



# Tokyo 2020

〈みずほ〉は、JOC・JPC／東京2020  
ゴールド銀行パートナーとして、  
東京2020オリンピック・パラリンピックおよび  
オリンピック・パラリンピック日本代表選手団を  
サポートしていきます。



## FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2016 - 2 / 平成 27 年度 第 2 号

No.191

### 目 次

■ 海外事情	
インドネシアでの社会実証事業の取り組み	( 3 )
内田賢志	
■ 解 説	
2016 年の経済展望	( 8 )
泰松真也	
■ 紹 介	
車両側面測定支援モニタの開発	(14)
村田 靖 / 福田裕史 / 大木 靖	
医療放射線施設の遮蔽計算法	(20)
小迫和明	
■ 論 文	
開発途上国向け小型高温ガス炉の概念設計	(27)
大橋弘史 / 後藤 実 / 福家 賢 / 鈴木 哲 大橋一孝 / 岡本太志 / 毛利智聡 / 大橋準平	
■ グループ情報	
FAPIG 第 181 ~ 190 号総目次	(36)
FAPIG の機構	(44)

表紙デザイン：渡辺 望

# インドネシアでの社会実証事業の取り組み

## Demonstration Project Toward Low Carbon Society in Indonesia

内田賢志\*  
Kenji Uchida

### CONTENTS

- Overseas Information  
Demonstration Project Toward Low Carbon Society in Indonesia ..... (3)  
K. Uchida
- Commentary  
Economic Outlook for 2016 ..... (8)  
S. Yasumatsu
- Introduction  
Development of Vehicle Surface Contamination Monitor ..... (14)  
Y. Murata / H. Fukuda / Y. Ooki  
Method of Shielding Calculation for Medical Radiation Facilities ..... (20)  
K. Kosako
- Paper  
Conceptual Design Study of Small-sized  
High Temperature Gas-cooled Reactor for Developing Countries ..... (27)  
H. Ohashi / M. Goto / M. Fukuie / T. Suzuki  
K. Ohashi / F. Okamoto / T. Mouri / J. Ohashi
- Cover Design : Nozomu Watanabe

〔概要〕

新興国では、今後の急速な産業化、都市化の進展に伴い一層の化石燃料由来のエネルギー使用に伴う二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量の増加が見込まれている。しかし、地球規模での温暖化対策のためには新興国においても温室効果ガスの排出を抑えていくことが求められる。そこで、施設・地区・都市ごとのエネルギー消費量の信頼できる計測データを増やし、消費量を適正に制御するような仕組みにより、経済成長を進めながら、低炭素社会へと導く都市作りが重要なテーマとなってくる。富士通では、人口100万人以上の実際の都市、インドネシアのボゴール市において、富士通、富士電機が持つICT技術ならびに日本の国立環境研究所が持つシミュレーションモデルを用いて、新興国の都市のエネルギーをデザインする6年間の社会実証事業のプロジェクトの立上げを行い、運用を開始している。本稿では、インドネシアのボゴール市での社会実証事業の取り組みについて紹介する。

### 1. はじめに

2015年の気候変動枠組条約締約国会議 (COP) では、先進国、新興国、途上国、の首脳が一堂に会し、世界共通の長期目標として産業革命以前と比べて地球の平均気温の上昇を2℃のみならず1.5℃未満に抑える目標が言及され、公平かつ実効的な枠組みとなる「パリ協定」が採択された<sup>1)</sup>。一方、新興国では、今後の急速な産業化、都市化の進展に伴い一層の化石燃料由来のエネルギー使用に伴う二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量の増加が見込まれている<sup>2)</sup> (図1参照)。しかし、地球規模での温暖化対策のためには新興国においても温室効果ガスの排出を抑えていくことが求められる。そこで、施設・地区・都市ごとのエネルギー消費量の信頼できる計測データを増やし、消費量を適正に制御するような仕組みにより、経済成長を進めながら、低炭素社会へと導く都市作りが重要なテーマとなってくる。

本稿では環境省、国立環境研究所とともにインドネシアのボゴール市で取り組んでいる社会実証プロジェクトを例に今後の社会実証事業の展開について述べる。

### 2. 新興国での潜在ニーズ

#### 2.1. 学：環境分野を取り巻く変化とニーズ

地球温暖化の防止は、世界全体で取り組むべき重要な課題のひとつである。大気中における温室効果ガスの濃度の安定化を目標として1992年に採択された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) に基づき、気候変動枠組条約締約国会議 (COP) が1997年から毎年実施されてきた。第21回目となる2015年の締約国会議 (COP21) では、先進国、新興国、途上国、の首脳が一堂に会し、世界共通の長期目標として産業革命以前と比べて地球の平均気温の上昇を2℃の

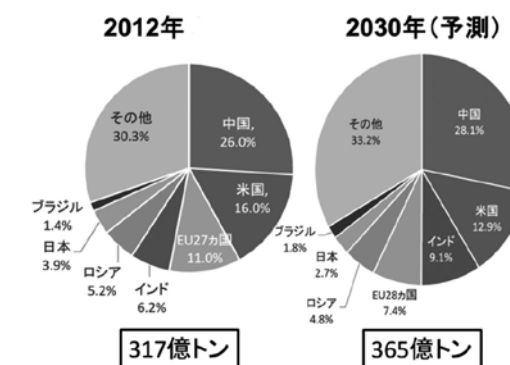


図1 世界のエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量の推移<sup>2)</sup>

\* 富士通(株) テクニカルコンピューティングソリューション事業本部 TCフロンティアセンター

みならず1.5℃未満に抑える目標が言及された。長期目標の実現に向け、すべての国が参加し、公平かつ実効的な枠組みとなる「パリ協定」が2015年12月12日に新たに採択された。一方、新興国では、人口の増加や経済成長に伴い急速な産業化、都市化が今後進み、化石燃料由来のエネルギー使用に伴う二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量の増加が一層見込まれている。このように地球温暖化対策を取り巻く環境の変化は、先進国のみならず、経済発展を続ける新興国にも大きな影響があり、新興国は、日本の優れた環境分野での研究や実績に大きな期待を寄せている。

## 2.2. 産：社会実証事業の市場の変化とニーズ

世界的には、スマートシティという計画で、社会実証事業が進められ、400を超えるプロジェクトが存在するといわれている。スマートシティのプロジェクトは、エネルギーという枠組みに止まらず、下水道、交通といったインフラをはじめ、行政、医療、教育サービスといった生活に必要な社会インフラまでも、ICTを利用し効率的に整備・運用する計画が進められている<sup>3)</sup>。有名な取り組み例としては、ゼロ・エミッションのエコシティを目指すアラブ首長国連邦(UAE)のマスダールシティ、オランダのアムステルダム市の再開発型スマートシティが上げられる。日本国内においても、内閣府地方創生推進室からの業務委託により、富士通総研が運営を進める環境未来都市<sup>4)</sup>をはじめ、横浜市、北九州市での社会実証事業の取り組みが有名である。このように世界各国で社会実証事業が進められ、その地域のニーズ、経済の成熟度などによって、様々な都市作りの取り組みが行われている。

一方、社会実証事業の取り組みを支えるエネルギー管理システムに着目すると、様々なソリューションがあり、多くの事業者が取り組んでいる<sup>5)</sup>。

BEMS (ビル用エネルギー管理システム)では、新設ビルの建築にあわせエネルギーの節約に対し、効果が生じやすい大型ビルを中心に、電気設備、セキュリティなどのビル管理システムとあわせて導入が進んでいる。米国のジョンソン・コントロールズ(Johnson Controls, 米国)、ハネウェル(Honeywell, 米)、ドイツのシーメンス(Siemens, 独)、フランスのシュナイダーエレクトリック(Schneider Electric,

仏)が4大事業者で、国内においては、アズビル、ジョンソン・コントロールズが2大事業者である。

HEMS (家庭用エネルギー管理システム)では、ハウスメーカーにおける積極的な導入もあり、パナソニック、コンバージ(Comverge, 米)が2大事業者である。

FEMS (工場用エネルギー管理システム)では、富士電機、東芝が国内において2大事業者である。

CEMS (地域エネルギー管理システム)では、BEMS, HEMS, FEMSに対し制御指令を発することにより地域全体のエネルギー管理を行う。日本国内では、横浜市、豊田市、けいはんな、北九州市におけるスマートコミュニティ大規模実証事業(次世代エネルギー・社会システム実証事業)をはじめ、世界的に実証が進められている段階である。東芝、トヨタ自動車、三菱電機、富士電機などスマートコミュニティ大規模実証事業によりCEMSの開発が進められている。富士通では、Enetune (BEMS用)、Enetune (HEMS用)、環境経営ダッシュボード(FEMS用)がビジネスを支える富士通のパッケージソフトウェアとして存在し、CEMS用としてのソフトウェア開発も進められている。

このように、エネルギー管理システムもBEMS, HEMS, FEMSなどの施設単位のものからCEMSなどの地域全体のエネルギーを管理するマネジメントシステムに変わりつつある。

一方で、海外で社会実証事業を進めるのにあたり、電気コンセント一つを例にとっても、形状、電圧、品質が国々で異なり、インフラ基盤自体がグローバルスタンダード化されていない現状がある。そのような状況の中で、他国で成功した社会実証事業のパッケージソフトウェア(BEMS, HEMS, FEMS, CEMS)をそのまま適用しようとしても、難しいことは容易に想像がつく。ハードウェアとセットにしたソリューションビジネスは、ハードウェア自体を他国の仕様に合わせ、ソフトウェアも改修し、現地仕様化への投資と輸出が必要となる。ましては、インフラ基盤が十分に整っていない新興国では、ニーズ自体、低価格志向のインフラ投資に注力される状況である。つまり、富士通のようにICTに特化したメーカーが新興国でのエネルギー分野のようなインフラ基盤における潜在的ニーズを予見的に捉え、

先行してソフトウェア開発を行うことで、地域全体のエネルギー管理を行う社会実証事業への進出、ならびに、日本のハードウェアベンダーへの製品フィードバックなど、ビジネスチャンスが潜んでいるものと考えられる。

## 2.3. 官：日本政府を取り巻く変化とニーズ

日本政府は、「美しい星」実現のため、東日本大震災および原発事故を乗り越えつつ、温室効果ガスの排出量を2050年までに世界全体で半減、先進国全体で80%削減を目指すという目標を掲げている。具体的には、エネルギー特別会計による革新的な技術開発(イノベーション)の促進、日本の誇る低炭素技術を普及させるための二国間クレジット制度の推進<sup>6)</sup>、国際的なパートナーシップの更なる強化、この三本柱をもって、外務省、経済産業省、環境省、共同で、攻めの地球温暖化外交戦略を掲げ、日本が先頭をたつて具体的なアクションを起こし、国際社会をリードしていく取り組みを行っている<sup>7)</sup>。そのため、温室効果ガス排出量の削減や環境改善を真に求める新興国では、日本政府とのパートナーシップの関係構築に大きな期待を寄せている。

## 3. プロジェクトの概要と特徴

### 3.1. プロジェクトの概要

本プロジェクトは、インドネシアのボゴール市を対象にプロジェクトを推進している。ボゴール市は、インドネシアの首都であるジャカルタから南に60km程度の内陸部に位置し、2012年の時点で人口が100万人<sup>8)</sup>を超える都市である。現在もなお人口が増加し続け、地理的にも山に囲まれており、都市化とともに低炭素社会へと導くためのモデルケースとして、エネルギー消費量の削減につなげられる可能性がある。本プロジェクトは、ボゴール市において、6年間の社会実証事業を通じ、経済発展を進めながら、低炭素社会へと導くための低炭素シナリオを明らかにしていくことで、エネルギー消費量を適正に制御する仕組み作りにつなげられる可能性がある。

### 3.2. プロジェクトの特徴

本プロジェクトは、富士通の環境経営ダッシュボード(FEMS用)のパッケージソフトウェアを使い、建屋とエネルギーの消費電力を表示するグラフ機能を活用し、HEMS, BEMS, FEMS, CEMS用に

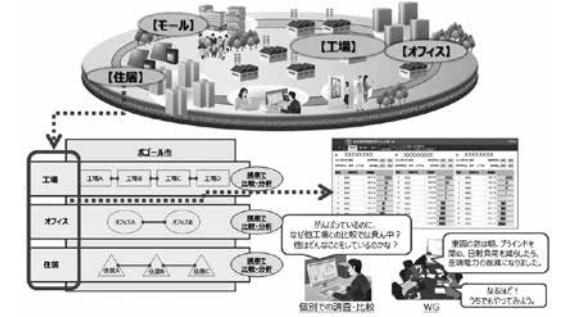


図2 プロジェクトの特徴

それぞれの用途に横串に使用できるよう、シンプルにエネルギーの見える化を実装している。図2のように、業種ごとではなく幅広い業種に対応する様々な機能を1つのパッケージソフトウェアで実装するアプローチは、地域全体に統一した価値を提供できるため、低炭素社会へと導く手法としては有効なアプローチではないかと考えている。

また、エネルギーの消費電力を計測する装置については、富士電機の電力センサーを活用した。富士電機は、インドネシアの工場において電力センサーを導入した実績を持ち、分電盤へのセンサーの取り付け工事から現地での運用サポートまで実施できる体制が整っており、導入から運用まで一括してサポートできる体制を有している。

また低炭素社会のシナリオ作りには、取得したデータから、国立環境研究所ならびに京都大学、みずほ情報総研が共同で開発したアジア・太平洋統合評価モデル(AIMモデル)<sup>9)</sup>を使用する。AIMモデルは、温室効果ガス排出(AIM/emission)モデル、グローバル気候変動(AIM/climate)モデル、気候変動影響(AIM/impact)モデルの3つの主要なモデルから構成され、地域における統合評価のプロセスを発展・促進するために開発された大規模なコンピュータシミュレーションモデルである。このAIMのコンピュータシミュレーションモデルを使用し、都市化とともに低炭素社会へと導くために必要な日本の革新的なエネルギー技術が盛り込まれたインフラ輸出シナリオを6年間の社会実証事業を通じ明らかにしていく特徴を有している。

4. プロジェクトの成果と価値

図3に社会実証事業を支える開発アプローチの体系図を示す。

4.1. 都市のエネルギー消費量の見える化

都市のエネルギー消費量が見える化機能の実装を行った。図4に実際にインドネシアのボゴール市で計測している施設において、消費されているエネルギー（電力）の情報をリアルタイム（1～5分程度の遅れは常に発生する）に表示しているスナップショット画面を示す。（スナップショット画面は、横軸、00:00-23:59分の1日分のデータ、縦軸、KWの値を表示している）

4.2. データ分析、省エネコンサル

図5に1週間分のデータを使って簡易分析した結果を示す。縦軸は、KWHである。オフィス、

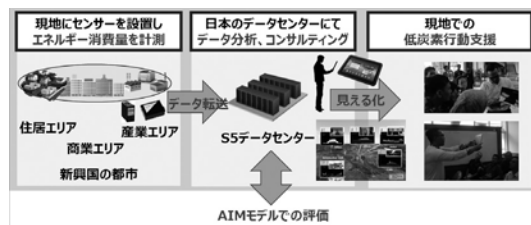


図3 社会実証事業を支える開発アプローチの体系図

カフェは営業時間中に電力が上がり、ホテルや住居は夜に電力が上がる傾向にあり、エアコンの動作が支配的である。表1に省エネコンサルの検討を行った結果を示す。

4.3. 低炭素行動支援

表1で洗い出した省エネコンサルの情報をもとに、現地の施設で低炭素行動につながる支援を実施した様子を図6に示す。また現地ボゴール市において、「Forum on Eco city Bogor through Green Innovation」のシンポジウムに参加し、地元メディアにも本システムが大きく取り上げられ、ボゴール市長とのミーティングを通じ、ボゴール市との低炭素社会の実現に向けて大きく前進することに成功した。

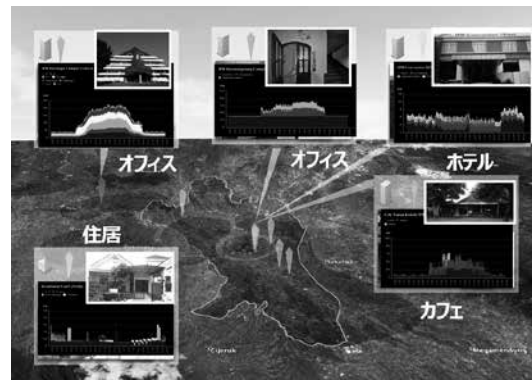


図4 都市のエネルギー（電力）消費量の見える化機能

表1 省エネコンサル一覧（例）

施設	良い点	改善点
住居	必要な時に電気を使用している傾向にあり、細目に電気を消している	夜間エアコンを付けたまま寝る傾向にあるため、設定温度の変更や扇風機を使用すると良い
オフィス	必要な時に電気を使用している傾向にあり、細目に電気を消している	個人によって省エネ意識が異なるため、ルール作りを行うと更なる改善が見込める
ホテル	施設管理者が体感温度に応じ、エアコンの設定温度やOff/Onを実施している	複数台あるエアコンの内、効率の良いエアコンを主に使用すると更なる改善が見込める
カフェ	部屋にしきりをつくり、来客数に応じて、使用する部屋を制限している	複数台あるエアコンの内、効率の良いエアコンを主に使用すると更なる改善が見込める



図6 現地での低炭素行動支援の様子

言語、文化、習慣が異なる中、様々な困難をあきらめずに乗り越えてきた。その結果、インドネシアのボゴール市のシンポジウムで日本の技術を現地関係者に説明することができ、ボゴール市との強い協力関係を結びつけることに成功した。本プロジェクトを粘り強く推し進めた関係者ならびにインドネシアの関係者の方々、全員に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本政府代表团, “国連気候変動枠組条約第21回締約国会議 (COP21), 京都議定書第11回締約国会合 (CMP11) 等 概要と評価”, 環境省 <http://www.env.go.jp/press/101818.html>
- 2) 大井通博, “COP20の成果とCOP21への展望”, 気候変動の科学とわたしたちの未来, 2014-12-25. [http://www.iges.or.jp/files/research/natural-resource/PDF/20141225/20141225\\_IPCC\\_MOEJ.pdf](http://www.iges.or.jp/files/research/natural-resource/PDF/20141225/20141225_IPCC_MOEJ.pdf)
- 3) 井水治博, “スマートコミュニティの本”, 初版, 日刊工業新聞社, 2012, P.144
- 4) 「環境未来都市」構想, “環境未来都市”, 株式会社富士通総研 <http://future-city.jp/>
- 5) 柏木孝夫, “中間とりまとめ”, エネルギービジネス戦略研究会 [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/energy\\_system/pdf/007\\_04\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_system/pdf/007_04_01.pdf)
- 6) JCMの解説, “二国間クレジット制度”, 新メカニズム情報プラットフォーム [http://www.mmechanisms.org/initiatives/jcm\\_detail.html](http://www.mmechanisms.org/initiatives/jcm_detail.html)
- 7) 美しい星への行動, “攻めの地球温暖化外交戦略”, 外務省, 経済産業省, 環境省, 2013-11. <http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000019458.pdf>
- 8) Statistics Bogor City, “Bogor City in Figures”, インドネシア中央統計庁 <http://bogorkota.bps.go.id/>
- 9) AIM, “AIMモデルについて”, 国立環境研究所 [http://www.iam.nies.go.jp/aim/about\\_us/index\\_j.html](http://www.iam.nies.go.jp/aim/about_us/index_j.html)

