

# FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP



**176**

**2008. FEBRUARY**

# 世界を結ぶ、機能で結ぶ

—— 機能型総合商社、双日 ——



## 双日株式会社

エネルギー・金属資源部門  
原燃サイクル部

www.sojitz.com

## FAPIG

THE FIRST ATOMIC POWER INDUSTRY GROUP

2008 - 2 / 平成19年度 第2号

No.176

目次

■ 解 説	
2008年の経済展望 .....	(3)
岩本 洋	
■ 紹 介	
広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの開発 .....	(10)
中島定雄 / 中村尚司 / 藪谷孝志 / 増井 馨 / 山村精仁	
電磁波解析ソフトウェアを用いたノイズシミュレーション .....	(15)
並木武文	
発電所の解体によって発生するコンクリートの再利用に関する一提案 —環境を配慮したコンクリートの実現— .....	(19)
木村 博 / 石川嘉崇 / 櫻井隆喜 / 坂詰義幸 / 井ノ上弘行	
■ 論 文	
高温ガス炉 (GTHTR300C) における混合酸化物 (MOX) 燃料炉心の核設計 .....	(30)
毛利智聡 / 國富一彦	
■ 随 筆	
善光寺街道一人旅 .....	(37)
米田正章	
■ グループ情報	
FAPIGの機構 .....	(44)

表紙デザイン：坂本かおり

CONTENTS

■ Commentary

Economic Outlook for 2008 .....(3)  
 H. Iwamoto

■ Introduction

Development of Wide-Energy Range X/γ-Ray Survey-Meter .....(10)  
 S. Nakashima / T. Nakamura / T. Yabutani / K. Masui / S. Yamamura

Noise Simulation Using Electromagnetic Wave Analysis Software .....(15)  
 T. Namiki

Proposal on Recycling Method of Concrete Debris by Decommission of Power Station  
 – Realization of Concrete Minimizing Environmental Load – .....(19)  
 H. Kimura / Y. Ishikawa / T. Sakurai / Y. Sakazume / H. Inoue

■ Paper

Nuclear Design for High Temperature Gas Cooled Reactor (GTHTR300C)  
 Using MOX Fuel .....(30)  
 T. Mouri / K. Kunitomi

■ Essay

Sentiment of Solitary Journey on Zenkoji-Kaidou .....(37)  
 M. Yoneda

Cover Design : Kaori Sakamoto

2008年の経済展望  
 Economic Outlook for 2008

岩本 洋\*  
 Hiroshi Iwamoto

〔概要〕

2007年の世界経済を振り返ると、全体としてみれば堅調さを維持したものの、一方で将来に向けてのいくつかの懸念材料も生じた。最大の懸念材料は、いうまでもなくサブプライム問題であるが、米国経済そのものの行方に対する懸念や原油価格の高騰など、世界経済の先行き不透明感は強まっている。

多くの問題を抱えたまま2008年に入った世界経済は、どのような姿が想定できるのだろうか。また、その中で日本経済はどんな動きをみせるのか。2002年2月から6年に渡って拡張が続いている日本経済だが、2008年はどうやら大きな岐路に立っているようだ。

1. 2007年の世界経済の概観

1.1. 地域別の経済動向

2007年の世界経済は、好調な産油国・資源国、堅調なアジアと欧州、減速気味の米国といった色分けになった。

まず、産油国や資源国の好調は、原油価格、資源価格高騰の恩恵によるものだ。原油や資源の価格高騰は、世界経済全体としてみれば、負のインパクトを受ける割合が大きい、中東やロシアといった資源国の経済にとっては追い風になる。中東産油国では、都市建設などの大きなプロジェクトが数多く実施され、また、中東を中心に石油収入を原資とする政府設立のファンド（ソブリン・ウェルス・ファンド）は世界中に投資先を広げた。

アジア経済は、全体として堅調な成長ペースを維持した。中国、NIEs、ASEANといった主要地域が高成長を続けた結果、アジア圏の平均成長率は9%台の高い伸びとなった模様だ。とりわけ中国は10%を超える高成長となり、輸出の好調から外貨準備は1兆4000億ドルを超え世界一の水準となった。むしろ、「好調」を超えて「過熱」が懸念される状況といえよう。中国以外のアジア経済が堅調に推移した要因については国ごとに様々ではあるが、共通していえるのは、堅調な輸出と、個人消費や建設投資を中心とした内需の増勢である。

欧州では、ユーロ圏が中東欧の新興国を巻き込む形で着実に拡大を続けた。とりわけ、経済規模でユーロ圏の3割弱を占めるドイツ経済の復活が大きい。ドイツでは2006年からの回復が2007年も続いたが、企業の過剰設備、過剰債務、過剰雇用の調整が終わり、製造業や建設業が持ち直した。建設業については、東西ドイツ統合後の過剰建設投資の調整によようやく目処がついたといってもいいだろう。雇用の増加により賃金も緩やかに上昇し、景気回復の恩恵が企業から家計へ徐々に波及している。

