスでの剥離を低減するために部材にスリットを設けることで要求性能を満たすダイバーターターゲット100体の製作を実現した。

今後は、製品の除熱性能のバラツキを低減し、更に歩留まりを改善するため、本格的な量産に向けて詳細構造と製造プロセスの一層の改善が求められる。

参考文献

- 1) 鎌田 裕, 高瀬雄一, “全体計画 (JT-60SAサーチプラン, 研究最前線)” プラズマ・核融合学会誌, 88(11),654-656,2012-11-25.
- 2) 榎枝幹男, 櫻井真治, 相良明男, “核融合炉工学 (JT-60SAサーチプラン, 研究最前線)” プラズマ・核融合学会誌, 88(11),675-677,2012-11-25.
- 3) 江里幸一郎, 鈴木哲, 関洋治, 横山堅二, 榎枝幹男, “ITER・JT60SAにおけるダイバーターの設計概要”, 電気学会全国大会講演論文集巻: 2010号: 4 P4.S11(17)-P4.S11(20), 2010.3.5
- 4) Shigetoshi Nakamura, Shinji Sakurai, Hidetsugu Ozaki, Yohji Seki, Kenji Yokoyama, Akira Sakasai, Daigo Tsuru, “Infrared thermography inspection for monoblock divertor target in JT-60SA”, Fusion Eng. Des. 投稿中
- 5) Yohji Seki, Koichiro Ezato, Satoshi Suzuki, Kenji Yokoyama, Mikio Enoeda, Seiji Mori, “Non-destructive examination with infrared thermography system for ITER divertor components” Fusion Eng. Des. 85, 1451-1454 (2010)

FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成26年2月1日現在)

理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 米 山 直 人 富士電機取締役・執行役員常務	理 事 中 村 康 佐 みずほ銀行常務執行役員
副 会 長 渡 辺 達 也 川崎重工業執行役員	〃 三 浦 宣 明 清水建設原子力・火力本部長
〃 込 山 雅 弘 双日常務執行役員	
	監 事 島 田 昌 寛 みずほ銀行営業第十部次長
理 事 喜 田 明 裕 荏原製作所執行役員	
〃 山 田 昌 彦 富士通TCソリューション事業本部長	事 務 局 長 溝 口 忠 雄
〃 佐 藤 哲 哉 古河電気工業取締役・執行役員常務	
〃 中 村 晋 古河機械金属常務取締役	

高温ガス炉プロジェクト部会

- ◎ 岡 本 太 志 (富 士 電 機)
 - 西 尾 弘 毅 (双 日)
 - 大 橋 一 孝 (富 士 電 機)
 - 毛 利 智 聡 (川 崎 重 工 業)
 - 斎 藤 正 直 (清 水 建 設)
- オ プ ザ ー バ ー
- 降 旗 昇 (原 燃 工)
 - 加 藤 茂 (原 燃 工)

廃止措置・廃棄物処理プロジェクト部会

- ◎ 武 伸 五 月 (川 崎 重 工 業)
- 村 上 知 行 (富 士 電 機)
- 石 山 祐 二 (荏 原 製 作 所)
- 富 塚 千 昭 (富 士 電 機)
- 前 園 伸 也 (富 士 電 機)
- 蓮 沼 潤 一 (富 士 通)
- 名 塚 龍 己 (古 河 機 械 金 属)
- 金 澤 二 郎 (古 河 機 械 金 属)
- 角 田 俊 也 (川 崎 重 工 業)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)
- 鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)
- 沢 本 雅 弘 (双 日)
- 井 上 桂 一 (双 日)

品質保証部会

- ◎ 高 橋 正 昭 (富 士 電 機)
- 斉 藤 利 二 (川 崎 重 工 業)
- 江 川 裕 二 (荏 原 製 作 所)
- 梅 津 博 幸 (富 士 電 機)
- 新 田 和 彦 (富 士 電 機)
- 鈴 木 信 太 郎 (富 士 通)
- 長 浜 哲 志 (清 水 建 設)
- 石 黒 修 司 (双 日)

事 務 局

局 長 溝 口 忠 雄

FAPIG委員会および専門部会

(◎は委員長または部会長, ○は副委員長または副部会長)