4.4. 社会実証事業のソリューションの価値

社会実証事業のソリューションアプローチは、新興国の都市のニーズ分析からはじまり、ソフトウェア開発、ハードウェア製品適用、データ分析、省エネコンサル、低炭素行動支援による現地トレーニング、低炭素社会のシミュレーション技術、6年間のトータルソリューションが求められる。そのため、日本の産学官が一体となったプロジェクトの推進が必要となり、日本の革新的なエネルギー技術をインフラ輸出するシナリオを作成し、二国間クレジット制度の活用とともに、新興国におけるエネルギー需要の緩和策支援に結びつけていくことが本プロジェクトのソリューション価値になるものと考えている。

5. おわりに

本プロジェクトは、2015年3月から運用を開始している。プロジェクトの立ち上げには、日本のみならずインドネシアの方々、多くの関係者を巻き込み、

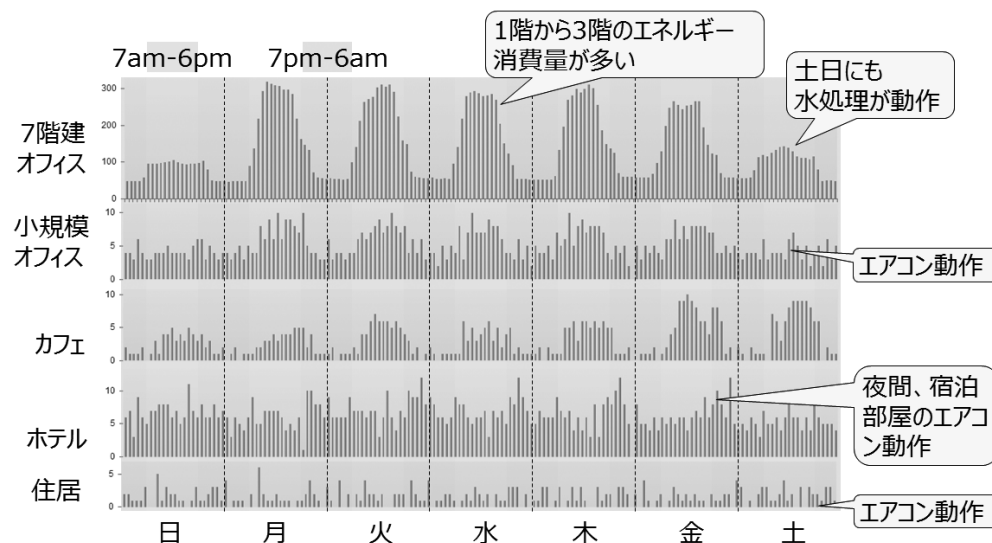


図5 1週間分のデータを簡易分析した結果

# 2016年の経済展望

## Economic Outlook for 2016

泰 松 真 也\*  
Shinya Yasumatsu

### 〔概 要〕

堅調な回復が見込まれた2015年の日本経済だが、期待外れの結果に終わった。新興国経済の減速に加え、先行き不透明感から家計や企業が様子見姿勢を強めたことが背景にある。好調な企業業績や雇用情勢の改善を受けて、こうした様子見姿勢も緩和するとみられるが、地政学リスクや米利上げを受けた新興国からの資金流出など世界経済を巡る先行き不透明感は依然として強い。また2016年は消費増税の最終判断をする年となるだけに、成長戦略をさらに推し進め、増税に耐えうる力を身に着けることが重要となる。本稿では、2015年の世界経済・日本経済を振り返ると共に、途切れかけた景気拡大の好循環を勢いづけることができるのか、「新3本の矢（アベノミクス2.0）」の評価と合わせ2016年の日本経済を展望することにしたい。

### 1. 2015年日本経済の回顧

#### ～回復期待とは裏腹に伸び悩んだ日本経済

2015年の日本経済は、中国などの新興国を中心とした海外経済の減速などによる下押し圧力を受けたこともあり、春先から夏場にかけて回復の動きが足踏みした。年初はIT関連輸出の好調や設備投資の集中などから高めの成長となったが、4～6月期に入ると、1～3月期の高成長の反動に天候不順の影響などが重なった結果、日本経済は3四半期ぶりのマイナス成長に陥った。7～9月期についても、在庫調整の動きが継続したことや海外経済の減速を受けて企業の設備投資への慎重姿勢が強まったことなどから、景気の低迷が続くこととなった。2015年は、年初の段階では円安・原油安の恩恵もあり回復が見込まれたが、実績は事前の期待を大きく下回るものといえる。

2015年の景気が足踏みした要因を詳しく検討すると以下のような点が挙げられる。

第一に、中国などの新興国経済減速による日本経済へのマイナス効果の波及が、間接的影響を含めるとかなり大きかったとみられる。日本の輸出を仕向地別にみると、2015年は中国向けだけでなく、中国以外のアジアや米国向けも弱い動きとなった。中国経済の減速がアジア地域全体の貿易減

少につながったようだ。また、米国については、原油安に伴うエネルギー産業の投資抑制やドル高による製造業の悪影響が大きかった模様である。中国減速を背景にした資源価格の下落がカナダ、ブラジルなどの減速をもたらし、それが米国製造業の下押し圧力になった面もある。

第二に、海外経済の減速に伴う輸出の弱さから、企業の設備投資に対する様子見姿勢が強まったことが挙げられる。2015年度の設備投資計画は、製造業を中心に高めの伸びが計画されていた（日銀短観12月調査では、大企業・製造業が前年比+15.5%を計画）。しかし、足元までの進捗は年度計画を下回るペースとなっており、設備投資に対する様子見姿勢が鮮明となっている。設備投資の先行指標となる機械受注はようやく持ち直しに転じたとはいえ、未だ力強さに欠ける状況が続いており、設備投資の回復にはもうしばらく時間がかるとみた方がよいだろう。

第三に、リーマン・ショック以降に実施されたエコポイントやエコカー補助金などの政策対応による需要先食いの影響が、個人消費の下押し圧力となっているようだ。事実、家計の保有する耐久消費財のストックは、2009年頃から、それまでのトレンドを上回るペースで増加した。その反動としてストックの伸びを抑制する動きが、2015年に

かけて強まった模様である。

以上の下押し圧力の影響で2015年の景気には足踏みがみられたが、このまま景気の腰折れに繋がるとはみていない。円安・原油安の恩恵やインバウンド消費の取り込みなどによって企業業績の堅調さが維持されており、労働需要も高い状態が続いているからだ。実際、海外経済の先行き不透明感が高まっているものの、企業収益は過去最高益を更新中である。また、秋口以降は個人消費や輸出に持ち直しの動きがみられるほか、生産も10-12月期は3四半期ぶりの増産が見込まれるなど、底入れの兆しが表れている。

### 2. 2015年の海外経済

#### ～揺らぐ新興国の成長神話。世界経済はけん引役交代の端境期

2015年の海外経済は、過剰債務調整を終えた米国やユーロ圏が底堅く推移する一方、中国をはじめとした新興国・資源国の不振が目立った。新興国の減速は、年初からある程度想定されていたとはいえ、そのペースは資源国を中心に予想を上回るものとなった。とりわけ、中国やブラジル、ロシアなど、かつて世界経済のけん引役と期待された国々の減速ぶりは深刻だった。われわれは、こうした新興国不振の背景に、金融危機以降に積み上がった過剰債務の調整があるとみている。金融危機で先進国経済が瀕死の状況下、世界経済を救ったのが中国やブラジルといった新興国だった。しかし、それは信用膨張によって生み出されたものであり、今そのツケを払う局面に差し掛かったという見立てである。ただ世界経済にとっての朗報は、バブルの後遺症に苦しんできた先進国が、金融危機から7年を経てようやく正常化しつつあることだ。高成長に沸いた新興国が成長の壁に直面する一方、長年バランスシート調整に苦しんでいた先進国が再び表舞台に登場する、いわば今は世界経済の主役が交代する「端境期」といえる。端境期とは、何かと懸念材料が多いものだ。先進国が本当に新興国の減速を補って余りあるだけの成長を実現できるのか、新興国経済がもう一段下振れするリスクはないのか、また新興国の中には政治基盤が盤石といえない国が多だけに景気失速に伴う政治的不安定化など、懸念材料を挙げればきりが

ない。現在の不安定な市場動向はまさにこうした市場の懸念を反映したものと理解している。

以下、各国・地域別の状況についてみてみることにしたい。

米国経済は、年初に寒波の影響などから停滞したものの、春先に回復軌道に復して以降は堅調なペースで成長した。ドル高や海外経済の減速を背景に輸出は伸び悩んだが、労働市場の改善に支えられた個人消費の強さが景気拡大のメインドライバーとなった。労働市場に関する指標では、失業率の改善だけでなく、長期失業などの失業率では捉えきれない「雇用の質」に改善がみられるほか、賃金も伸びが加速する気配がうかがえるようになるなど自律回復の様相を強めている。

ユーロ圏は、原油価格の下落に加え、低金利や財政緊縮規模の縮小が追い風となり、個人消費を中心に回復が続いた。ただし、新興国景気の弱さが輸出回復の重石となったほか、設備投資が本格回復に至らなかったことから、景気回復は緩やかなペースにとどまった。

中国経済は、強い景気下押し圧力を受けたものの、景気対策の強化により成長率は「+7.0%前後」とされる政府目標の範囲内での低下にとどまった。景気減速の主因は、生産能力過剰問題や不動産市場の調整などによる投資の伸びの鈍化である。また、世界経済の回復力の弱さに賃金上昇などによるコスト競争力の低下が加わり、輸出も低調だった。このように自律的な回復力が弱いにもかかわらず、減速が小幅にとどまったのは、中国政府がインフラ投資計画の承認加速やそれに関わる資金調達支援策の強化、金融緩和などを図ったためだ。

中国を除くアジア地域も、総じてみれば輸出不振を主因に、景気は減速基調で推移した。主要輸出先の景気回復力が弱いことや、前半に実質為替レートが高止まりしたことなどが下押し要因となった。中期的要因としては、世界金融危機以降の世界的な投資の減速なども、資本財や中間財が大部分を占めるアジア諸国の輸出の重石となった。

また、ロシアは個人消費の減少を主因に大幅なマイナス成長となった。最大の輸出品である原油価格の下落や経済制裁の発動を受けてルーブルが下落、輸入物価を中心にインフレ率が高進したこ

\* みずほ総合研究所(株)

表1 世界経済予測(2015年12月8日公表)

(前年比%)

暦年	2013年 (実績)	2014年 (実績)	2015年 (予測)	2016年 (予測)
予測対象地域計	3.3	3.5	3.1	3.4
日米ユーロ圏	0.8	1.5	1.8	1.9
米国	1.5	2.4	2.4	2.5
ユーロ圏	▲0.2	0.9	1.5	1.4
日本	1.4	▲0.0	0.6	1.0
アジア	6.4	6.3	6.2	6.1
中国	7.7	7.3	7.0	6.7
NIEs	2.9	3.4	2.0	2.4
ASEAN5	5.1	4.6	4.6	4.4
インド	6.4	7.1	7.4	7.7
オーストラリア	2.0	2.6	2.3	2.6
ブラジル	3.0	0.1	▲3.7	▲2.5
ロシア	1.3	0.6	▲4.1	▲0.4
日本(年度)	2.0	▲1.0	1.0	1.5
原油価格(WTI, \$/bbl)	98	93	49	52

(注) 予測対象地域計はIMFによる2012年GDPシェア(PPP)により計算。

(資料) IMF, みずほ総合研究所

とが個人消費に影響したとみられる。中南米も資源価格の下落による交易条件の悪化などを背景に、成長ペースが一段と鈍化した。域内GDPの4割を占めるブラジルは、財政・金融引き締めの影響もあり、景気後退に陥った。

### 3. 2016年の世界経済は新興国の下振れ リスクに留意

2016年にかけての世界経済は、先進国を中心に持ち直す見込みだが、新興国の低迷が続く中で、回復のペースは緩慢なものにとどまるだろう。

2016年の成長率(みずほ総合研究所予測対象の国・地域加重平均ペース)は、前年比+3.4%と、2015年見込みの同+3.1%から0.3%ポイント拡大するとみている(表1)。ただし、拡大の要因としては、資源国が大幅なマイナス成長からマイナス幅が縮小するため、この影響を除くと改善のモメンタムが強まるとみているわけではない。主要国の概要は以下のとおりである。

米国は着実な拡大が続くとみている。経済の7割を占める個人消費が堅調に推移するほか、企業の設備投資も増勢を強めるとみられることが理由である。それを受けて米連邦準備制度理事会(FRB)も、緩やかなペースでの利上げを継続する

見通しだ。ユーロ圏は緩やかな回復と低インフレが続くとみている。欧州中央銀行(ECB)は2015年12月に追加緩和を打ち出したが、インフレ目標達成のために年内にも更なる追加緩和に踏み切る可能性がある。新興国は世界経済に対する牽引力が乏しい状況が続く、特に中国は2015年末にかけていったん持ち直すものの、2016年以降は再び減速基調に戻る見込みである。その他新興国の回復テンポは弱く、特にロシアやブラジルは2年連続のマイナス成長を余儀なくされるだろう。

2016年にかけて最も懸念されるリスクは、中国を中心とした新興国・資源国経済の下振れである。中国はストック調整下にあるとともに、生産年齢人口もピークアウトしており、ともすれば景気の減速圧力が強まりやすい状況にある。中国経済の減速は主に3つのチャネルを介して、新興国・資源国経済を下振れさせるとみられる。1つ目は貿易を介したチャネルで、対中輸出依存度の高い国はもちろん、更にそうした国向けの輸出も減少することで影響は世界的に増幅される。みずほ総合研究所の試算では、世界経済が貿易を介して受ける中国経済減速の影響は、2000年と比較して2014年には3倍に膨らんでいる。2つ目は資源を介したチャネルで、中国経済の減速による資源需要の

減退観測が資源価格の下落につながり、資源国の景気下押し圧力となる。3つ目は金融を介したチャネルで、米国の利上げ観測といった要因も加わって、新興国からの資金流出圧力が強まれば、通貨安によるドル建て債務の負担増やインフレ圧力、更には信用不安の高まりにつながるリスクもある。こうした3つのチャネルを考慮したモデルで中国経済の減速の影響を試算したところ、資源国や一部のアジアの国々においては中国以上の景気下振れになるとの結果が得られた。2016年にかけてのメインシナリオは世界経済の緩やかな回復だが、中国経済の下振れが新興国や資源国経済の悪化につながるリスクには相応の警戒が必要だろ

う。その場合は、米国の利上げが先送りになる一方、先進国を含めた世界経済全体の減速に波及するリスクがある。

### 4. 2016年の日本経済は回復軌道に復するも、 回復ペースは緩慢

2016年の日本経済は、企業業績や雇用情勢の改善に支えられ回復軌道に復するとみられるが、そのペースは緩やかになる可能性が高い。

主要項目別にみると、輸出は欧米経済が回復基調を維持することで持ち直しの動きが継続するとみている。ただし、中国経済については、一時的にインフラ投資による下支えは期待できるもの

表2 日本経済予測(2015年12月8日公表)

(単位: %)

	2014年度 (実績)	2015年度 (予測)	2016年度 (予測)	2014年度		2015年度		2016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)
実質GDP	▲1.0	1.0	1.5	▲3.2	1.3	1.1	0.5	1.4	2.3
国内需要	▲1.5	0.9	1.4	▲4.7	0.6	1.4	0.1	1.4	2.8
民間需要	▲1.9	0.9	1.8	▲5.8	0.5	1.4	0.4	1.7	3.3
個人消費	▲2.9	0.4	1.8	▲7.2	1.0	▲0.4	1.3	1.1	3.5
住宅投資	▲11.7	2.0	3.8	▲23.8	▲6.4	9.2	▲3.4	5.7	7.3
設備投資	0.1	1.8	3.0	▲4.4	2.8	0.7	3.2	2.9	3.0
公的需要	▲0.3	0.6	0.4	▲1.2	0.7	1.5	▲0.7	0.3	1.2
政府消費	0.1	1.2	1.0	▲0.4	1.2	1.4	0.8	1.0	1.2
公共投資	▲2.6	▲1.1	▲2.7	▲5.2	▲1.4	2.9	▲7.2	▲3.0	1.2
純輸出(寄与度)	0.6	0.1	▲0.0	0.9	0.4	▲0.4	0.3	0.1	▲0.5
輸出	7.8	1.6	4.3	8.2	9.6	▲4.1	6.1	3.8	3.4
輸入	3.3	1.0	4.1	▲2.0	4.5	▲1.9	3.6	3.3	6.1
名目GDP	1.5	2.5	2.1	0.7	2.9	2.8	1.7	2.0	2.4
GDPデフレーター	2.5	1.5	0.6	2.2	2.9	1.6	1.4	0.8	0.3
鉱工業生産	▲0.4	▲1.0	2.8	▲2.6	0.8	▲1.3	0.0	1.6	2.1
完全失業率	3.5	3.3	3.2	3.6	3.5	3.4	3.2	3.2	3.2
経常収支(兆円)	7.9	17.1	16.3	2.6	13.1	15.8	18.1	18.3	14.2
国内企業物価	2.8	▲2.4	0.6	4.2	1.5	▲2.9	▲1.8	0.1	1.2
消費者物価(除く生鮮食品)	2.8	0.1	1.1	3.2	2.4	0.0	0.2	0.8	1.3
消費者物価(同上、除く消費税)	0.8	0.1	1.1	1.3	0.4	▲0.0	0.2	0.8	1.3
消費者物価(除く食料(酒類除く)およびエネルギー、除く消費税)	0.5	0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.8
長期金利(%)	0.48	0.40	0.55	0.56	0.39	0.40	0.34	0.50	0.58
日経平均株価(円)	16,273	19,800	21,500	15,106	17,440	19,730	19,900	21,300	21,800
為替相場(円/ドル)	110	123	127	103	117	122	125	126	127
原油価格(WTI,ドル/バレル)	81	49	54	100	61	53	46	52	55

(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。経常収支の半期は季調値・年率換算値。

(注3) 国内企業物価、消費者物価の半期は前年比変化率。

(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」

の、中長期的な減速は避けられない。中国経済の減速は間接的影響も含めると、引き続き日本の輸出回復の重石になると考えられる。設備投資は、堅調な業績を背景に、企業の慎重姿勢が徐々に緩和し、更新投資などが再び顕在化してくるとみている。もっとも、稼働率が依然として低水準にとどまっていることから、増産投資の本格的な拡大は見通し難い。個人消費についても、雇用情勢の改善が支えとなるが、耐久消費財のストック調整はしばらく続くと考えられ、力強い伸びは期待できないだろう。

以上のことから、2016年の成長率は、前年比+0.9%と、2015年見込み(同+0.6%)から小幅の拡大にとどまるとみている。なお年度ベースでみた場合、2017年4月に予定されている消費増税前の駆け込み需要が特に年度後半にかけて顕在化することで、個人消費や住宅投資の伸びが高まるだろう。その結果、年度では前年度対比+1.5%程度の成長を予測している(表2)。