一方米国経済は、住宅市場の調整に直面した。住宅価格が下落に転じた中で、サブプライムローン（信用度の低い借り手向けの住宅ローン）の延滞率が上昇し、この結果金融機関は融資姿勢を厳格化させた。住宅在庫が高止まりを続ける中で、住宅市場の調整はなかなかメドが立たず（図1、図2）、その影響が個人消費にも影を落とすつつある。すでに減速傾向を示している米国経済だが、この米国経済の行方そのものが、2008年の世界経済にとっての大きな懸念材料となった。

1.2. 2007年に生じたいくつかの懸念材料

米国のサブプライムローンの延滞率の上昇に端を発するサブプライム問題は、米国経済のみにとどまらず世界経済にとっての最大の懸念材料となっている。本来米国の国内問題であるはずのサブ

\* みずほ総合研究所(株) 調査本部 副本部長 チーフエコノミスト

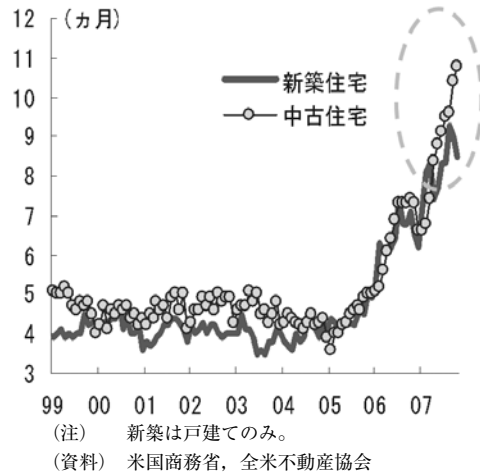


図1 米国住宅在庫率の状況

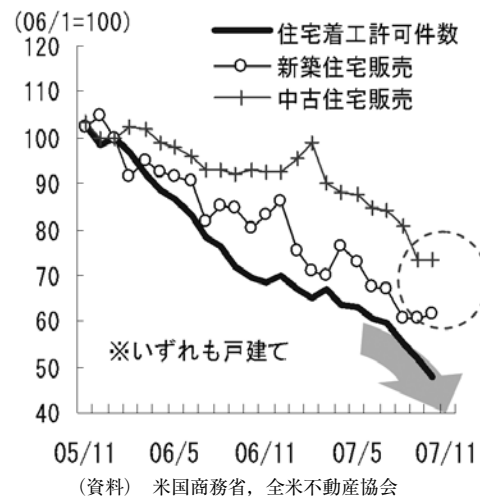


図2 米国の住宅販売・着工動向

プライム問題が世界的な問題となったのは、サブプライムローンの多くがRMBS（住宅ローン債券担保証券, Residential Mortgage-Backed Securities）やこれを束ねたCDO（債務担保証券, Collateralized Debt Obligation）といった形で証券化され、世界中の投資家に保有されたためだ。関連する証券の信用度が急激に低下し、多くのファンドや金融機関の収益を悪化させ、世界的な規模での金融資本市場混乱の原因となった。2007年の損失額は1000億ドルを超えたとみられるが、最終的な損失の規模ははまだ不明という状況だ。

こうした米国経済への懸念、米国を震源地とす

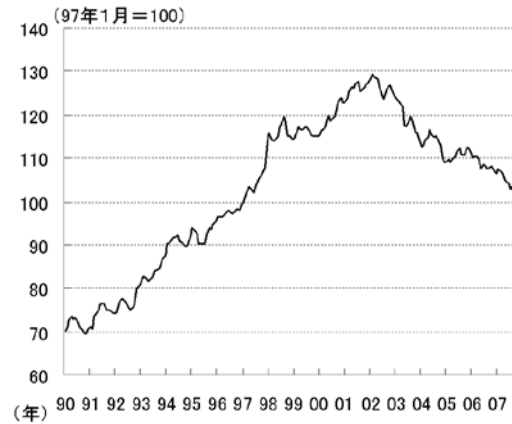


図3 ドル実効レート推移



図4 原油価格の推移

るサブプライム問題は、ドルへの不安につながる。ドル実効レートは2002年頃からすでに下落に転じていたが、2007年夏以降のドル安進行は、2008年の世界経済にとっての懸念材料に他ならない（図3）。また、原油価格や一部の資源価格が急騰し、市場最高値を更新したことも、世界経済全体にとってみれば大きな懸念材料である（図4）。資源国にとっては追い風とはいえ、他の多くの国にとっては逆風である。

米国経済の行方、サブプライム問題、ドル安、原油高に代表される資源価格高騰など、2007年の世界経済は、総じて好調な景気動向の一方で、経済の先行きに大きな不安を投げかけるいくつかの懸念材料が生じた1年であったといえよう。