企画委員会

- ◎ 尾 崎 博 (富 士 電 機)
 - 荒 井 正 幸 (荏 原 製 作 所)
 - 山 田 裕 之 (富 士 電 機)
 - 竹 辺 晴 夫 (〃)
 - 國 澤 有 通 (富 士 通)
 - 西 本 貞 矢 (古 河 電 気 工 業)
 - 大 田 彰 則 (古 河 機 械 金 属)
 - 松 並 清 隆 (川 崎 重 工 業)
 - 飯 田 浩 一 (み ず ほ 銀 行)
 - 加 納 茂 和 (清 水 建 設)
 - 片 岡 昇 (双 日)
 - 石 黒 修 司 (双 日)
 - 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- オ プ ザ ー バ ー
- 阿 部 修 一 (原 燃 工)

広報委員会

- ◎ 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- 倉 島 昇 (荏 原 製 作 所)
- 竹 辺 晴 夫 (富 士 電 機)
- 笹 野 貢 (富 士 通)
- 柴 原 資 典 (古 河 機 械 金 属)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 新 保 孝 之 (み ず ほ 銀 行)
- 酒 井 喜 則 (清 水 建 設)
- 村 野 博 一 (双 日)

原子力情勢調査部会

- ◎ 村 野 博 一 (双 日)
- 北 西 啓 一 (富 士 電 機)
- 羽 田 野 泰 彦 (荏 原 製 作 所)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
- 新 田 康 男 (清 水 建 設)
- 齋 藤 正 直 (清 水 建 設)

禁無断転載

FAPIG No.187

平成26年2月25日印刷

平成25年度 第2号

平成26年2月28日発行 (非売品)

発 行 所 第一原子力産業グループ事務局
〒100-8691 東京都千代田区内幸町2丁目1-1
双日(株)内
電 話 (03) 6871-4911

ホームページ: <http://www.fapig.com/>

編集兼発行人 溝 口 忠 雄

印 刷 所 ミ ズ ノ プ リ テ ッ ク (株)
〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2
電 話 (03) 5566-6677(代)

Ken Sato

Realities of Energy Management of Japanese Company, and Proposal of Maturity Model

FAPIG No. 187 pp.3~6 (2014)

Energy management is one of the most important agendas for business management. Here we show the result of enterprise questionnaire and the maturity model of the energy management conducted JEITA (Japan Electronics and information Technology Industries Association).

KEYWORDS : energy management, maturity model, ISO50001, EnPI, energy performance indicator

Masaaki Nakano, Yujiro Tazawa, Kazutaka Ohashi, Futoshi Okamoto

Core Design for Commercial-size High Temperature Gas-cooled Reactor

FAPIG No. 187 pp.13~17 (2014)

High temperature gas-cooled reactors (HTGR) have enhanced passive safety characteristics. Even if in the case of “station black out” where all electric power supplies are not available, HTGR can cool its decay heat from the core. In this paper, the core design and safety assessment are performed for commercial-size 600MWth prismatic type HTGR. Power density distributions in the core that are obtained with nuclear analyses are applied to temperature analyses in normal operation, and in the depressurization accident condition where no active cooling devices are assumed to work. In the results, the fuel temperature in the normal operation and the accident condition are satisfied its criteria respectively, that proves its superior safety feature without any active devices.

KEYWORDS : HTGR, core design, safety assessment, decay heat removal, passive safety

Tetsuaki Kawaguchi, Hideaki Noushi, Yukio Domeki, Osamu Maekawa

Establishment of the Remote Radiation Monitoring System in Environment for Local Municipalities

FAPIG No. 187 pp.18~22 (2014)

The Remote Radiation Monitoring System in Environment is the system that provides the general public with measurement data of ambient dose at the boundaries of monitoring areas surrounding a nuclear facility. The data measured and monitored continuously for 24 hours a day, 365 days a year is sent to key disaster- prevention facilities such as nuclear environmental monitoring facilities and off-site facilities administered by local municipalities, prefectural office and municipal office. Such dissemination of information enables local residents to obtain those data via websites, etc.

Fuji Electric has established the Remote Monitoring System in Environment that measures ambient dose in the entire area of Kagoshima prefecture. By multiplexing of satellite communication data transmission channel, ensuring backup power via emergency generator and multiplexing server system, the system is capable of responding to disasters, measuring continuously even at the time of large-scale disaster. Also, Fuji Electric has applied the latest IT technologies to the system. The following description includes installation of a large multiscreen LCD at disaster countermeasures office in the prefectural office, realization of outdoor monitoring task using a tablet type terminal device, and other technologies used for this system.