物価動向に目を転じると、アベノミクスの重要課題の1つである物価目標の達成に向けて、緩やかではあるが、着実な進展が見込まれる。2015年のコアインフレ率(生鮮食品を除く総合消費者物価指数)は、原油安の影響でゼロ近傍の推移となった。一方、2016年入り後は原油安の下押し圧力がはく落するとともに、円安による食品価格などの押し上げが続くことで、コアインフレ率は徐々に上昇していきだろう。みずほ総合研究所では、2016年後半には、コアインフレ率は1%台前半まで上昇するとみている。

ただし、物価目標の安定的な達成には、インフレを上回るペースでの賃金上昇が求められる。賃金上昇率がインフレ率を下回れば、家計の実質所得が目減りし、個人消費の抑制を通してインフレの下押し要因となるためだ。みずほ総合研究所では、政府が「官民対話」などの場で賃上げ要請を続けている点も踏まえて、2016年の春季賃上げ率は2.50%(2015年:2.38%)と、前年に比べ小幅上昇すると予想している。その場合、定期昇給分(1.8~2.0%程度)を除くベースアップ分は、0.5~0.7%程度と計算される。2016年後半に予想される1%台前半のインフレ率に対して、賃金の伸び

はやや物足りないペースにとどまる見込みである。賃上げ率の上昇は、物価目標の達成に向けた着実な進展といえるが、インフレ率2%の定着には更なる時間を要するだろう。

日銀は、現在のところエネルギーなど短期的な物価押し下げ要因を除く「物価の基調」が着実に改善しているとの見方を示しており、金融緩和の効果を見極めるスタンスを維持している。もっとも、中国など新興国経済減速の影響から企業マインドが下振れれば、日銀が描く賃金上昇を安定的な物価上昇につなげる好循環シナリオは崩れてしまう恐れがある。そうしたリスクの顕在化を防ぐため、日銀は2016年前半に追加緩和を行う可能性が高いと予想している。

## 5. 経済好循環の後押しなるか？

### 試される「アベノミクス2.0」の実行力

2016年1月で安倍政権誕生から丸3年が経過した。この3年間、アベノミクスは相応の成果を上げてきた。輸出企業を苦しめてきた超円高は解消され、株価は一時2万円の大台を回復、実体経済でも有効求人倍率が1992年以来23年ぶりの水準まで改善するなど日本経済は再生に向けて着実に歩を進めている。ただ同時に、2015年は日本再生が一筋縄ではいかないことをあらためて痛感する1年であったのも事実だ。既に述べた通り、2015年の日本経済は回復期待とは裏腹に低迷を続けた。海外経済減速という逆風があったにせよ、個人消費や設備投資が思いのほか伸びなかったことが誤算だった。環境が変わっても、失われた20年でしみついたデフレ・マインドの払しょくには相当の時間がかかるということだろう。

こうした中、安倍政権は「一億総活躍社会」というスローガンのもと、少子高齢化に真正面から取り組むべく、アベノミクスの改訂版となる「新3本の矢」を発表した。そこでは、①希望を生み出す強い経済(2020年頃に名目GDP600兆円)、②夢を紡ぐ子育て支援(2020年代半ばに出生率1.8)、③安心につながる社会保障(2020年代初頭までに介護離職ゼロ)からなる3つの政策目標を設定、既に目標実現に向けた取り組みが始まっている。実際、2015年9月の内閣改造で新たに担当大臣が

置かれたほか、11月には関係閣僚や有識者から成る国民会議によって、早急にとるべき施策を盛り込んだ「一億総活躍社会の実現に向けて緊急に実施すべき対策」が取りまとめられた。その中身は、年率3%程度を目途とした最低賃金の引き上げや、合計100万人分の保育・介護施設の整備など、全体として相当に踏み込んだ意欲的な内容となっている。

緊急対策に掲げられた諸施策については、財政健全化とのバランスを考慮しながらも、2015年度補正予算や2016年度予算において重点的な予算配分が講じられることとなっており、12月には「一億総活躍社会の実現に向けて緊急に実施すべき対策」の費用1.2兆円を含む、3.5兆円の2015年度補正予算案が閣議決定された。この補正予算が成立すれば、2016年度の成長率はおよそ0.3%押し上げられる計算だ(本押し上げ効果は、上記成長率予測に織り込んでいない)。

また、2016年は政府が消費増税を2017年4月に予定通り実施するかどうかの判断も迫られることになる。安倍首相は、リーマン・ショックのような経済危機や大規模災害が生じない限り、増税を予定通り実施するとの姿勢を示しているが、景気の力強さに欠ける状況が続けば、日本経済が再度の消費増税に耐えられるのか、疑問の声が高まることとなるだろう。そうした事態に備え、既存の成長戦略をさらに推し進め、増税に耐えうる力を

身に着ける手立てを用意することが重要となる。その点においては、2015年10月に大筋合意した環太平洋経済連携協定(TPP)の速やかな発効が待たれるところだ。世界経済の約4割を占める巨大経済圏で、ヒト・モノ・カネが活発に行き交う状況になれば、優れた技術やノウハウを有する日本経済にとって必ずや追い風になろう。世界銀行の試算によると、TPPによって2030年の日本のGDPは2.7%押し上げられるそうだ。

2016年の干支は「丙申(ひのえさる)」である。「丙」は、「明らか」や「強い」という意味があり、「甲」で芽を出し、「乙」で伸び悩んでいた陽気がより盛んになり、その姿がはっきりした状態になることを表す。また、「申」は「伸びる」という意味があり、物事や新しい動きが伸長していく様子を指しているそうだ。これらに基づけば、2016年は、一昨年、昨年からの流れが一段と発展していくとともに、新しい動きも伸展していく年ということになる。既に指摘したが、この3年間で日本経済は着実に変わりつつある。海外経済の先行きが見通しにくい状況下ですぐさま結果が伴うとは思わないが、「新3本の矢」という新たな後押しを受けて、日本経済がデフレから完全に脱却し、着実な成長軌道に乗ることができるような、明るい兆しがいろいろな形で見えてくる年になるよう期待している。

# 車両側面測定支援モニタの開発

## Development of Vehicle Surface Contamination Monitor

村田 靖\* 福田 裕史\*\* 大木 靖\*\*\*  
Yasushi Murata Hiroshi Fukuda Yasushi Ooki

### 〔概要〕

東京電力株式会社 福島第一原子力発電所では、東日本大震災による事故からの収束および廃炉措置が継続されており、この復旧工事のため物品、資材搬入用の多数の作業車両が発電所構内へ入構している。これら入構車両の構外退出時に放射性物質による汚染がないことの確認（スクリーニング）作業が必要となるため、車両の内外を人手によりGM管検出器サーベイメータを用いて全車両の汚染確認を行なっている。この汚染スクリーニング作業の効率化および測定精度の向上を図るため、富士電機では、車両側面部の測定を対象とした車両側面測定支援モニタを開発し、東京電力株式会社に納入したので、仕様および特長について紹介する。

### 1. はじめに

現在、福島第一原子力発電所では、構内全域が放射性物質の濃度を管理する区域（以下、管理区域）として設定されており、管理区域である構内から非管理区域である構外へ退出する作業員、物品および車両については、全て放射性物質による表面汚染を測定し、有意な汚染がないことを確認する汚染スクリーニングの実施が必要となっている。

工事量の増加ともに入構車両が増加し、大型車両だけで約200台/日（納入当時の平成25年）のスクリーニング測定を行っていた。

作業員および持ち品（携行品）のスクリーニング測定については、専用の体表面モニタおよび携行品モニタが設置され自動測定が可能であったが、車両については、全て人手作業によりGM管サーベイメータで表面汚染の測定を行っていた。側面、前面、後面およびタイヤ廻りに加えて車内も対象であり測定対象が広範囲であるため、車両のスクリーニングには大量の人員投入が必要となっていた。また、退構車両が集中する時間帯には一時的な渋滞が発生し、車両運転者の負担になっていた。

富士電機は、車両スクリーニング作業の自動化を実現すべく、平成24年2月頃より東京電力株式会社と協議を重ね、車両側面測定支援モニタを開発、

納入した。これは、人手によるスクリーニング作業で最も負荷が大きい大面積部の車両側面部の測定をターゲットとし、スクリーニング作業の正確性と効率化の効果を狙うと共に早期運用開始のニーズに応えるものである。

本モニタは、平成25年2月に構内車両検査場での運用を開始している。

本稿では、本モニタの仕様および特長について紹介する。外観を写真1に示す。



写真1 車両側面測定支援モニタの全景

\* 富士電機(株) 東京工場 装置設計部 機構設計課

\*\* (株)バンザイ 技術部 開発課

\*\*\* 富士電機(株) 放射線システム部 技術第二課

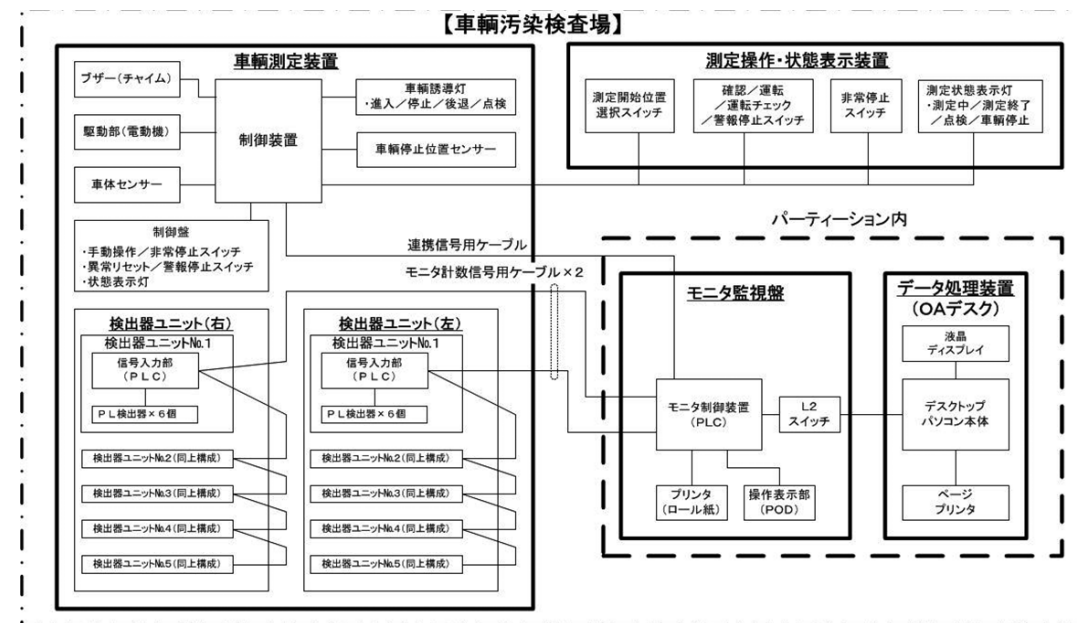


図1 構成図

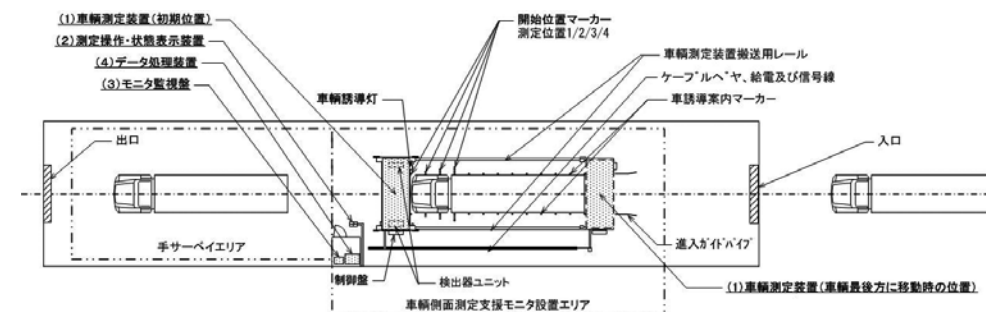


図2 レイアウト図

### 2. モニタの概要

#### 2.1. 構成

本モニタは、車両測定装置、測定操作・状態表示装置、モニタ監視盤およびデータ処理装置で構成されている。図1に構成図、図2にレイアウトを示す。

##### (1) 車両測定装置

検出器ユニットを左右に収納し車両側面部の表面汚染測定を行う。

車両の前方から後方への移動は、敷設されているレール上を走行、移動する自走式であり、検出器ユニットは、車両側面との距離に応じて、側面方向へ移動する。

車両の後端検知、側面表面の検知には、光学式ビームセンサーなどを用い装置の移動制御を行なっ

ている。

##### (2) 測定操作・状態表示装置

車両出口側にスタンド型の測定操作・状態表示装置を設置し、測定開始および終了のスイッチ操作、および装置の状態を大型高輝度表示灯の点灯で係員と運転者に示すものである。外観を写真2に示す。



写真2 測定操作・状態表示装置

(3) モニタ監視盤・データ処理装置

モニタ監視装置のプログラブルコントローラ(PLC)で検出器ユニットからの出力信号を入力し、表面汚染密度演算および警報判定を行う。

データ処理装置は、デスクトップパソコンとプリンタなどで構成され、モニタ監視盤から受信する測定データおよび警報情報について、画面表示、保存および帳票出力を行う。外観を写真3に示す。

2.2. 測定動作

(1) 測定手順

測定の流れ、手順を以下に示す。

①車両測定装置と測定操作・状態表示装置の表示

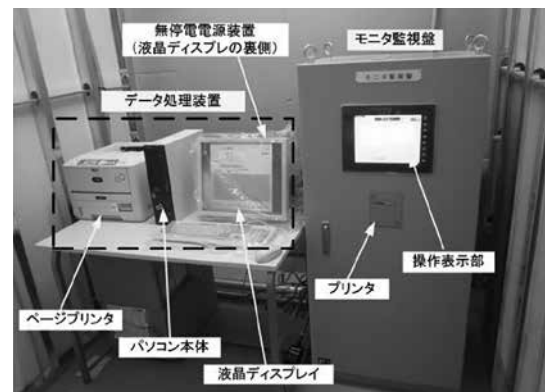


写真3 モニタ監視盤・データ処理装置

灯の点灯、および係員の指示により、モニタ内へ車両が進入し、基準停止線で停止する。

②係員が測定操作・状態表示装置で車両の形状に応じた測定開始位置を選択した後、測定開始操作を行う。

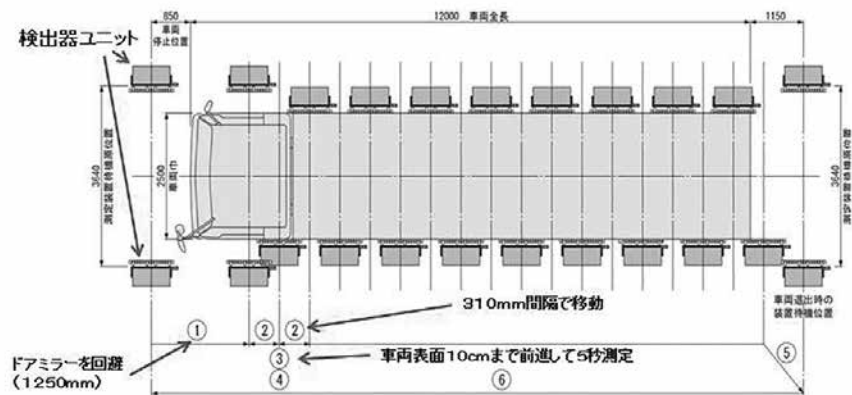
③車両測定装置が測定開始位置に移動し、測定を開始する。車両後端部まで移動しながら測定を繰り返す。

④車両の後端部まで測定が終了すると、側面部以外を手で測定するため手サーバイエリアに係員の案内で車両を誘導する。

⑤係員が測定操作・状態表示装置で測定終了操作を行うことで、車両測定装置が初期位置に復帰し、次車両の測定が可能となる。

(2) 測定動作

車両側面部の測定は、検出器ユニットを移動させながら連続して測定する連続測定式、並びに検出器の有感長(310mm)の間隔で検出器ユニットを移動させ、検出器が停止した位置で測定するステップ送り式の2方式がある。測定精度が良いこと、検出器ユニットの接触による車両表面を傷付けるリスクを低減させることを考慮し、ステップ送り式を採用した。図3にステップ送り式の動作概要を、写真4に測定動作時の外観を示す。



検出器ユニットをステップ送り(移動⇒停止⇒測定⇒移動)で測定し、車両の前方から後方までの全側面を確実に測定する。  
 ①初期位置から測定開始位置へ移動  
 ②車輪後方へ310mm間隔で移動  
 ③検出器ユニットを車輪表面の約10cmまで前進させる  
 ④停止して5秒間測定する。測定後、検出器ユニットは後退  
 ⑤後端部まで測定後、検出器ユニットは車両退出用の待機位置で停止  
 ⑥車両退出後、初期位置に戻る

図3 ステップ送り方式



写真4 測定動作時の外観

3. モニタの特長

3.1. 検出器ユニット

検出器には、従来から体表面モニタや物品搬出モニタなどの表面汚染モニタに用いられているプラスチックシンチレーション検出器を採用しているが、本モニタ用に以下の改良を行なっている。

(1) 検出器の最適化

検出器サイズと数量を検討、評価を行い、有感面積310(W)×110(H)mmの検出器を左右各30個、縦方向に配置することとした。

本モニタにおける検出器の要件を以下に示す。

①高バックグラウンド(BG)線量率の環境で高感度の測定を行う。

⇒ 検出器を小型化する。

②車両表面を短時間に漏れなく測定する。

⇒ 検出器を多数配置する。

③保守性を考慮(校正測定時間の短縮、故障による運用停止時間を低減)

⇒ 検出器の数量を必要最小限に抑える。

(2) 耐環境性能向上

常時、外気が侵入する屋外環境に近い環境(車両検査場建屋)に設置されていること、および屋外車両測定装置に装着し、常時移動、搬送する状態を使用することを考慮し、以下の改良により耐環境性能を向上させている。

①防錆対策

検出器ユニットを密閉構造とし、ユニット内にヒータと温度センサーを設置し温度制御をして、塩害、結露対策を行っている。

②振動対策

検出器ユニットの主要箇所吸振ゲルを配置し振動対策を行なっている。また、完成品相当の試験用検出器ユニットを用い、想定される振動条件(周波数、加速度)で評価を実施し、耐振動性があることを確認している。

③保護膜

測定時の検出器自体の放射性物質による汚染防止を行うため、従来の表面汚染モニタ用検出器ではマイラー膜を検出面に装着しているが、本モニタではこの汚染防止膜にポリエチレン系高分子繊維シートを採用している。本シートは高強度、耐衝撃性、耐水性および熱安定性などの優れた特性を持っており、車両測定時の接触、雨水の付着、排ガスなどに対する検出器保護としての機能を持たせている。

3.2. 車両測定装置

車両測定装置には、車両洗車機メーカーに協力を依頼し、大型車両用洗車機をもとにカスタマイズし開発している。車両前後方向のレール走行駆動部および検出器ユニットの車両測定面への近接駆動部は、洗車機と同等品を使用しており、洗車機としての長年に渡り培われた技術および運用実績が反映された高い信頼性を持つ駆動装置になっている。