### 1.3. 世界経済を支えたデカップリング

米国経済が減速傾向を示す中で、すでに述べたように産油国・資源国、アジア、欧州など米国以外の国は相対的に好調であり、世界経済全体を支えた。いわゆる「デカップリング」である。デカップリングとは、日本語に訳せば「切り離し」ないしは「非連動」となるが、米国経済の動向と世界経済との連動性が薄れていることを意味する。2007年4月にIMFが世界経済の状況を指して用いた言葉であるが、このデカップリング状態が継続するか否かは、2008年の世界経済のポイントになる。

### 2. 2007年の日本経済の回顧

このような世界経済の状況も踏まえながら、次に2007年の日本経済の動向について振り返る。2007年の日本経済は、概ね緩やかな景気拡大が続いた。2002年2月から始まった今回の景気拡張局面は、2007年12月時点で71ヶ月（5年11ヶ月）に達し、これまで戦後最長であった「いざなぎ景気」の57ヶ月を大幅に更新し続けている。しかし、いざなぎ景気や平成景気（51ヶ月）に比べて成長率が低く、大型景気の割に回復の実感が乏しいというのが特徴だ。2007年も、回復感が強まるどころかむしろ多くの人々が景気の減速を感じた1年だったのではなかろうか。

年初来の日本経済の動向を振り返ると、前半は、IT（情報技術）関連製造業が在庫調整局面に入ったことなどから生産活動が停滞し、今回の景気拡張期で3度目の減速局面（踊り場）となった。2006年末までにIT関連製造業を中心に大型投資が相次いで行なわれた反動で、前半の設備投資は一時的に減少した。また、賃金の伸び悩みを背景に、個人消費も盛り上がりや欠く展開となった（図5）。海外では米国のサブプライムローンに注目が集まり、2月には世界の株価が同時に下落する局面もあった。もっとも、この時点では米国の利下げ期待が高まったことなどから金融市場も沈静化し、サブプライム問題も深刻化しないとの見方が大勢であった。2006年半ばから住宅市場の調整に見舞われている米国向けの輸出は減少したが、中国を始めとする新興国が高成長を続け

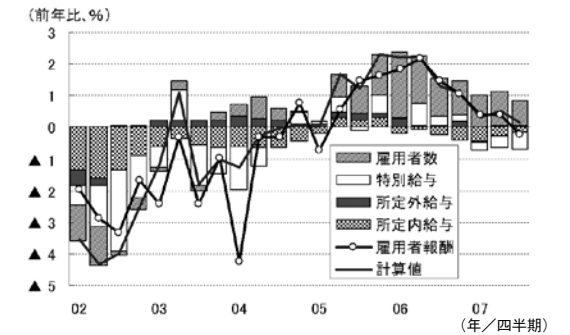


図5 雇用者報酬の推移

たこともあって、日本の輸出は拡大を続けた。

7月には中越沖地震で部品メーカーが被災したことなどから、自動車生産が計画比で10万台強の減産を強いられるなどの影響が出た。しかし、8月には正常化した自動車の生産が反動で増加したほか、IT部門も在庫調整に目処がついて増産に転じたため、7～9月期の鉄工業生産は前期比2%を超える増産となり、前半の踊り場を脱する形となった。

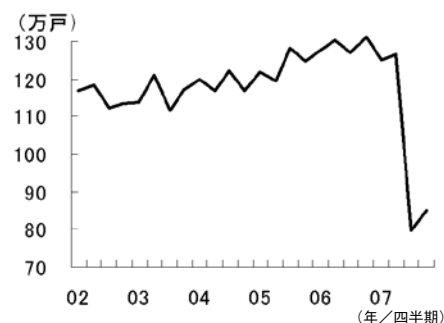
一方で、サブプライム問題が再燃し、夏場以降の金融資本市場は混乱に陥った。米サブプライムローンを原資産に含むRMBSやCDOなどの証券化商品を保有していた金融機関では巨額の損失が発生した。証券化されたサブプライムローンがどこにどれだけ保有されているかが判らない状況下で、金融資本市場が疑心暗鬼に陥ったため、欧米の金融当局は市場への流動性供給を実施するなどの対応をとった。サブプライム問題の震源地である米国では、8月に公定歩合の引き下げが緊急実施され、また、政策金利であるフェデラルファンドレートは、9月、10月、12月の3回に渡り、合計1.00%の引き下げが行われた。しかしながら、世界的な金融資本市場の混乱は未だ収束していない。日本の金融機関でもサブプライム関連の損失は発生したが、欧米に比べればその規模は小さい。

金融資本市場が混乱する中で、それまでの円キャリー取引（低金利の円資金を調達して、海外の通貨や債券で運用する取引）のポジションを解消する動きが強まったことなどから、円高が進行し

た。円高の進行は、輸出企業の収益悪化懸念につながり、株価の下落を加速させた。また、投資マネーが原油市場に流入したこともあって、原油価格は高騰し、世界的な原油価格の指標であるWTI（ウエスト・テキサス・インターメディアイト）では、1バレル当たり100ドルに迫る動きをみせた。