Ryo Chishiro, Satsuki Takenaka, Kouji Satoh

Production and Development of Incinerator System for the Great East Japan Disaster Waste

FAPIG No. 187 pp.23~27 (2014)

The Great East Japanese earthquake and tsunami generated a great deal of disaster wastes in Miyagi, Iwate and Fukushima prefecture, especially coast area.

In Miyagi and Iwate almost treatments of disaster wastes are currently about to be finished using some temporary incinerators.

On the other hand in Fukushima the wastes containing radioactive materials prevented treating in early-stage. Japanese government prepared the domestic law to support radioactive wastes treatment using incinerator. In 2014 they have the plan to install some incinerator within 20-km area and set out the treating operation.

Here we present our two incinerators installed in Miyagi and our R&D for treatment radioactive waste in Fukushima.

KEYWORDS : disaster waste, incinerator, waste treatment

Hirokazu Yamada, Shinji Sakurai, Shigetoshi Nakamura

Manufacturing of Divertor target for JT-60SA

FAPIG No. 187 pp.28~31 (2014)

The activity of “Broader approach (BA)” is carried out under the Japan-EU collaboration towards the early realization of nuclear fusion energy, and the construction of JT-60SA (Super Advanced) has been started as a part of BA.

Divertor target of JT-60 consisted of carbon fiber composite tiles bolted on heat sink plate. Due to extension of plasma heating power and pulse duration, divertor target for JT-60SA has to be changed to the concept of carbon fiber block jointed to cooling tube of Cu-alloy for active cooling.

Brazing joint between the carbon block and cooling tube is easy to cause joint defect due to the difference in the coefficient of linear expansion of a material. The joint defect reduces heat removal performance of the target.

On the occasion of the apparatus manufacture concerned, the structural improvement resolved those problems.

This paper reports the contents of a structural improvement in the divertor target manufacturing for JT-60SA, etc.

KEYWORDS : Plasma facing component, Divertor, Brazing, CFC

広く作品を募集しています！

『FAPIGギャラリー』では作品を広く募集しております。つきましては、下記にその募集要項をご紹介しますので、ご参照のうえご応募いただければ幸いです。

掲 載	平成26年度 7月発行 FAPIG誌 No.188 2月発行 FAPIG誌 No.189 本誌掲載後に、FAPIGホームページ内 FAPIGギャラリーに作品を転載します。
応募資格	FAPIG関係会社 社員および家族 (現役、OBは問いません)
内 容	油彩、版画、銅版画、水彩画、写真、書、陶芸、彫刻、イラスト等々 オリジナル作品に限ります。
問合せ先	出展形式や、応募方法の詳細などはE-MAILでお問合せください。 タイトル：FAPIGギャラリー作品募集 アドレス：fapig@sojitz.com 電 話：03-6871-4911

*募集要項は、状況により事前の予告なく変更する場合がありますので、あらかじめご了承ください。



FAPIGギャラリー

FAPIG広報委員会が推薦するアーティストの作品を展示する広場です。

鬼と聖者

日本における2月の2大イベント、節分とバレンタインデー。主役である鬼と聖者の対比を表現する。



雨水(うすい)

二十四節気の2番目(2月19日頃)。水瓶を持った氷像が溶け、双鱼と目が季節の変わり目を知らせる。

「2月の風物詩」～アクリル画

作者プロフィール

坂本 苑絵 Sonoe Sakamoto

川崎重工業 プラント・環境カンパニー社員。1984年北海道生まれ。

2009年入社。入社時より東海発電所のデコミ事業に従事し、女性技術社員として設計に務める。

主な活動履歴

学生の頃より、絵画やイラスト等ジャンルを問わずコンクールに出展。

1つの分野にとらわれず、水彩画やポスター、漫画にも活動を広げ、写実的なものからディフォルメまで幅広く活動する。和洋を織り交ぜた絵や、古典的なものからパソコン処理によるグラフィック、風景画や漫画的な表現など、古今東西のあらゆる技法を吸収し表現していくのを目標とする。

第一原子力産業グループ

The **F**irst **A**tomic **P**ower **I**ndustry **G**roup

株式会社荏原製作所

富士電機株式会社

富士通株式会社

古河機械金属株式会社

古河電気工業株式会社

川崎重工業株式会社

みずほ銀行

清水建設株式会社

双日株式会社