(1) 安全性

大型の駆動装置であるため、安全対策として、ワイヤ状の非常停止スイッチおよび移動時のチャイム鳴動などの安全装置の他、駆動装置の可動範囲には、一切、作業員が立ち入ることが無く操作、運用を可能とする仕様になっている。

(2) 移動精度

車両前後方向レール走行時の停止位置精度は、車両表面の測定漏れが発生しないよう基準停止位置に対して±5cm以内とした。

(3) 車両表面検知

検出器ユニットの車両表面への近接時は、光学式ビームセンサーを用いた車両センサーで車両の表面を検知するほか、リミットスイッチを用いた接触式のタイヤ検知センサーを備えてタイヤの凸部を検知

する。これらのセンサーにより確実に検出器表面と車両表面間が約8～10cmの距離になる。図4に車両検知センサーおよび図5にタイヤ検知センサーの概略図を示す。

上記の2つのセンサーより、車両が多少傾いて停車している場合、または車両表面に凹凸が有る場合にも適切に検出器ユニットと車両表面間の距離を調整しながら車両前方から最後端部まで移動し、測定が可能となっている。

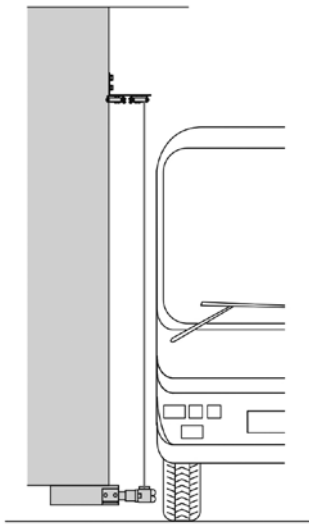


図4 車両最表面検知センサー

### 3.3. データ処理装置

測定の都度、測定結果が、データ処理装置のデスクトップパソコンに送信され、測定データが画面に表示されると共にプリンタから測定結果帳票が自動で出力される。表面汚染が検知された場合は、測定結果帳票上の2次元マップ図に汚染箇所が網掛け状にマーキング印字されるため、測定後に必要となる汚染箇所のサーベイと洗浄作業が容易になる。図6に測定結果帳票マップ図を示す。

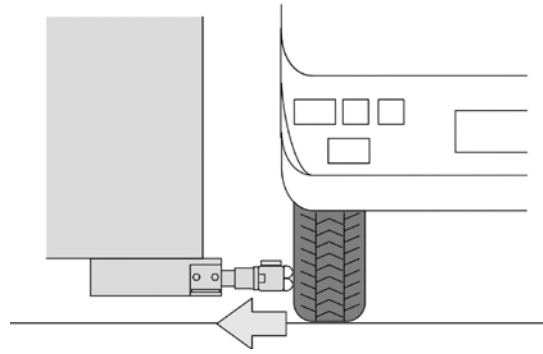


図5 タイヤ検知センサー

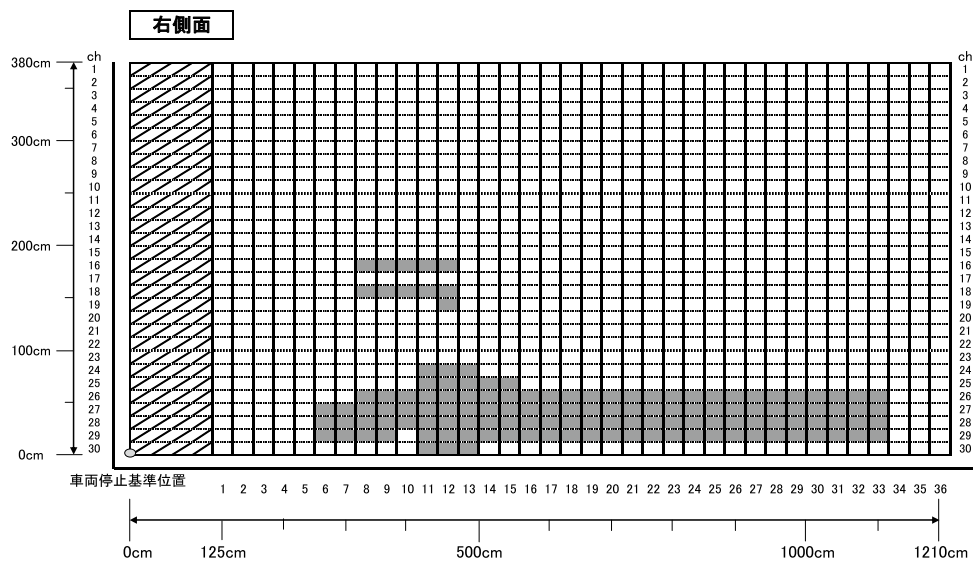


図6 帳票

表1 車両側面測定支援モニタ仕様

項目	内容
測定線種	β線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器 (検出面積: 310(W)×110(H)mm)
検出器配置	右検出器ユニット:縦方向に30台(30ch) 左検出器ユニット:縦方向に30台(30ch)
検出感度	40Bq/cm <sup>2</sup> 以下 <条件> ・バックグラウンド(BG)線量率: 5μSv/h ・測定時間: 5秒 ・使用線源: <sup>137</sup> Cs(β)100mm×100mm ・線源効率: 0.5 ・線源距離: 15cm
測定対象車両	・車種:バス,トラック(箱型、平型)、 ダンプカー、ワゴン車 ・車幅: 2,500mm以下 ・車高: 3,800mm以下 ・車長: 12,000mm以下
測定箇所	車両側面(バックミラー後方～最後部)
処理能力	約9分/1台(車長12m測定時) ただし、車両の入退出時間は含まない
外形寸法	約5,000(W)×3,000(D)×5,000(H)mm (車両測定装置)
質量	約4,200kg(車両測定装置)

### 4. モニタ仕様

表1に本モニタの仕様を示す。

### 5. あとがき

現状、本モニタで測定行う車両は、側面形状が平面で凹凸が少ないコンテナ車や構内用バスなどの一部の車両に限定されている。これは、左右検出器ユニットの各30台の検出器が一体で移動し、車

両検知センサーが車両側面の検出器面に対して最も近い部分を検知して停止することから、側面の凹部が深い場合や上部下部に曲面があると検出器ユニット間の距離が遠くなり検出感度を満足出来なくなるためである。

また、現状、車両の入退出を含めた1台当たりの処理時間は10分程度であり、処理能力を向上させるためには、更なる測定時間の短縮化が必要となっている。

このような本モニタの実績から、適用車種の拡大、側面部以外の人手による測定箇所への適用範囲の拡大、および処理能力を向上するために、以下の改善、改良に取組み、次世代機種を提案していきたい。

#### (1) 検出器の見直し

検出器サイズを測定対象箇所に応じて、複雑な形状部には小型化、大面積平面部には大型化、および縦横方向寸法の最適化を行い各箇所に対する測定感度の向上により、測定可能距離を大きくし、かつ、測定時間を短縮させる。

#### (2) 車両測定装置の改善

検出器ユニットを現状の左右2台から、より細分化し、前後面、曲面部などの車両表面の部位および形状に応じた移動を可能とする測定装置を開発する。

#### (3) 測定条件の見直し

平成25年の納入当時と比較し、大きく低減した現状の車両検査場のバックグラウンド(BG)線量率および車両の汚染レベルを考慮し、校正条件、測定時間および検出器ユニットの処理動作などの見直しを行い、測定時間を短縮して処理能力を向上させる。

最後に、本モニタの開発に当たり、多大なご指導と助言を頂いた東京電力株式会社の関連各位に深く感謝致します。

# 医療放射線施設の遮蔽計算法 Method of Shielding Calculation for Medical Radiation Facilities

小迫和明\*  
Kazuaki Kosako

## 〔概要〕

高齢化に伴い増加するがん患者を治療するために、医療分野における放射線利用は増加し続けている。近年、特に加速器を用いた放射線治療装置が広く普及し、それらの高性能化や高エネルギー化が図られてきている。この放射線治療を実現するには、放射線発生装置とそれを安全に運用管理するための施設が必要である。放射線施設の管理区域境界から漏洩する放射線の線量は、遮蔽壁、遮蔽扉などにより法令の規制値以下であることを遮蔽計算により担保しなければならない。遮蔽計算の方法として、簡易式と輸送計算法について説明し、特に高精度な計算が可能なモンテカルロコードも説明した。代表的な医療用の放射線治療装置（医療用リニアック、粒子線治療装置、ガンナイフなど）について、その装置の特徴に合わせて必要とされる遮蔽構造を明らかにし、適切な遮蔽計算方法を説明した。

## 1. 緒言

現在の日本人の最大死亡原因は、がんであり、30%以上を占めている。国内では、高齢化の進展と伴いがん罹患数が増加しており、今後もこの傾向は継続すると予想されている<sup>1)</sup>。がんの治療法としては、患者が自分らしく生活するために必要な「生活の質（Quality of Life: QOL）」に優れた放射線治療が目され、今後も大きく増加する見通しである。病院で利用されている放射線装置は、放射性核種（RI）を使用するものと加速器によるものの2種類がある。RIは、その核種の崩壊により発生するガンマ線を使用する。加速器は、粒子を加速してあるエネルギーに到達したものを放射線として直接使用するもの、ターゲット物質に照射してそこから発生する放射線を使用するもの、およびターゲット物質を照射して特定のRIを製造するものがある。加速器は、医療用電子線直線加速器（リニアック: Linac）が最も普及しており、国内で現在900台以上が稼働している。それ以外の加速器としては、サイバーナイフ、陽子線加速器、重粒子線加速器、X線管がある。この放射線治療を実現するには、放射線発生装置とそれを安全に運用管理するための施設が必要である。

放射線装置の中で、「放射性同位元素などによる放射線障害の防止に関する法律（以下、障害防止法）」で規定されているものは、管理区域を設定し、そこから漏洩する放射線による線量が障害防止法で定められた規制値以下でなければならない。障害防止法が規定するものは、RIの数量および濃度が制限を超えるもの、または1MeV以上に荷電粒子を加速する放射線発生装置である。例えば、RIである<sup>60</sup>Coの制限値は、数量が100kBq、濃度が10Bq/gである。管理区域からの漏洩線量を規制値以下にするには、使用時間を短くする、距離を長くする、遮蔽物を置くという3つの方法があるが、放射線により治療を行う医療施設では遮蔽壁による漏洩量の低減が確実に現実的な方法である。この遮蔽壁のような遮蔽物と距離による放射線の減衰量を計算し漏洩線量を評価するのが遮蔽計算である。ここでは、医療放射線施設に関する遮蔽計算方法に限定して説明し、代表的な施設の種類ごとに適した遮蔽計算法を選択する指針を与える。

## 2. 遮蔽計算の方法

### 2.1. 簡易式

簡易式（または経験式）は、複数の定数や変数

の値を決めると一義的に値が求められる一次関数を組み合わせることにより、手計算でも簡単に結果が得られる計算式である。リニアック装置のX線照射時の利用線錘方向の実効線量を計算するための簡易式<sup>2)</sup>を例として図1に示す。この式のD<sub>t</sub>は遮蔽材の有効厚さt [cm] に関する透過率を表す一次関数であるが、それ以外は計算条件が決まれば得られる定数である。

密封と非密封の放射性同位元素を取り扱う施設やリニアック装置施設における簡易式を用いた遮蔽計算法は、参考文献2)（しゃへいマニュアル）に詳述されている。しゃへいマニュアルは、主要な放射線施設の障害防止法に基づく使用許可申請で必要とされる遮蔽計算のやり方と記載事項を解説している。マニュアルにない高エネルギーの中性子や陽子に対する幾つかの簡易式を用いた遮蔽計算法は、参考文献3)に記述されている。

簡易式は、計算条件が決まれば、簡単な手計算で唯一の解が得られるメリットがある。しかし、その適用条件は厳格に規定されており、常に適用できるわけではないことに最大限の注意を払う必要がある。例えば、図2に示すように、リニアックのX線照射では利用線錘方向と散乱線方向に大別された簡易式を用いるが、リニアックの照射野の境界付近は両方の散乱による寄与が混在し、位置による変動が激しい領域であるため簡易式が存在しない。

$${}_{u}E(x) = \frac{I_0 \times 60 \times 10^6}{L^2} \times D_t \times T \times U \times 1.0$$

図1 簡易式の例（X線の利用線錘に対する遮蔽計算式）

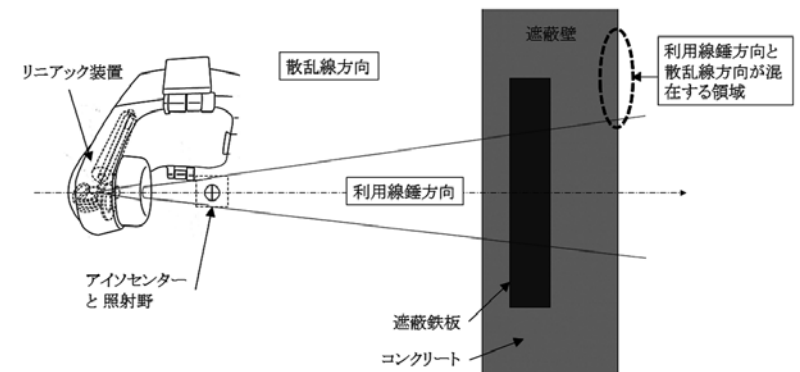


図2 医療用リニアックのX線照射における利用線錘方向と散乱線方向の区別

### 2.2. 輸送計算コード

遮蔽物と距離による放射線の減衰量は核反応などを含めて計算し、漏洩線量を精度良く評価する方法として、輸送計算コードが開発されてきている。輸送計算コードは、一部の例外を除いて、放射線の核反応や相互作用をデータベース化した断面積ライブラリと、その断面積を用いて放射線の挙動を解析的または酔歩サンプリングにより計算するソフトウェアから成っている。断面積ライブラリは、それぞれの輸送計算コードに特化したデータ型式で作成されているため、使用する輸送計算コードに適したライブラリを使用する必要がある。通常、ある輸送計算コードで使用できるライブラリは複数存在し、元となる断面積データを提供する評価済み核データファイルの種類で大別することができる。世界最新の評価済み核データファイルの評価活動は、日本のJENDL<sup>4)</sup>、米国のENDF<sup>5)</sup>、欧州のJEFF<sup>6)</sup>プロジェクトである。

輸送計算コードは、決定論的と確率論的コードの2種類がある。決定論的コードは、エネルギーと空間を離散的な区分で平均化して解析的にボルツマン輸送方程式を解くものであり、ANISNやDORTなどが代表的なコードである。しかし、離散的な区分で近似するため、離散化による空間分布の揺らぎが起こる場合、モデル化の近似誤差が大きい場合や解が収束しない場合があるなど結果の信頼性を定量的に評価できないという問題がある。確率論的コードは、放射線の挙動を乱数で酔歩サンプリングにより追跡し統計処理をするものであり、モンテカルロ（Monte Carlo, MC）コードとも呼ばれ、MCNPや

\* 清水建設(株) 技術研究所 エネルギー技術センター

PHITSなどが代表的なコードである。現在使用されているモンテカルロコードは、エネルギーを連続的な関数で扱い、空間を3次元幾何形状で取り扱うことにより、モデル化の近似誤差を最小にできるため、誤差要因を断面積ライブラリの誤差に限定することも可能である。MCコードはこのように精度の高い計算が可能であるが、統計精度を上げるためには長い計算時間が必要となる弱点があった。決定論的コードの方が短時間で定常的な結果を与えるが、近年の計算機能力の向上に伴ってMCコードの計算時間の問題は大きく改善されてきており、現在の輸送計算コードの主流は、MCコードとなっている。また、取り扱える放射線が、決定論的コードでは非荷電粒子である中性子と光子に限定されるが、MCコードでは荷電粒子と非荷電粒子の両方が可能である。

医療放射線施設における遮蔽計算で主に対象となる構造物は、放射線装置と遮蔽壁および遮蔽扉である。そのため、放射線装置を省略または簡略化できれば、遮蔽壁と扉からなるとも単純な計算モデルとすることができる。放射線装置は、RIの貯蔵設備や照射設備または加速器の照射機構などの複雑な構造を持っている。そのため、決定論的コードでは複雑な構造をコードの表現可能な形状で簡略化または省略することが必須となり、線源データの与え方を含めてその近似誤差の考察が必要で、精確な取り扱いは簡単ではない。MCコードは、3次元幾何形状でこれらの複雑な構造をかなり正確に計算モデルに取り入れ、線源から放射線が放出される状況を正確に取り扱うことも可能である。しかし、計算モデルの精度を高めるために必要な加速器の照射や遮蔽機構などの詳細データは入手が困難であるため、遮蔽計算上問題ない正確さでモデル化することになる。これらのことから、中性子と光子の放出方向における漏洩線量の計算には決定論的コードも使用されるが、全ての放射線の遮蔽計算に適用できるMCコードの利用が現在では主流となっている。

MCコードで遮蔽計算をする場合に最も注意することは、分散低減法の利用である。分散低減法とは、計算により得たい結果を効率良く得るための計算方法であり、線源で発生した放射線を重み付けし、ある条件下で放射線を複数個に分割や吸収・消滅することにより重みを調整し、放射線を目的とする空間

に集めて結果への寄与分を増やすために行う。この方法は、インポート法やweight window法などがある。放射線医療施設の遮蔽壁は、狭いエリアに設置されるため1.5mを超える非常に厚い遮蔽壁が必要とされる場合があり、漏洩線量を正しく評価するためには遮蔽壁の内側から外側に向かう放射線の輸送を分散低減法により適切に取り扱うことが必要不可欠である。

### 3. 放射線医療施設

放射線医療施設の遮蔽壁や扉の材料として使用される物質は、普通コンクリート(2.1)、鉄(7.8)、鉛(11.3)、ポリエチレン(0.92)である。丸括弧内の値は、遮蔽計算で使用される標準的な密度(単位は $g/cm^3$ )である。普通コンクリートの一般的な密度は、 $2.2 \sim 2.4 g/cm^3$ とされているが、遮蔽計算では安全側の評価とするためにそれよりも低い $2.1 g/cm^3$ を使用している<sup>2)</sup>。鉄の密度も $7.87 g/cm^3$ であるが、鉄鋼製品一般に対して適用するために $7.8 g/cm^3$ としている。

放射線装置の構成材料は、装置の種類により多岐に渡るが、遮蔽材料となる主な物質は、アルミニウム(2.7)、鉄、銅(8.94)、タングステン(19.25)、鉛である。

#### 3.1. 医療用リニアック室

リニアックは、世界的にも最も普及したがんの放射線治療装置であり、電子銃で発生した電子を加速器で一定エネルギーまで短距離で加速して金属ターゲットに照射し、そこで発生する制動光子(または制動X線)をがん細胞に照射して死滅することを目的としている。リニアック装置のヘッド部は、電子ビームを定在波型加速器で加速しベンディングマグネットで270度回転させてから金属ターゲットに照射する構造であり、それを鉄の外枠とタングステンと鉛のブロック遮蔽体で覆って利用線錘方向以外の漏洩線量を利用線錘方向の1/1000以下にしている(図2参照)。金属ターゲットは、従来はタングステンや白金が使用されていたが、現在では銅となっている。リニアックは、ターゲットから1mの距離に放射線が集中し治療する位置であるアイソセンター(IsoCenter; IC)があり、リニアックヘッドの回転中心位置と一致する。リニアックが治療で使用できる