秋口以降は、欧米を起点とした金融資本市場の混乱が続いているにもかかわらず、日本の輸出は堅調を保った。高成長が続く中国、原油高のメリットを受ける中東・ロシア向けなどの輸出増が米国向け輸出の低調をカバーする形となったためである。むしろ、弱さが目立ったのは国内需要である。夏場の個人消費は、6月からの住民税負担増の影響もあって低い伸びにとどまった。輸出の好調で業績が堅調な大企業・製造業以外のセクターでは、仕入価格上昇などにより景況感が悪化した。さらに、6月からの建築基準法改正（耐震強度検査の強化など）の影響で住宅着工が急減したことも、国内需要を押し下げる要因となった（図6）。みずほ総合研究所では、この住宅投資の減少によって2007年度の経済成長率が0.4%ポイント押し下げられると試算している。

金融政策に目を転じると、日銀は2007年2月の金融政策決定会合において0.25%の追加利上げを実施し、政策金利である無担保コール翌日物金利の誘導目標を0.50%とした。その後も日銀は国内景気に対して強気のシナリオを基本的に維持したが、金融資本市場混乱の影響を見極める必要があるなどの理由で金融政策は据え置きが続いた。



(注) 季節調整済み年率換算値。  
07年第4四半期は10月実績。  
(資料) 国土交通省「住宅着工統計」

図6 住宅着工の推移

### 3. 2008年の経済展望

#### 3.1. 2008年の海外経済

2008年の海外経済については、前半を中心に、米国および欧州経済の減速感が強まることが予想される。サブプライム関連で損失を出した金融機関の融資姿勢が厳格化していることが、企業の設備投資などに影響を与えると見られるためだ。米国では住宅価格の下落や原油価格高騰に伴う実質購買力の低下により、個人消費の伸びも鈍化するであろう。一方、中国を中心としたアジア経済や産油国・資源国を含む新興国経済は、多少の減速はあっても高成長を維持することが予想される。中国経済については、夏に開催される北京オリンピックの後若干の減速が見込まれるが、地方圏も含めた投資の高い伸びに支えられ、10%を超える成長を維持するとみられる。

#### 3.2. 2008年の日本経済の見通し

##### (1) 良好な状態が続く輸出環境

次に、2008年の日本経済の見通しについて部門別にみていきたい。

まず、輸出についてみると、欧米経済の減速が見込まれるものの、新興国経済の好調に支えられ、トータルでみた日本の輸出環境は良好な状態が続くとみていいたい。ここ数年と同様に日本の輸出は拡大し、景気の主要な牽引役であり続けると予想される。

北京オリンピックが開催される夏場にかけて、薄型TVに代表されるデジタル家電の需要が強まるとみられる。IT部門や自動車・一般機械といった輸出関連業種を中心に、2008年前半の生産は増加基調で推移するだろう。もっとも、秋口以降は、オリンピック需要の反動が出る形でIT部門は在庫調整局面に入ると考えられる。生産活動全体も年後半は減速が予想される。

##### (2) 個人消費は引き続き低調

一方、国内需要の要である個人消費については、2008年も明るい展望を描きがたい。消費の源泉となる所得環境が芳しくないためである。2007年中の名目賃金は低下基調が続いたが、その背景には中小企業を中心に人件費抑制姿勢が強まったことがある。

輸出の堅調と国内需要の伸び悩みという2007年の経済環境は、大企業・製造業とその他のセクターでの業績格差を生み出した。大企業・製造業では売上のおよそ3割を輸出が占めるのに対し、中小企業では製造業でもそのウェイトは数%に過ぎない。内需への依存度が高い中小企業の業績は低迷し、人件費の抑制を余儀なくされた。2007夏のボーナスが前年比マイナス1.1%と3年ぶりの前年割れとなったのは、中小企業のボーナスが減少した影響が大きい。中小企業の業績低迷が賃金の低下につながって個人消費の停滞をもたらし、それがさらなる中小企業の業績悪化を招くという「負のスパイラル」に陥りつつあるのが、国内需要を巡る現状である。そして、こうした状況は2008年も続き、個人消費は停滞気味で推移すると予想される。日銀や政府は、日本経済の先行きについて、「企業部門から家計部門に回復が波及する」とのシナリオを描いてきた。しかし、2007年末に至って、そのシナリオを若干下方修正している。少なくとも2008年において、楽観的なシナリオが実現する可能性は低いといわざるを得ない。

##### (3) 拡大が続く設備投資

設備投資を取り巻く中期的環境は、比較的良好である。企業に設備過剰感はなく、製造業の設備稼働率も高水準が続いている。2008年も設備投資の拡大は続くであろう。ただし、伸びはそれほど高まらず、前年比2~3%にとどまるとみられる。