最大の照射野(利用線錘方向に相当)は、IC位置で $40 \times 40 cm^2$ であり、タングステン製の2段コリメータなどで整形している。このような構造から成るリニアックヘッドは、詳細な計算モデルを作成するのに必要な装置図面データが利用できないこともあるが、ターゲットと遮蔽コリメータから成る単純なモデル化で利用線錘方向とそれ以外の方向による線量を制御できれば十分である。電子によるターゲットでの制動光子の生成と輸送の計算は、MCコードは完全に対応しているが、決定論的コードは取り扱えないため別途評価したX線源データを用いて行うことになる。

リニアックのX線照射のための電子エネルギーは、古くは4や6 MeVが使用されていたが、現在では治療効果と加速技術などの進歩により10 MeVが主流となっている。より高エネルギーの15, 18, 20, 25 MeVの装置の導入も進みつつある。電子エネルギーが10 MeVを超える高エネルギーリニアックの場合には、光核反応による光中性子生成も取り扱う必要がある(図3参照)。この理由は、鉄の光中性子生成の閾エネルギーが約10 MeVであることによる。光中性子を取り入れるためには、光核反応ライブラリを用いたMCコードによる計算が不可欠である。コ

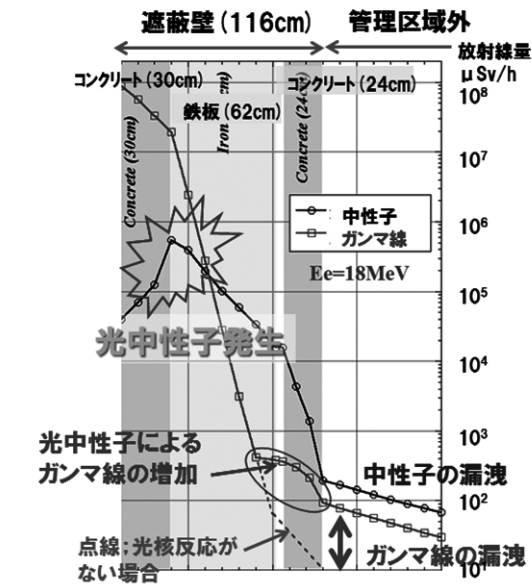


図3 18MeVリニアックの遮蔽壁中での光中性子生成による漏洩線量の増加

リメータやブロック遮蔽体を構成するタングステンや鉛の光中性子生成の閾エネルギーは10 MeVよりも少し低いため、10 MeVのリニアックであっても室内には光中性子が存在するが、その生成量は制動光子に比べてはるかに少ないため、遮蔽扉を除き考慮しなくても遮蔽上問題ない。

リニアック室の側面の遮蔽壁は、150cmの厚さが現在では標準となっており、その外表面を通常は管理区域境界とする(図4参照)。利用線錘方向の側面の遮蔽壁は、鉄筋入りの普通コンクリートで作られ、その内部または内側表面に遮蔽鉄板を挿入する。X線エネルギーが10 MeVの場合、鉄板の厚さは40 ~ 46 cm程度であり、エネルギーが高くなると共に鉄板の厚さを増やす必要がある。遮蔽鉄板の幅は、ICからの距離により照射野が広がるという影響を強く受けるため、距離が長いと幅を広くする必要があり、距離が400 cmの場合の幅の目安は約400 cmである。この幅が狭すぎると鉄板の端部から回り込む放射線の影響が無視できなくなる。遮蔽壁に鉄板を挿入せずにコンクリートのみで遮蔽する場合、必要なコンクリートの厚さは270 ~ 300 cmとなる。利用線錘方向以外の側面の遮蔽壁は、普通コンクリートのみであり鉄板を挿入しない。リニアック室の天

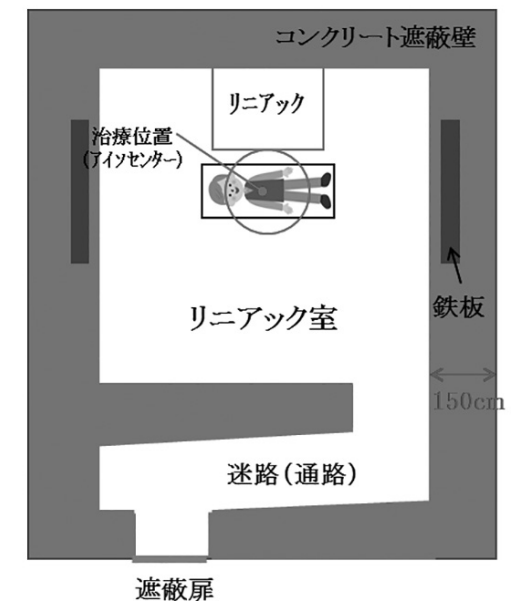


図4 医療用リニアック室の一般的な遮蔽構造図

井壁も利用線錘方向の遮蔽壁と同じ取り扱いとなる。リニアック室の床は、以下の3種類の取り扱いが考えられる。①床下が土層の場合は、人が立ち入れないので管理区域境界の設定が不要であるため遮蔽評価も必要ない。②床下が地下ピットや免震ピットの場合は、床コンクリートの下面を管理区域境界に設定するか、または地下ピットも管理区域に含めてその外周を管理区域境界としてフェンスなどで囲み、遮蔽評価を行う。③床下が管理区域外用途の部屋や一般の人が立ち入る場所である場合は、床コンクリートの下面を管理区域境界に設定して遮蔽評価を行う。②と③の場合には、必要に応じて利用線錘方向の床コンクリート内部に遮蔽鉄板を挿入することになる。ただし②の外周を管理区域境界とする場合には、床コンクリートを十分厚くできれば遮蔽鉄板なしにすることも可能であるが、この遮蔽評価は簡易計算式や決定論的コードではできないためMCコードで実施する必要がある。

リニアック室の迷路部の遮蔽壁は、150cmの厚さで設計されることもあるが、通常はもう少し薄くすることも可能である。迷路で最も重要なものは、遮蔽扉である。この遮蔽扉は、ガンマ線を遮蔽するための鉛板と光中性子を遮蔽するためのホウ素(10%)入りポリエチレン板が扉全面に張られているため、相当な重量がある。そのため、扉は電動の引き戸であることが多いが、引き戸の移動・制御場所として壁中に戸袋がある場合は遮蔽欠損となるため注意を要する。迷路入口での散乱線を簡易式<sup>9)</sup>で評価することも可能であるが、遮蔽扉の遮蔽材の厚さを最適化しようとすれば迷路内での散乱を正確に模擬できるMCコードによる計算が不可欠である。

### 3.2. 粒子線治療施設

粒子線治療施設で使用される放射線は、陽子と重粒子の2種類がある。ここで使用される重粒子とは、基本的に炭素であるが、一部でネオンなどが使用されることもある。治療に使用される陽子と炭素の最大加速エネルギーは、それぞれ235と400MeVである。粒子線治療施設は、主に加速器室、回転ガントリー室(またはビーム振替室)、照射室、電源機械室と制御室で構成されている。この中で放射線の管理区域となるのは、加速器室、回転ガントリー室と照射室である。この管理区域は、厚い遮蔽

壁で囲まれるが、各室も遮蔽隔壁で仕切られており、例えば加速器室で加速器がビーム調整運転中であっても回転ガントリー室と照射室には常時立ち入りが可能となっている。遮蔽壁の厚さは、粒子線が失われるビームロス条件(複数の位置、方向、標的物質、電流量とエネルギー)と治療運転計画に基づく照射時間に依存するが、概ね1.5～3m程度である。陽子線の場合、シンクロトロンとサイクロトロンの2種類の加速器があり、それぞれのビームロス条件が大きく異なっていることに注意する必要がある。重粒子の場合はシンクロトロン加速器のみが実用化されている。ビームロスは、大部分が加速器室内で起こるが、回転ガントリー室から照射室へビームが入る場所でなされるビーム調整と、患者へ粒子線を照射した場所でも起こる。管理区域の出入り口には、迷路構造と遮蔽扉を設ける必要がある。

粒子線がビームロスを起こすことにより、その位置を中心として核反応により二次放射線が発生する。遮蔽上の評価対象になる放射線は、中性子とガンマ線に限定される。中性子とガンマ線の生成量と方向は、ビームロス条件によって決まるため、それらの正確な評価を行うには、MCコードによって粒子線と標的物質との反応を模擬し中性子とガンマ線を発生することが必要である。このような計算が行えるMCコードは、陽子線加速器の場合にはMCNP6、PHITS2、FLUKAなど幾つかあるが、重粒子加速器の場合にはPHITS2とGeant4(またはGeantV)に限定される。これらのMCコードが利用できる以前は、経験式による遮蔽評価が行われていたが、現在では信頼性に問題があるため推奨しない。

遮蔽壁は、主に中性子を遮蔽する必要があるため、基本的にコンクリートのみである。粒子線のエネルギーが高いため発生する中性子のエネルギーもそれに準じて高く、遮蔽壁の外側部分では中性子からの二次ガンマ線が多くなるという特徴がある。また、中性子の全断面積は一般に60～100MeVを超えると急に低下して200MeV以上では比較的平坦になるため、100MeV以上の高エネルギー成分の透過率が比較的高いことに留意する必要がある。

最近、米国のMEVION社が180度回転ガントリーに陽子線加速器を組み込んだ非常にコンパクトな陽子線治療装置MEVION S250を開発し、米国を

中心に普及展開が図られている。この装置は、加速器室が不要となり、回転ガントリーも門型の非常にコンパクトな形状であるため、初期投資が低コストで導入可能な特徴がある。この装置の遮蔽計算のビームロスは、ビームダンプ部と患者への照射に限定されると思われる。

### 3.3. ガンマナイフ室

ガンマナイフは、約200個の<sup>60</sup>Co線源を半球帯状に配置し、そこから発生するガンマ線をタングステンの遮蔽体中に開けた細長いコリメータにより患者の脳細胞中の病巣部に集中照射するエレクトラ社製の定位放射線治療装置である。これは、脳腫瘍などに対する極めて低侵襲な治療法であり、現在国内では60施設以上に導入されて治療に使用されている。ガンマナイフの<sup>60</sup>Co線源は、タングステン、鉛と鉄により周囲が遮蔽されており、使用時以外は患者の頭部が入る空間も鉄板のシャッターにより閉じられている。そのため、ガンマナイフ室の遮蔽壁に対する遮蔽計算が必要となるのは、コリメータを通過したガンマ線がシャッターにより遮蔽されない治療時のみに限定される。治療時に開口部から放出されるガンマ線は、開口部の中心軸から約40度の円錐内に限定される遮蔽体構造をガンマナイフは有しており、前方性が強くなっている。そのため、側方から後方は、ガンマナイフの遮蔽体からの漏洩成分と前方からの散乱成分からなるため、前方に比べると相当に低い線量である。従って、出入り口は後方に配置すべきであり、そこに設置する遮蔽扉は内部に薄い鉛板を装着した比較的簡便な引き戸で良い。

ガンマナイフの遮蔽計算で最も重要なのが、<sup>60</sup>Co線源とタングステンコリメータの配置と計算モデルの作成である。開口部から約40度の円錐形状で放出されるガンマ線を取り扱うためにも、3次元幾何形状が正確に扱えるMCコードの利用が不可欠である。しかし、<sup>60</sup>Co線源が重厚な遮蔽体内にあるため、コリメータを通過したガンマ線による遮蔽壁中での透過計算をMCコードで行うのは、相当に効率が悪いという問題がある。これは殆どの事象が遮蔽体内で起こり、開口部から円錐形状で放出される率が相当低いためであり、ガンマナイフの遮蔽性能が高いことの裏返しである。

### 3.4. その他の放射線発生装置

その他の主な医療用の放射線発生装置としては、PETサイクロトロン、サイバーナイフ、トモセラピーとVero4DRT、RALS(Remote After Loading System;遠隔操作密封小線源治療)などがある。これらの装置の遮蔽計算法について簡単に述べる。

PET診断を行う放射性薬剤を製造するには、放射性同位元素(<sup>18</sup>F,<sup>11</sup>Cや<sup>13</sup>Nなど)を陽子サイクロトロンで生成する必要がある。10～20MeVの陽子を液体ターゲットに照射して核反応により目的の放射性同位元素を生成する。初期のサイクロトロンは、正イオン加速であったためデフレクタでのビームロスが大きかったが、現在は負イオン加速でデフレクタがなくなりビームロスが無視できるようになった。そのため、新しいサイクロトロンのビームロスは、ターゲット照射に限定できる。更に、自己遮蔽型サイクロロンでは、装置の外周を取り囲むコンクリートなどの遮蔽体により、外側への放射線漏洩は低く抑えられるようになり、厚い遮蔽壁は不要となった。従って、自己遮蔽型以外のサイクロロンの場合にのみMCコードによる遮蔽計算が必要となる。なお、ターゲットにおいて<sup>18</sup>O(p,n)<sup>18</sup>F反応などで生成する中性子の収率とエネルギー角度分布データは精度検証が不十分であり、今後の課題と言える。最近、PETサイクロトロンの廃止措置が実施されるようになった。その廃止措置では、自己遮蔽型の場合は、自己遮蔽体と床コンクリートの放射化量評価が必要であり、それにより放射性廃棄物になる部位が特定される。自己遮蔽型でない場合は、PETサイクロロン室の遮蔽壁と床の放射化量評価が必要となる。これらの評価を行うためには、MCコードによる中性子の遮蔽壁を含む空間分布評価を行ってから、放射能インベントリ評価計算コード(ORIGEN-SやDCHAIN-SP2001など)で場所ごとの放射化量を計算する必要がある。

サイバーナイフは、最先端のロボット技術により多方向から一点に集中して治療を行う定位放射線治療装置である。6MeVの細いX線ビームを上向き以外の任意の方向から照射できるため、360度回転円方向のみのリニアックよりも広い方向が利用線錘方向となる。そのため、10MeVが主流のリニアックよりもX線のエネルギーは低いので遮蔽鉄板の厚さは薄

いが、遮蔽鉄板を入れる範囲は相当に広がる。遮蔽壁と扉からの漏洩線量の評価は、リニアックと同様であり簡易式<sup>2)</sup>が使用できるが、中心軸上から外れた広角方向の遮蔽設計はMCコードで最適化できる可能性もある。

トモセラピーとVero4DRTは、患者の乗った寝台の移動と同期させてその周囲を回転しながらX線を照射する強度変調放射線治療装置である。6MeVの線形加速器（リニアック）がリング状のガントリー内を連続回転し、360度の全方位を多門に分割してリングの中心へ向けてX線を多葉コリメータと同期しながら最適治療条件で照射する。Vero4DRTは、呼吸による体内の臓器の動きに合わせる動体追尾放射線治療が可能な特徴がある。トモセラピーではX線発生位置がリングに沿って回転するため、利用線錘方向は360度の回転方向になるが、リングの外周に鉛の対向板が設置されていればその方向に対して遮蔽壁中に入れる遮蔽鉄板の厚さが抑えられる。遮蔽壁と扉からの漏洩線量の評価は、リニアックと同様であり簡易式<sup>2)</sup>が使用できるが、最適遮蔽設計を行おうとすればMCコードの利用が必要である。

RALSは、体の中から放射線を照射（内部照射）する治療法であり、管腔臓器の腫瘍に放射線を照射することに主に使用される。腫瘍に直接または近距離で放射線を照射するため、腫瘍に対する効果が高く、離れた正常組織にはほとんど影響しない。治療に使用される放射性物質は、<sup>192</sup>Ir、<sup>137</sup>Cs、<sup>60</sup>Coなどであり、これを針状または管状の小型高比放射能密封線源として使用する。最も代表的な<sup>192</sup>Ir線源は、ベータ線（672keV）とガンマ線（350keV）の放射線を放出し、ガンマ線エネルギーが低いため

遮蔽は比較的容易であり、厚い遮蔽壁は必要としない。遮蔽壁と扉からの漏洩線量の評価は、簡易式<sup>2)</sup>が使用できる。

#### 4. まとめ

がん患者の増加と共に放射線治療が普及し、その重要性が高まっている。この放射線治療を実現するには、放射線発生装置とそれを安全に運用管理するための施設が必要である。放射線施設の管理区域境界から漏洩する放射線の線量は、遮蔽壁、遮蔽扉、または空間的距離により法令の規制値以下であることを遮蔽計算により担保しなければならない。代表的な医療用の放射線治療装置について、その装置の特徴に合わせて必要とされる遮蔽構造を明らかにし、適切な遮蔽計算方法を説明した。

#### 参考文献

- 1) 「2015年のがん統計予測」、国立がん研究センター、がん情報サービス ([http://ganjoho.jp/reg\\_stat/index.html](http://ganjoho.jp/reg_stat/index.html))
- 2) 「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2015」、原子力安全技術センター
- 3) 中村尚司, 「放射線物理と加速器安全の工学 [第2版]」、地人書館 (2001年)
- 4) JENDL, 日本原子力研究開発機構, 核データ研究グループ ([http://www.nndc.jaea.go.jp/jendl/Jendl\\_J.html](http://www.nndc.jaea.go.jp/jendl/Jendl_J.html))
- 5) Evaluated Nuclear Data File (ENDF), BNL/NNDC (<http://www.nndc.bnl.gov/exfor/endl00.jsp>)
- 6) JEFF and EFF projects, OECD/NEA (<http://www.oecd-nea.org/dbdata/jeff/>)

## 開発途上国向け小型高温ガス炉の概念設計

### Conceptual Design Study of Small-sized High Temperature Gas-cooled Reactor for Developing Countries

大橋 弘史*	後藤 実*	福家 賢**	鈴木 哲**
Hirofumi Ohashi	Minoru Goto	Masaru Fukuie	Tetsu Suzuki
大橋 一孝***	岡本 太志***	毛利 智聡****	大橋 準平*****
Kazutaka Ohashi	Futoshi Okamoto	Tomoaki Mouri	Junpei Ohashi

#### 〔概要〕

日本原子力研究開発機構では、高温工学試験研究炉 (HTTR) の設計、建設、試験・運転などにより得られた知見や、高温ガス炉ガスタービン発電システム (GTHTR300) の設計経験などを活用し、(株)東芝やFAPIG加盟会社である富士電機(株)、川崎重工業(株)および原子燃料工業(株)の協力も得ながら、早期に導入可能な開発途上国向け小型高温ガス炉 (HTR50S) の概念設計を進めている。本報では、小型高温ガス炉の全体概要や、原子炉設計、冷却設備設計などについて報告する。

#### 1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）は、わが国初の高温ガス炉、高温工学試験研究炉 (HTTR)<sup>1)</sup>を有しており、各種の運転・試験を通して、商用炉にも利用できるデータの蓄積を行っている。また、2030年代以降の商用展開を想定した熱出力600MWtの高温ガス炉ガスタービン発電システム (GTHTR300)<sup>2)</sup>および電力水素併産型高温ガス炉システム (GTHTR300C)<sup>3)</sup>の設計を行ってきた。これらをベースに、原子力機構は、開発途上国（新興国を含む）への2020年代以降の展開を目指し、蒸気タービンによる発電、工業プロセスへの高温蒸気供給および地域暖房への低温蒸気供給を目的とし、将来的には水素製造も視野に入れた熱出力50MWtの小型高温ガス炉 (HTR50S) の概念設計を、(株)東芝およびFAPIG加盟会社である富士電機(株)、川崎重工業(株)および原子燃料工業(株)の協力の下で実施している。本報では、HTR50Sの全体概要や、原子炉設計、冷却設備設計などについて報告する。

#### 2. 全体概要

HTR50Sは熱出力50MWt、原子炉入口冷却材温度325℃、原子炉出口冷却材温度750℃で発電および地域暖房若しくは蒸気供給を行う小型高温ガス炉システムである。HTR50Sの設計思想は、HTTRをベースに、極力、研究開発要素を排除した設計としながらも、HTTRの設計、建設、試験・運転などで得られた知見およびGTHTR300設計の成果を活用することで、商用化に向けた性能向上を図りながら高い先進性をもつ原子炉とすることである。これに基づき定めた基本仕様を表1に示す。また、本システムでは、将来的には原子炉出口温度の高温化 (900℃) と中間熱交換器 (IHX) の追設により、2次系でガスタービン発電や熱化学法による水素製造を行うシステムへの拡張も計画している。

IHXおよび水素製造設備を追設後のHTR50Sの冷却設備系統図を図1に示す。原子炉の冷却設備は、通常運転時に原子炉を冷却する1次冷却設備、通常停止時および原子炉スクラム後に炉心の崩壊熱および残留熱を除去する停止時冷却設備 (SCS)、ならびに、異常・事故時に崩壊熱および残留熱を

\* (国)日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター  
 \*\* (株)東芝 電力システム社 原子力事業部  
 \*\*\* 富士電機(株) 原子力技術部  
 \*\*\*\* 川崎重工業(株) 新規プロジェクト推進部  
 \*\*\*\*\* 原子燃料工業(株) 企画部

表1 小型高温ガス炉の基本仕様

原子炉熱出力	50MWt
冷却材	ヘリウムガス
原子炉入口/出口温度	325℃ / 750℃, 900℃
1次冷却材圧力	4MPa
炉心構造材	黒鉛
出力密度	3.5MW/m <sup>3</sup>
燃料	二酸化ウラン・被覆粒子 / 黒鉛分散型
ウラン濃縮度	15wt%未満
ウラン濃縮度数	6以下
燃料体形式	ブロック型
原子炉圧力容器	鋼製(軽水炉用低合金鋼)
蒸気温度, 圧力	538℃, 12.5MPa
用途	蒸気タービン発電, 地域暖房, プロセス蒸気供給, 水素製造など

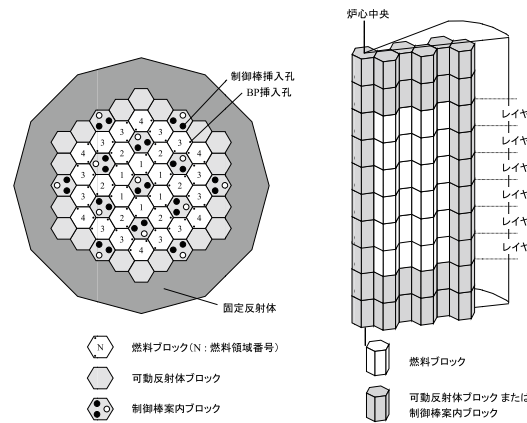


図2 炉心の概略図

表2 燃料およびBPの配置

レイヤ	燃料領域番号			
	1	2	3	4
1	6.6	6.6	9.4	9.4
2	6.6	6.6	9.4	9.4
3	4.3	4.3	6.6	6.6
4	4.3	4.3	6.6	6.6
5	4.3	4.3	4.3	4.3
6	4.3	4.3	4.3	4.3

上段: 燃料濃縮度(wt%)  
下段: BPの天然ホウ素濃度(wt%) / 直径(mm)

ために必要な炉心の出力分布の最適化である。これを実現するために、HTTRの設計では12種類の燃料濃縮度および2種類の可燃性毒物(BP)が用いられている。多数の濃縮度の燃料製造はコストの上昇を招くことから、HTR50Sの設計では燃料およびBPの適切な配置(図2, 表2)により、濃縮度をHTTRの12種類から3種類に大幅に削減した。また、炉心最上段のレイヤ1の反応度調整は制御棒のみで行い、ここにはBPを装荷しないこととした。

HTTRでは炉心最外周に設置された3対(6本)の制御棒は、二段階スクラム時にのみ使用する。二段階スクラムは、高温条件下での使用による制御棒の寿命低下を防ぐためのものであるが、HTR50Sの炉心出口温度はHTTRに比べて200℃程度低いこと採用しないこととした。また、HTTRの運転実績およ

表3 主要な設計要求および計算値  
(原子炉出口温度750℃)

項目	単位	設計要求	計算値
炉停止余裕	(%Δk/k)	>1	20
反応度温度係数	(%Δk/k/°C)	<0	<-0.004
燃焼期間	(year)	2	2
燃料最高温度	(°C)	<1,495	1,469

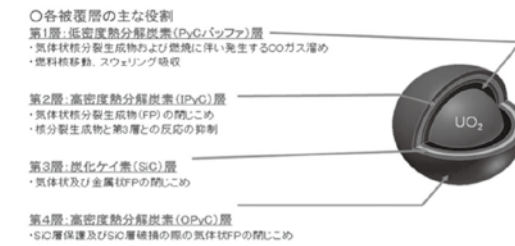


図3 被覆燃料粒子

び試験結果からこれらの制御棒を設置しなくても、通常時において十分に安全な運転が可能であるととも、十分な炉停止余裕も確保できると判断した。そこで、HTR50Sの設計では、HTTRの炉心最外周に設置された制御棒に相当する箇所は可動反射体とし、HTTRに比べて制御棒を3対削減した。

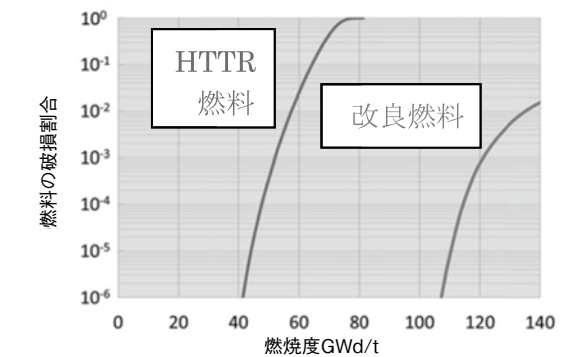
HTR50Sの核計算は、高温ガス炉用に改良を施したSRACコードシステム<sup>4,5)</sup>およびJENDL-3.3<sup>6)</sup>を用いて行った。燃料温度計算はFLOWNET/TEM DIM<sup>7,8)</sup>を用いて行った。炉心核熱設計に関わる主要な設計要求および計算値を表3に示す。全ての項目について計算値は設計要求を満たしており、HTTRに比べて濃縮度の種類を1/4に削減するとともに制御棒を3対削減したHTR50Sの成立性を確認した。

### 3.2. 燃料設計<sup>9)</sup>

HTR50Sは、極力、研究開発要素を排除しつつ商用化に向けた性能向上を図ることを目標としている。このため燃料設計としては経済性向上および廃棄物量低減を目的として、HTTR燃料の燃焼度33GWd/tに対して3倍以上高い100GWd/t規模の燃焼度が必要とされている。原子力機構と原子燃料工業(株)は、この燃焼度規模においてガス状の核分裂生成物(FP)閉じ込め機能を維持できる改良燃料の開発を目指している。

表4 改良燃料の仕様

項目	単位	改良燃料		HTTR 設計仕様
		仕様	製造試験実績 (平均値)	
燃焼度	GWd/t	100(目標)	-	33(最高)
燃料核直径	μm	500±40	504	600±55
第1層 (バッファ層)厚さ	μm	95±30	97	60±12
第3層 (SiC層)厚さ	μm	35±5	34	25+12/-0



照射条件  
温度 1439 [K]  
照射日数 1100 EFPD  
燃焼度 15.6 [%FIMA]  
高速中性子束 3.91E+25 [/m<sup>2</sup>]

図4 通常時燃料破損割合の燃焼度依存性

高温ガス炉燃料の高燃焼度下における主要な被覆燃料粒子の閉じ込め機能喪失機構は複数知られており、そのひとつにFPなどの生成に伴う内圧上昇による被覆層の破損がある。原子力機構では、燃焼度100GWd/tを超える高燃焼度燃料の設計に当たって、内圧上昇による破損率をHTTR燃料と同等の10<sup>-4</sup>以下とする設計目標を設定した。また、高燃焼度下において、被覆層に発生する応力を緩和するため、被覆燃料粒子(図3)の①UO<sub>2</sub>燃料核の小径化、②ガス溜めの役割をもつ第1層(バッファ層)の厚肉化、③FP拡散障壁と圧力容器の役割をもつ第3層(SiC層)の厚肉化を目指すこととし、原子力機構が開発した内圧破損挙動コードを用いて被覆層の破損を抑制できる改良燃料の設計を行い、仕様を設定した。設定した設計仕様を表4に、同仕様に基づく燃料破損割合の評価結果を図4に示す。図4より、改良燃料が燃焼度100GWd/tに対応可能で

除去する安全系の炉容器冷却設備(VCS)から成る。

1次冷却設備には蒸気発生器(SG)を配置し、原子炉で発生した熱を蒸気として取り出し、蒸気タービン発電設備や地域暖房などへ熱を供給する熱供給設備で使用する。また、原子炉冷却材出口温度を900℃に高温化した上で、IHXを原子炉圧力容器(RPV)とSGの間に追設し、2次側の高温ヘリウム(He)を利用したガスタービン発電あるいは水素製造設備での熱利用が可能なシステムとする計画である。

## 3. 原子炉設計

### 3.1. 炉心核熱設計

原子炉出口温度750℃のHTR50Sの炉心核熱設計について紹介する。

高温ガス炉の炉心核熱設計における重要な課題の一つは、通常時の燃料温度が制限値を満足する



写真1 商用規模の燃料製造施設

あることが分かる。

一方、原子燃料工業(株)では、初装荷用および代替燃料用の計2回のHTTR燃料製造に用いられた商用規模の燃料製造施設(写真1)を用いて、改良燃料の製造試験を実施し、表4の製造試験実績の欄に示すように、設計仕様を満足する被覆燃料粒子の製造に成功した。

この結果、設計仕様を満足するHTR50S用高燃焼度燃料を商用規模で量産することが可能であるとの技術的見通しが得られた。

上記で製造した改良燃料に対する100GWd/tを目標とした照射試験が、国際科学技術センター(ISTC)の枠組みにより、カザフスタン共和国国立原子力センターのWWR-K炉にて、現在実施されている。

### 3.3. 炉内構造物設計

HTR50Sは、強制冷却喪失時の崩壊熱除去を、RPV表面から炉室壁に配置した炉容器冷却設備(VCS)の水冷管パネルへ自然放熱のみによって伝達させるという受動的な冷却方式で実現させることを目的とし、さらに原子炉出口のクロスダクトにおいて900℃の高温冷却材の取出しを可能とする一方で、圧力容器材として軽水炉で実績があるものの使用温度制限の厳しいSQV鋼を採用する計画である。また、熱出力はHTTRの30MWtに比べると50MWtに増大されている。炉内構造物設計では、実績のあるHTTR炉構造をベースとした上でこれらの課題に対応するために、900℃の出口温度の実現に対しては炉心有効流量確保のための金属製拘束機構の使用を、軽水炉用圧力容器材料の採用に対しては

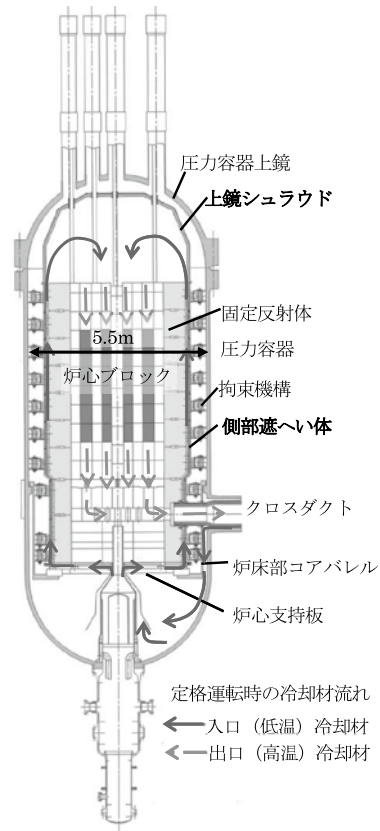


図5 原子炉構造概念

炉側部冷却構造の見直しによる冷却特性の強化を検討した。

図5に示すように、定格運転時にクロスダクト外管からRPV内へ流入する325℃の冷却材は炉床部コアパレルにより下部プレナムに充満してから炉心支持板下面を冷却して炉側部上昇流路に導かれる。ここで、炉側部上昇流は側部遮へい体の内側を流し外側の空間には流さないことで定格運転時のRPVと拘束機構を低温に保ち、冷却材循環喪失時の加熱による温度ピークが出来るだけ低くなる設計とした。さらに側部遮へい体の上部に上鏡シュラウドを設置してRPV上鏡も高温の冷却材に触れず低温に保たれるようにした。冷却材循環喪失時には、崩壊熱はRPV外側に設置されたVCSにより受動的に除去されるが、炉心燃料およびRPVが制限温度(炉心燃料:1600℃, RPV:425℃)を超えて過熱されないように、側部遮へい体と上鏡シュラウドの断熱性を適切に設計した。設計結果に基づき、炉心ブ

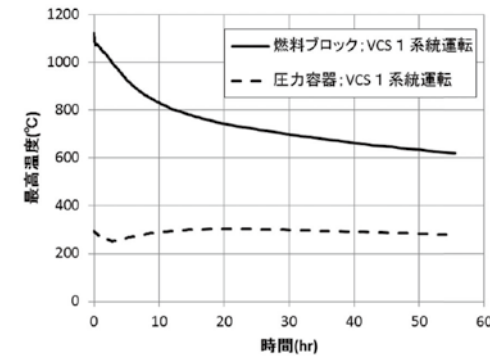


図6 冷却材循環喪失時温度解析結果

ック、炉内構造物、RPVおよびVCSの冷却パネルを対象にした3次元モデルによる冷却材循環喪失時の伝熱解析を行って、受動的な冷却方式により崩壊熱は安定して除熱され、図6に示す通り燃料ブロックおよびRPVは制限温度を越えないことを確認した。

## 4. 冷却設備設計

### 4.1. 蒸気発生器(SG)

原子炉出口温度750℃のHTR50Sに用いるSGの設計概念について紹介する。

SGは、発電および地域暖房の熱供給や高温蒸気供給を組合せた多様な熱利用に対応するため、小型かつ高温ガス炉に適応した設計が要求される。

SGの構造概念図を図7に、主要仕様を表5に示す。1次冷却設備のSGの構造には、HTTR<sup>1)</sup>のIHXとして実績があり、かつ、SGの小型化が可能なヘリカルコイル式伝熱管を採用し、蒸発部と過熱部を一体のSG胴内に収めた貫流型としている。伝熱管の材質は、米国における高温ガス炉のSGでの使用実績<sup>10)</sup>を勘案して、蒸発部は2・1/4Cr-1Mo鋼(STBA24)、過熱部はAlloy800(インコイ800H)を選定している。内部構造物ライナーの材質は、高温Heが流れることから、HTTRでの使用実績<sup>11)</sup>を勘案してハステロイXRとハステロイXを選定している。

SGの隔離とドレン設備については、米・独の設計検討例<sup>10)~13)</sup>を参考にして、図8に示すように系統構成を定めた。SGでは、安全性の観点から、SGの隔離が重要となる。SG伝熱管破損事故において、黒鉛酸化量が問題にならない水侵入量となるようにSGを隔離する必要がある。そのため、SGの2次側

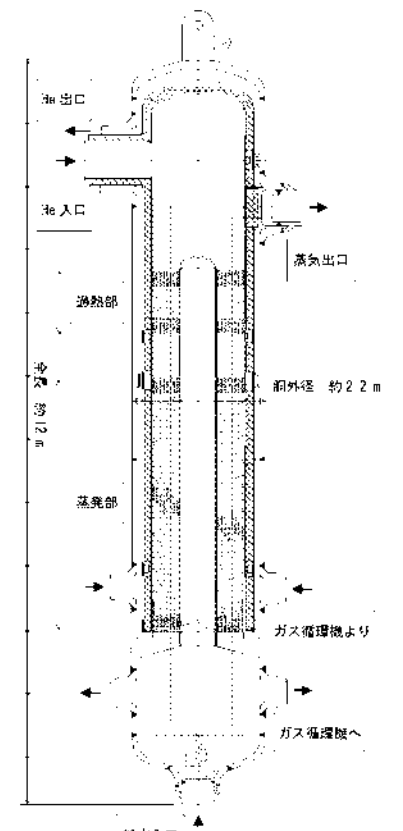


図7 蒸気発生器の構造概念

表5 蒸気発生器の主要仕様

主要目	単位	仕様 (蒸発部/過熱部)
熱出力	MWt	50
水側流量	T/h	69.6
水側入口温度	℃	200
水側出口温度	℃	538
水側出口圧力	MPa	12.5
He側流量	T/h	81
He側入口温度	℃	750
He側出口温度	℃	325
He側入口圧力	MPa	4
伝熱管材質	-	STBA24/Alloy800
伝熱管口径	mm	31.8
伝熱管厚さ	mm	3.5
伝熱管本数	本	36
コイル層数	-	8
伝熱面積	m <sup>2</sup>	260

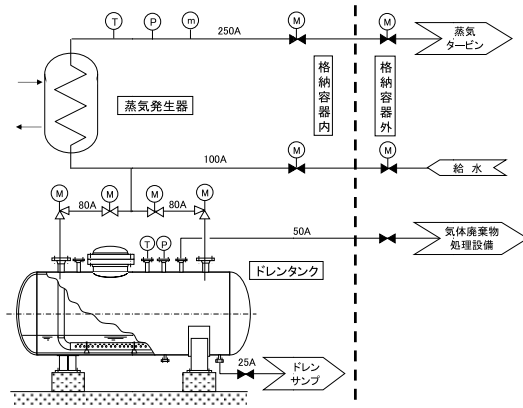


図8 蒸気発生器の隔離とドレン設備の系統構成

に隔離弁を設けている。隔離弁は動的機器であるため、単一故障を想定しても確実に機能を果たすように多重性を持たせ、2次側の入口側と出口側に各々2個、合計4個設置する。また、SG伝熱管破損事故において、設備保護の観点から、1次系安全弁が作動しないようにSGの保有水をドレンする必要がある。そのため、要求されるドレン時間に基づきドレン配管とダンプ弁の仕様を決定している。ドレン水が貯蔵されるドレン貯蔵タンクは、SGの保有水を全て収納できる容量として、格納容器内に配置している。

4.2. 中間熱交換器 (IHX)

原子炉出口温度を900℃に高温化してIHXを設置することにより、ガスタービン発電や水素製造などの熱利用が可能となる。本項では、HTR50S向けのIHXの設計概念について紹介する。