業種別にみると、これまで投資の高い伸びが続いてきた製造業については、老朽化した設備の更新投資がほぼ一巡したとみられる。世界的な需要拡大を見込むIT関連業種以外では生産能力を増強する動きは限定的であり、製造業の設備投資の伸びは今後鈍化していくことが見込まれる。一方、製造業に比べて回復が遅かった非製造業の設備投資には、一段の拡大余地がある。しかし、個人消費を中心とした国内需要が低迷する中で、2008年の非製造業の設備投資は盛り上がりを欠くとみられる。

##### (4) 住宅投資は持ち直しへ

建築基準法改正の影響で減少した住宅着工戸数は、2008年は徐々に回復し、正常水準に戻っていくと予想される。前年の反動増により、住宅投資

は2008年度の成長率を0.3%ポイント程度押し上げる見込みである。

##### (5) 2008年の日本経済の姿

以上をまとめると、日本経済は緩やかな景気拡大が続き、2008年度は2%程度の成長率になると予想する（表1）。1%台前半から半ばとみられる2007年度の成長率よりは高まるが、外需に依存した脆弱な成長であることには変わりがない。住宅投資の反動増という押し上げがあるにもかかわらず、国内需要は1%台前半の伸びにとどまるであろう。

原油価格高騰に伴うガソリン・灯油価格の上昇などから、消費者物価（生鮮食品を除く総合）の前年比上昇率は2007年10月からプラスに転じた。しかし、IT関連製品・サービスの価格下落や賃金の伸び悩みを背景に、その他の物価上昇圧力はほとんど高まらないとみられる。また、原油価格が産油国の供給増によって2008年は徐々に低下傾向を示すと予想されるため、消費者物価の上昇率はなかなか高まりにくい状況が続くであろう。こうした景気、物価動向の中にあつて、金融政策については、金融資本市場の不安感がなかなか払拭されないこともあって政策金利の据え置きが続くとみられる。

### 4. 内外に山積するリスク要因

日本経済は、2008年も外需の支えにより緩やかな景気拡大が続くというのがメインシナリオではあるが、海外・国内ともにリスク要因が山積しており、不透明感が強まっているのも事実である。

海外経済については、まず米国の住宅市場の調整が予想以上に長引く懸念がある。米国の住宅投資は2006年半ばから大幅な減少が続いているが、すでにふれたとおり住宅の在庫率は依然として高止まりしている。住宅市場の調整が2008年内に終了しない可能性も否定できず、住宅価格の下落幅が一段と拡大するおそれもある。そうなれば、住宅ローンの延滞率はさらに上昇し、金融資本市場の混乱を深めることにもなりかねない。

外需が日本経済を支え続けるためには、米国経済減速にもかかわらず新興国経済が高成長を続けるデカップリングの状態が継続することが前提と

表1 日本経済見通し(2007年12月11日)

	2006年度	2007年度	2008年度	2007年度		2008年度		2006年度	2007年度	2008年度
	(実績)	(予測)	(予測)	上期	下期	上期	下期	(寄与度)	(寄与度)	(寄与度)
				(実績)	(予測)	(実績)	(予測)	(実績)	(予測)	(予測)
実質GDP	2.3	1.3	1.9	0.3	1.5	2.3	1.6	-	-	-
国内需要	1.6	0.3	1.4	▲0.7	0.6	1.8	1.2	1.5	0.3	1.3
国内民間需要	2.6	0.5	1.8	▲0.7	0.8	2.3	1.7	1.9	0.3	1.3
個人消費	1.7	1.4	1.2	1.3	0.8	1.2	1.7	1.0	0.8	0.7
住宅投資	0.2	▲11.8	7.0	▲16.0	▲16.7	21.2	7.1	0.0	▲0.4	0.2
設備投資	5.6	0.6	2.7	▲2.7	4.3	2.7	1.4	0.9	0.1	0.4
国内公的需要	▲1.8	▲0.2	▲0.1	▲0.6	▲0.2	0.0	▲0.4	▲0.4	▲0.0	▲0.0
政府消費	0.1	0.7	0.9	0.9	1.1	0.9	0.7	0.0	0.1	0.2
公共投資	▲9.2	▲4.3	▲4.9	▲6.8	▲6.2	▲4.0	5.8	▲0.4	▲0.2	▲0.2
純輸出(寄与度)	0.8	1.0	0.6	0.9	0.9	0.5	0.5	0.8	1.0	0.6
輸出	8.2	7.6	6.1	7.9	7.0	6.1	5.0	1.1	1.1	1.0
輸入	3.0	1.6	3.1	2.2	1.7	4.0	2.9	▲0.3	▲0.2	▲0.3
名目GDP	1.6	0.7	2.1	▲0.2	0.5	3.0	2.0			
GDPデフレーター	▲0.8	▲0.6	0.2	▲0.4	▲0.8	▲0.2	0.5			
鉱工業生産	4.8	2.8	2.8	0.6	2.5	1.6	▲0.2			
完全失業率	4.1	3.9	3.7	3.8	3.9	3.8	3.6			
経常収支(兆円)	21.2	24.5	26.6	18.6	22.7	25.4	23.0			
対名目GDP比	4.1	4.8	5.1	3.6	4.4	4.9	4.4			
国内企業物価	2.0	2.2	2.4	1.6	2.8	2.4	2.4			
消費者物価	0.1	0.1	0.3	▲0.1	0.3	0.4	0.2			
長期金利(%)	1.75	1.61	1.78	1.70	1.53	1.70	1.85			
日経平均株価(円)	16,450	16,650	17,000	17,300	16,000	16,600	17,400			
為替相場(円/ドル)	117.0	114	111	119	109	109	114			
原油価格(WTI)	64.9	75.2	74.3	70.2	80.1	78.7	69.8			