HTR50Sの1次冷却設備では原子炉、IHX、SGがシリーズに接続される。原子炉から出た1次Heは、IHXで2次Heと熱交換され、取り出された熱は熱利用系に供給される。また、2次Heと熱交換した後、1次HeはSGへ供給される。IHXの交換熱量は20MWtである。IHXは上記のヒートマスバランスを成立させる機能を持ち、かつ高温での健全性を維持できる設計が要求される。設計はHTTRのIHXを踏襲して、伝熱管をヘリカルコイル型とし、材質はハステロイXRを使用した。HTTRのIHXと比較して、交換熱量が2倍あるため伝熱面積が増え、同時に1次He全流量が流れるため伝熱管束径が大きくなり、伝熱管支持点の自重による応力が増加する。

表6 中間熱交換器設計結果

	単位	HTTR 10MWt IHX (参考)	小型高温ガス炉 20MWt IHX伝面計算結果
流量	kg/Hr	14,900*	59,700
1次冷却材入口/ 出口温度	℃	850/387*	900/670
2次冷却材入口/ 出口温度	℃	244/782*	560/850
対数平均温度差	℃	101*	76
伝熱管外径	mm	31.8	45.0
伝熱管長さ	m	22.4	24.7
伝熱管本数	本	96	159
最外層径	mm	1,310	2,240
有効伝熱部高さ	mm	4,870	5,140
有効伝熱面積	m <sup>2</sup>	215	556
伝熱管総重量	Ton	5.4	14.0

\*定格運転時

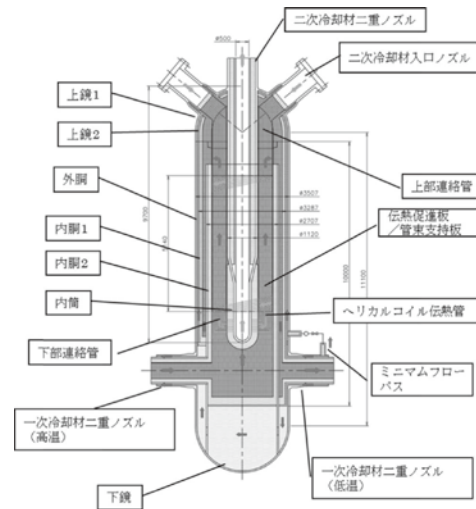


図9 中間熱交換器の構造概念

自重による応力は、高温での構造健全性に悪影響をもたらす。そこで、必要伝熱面積を一定とし、伝熱管径と伝熱管本数をパラメータとして自重応力に対するクリープ損傷を評価し、伝熱管径45mm、本数159本の案を採用した。クリープ強度を満足する範囲で、これより径が小さい場合、本数が増えて製作性に問題があり、径が大きい場合は重量が増加する。径45mmの場合のIHX伝熱管設計結果を表6に示す。この計算結果に基づきIHXの構造を検討した。図9にIHXの構造案を示す。この構造は、

GTHTTR300CのIHXの構造を参考に、下部に1次冷却材の入口ノズルと出口ノズルを同一レベルに配置、入口/出口ノズル共に二重ノズルとし、胴の部分三重胴としたものである。この構造では、入口ノズルの内管に原子炉からの高温1次Heが流入し、伝熱管へと導かれる。その外管には、SGからの低温の戻り1次Heが流れ、原子炉に向け流れる。また、出口ノズルでは、伝熱管束で熱交換を終えた1次Heが内管内側をSGに向けて流出し、外管にはSGから戻り1次Heが流入する。外胴内面の流路は、SG

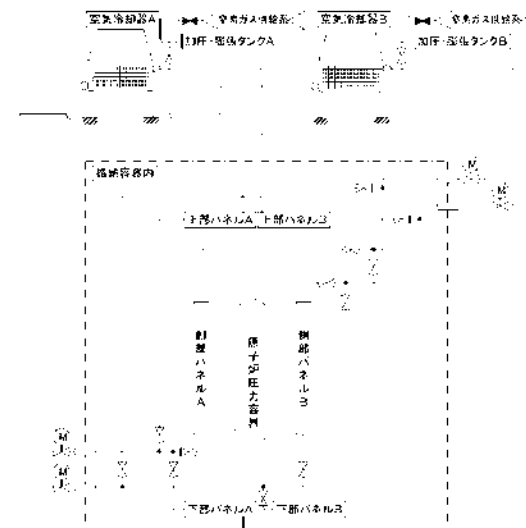


図10 炉容器冷却設備の系統概念

からの戻り1次Heの一部を流し、胴を冷却する。SGからの戻り1次Heのほとんどは、下部プレナムを通過し、原子炉に戻る。このような構造とすることで、胴の熱応力の緩和などの利点がある。また、後述する1次冷却系機器のサイド・バイ・サイド配置が可能となり、高温配管短縮に寄与する。

4.3. 炉容器冷却設備設計 (VCS)

VCSは、RPV、原子炉支持構造物および炉室壁コンクリートを冷却する設備であり、工学的安全施設のひとつである。

運転時の異常な過渡変化時および事故時に、RPVの周りに配置した水冷管パネルを用いて輻射と自然対流によって、炉心の崩壊熱を間接的に除去する設備である。通常運転時には1次遮へい体のコンクリート温度を制限値以下に保つ機能も有する。

HTTRでは、冷却水を循環ポンプにより強制循環させて除熱を行っているのに対して、HTR50Sの概念設計では、より信頼度の高い受動冷却設備化を図り、ポンプなどの動的機器を使用しない独立2系統の自然循環水冷方式を採用した。

VCSの系統概念を図10に示す。VCSは、水冷管パネル、空気冷却器、加圧・膨張タンクなどから成る。水冷管パネルは、上部パネル、側部パネルおよび下部パネルから構成され、並列流路となっており、HTTRの構造と構成を踏襲している。側部パネルの仕様と構造を図11に示す。空気冷却器は、冷却空

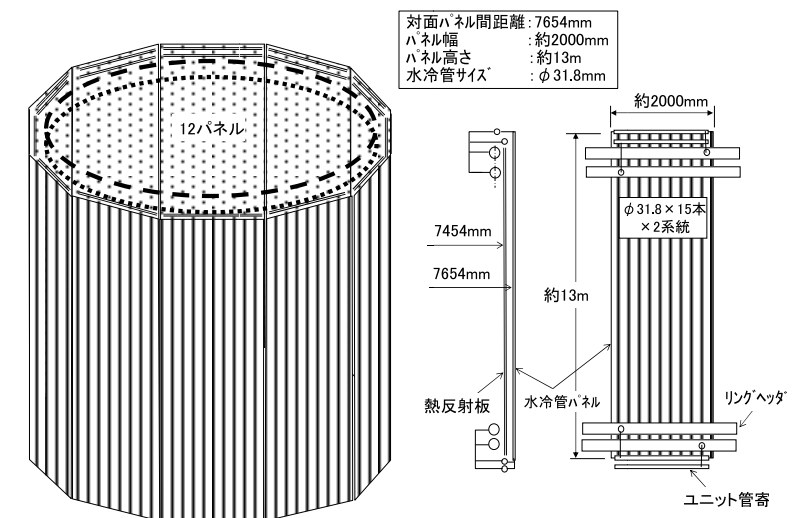


図11 水冷管パネル構造概念 (側部パネル)

気を自然通風方式とするため水平設置型とし、また、自然循環による冷却水の必要流量を確保するため

表7 水冷管パネル最高温度

項目	1系統運転時		
	側部	上部	下部
交換熱量(kW)	550.3	38.1	59.8
炉壁温度(℃)	295	295	295
水冷管パネル平均温度(℃)	58.8	59.7	58.1
空気入口温度(℃)	29.4	29.4	29.4
空気出口温度(℃)	53.6	53.6	53.6
空気流量(m <sup>3</sup> /min)	1,440	1,440	1,440
空気冷却器 空気側圧損(Pa)	3.32	3.32	3.32
空気冷却器 伝熱面積(m <sup>2</sup> )	10,042	10,060	10,039
空気冷却器 循環流量(ton/h)	52.6	52.5	52.6
フィン付き伝熱管長さ(m)	38.5	38.5	38.5
フィン付き伝熱管段数	8	8	8
空気出口スタック高さ(m)	4.0	4.0	4.0
冷却水入口温度(℃)	50.5	50.5	50.5
冷却水出口温度(℃)	61.1	60.7	61.1
冷却水循環流量(ton/h)	44.7	3.2	4.9
伝熱面積中心間距離(m)	30	23	37
空気冷却器 合流部圧損(Pa)	543.21	457.01	458.45
循環ヘッド(Pa)	1,543.27	1,181.65	1,897.80
水冷管パネル最高温度(℃)	64.0	64.8	63.3

空気冷却器の伝熱面積中心と水冷管パネルの伝熱面積中心の距離が十分確保できるように原子炉建屋の屋上に設置される。また、自然通風力増強のために、出口スタックを設けている。加圧・膨張タンクは、冷却水の体積変化の吸収および局所的沸騰の抑制のため設置している。

表7に示すようにVCSの1系統の運転時であっても、水冷管パネルの最高温度は65℃以下になると評価されている。VCSは、原子炉通常運転時の1次遮へい体のコンクリート温度を制限値65℃未満に冷却することが可能である。

5. 配置計画

HTR50Sの配置計画として、HTTRの設計をベースとして、原子炉格納容器内の1次冷却系機器の配置概念と原子炉建屋および蒸気タービン建屋内機器配置概念を検討した。なお、ガスタービン発電設備および水素製造設備は今後の検討とし、今回は検討範囲外とした。図12に原子炉建屋および蒸気タービン建屋鳥瞰図を示す。HTR50SはHTTRより出力が大きく、機器の容積も増大するため、大型化によるコストアップを抑制する必要がある。そこで、鋼材などの物量削減を目的として、原子炉格納容器をHTTRの鋼製容器から鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(RCCV)へ変更した。また、RPV支持構

造を簡素化し、高温配管の配管長をできるだけ短くするため、RPV、IHXおよびSGを横に並べ、接続二重配管を同一平面上に配置するサイド・バイ・サイド配置を採用した。更に、安全上の要求として、1次冷却設備二重管破断事故時の可燃性ガス(CO)濃度、黒鉛酸化の抑制のため、RCCV内自由空間容積を制限する必要がある。SGをIHXの横方向(平面上で斜め方向)に配置してRCCV内径を縮小すると共に、IHX下部などの余剰空間にインナーコンクリートを設置して自由空間を制限した。ただし、1次冷却系配管破断時の内圧上昇を一定値以下に抑制するために必要な自由空間容積は確保している。原子炉建屋は、HTTRから増加となるSGから蒸気タービン発電設備へ蒸気を送る主蒸気配管と蒸気タービン発電設備からSGへ復水を戻す給水配管、IHXからガスタービン発電設備へ2次Heを送る2次He配管およびRCCVの外径に合わせて寸法を拡大した。主蒸気配管および給水配管は、配管破断時の蒸気リーク量を最小とするため、蒸気止め弁からSGまでの配管長が最短となるよう配置されている。2次He配管は、高温配管を短縮するため、IHX上部のノズルから地上1階に設置されることが想定されるガスタービン設備までの距離が最短となるよう考慮されている。蒸気タービン建屋内は17.2MWeの蒸気タービンと発電機、復水設備が設置される。タービンミサイルを考慮してタービンの向きを原子炉に対し軸直に配置している。

6. まとめ

原子力機構が中心となって(株)東芝およびFAPIG加盟会社である富士電機(株)、川崎重工業(株)および原子燃料工業(株)の協力により進めてきた、開発途上国向けの小型高温ガス炉(HTR50S)の概念設計の成果について紹介した。今後、開発途上国、新興国などでの小型高温ガス炉建設にあたっての基本設計において、今回紹介した概念設計の成果が活用されることを期待したい。

参考文献

- 1) Saito, S. et al., Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), JAERI 1332, 1994.
- 2) 國富一彦ほか, 高温ガス炉ガスタービン発電システム(GTHTR300)の設計研究, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.1, No.4, 2002, pp. 352-360.
- 3) Kunitomi, K. et al., JAEA's VHTR for Hydrogen and Electricity Cogeneration : GTHTR300C", Nucl. Eng. Technol., Vol.39, No.1, 2007, pp. 9-20.
- 4) Okumura, K. et al., SRAC2006 : A Comprehensive Neutronics Calculation Code System, JAEA-Data/Code 2007-004, 2007.
- 5) 後藤実ほか, 高温ガス炉に対する核特性解析手法の比較(1), 原子力学会 2005 春の年会
- 6) Shibata, K. et al., Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3, J. Nucl. Sci. Technol. 39, 2002, pp.1125-1136.
- 7) 丸山創ほか, 炉内流動解析コード FLOWNET の検証, JAERI-M-88-138 1988.
- 8) 丸山創ほか, 燃料温度解析コード TEMDIM の検証, JAERI-M-88-170 1988.
- 9) Ueta, S. et al., Development of high temperature gas-cooled reactor (HTGR) fuel in Japan, Progress in Nuclear Energy., 53 2011, pp.788-793
- 10) DOE-HTGR-87-092 "Conceptual Design Summary Report Modular HTGR Plant"
- 11) HTGR-86-024 "Preliminary Safety Information Document For The Standard MHTGR"
- 12) G. H. Lohnert, "The consequences of water ingress into the primary circuit of an HTR-Module - From design basis accident to hypothetical postulates", Nuclear Engineering and Design 134, 159-176 (1992)
- 13) I. A. Weisbrodt, "Engineering and Licensing Progress of the HTR-Module", GCRA Tenth International Conference (1988)

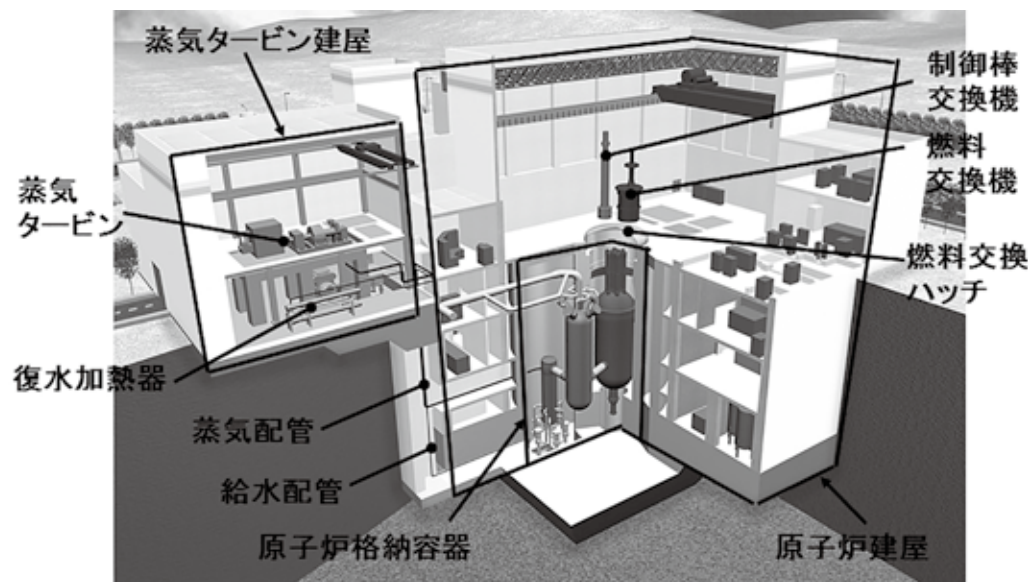


図12 原子炉建屋および蒸気タービン建屋鳥瞰図

# FAPIG 第 181 ～ 190 号 総目次

(2010 年 7 月～ 2015 年 7 月)

## FAPIG 誌項目分類表

I. 巻頭言					
II. 海外事情・国内事情					
III. 提言・包括					
IV. 談話・随筆 (随想)					
V. 講演・座談会					
VI. 特集	a. 原子炉・核融合炉・中性子科学等	b. 核燃料サイクル、廃棄物処理・処分等	c. 放射線管理、保健物理	d. 新エネルギー、省エネルギー他	e. その他
VII. 報告					
VIII. 解説・紹介					
IX. 論文					
1. 技術					
1) 概論					
2) 研究・開発・設計					
3) 土木工事・建設工事					
4) 製造・工事・試験検査					
5) 運転・保守					
6) デコミッションング					
7) 規格・基準					
2. 一般					
1) 立地・PA・安全性・環境					
2) 会議・見学・調査報告					
3) 経済性・市場性					
4) 法律・金融・損保					
3. その他					
X. 会社・技術および製品紹介					
XI. 企画紹介					
XII. FAPIG組織					

## I. 巻頭言

## II. 海外事情・国内事情

欧州の原子力事情－その歴史的経緯と現状－	村野 博一	181 - (17)
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	佐藤 研	187 - (3)
世界の高温ガス炉開発状況 (中国 HTR-PM の概要と建設状況)	大橋 一孝	188 - (3)

## III. 提言・包括

## IV. 談話・随筆 (随想)

## V. 講演・座談会

## VI. 特集

## VII. 報告

(a-1-2)	国際熱核融合実験炉におけるダイバータ機器の開発	毛利 憲介 他	183 - (7)
(a-1-4)	東海発電所熱交換器の吊上げアンカの付替工事	朽木 憲一 他	186 - (8)
(a-2-2)	高温ガス炉技術国際会議 HTR2012 に参加して	中野 正明 他	185 - (3)
(b-1-2)	汚染土壌乾式除染・減容技術	神坐 圭介 他	186 - (3)
(b-2-2)	WM2011 シンポジウムに参加して	藤沢 盛夫 他	183 - (3)
(e-1-2)	使用済み燃料プールにおける過酸化水素分解法の開発	出水 丈志 他	189 - (3)
(e-2-1)	3.11 後の原子力発電所に関する意識調査－必要性及び安全性の意識の変化－	溝口 忠雄	185 - (39)
	マプタプット工業団地における環境問題に対する施策と成果	朱里 秀作 他	186 - (20)
	品質保証部会の活動紹介－なぜなぜ分析参考書の紹介－	新田 和彦 他	188 - (19)
	サウジアラビア MEMS プロジェクト～海外ソリューションビジネスへの取組み～	矢部 典雄 他	189 - (14)
(e-2-2)	ICONE20&ASME POWER2012 に参加して	小澤 達也 他	185 - (9)

## VIII. 解説・紹介

(a-1-1)	ITER トロイダル磁場コイル構造物製作技術開発活動の紹介	山田 弘一 他	188 - (16)
(a-1-2)	ITER トロイダル磁場コイルの製造技術開発	千田 豊 他	182 - (15)
	実用高温ガス炉の炉心設計	中野 正明 他	187 - (13)
	新形式触媒式水素再結合装置の開発状況の紹介	平田 慎吾 他	190 - (9)
(a-1-4)	JMTR における SCC 照射試験のための照射環境制御装置の設計・製作	松本 武志 他	185 - (18)
	JT-60SA 用ダイバータ ターゲットの製作	山田 弘一 他	187 - (28)
	高速実験炉「常陽」MARICO-2 試料部の回収	古賀 和浩 他	190 - (3)
(a-1-6)	東海発電所熱交換器の解体撤去設備の据付	武仲 五月 他	181 - (9)