(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)。  
 2. 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。  
 3. 鉱工業生産の半期は前期比。完全失業率, 経常収支の半期は季調値で, 経常収支は年率換算。  
 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」  
 財務省「国際収支統計」, 日本銀行「企業物価指数」

なる。メインシナリオはデカップリング持続シナリオだが, その新興国経済が減速するリスクもないとはいえない。米国のGDPは世界の約4分の1を占め, 多くの新興国にとって最大の輸出相手国でもある。米国経済の調整が深まれば, 新興国への影響が拡大する可能性も否定できない。

また, 高成長を続ける中国の動向からも目が離せない。国内投資はすでに過熱気味であり, 当局の引締めなどを受けて急速に冷え込むような事態

も起こりえよう。中国製品の安全性に対する懸念がさらに強まって輸出が大きなダメージを受けるようなことが起きた場合には, 中国国内での設備過剰感が強まり, 投資を冷え込ませる要因になるかもしれない。輸出入を合わせた貿易総額で見ると, 日本にとって最大の貿易相手国は中国である。中国経済の変調が日本経済に与える影響は決して無視できるものではない。もし, 何らかの理由で米国とともに新興国の経済成長が鈍り, 日本の輸

出が減少するようなことになれば, 外需の支えを失った日本経済は景気後退に陥る可能性が高いとみるべきだろう。

日本経済に対する最も蓋然性の高いリスク要因は, 急激な円高の進行である。輸出好調で好決算が続いている大企業・製造業の業績が円高でダメージを受けた場合, 輸出関連業種を中心に拡大している製造業の設備投資が大幅に落ち込む可能性がある。また, これにより株価の下落が加速し, 消費者マインドの低迷に拍車をかけることも予想される。

また, わが国の不安定な政局が経済政策の停滞を招くこともリスクの一つである。2007年7月の参議院選挙では与党が大幅に議席を減らし, 非改選分を含めても与野党の議席数逆転を許す結果となった。衆議院が与党優位, 参議院が野党優位という衆参ねじれ現象が生じる中, さまざまな政策の実現が遅れる可能性が出てきている。

経済政策を巡っては, 道路特定財源の一般財源化問題, 消費税率引き上げを巡る問題などで与野党の主張が対立している。2008年の景気動向に大きな影響を及ぼす消費税率の引き上げについては, 自民税調などが必要性を強調する一方で, 民主党は当面の消費税率引き上げ凍結を主張している。また, 自民党内でも早期の税率引き上げを主張する勢力と, 当面の経済成長を重視する勢力との間で意見が分かれている。福田首相は, 2008年度からの消費税率引き上げは否定したが, 最短では2009年度から実施される可能性がある。仮に,

2009年度から消費税率が2%引き上げられるとすると, 駆け込み需要の発生により2008年度の景気にはむしろプラスに作用する。試算では, 2008年度の成長率は0.5%ポイント程度押し上げられる見込みだ。しかし, このケースでは, 2009年度には景気後退に陥る可能性が高い。高齢化が確実に進む中で, 将来的に消費税率を引き上げる必要があるのは確かであろう。ただし, 賃金が低迷する中で消費税率引き上げは, 家計の実質所得を大きく損なうため, その実施時期には十分に注意を払う必要がある。2005年度以降の3年間, 特別減税の廃止や年金保険料率引き上げなどにより, 毎年1~2兆円の家計負担増が生じ, 可処分所得の押し下げ要因となってきた。これが, 個人消費が盛り上がりや欠く一因となっていることは間違いない。消費税率の2%引き上げは5兆円程度の負担増を家計にもたらすため, 実施時期を誤れば, 深刻なデフレを再来する可能性すらある。

## 5. おわりに

このように, 2008年の日本経済を展望すると, 内外にリスク要因が山積しており不透明感が極めて強い。リスク要因の多さに鑑みると, ここで示したメインシナリオはやや楽観的に過ぎるかもしれない。繰り返しになるが, 2002年2月から6年に渡って景気拡張を続けている日本経済は, 今年大きな岐路に立っているのはまちがいでなく, いわば「景気の分岐点」を迎える可能性も残念ながら否定できないのである。

# 広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの開発

## Development of Wide-Energy Range X/γ-Ray Survey-Meter

中島定雄\*      中村尚司\*      藪谷孝志\*\*  
 Sadao Nakashima   Takashi Nakamura   Takashi Yabutani  
 増井馨\*\*\*      山村精仁\*\*\*  
 Kaoru Masui      Seini Yamamura

〔概要〕

様々なX線照射装置から発生するX線のエネルギー範囲は、8~300keV、また環境γ線測定のためのエネルギー範囲は50~1500keVである。

われわれは、直径12.7mm×厚さ12.7mmのNaI (TI) シンチレーション検出器を用いて測定エネルギー範囲が8~300keV~1500keVの広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータを開発した。なお、検出効率はG関数で補償し、エネルギー範囲8keV~1500keVに対してエネルギー特性25%以内を実現した。

### 1. はじめに

医療用で使用される様々なX線照射装置（X線CT、マンモグラフィ、胸部、歯、胃、その他X線写真撮影）から発生するX線のエネルギー範囲は、8~300keVである。これまでこのエネルギー領域の漏洩線量測定には、電離箱式のサーベイメータが主に使用されてきた。しかし、検出感度が低く、精度の高い線量測定が出来ないこと、25keVのエネルギー領域のエネルギー依存性が表示されていない問題があり、われわれはこれまでにNaI (TI) シンチレーション検出器を用いて、測定エネルギー範囲：10keVから200keV、線量率範囲：BGから4μSv/hを高感度、かつ1cm線量当量（率）で測定できる低エネルギーX線サーベイメータ（NHC4）を開発してきた<sup>1)</sup>。それに続けて今度われわれは、入射窓の厚さを適度に薄くした直径12.7mm×12.7mm厚さのNaI (TI) シンチレーション検出器を用い、パルス波高を8~300keV（X線モード）と40~1500keV（γ線モード）の2種類のレンジに分けて8~1500keVのエネルギー範囲を測定できる広エネルギーレンジ

X/γ線サーベイメータを開発した。図1に広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの外観を示す。

エネルギー範囲が8 keV~1500keVについて、1 cm周辺線量当量（H\* (10)）の応答をさせるために、個々の検出信号の波高を分析して、その波高に対応したエネルギー補償関数（G関数）で、検出効率を補償している。G関数はEGS4モンテカルロ計算で求めた。

このサーベイメータの測定レンジは、X線モードではBG~60 μSv/h、γ線モードではBG~600 μSv/hである。線量率の指示誤差は、X線モード、



図1 ワイドレンジX/γ線サーベイメータの外観

\* 富士電機システムズ(株) 制御システム本部 放射線システム統括部

\*\* 同社 制御システム本部 放射線システム統括部 営業技術部 首都圏グループ

\*\*\* 同社 東京工場 放射線装置部 モニター設計グループ

γ線モードとも20%以内である。エネルギー特性は、X線モード、γ線モードとも25%以内である。

### 2. 装置と方法

図2に検出器プローブの外観および内部構造を示す。

NaI (TI) シンチレータは、直径12.5mm、厚さ12.5mmの円柱形で、可視光を遮断するためにアルミニウム箔で覆っている。この検出器の大きさは、NHC4型X線サーベイメータで用いている直径50mm、厚さ5mmのNaI (TI) シンチレータと比較して、測定エネルギー上限を1500keVにした場合に方向依存性がより平坦になるように選定した。シンチレータは、光電子増倍管（R647、浜松ホトニクス製）と光学的に結合し、アルミニウムのプローブに収納した。

8 keVのX線を測定するために、低エネルギー光子が効率よく通過するように検出器のアルミニウム（検出器カバー）入射窓の厚さを0.2mmとし、検出器プローブに接続する電子回路のノイズ・レベルが8 keVより十分低くなるように低ノイズ・プリアンプファイアを用い、メイン・アンプファイアはすでに開発済みの富士電機システムズ株式会社製を用いた。シンチレーション検出器の表面の外側は、薄いアルミニウム入射窓を保護するために、その上を1mm厚さのポリアセタール樹脂（POM）のホルダで覆っている。

図3に広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータのブロック図を示す。

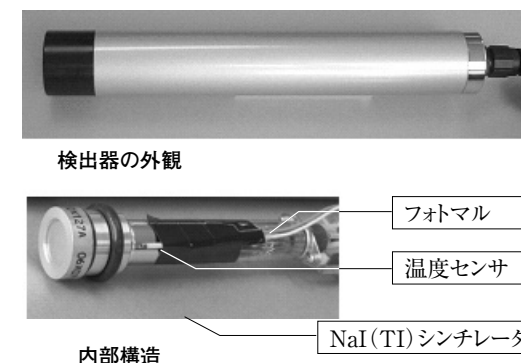


図2 検出器プローブの外観と内部構造

広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータは、8~300keVのエネルギー範囲を測定対象とする低エネルギーX線測定用と、40~1500keVのエネルギー範囲を測定対象とするγ線用の2種類の動作モードをもっている。X線モードは医療用X線発生装置のX線測定用で、γ線モードは、原子力施設周辺の環境γ線測定用である。