(b-1-2)			
ベレット仕上検査設備 2号機の開発	鈴木 嘉浩 他	182	(9)
東日本大震災廃棄物焼却炉の実績と研究開発について	千代 亮 他	187	(23)
(c-1-2)			
多チャンネル半導体検出器を使用した放射線測定器のシリーズ化	皆越 敦 他	181	(3)
「耐震形体表面汚染モニタ」の開発	柳嶋 良平 他	182	(3)
環境放射線モニタリング設備の震災対策	前川 修 他	185	(13)
自治体向け環境放射線監視テレメータシステムの構築	河口 哲朗 他	187	(18)
土壌放射能濃度判定機の開発	中島 定雄 他	188	(9)
緊急時放射線モニタリングシステムの開発	福本 圭佑 他	189	(9)
福島中間貯蔵施設における放射線モニタリング可視化へ向けた LED シンチレーションファイバー検出器の開発	中尾 徳晶	189	(20)
(c-2-1)			
放射線モニタリングデータ統合システムの構築	佐藤 智昭 他	184	(15)
(d-1-2)			
木質バイオマス流動層ガス化発電システムの開発	山田 健一	182	(21)
(e-1-2)			
日本原子力研究開発機構の新スーパーコンピュータシステム	清水 大志 他	182	(26)
イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発	今野 雅行 他	184	(9)
(e-1-4)			
ナトリウム工学研究施設内装設備の設計・製作	内山 尚基 他	190	(13)
(e-2-4)			
2012年の経済展望	宮崎 和貴	183	(14)
2014年の経済展望	宮崎 和貴	187	(7)
<b>IX. 論文</b>			
(a-1-2)			
HTGR 燃料ブロック冷却流路の流動特性の研究	辻 延昌 他	190	(20)
(b-1-2)			
原子力発電所の可燃性雑固体廃棄物焼却炉における使用済樹脂焼却効率向上の検討 - ワックス混練樹脂の製造および実機焼却試験結果 -	出水 丈志 他	182	(30)
土壌除染装置の開発	千代 亮 他	184	(21)
(e-1-2)			
復水脱塩装置における有機性不純物低減技術の開発	出水 丈志 他	185	(32)
(e-2-3)			
3.11 後の電力市場 ～定量的評価を用いた検討～	濱崎 博	183	(31)
スマートシティ実現に向けての需要家側の取り組み視点	上野 伸一	185	(26)
社会インフラ評価方式案の原子力発電所への適用	市村 富保	190	(25)

## X. 会社・技術および製品紹介

原子力防災用の放射線測定機器の紹介	福本 圭佑	183	(20)
荏原製作所富津工場 ASME N スタンプ取得	櫻田 幸一	183	(26)
九州電力株式会社殿 川内原子力発電所 管理区域出入管理設備	皆川 智哉	184	(3)
北海道電力株式会社殿 泊発電所 可搬型ホールボディカウンタ	皆川 智哉	186	(15)

## XI. 企画紹介

## XII. FAPIG 組織

# General Contents

(2010 ~ 2015, No.181 ~ No.190)

Table of Items in FAPIG

I. Foreword					
II. Overseas and Domestic Information					
III. Proposition and Comprehension					
IV. Talk and Essay					
V. Lecture and Symposium					
VI. Special Issue	a. Nuclear Reactors, Fusion Reactor, Neutron Science etc.	b. Nuclear Fuel Cycle, Waste Treatment/ Disposal	c. Radiation Management, Health Physics	d. New Energy, Energy Saving etc.	e. Others
1. Engineering					
1) Introduction					
2) Study/Development/Design					
3) Civil/Construction					
4) Manufacture/Installation/ Test and Inspection					
5) Operation/Maintenance					
6) Decommission					
7) Standard/Criteria					
2. General					
1) Siting/Public Acceptance/ Safety/Environment					
2) Report on Conference, Visit and Investigation					
3) Economical Evaluation/ Marketability					
4) Law/Finance/Insurance					
3. Others					
X. Presentation of Companies, their Technologies and Products					
XI. Introduction of Topical Plans					
XII. FAPIG Organization					

## I. Foreword

## II. Overseas and Domestic Information

Nuclear Energy in Europe focusing on France – its past and today – .....	H. Murano	181 – (17)
Realities of Energy Management of Japanese Company, and Proposal of Maturity Model.....	K. Sato	187 – (3)
Development Status of the HTGR in the World		
– Outline and Construction Status of the Demonstration HTGR Program (HTR-PM) of China .....	K. Ohashi and others	188 – (3)

## III. Proposition and Comprehension

## IV. Talk and Essay

## V. Lecture and Symposium

## VI. Special Issue

## VII. Report

(a-1-2)	Manufacturing Activity of Divertor in the ITER Project .....	K. Mohri and others	183 – (7)
(a-1-4)	Transfer of Jacking Up Anchor for Steam Raising Unit in Tokai Power Station .....	N. Kuchiki and others	186 – (8)
(a-2-2)	Report of the 6th International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, HTR2012 .....	M. Nakano and others	185 – (3)
(b-1-2)	Technology for Dry Decontamination and Volume Reduction of Contaminated Soil .....	K. Jinza and others	186 – (3)
(b-2-2)	Report of the WM2011 Conference .....	M. Fujisawa and others	183 – (3)
(e-1-2)	Development of Decomposition Method of Hydrogen Peroxide in Spent Fuel Pool .....	T. Izumi and others	189 – (3)
(e-2-1)	Opinion Survey for Nuclear Power Plant after 3.11 – Change of Opinion toward Necessity and Safety – .....	T. Mizoguchi	185 – (39)
	The policies and results to the environmental issues at Map Ta Phut Industrial Estate .....	S. Akari and others	186 – (20)
	Introduction of the Activity of the Quality Assurance Section – Introduction of the Reference Book of the Why-Why Analysis – .....	K. Nitta and others	188 – (19)
	MEMS Project in Saudi Arabia; Global Solution Business Initiative.....	N. Yabe and others	189 – (14)
(e-2-2)	Report of the ICONE20&ASME POWER2012 Conference.....	T. Ozawa and others	185 – (9)

## VIII. Commentary and Introduction

(a-1-1)	Introduction about Development for Manufacturing of Structure for ITER Troidal Field Coil .....	H. Yamada and others	188 – (16)
(a-1-2)	Development of Fabrication Technology for ITER Toroidal Field Coil .....	Y. Chida and others	182 – (15)
	Core Design for Commercial-size High Temperature Gas-cooled Reactor .....	M. Nakano and others	187 – (13)
	Development Status of New Type Passive Autocatalytic Recombiner .....	S. Hirata and others	190 – (9)
(a-1-4)	Design and Fabrication of Water Control Unit for SCC Irradiation Tests in JMTR.....	T. Matsumoto and others	185 – (18)
	Manufacturing of Divertor target for JT-60SA.....	H. Yamada and others	187 – (28)

Experimental Fast Reactor “Joyo” Retrieval for the Bent MARICO-2 Test Subassembly Using Remote Control Devices .....	K. Koga and others	190 - (3)
<b>(a-1-6)</b>		
Install of Dismantling Facilities for Steam Raising Unit in Tokai Power Station .....	S. Takenaka and others	181 - (9)
<b>(b-1-2)</b>		
Development of Equipment (2) of MOX Pellet Finishing and Inspection for FBR Fuel ...	Y. Suzuki and others	182 - (9)
Production and Development of Incinerator System for the Great East Japan Disaster Waste .....	R. Chishiro and others	187 - (23)
<b>(c-1-2)</b>		
Complete Series of Radiation Measuring Instrument with Multi Channel Semiconductor Type Detector .....	A. Minagoshi and others	181 - (3)
Development of “Seismic-Resistant Personnel Surface Contamination Monitor” ...	R. Yanagishima and others	182 - (3)
Seismic Countermeasures for Environmental Radiation Monitoring System .....	O. Maekawa and others	185 - (13)
Establishment of the Remote Radiation Monitoring System in Environment for Local Municipalities .....	T. Kawaguchi and others	187 - (18)
Development of the Equipment for Measuring Specific Activities of Gamma-emitting Radionuclides in Soil .....	S. Nakashima and others	188 - (9)
Development of Emergency Radiation Monitoring System .....	K. Fukumoto and others	189 - (9)
Development of a Scintillation Fiber Detector Coupled with LED for Visible Radiation Monitoring at the Interim Storage Facility in Fukushima .....	N. Nakao	189 - (20)
<b>(c-2-1)</b>		
Building of the Monitoring Information System for the Environmental Radioactivity Level .....	T. Sato and others	184 - (15)
<b>(d-1-2)</b>		
Development of Gasification Power Generation System Using Woody Biomass .....	K. Yamada	182 - (21)
<b>(e-1-2)</b>		
JAEA’s New Supercomputer System .....	F. Shimizu and others	182 - (26)
Development of YBCO Magnet for Superconducting Motor .....	M. Konno and others	184 - (9)
<b>(e-1-4)</b>		
Design and Fabrication of Sodium Test Facility for Fast Breeder Reactor .....	N. Uchiyama and others	190 - (13)
<b>(e-2-4)</b>		
Economic Outlook for 2012 .....	K. Miyazaki	183 - (14)
Economic Outlook for 2014 .....	K. Miyazaki	187 - (7)

## IX. Paper

<b>(a-1-2)</b>		
Study of the Flow Characteristics of Coolant Channel of Fuel Blocks for HTGR .....	N. Tsuji and others	190 - (20)

<b>(b-1-2)</b>		
Improvement of Incineration Efficiency of Spent Ion Exchange Resins on the Incinerator at Nuclear Power Plants - Manufacturing the Solids of the Resins Mixed with Paraffin Wax and Their Incinerating Test Results on Actual Incinerator - .....	T. Izumi and others	182 - (30)
Development of Decontamination System for Soil with Radioactive Cesium .....	R. Chishiro and others	184 - (21)
<b>(e-1-2)</b>		
Improvement of Leaching Characteristics of TOC from Condensate Demineralizers .....	T. Izumi and others	185 - (32)
<b>(e-2-3)</b>		
Electricity Market After the 3.11 - Analysis by Quantitative Evaluations - .....	H. Hamasaki	183 - (31)
The Viewpoint of the Consumer’s Efforts for the Realization of Smart City .....	S. Ueno	185 - (26)
Applicability of the Proposed Evaluation Method for Social Infrastructures to Nuclear Power Plants .....	T. Ichimura	190 - (25)

## X. Presentation of Companies, their Technologies and Products

Introduction of Radiation Measurement Equipment Used in the Nuclear Emergency (Disaster) .....	K. Fukumoto	183 - (20)
Authorization of ASME N Stamp by Ebara Corporation Futtsu Plant .....	K. Sakurada	183 - (26)
Access Control System for Kyusyu Power Electric Co., Inc Sendai Nuclear Power Plant .....	T. Minagawa	184 - (3)
Portable In Vivo Counter for Hokkaido Power Electric Co., Inc Tomari Nuclear Power Plant .....	T. Minagawa	186 - (15)

## XI. Introduction of Topical Plans

## XII. FAPIG Organization

# FAPIG の 機 構 (社名 ABC 順)

(平成 28 年 2 月現在)

## 理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 藤 原 正 洋 富士電機執行役員	理 事 藤 木 靖 久 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 清水建設執行役員
〃 水 井 聡 双日副社長執行役員	
	監 事 大 石 裕 靖 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 片 岡 昇
〃 佐 藤 哲 哉 古河電気工業監査役	
〃 大 田 彰 則 古河機械金属技監	

## 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)

<b>企画委員会</b>	<b>広報委員会</b>	<b>原子力情勢調査部会</b>
◎ 尾 崎 博 (富 士 電 機)	◎ 片 岡 昇 (事 務 局)	◎ 北 西 啓 一 (富 士 電 機)
荒 井 正 幸 (荏 原 製 作 所)	倉 島 昇 (荏 原 製 作 所)	○ 三 澤 真 (富 士 通)
山 田 裕 之 (富 士 電 機)	○ 竹 辺 晴 夫 (富 士 電 機)	羽 田 野 泰 彦 (荏 原 製 作 所)
竹 辺 晴 夫 (〃)	伊 藤 貴 代 (〃)	佐 藤 康 士 (川 崎 重 工 業)
國 澤 有 通 (富 士 通)	才 川 美 紀 (〃)	石 井 博 (清 水 建 設)
西 本 貞 矢 (古 河 電 気 工 業)	笹 野 貢 (富 士 通)	山 崎 博 巨 (双 日)
井 上 一 夫 (古 河 機 械 金 属)	柴 原 資 典 (古 河 機 械 金 属)	
○ 松 並 清 隆 (川 崎 重 工 業)	○ 湯 原 貴 浩 (川 崎 重 工 業)	
飯 田 浩 一 (み ず ほ 銀 行)	新 保 孝 之 (み ず ほ 銀 行)	
姫 野 洋 一 (清 水 建 設)	鳥 田 晴 彦 (清 水 建 設)	
○ 三 澤 宜 正 (双 日)	庄 源 英 樹 (双 日)	
片 岡 昇 (事 務 局)		
オ プ ザ ー バ ー		
来 山 正 昭 (原 燃 工)		

<b>高温ガス炉プロジェクト部会</b>	<b>廃止措置・廃棄物処理プロジェクト部会</b>	<b>品質保証部会</b>
◎ 大 橋 一 孝 (富 士 電 機)	◎ 武 仲 五 月 (川 崎 重 工 業)	◎ 高 橋 正 昭 (富 士 電 機)
○ 吉 澤 顕 (双 日)	○ 村 上 知 行 (富 士 電 機)	○ 斉 藤 利 二 (川 崎 重 工 業)
岡 本 太 志 (富 士 電 機)	石 山 祐 二 (荏 原 製 作 所)	森 雄 一 郎 (〃)
毛 利 智 聡 (川 崎 重 工 業)	前 園 伸 也 (富 士 電 機)	江 川 裕 二 (荏 原 製 作 所)
松 尾 浄 (清 水 建 設)	三 澤 真 (富 士 通)	梅 津 博 幸 (富 士 電 機)
オ プ ザ ー バ ー	鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)	新 田 和 彦 (〃)
大 橋 準 平 (原 燃 工)	沢 本 雅 弘 (双 日)	木 村 修 (〃)
		湯 木 祥 己 (富 士 通)
		長 浜 哲 志 (清 水 建 設)
		吉 澤 顕 (双 日)

## 事 務 局

局 長 片 岡 昇

Kenji Uchida

**Demonstration Project Toward Low Carbon Society in Indonesia**

FAPIG No. 191 pp.3 ~ 7 (2016)

An increase in the amount of the emission of greenhouse gas such as carbon dioxide by consuming the energy of a further fossil fuel origin is expected in emerging nations as the industrialization and urbanization progress in future. It is important issue to achieve low carbon society while driving economic growth in emerging nations. Social system demonstration project for urban energy design was started up in Bogor city Indonesia by using ICT technologies of Fujitsu and Fuji Electric Co., Ltd and by using simulation model of National Institute for Environmental Studies, Japan. The solution business value of social system demonstration project will be discussed in this paper by systematizing the technological knowhow by the form of strong point through assumption challenge, the solution, and the result.

*KEYWORDS* : low carbon society, energy consumption, simulation

Yasushi Murata, Hiroshi Fukuda, Yasushi Ooki

**Development of Vehicle Surface Contamination Monitor**

FAPIG No. 191 pp.14 ~ 19 (2016)

The dealing with the aftermath and the decommissioning of reactor have continuously practiced since the accident caused by the Great East Japan Earthquake at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Co., Inc. For its remedial work, many vehicles carrying items and materials enter to this plant. To satisfy the need to confirm no presence of contamination by radioactive materials regarding all vehicles to exit the site, the check of contamination has become effective on both inside and outside of all vehicles by using GM tube detector survey meter with hand operations. For achieving the efficiency of contamination screening and the improvement of measurement precision, Fuji Electric Co., Ltd. has developed the Vehicle Surface Contamination Monitor targeting measurement for both sides of vehicles, and supplied it to Tokyo Electric Power Co., Inc. This paper introduces the specifications and features of Vehicle Surface Contamination Monitor.

*KEYWORDS* : fukushima daiichi nuclear, vehicle surface contamination monitor

禁無断転載

FAPIG No.191

平成28年 2月26日印刷

平成27年度 第2号

平成28年 2月29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) 6871-3082

ホームページ: <http://www.fapig.jp/>

編集兼発行人 片岡 昇

印刷所 ミズノブリテック(株)  
〒104-0042 東京都中央区入船2-9-2  
電話 (03) 5566-6677(代)

Kazuaki Kosako

**Method of Shielding Calculation for Medical Radiation Facilities**

FAPIG No. 191 pp.20 ~ 26 (2016)

Because cancer patients increase with aging, the radiation therapy in the medical field is increasing. The radiation therapy using the accelerator spreads widely recently, and it is planned that the therapeutic devices are made high-performance and high energy. For the radiation therapy, facilities to manage these devices safely are necessary. It must be secured by the shielding calculation that the radiation leakage from the controlled area of radiation facilities is shielded enough. As the method of shielding calculation, a simplified expression and transport calculation method are explained, and Monte Carlo codes enables a high precision calculation. About the typical medical radiation therapeutic devices (medical linac, ion beam radiotherapy, gamma knife, and so on), it was clarified the shielding structure to be required to the characteristic of the device and explained an appropriate shielding calculation method.

*KEYWORDS* : medical radiation facility, radiation therapy, shielding, shielding calculation, shielding wall, linac, ion beam radiotherapy, gamma knife, simplified expression, Monte Carlo



Hirofumi Ohashi, Minoru Goto, Masaru Fukuie, Tetsu Suzuki  
Kazutaka Ohashi, Futoshi Okamoto, Tomoaki Mouri, Junpei Ohashi

### Conceptual Design Study of Small-sized High Temperature Gas-cooled Reactor for Developing Countries

FAPIG No. 191 pp.27 ~ 35 (2016)

In order to deploy the HTGR in developing countries at an early date, JAEA has conducted a conceptual design of a 50MWt small-sized HTGR for multiple heat applications, named HTR50S, with support of TOSHIBA Corporation and FAPIG member companies utilizing the knowledge obtained by the design, construction and operation of the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) and also based on the experiences of the design study of the Gas-Turbine High Temperature Gas-cooled Reactor, GTHTTR300. This paper presents an outline of the HTR50S plant design, as well as an outline of the system design, such as the reactor design and the cooling system design.

**KEYWORDS** : HTGR, HTR50S, developing country, HTTR, GTHTTR300, plant design, reactor design, cooling system design

## 山野を彩る季節の草花



小車(オグルマ)



寒椿(カンツバキ)

## 里山の草花を生ける ～ 精いっぱい咲く花はそれぞれに美しい～

### 作者プロフィール

久保 春雄 Haruo Kubo

荏原製作所 風水力機械カンパニー社員。1951年青森県生まれ。

1993年入社。長年にわたって荏原製作所の工事管理業務に従事し、日本各所の風力発電施設や福島第一原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所などの現地事務所の所長を務め、現在もさまざまな工事に優れた手腕を発揮し続けている。

### 主な活動履歴

柏崎近郊の野山を訪れた際、種々の草花が季節ごと異なる色で精いっぱい咲く美しさに感動し、この寡黙な可愛らしさを周囲の人に紹介したいと思ったことがきっかけとなり、独学で生け花を始める。草花が持つ自然な線をそのまま壊さないことを主眼に、水も里山の湧水を使用し、ありのままの姿に生けることを心がける。現在も出張先での多忙な仕事の合間を見つけてはその土地の草花を生け、季節の移ろいを楽しんでいる。

# 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