検出器（シンチレータ、光電子増倍管）からの出力信号はパルス増幅器を介し、その出力パルス波高は、測定モードに対応してマイクロプロセッサI内のADCの入力仕様に適合したパルス波高になるように光電子増倍管のバイアス電圧を変化させて調整している。このバイアス電圧の制御はマイクロプロセッサIIが行っている。

ピーク検出&ADCトリガ回路は、パルス増幅からのパルス信号のピークを保持し、ピーク検出信号（波高分析開始信号を）をマイクロプロセッサIへ出力する。この信号が検出されるとマイクロプロセッサIは、搭載されているADC回路を用いて、ホールドされている光子エネルギーに対応したパルス信号のピーク波高をデジタル値に変換する。それから、周辺線量当量は光子エネルギーに対応した線量を、G関数表（読み出し専用メモリ：ROM）から読み出して積算し、予め決めた線量を超えるごとに後段のマイクロプロセッサIIへ出力する。最終的に線量率をLCD表示器で指示させる。

検出器内部に温度センサを取り付けて検出器の温度を検知する。この温度センサの信号は直流増幅器で増幅し、その直流電圧をマイクロプロセッサIIのADCへ入力し、これをデジタル値に変

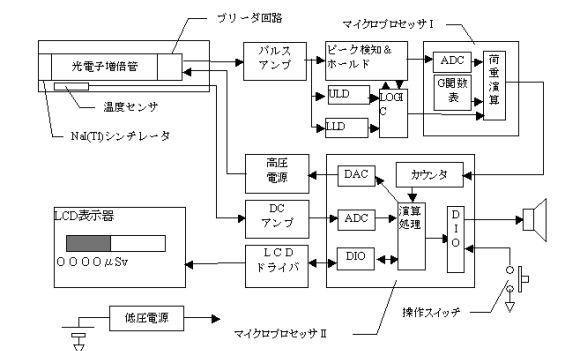


図3 広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータ ブロック図

換する。このデジタル・データは、温度に対応させて、温度補償関数表より光電子増倍管のバイアス電圧制御データを読み出してDACを介して高圧電源へ出力し、光電子増倍管のバイアス電圧を変化させ検出器の温度依存性を補償する。

低エネルギーレンジX線/γ線サーベイメータにおいて、出力波高とノイズレベルの温度依存性は調査済みで、フォトピーク変化は、使用温度範囲の0℃において約-14%、40℃において+4.5%で、ノイズレベルはこの温度変化範囲で変化しない。(例：図4) この依存性は、G関数でエネルギー補償を施すと線量測定値への寄与度合いがより大きくなること、サーベイメータは屋外で使用する場合があります使用温度範囲が広いことが要求されることより温度特性の補償を行った。

### 3. スペクトラム荷重 (G関数) の評価

検出器の6 keV~1500keVのエネルギー範囲の応答関数は、EGS4計算を基にして、スペクトラム荷重関数 (G関数) は、下記のプロセスで算出した。

測定波高分布,  $P(E_R)$ , は次式で表される。

$$P(E_R) = \int R(E, E_R) \Phi(E) dE, \quad (1)$$

ここで  $R(E, E_R)$  は、光子1個ごとの応答関数 (カウント  $\text{cm}^2 \gamma^{-1}$ )、 $\Phi(E)$  は、エネルギースペクトル ( $\gamma \text{ cm}^{-2}$ ) である。

周辺線量当量  $H^*(10)$  (Sv) は下記で与えられる。

$$H^*(10) = \int \Phi(E) h(E) dE, \quad (2)$$

ここで  $h(E)$  は、ICRP74<sup>3)</sup> で定められるフルエンスと周辺線量の換算係数である ( $\text{Sv cm}^2 \gamma$ )。そして、G関数は以下のように導かれる。

$$h(E) = \int R(E, E_R) G(E_R) dE_R, \quad (3)$$

Eq. (2) と Eq. (3) を結びつけ、線量 (H) は

$$H = \int P(E_R) G(E_R) dE_R, \quad (4)$$

G関数は (3) 式を、金氏らにより開発された逐次近似式のアンホールディング計算プログラムを用いて解くことにより得た。

このようにして得た2類のNaI (Tl) 検出器のG関数、一つは広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの直径12.7mm, 厚さ12.7mmのもの、もうひとつは低エネルギーX線サーベイメータ (NHC4) の直径50mm, 厚さ5mmに対するもので、図4と図5に検出効率  $d(E)$  (counts/γ) と比較のための  $h(E)$  を一緒に示した。 $h(E)$  値は10keV付近から減少し、20~150keV間は比較的一定である。このことは10keV~150keVのエネルギー範囲では、 $h(E)/d(E)$  ( $\text{pSvcm}^2/\text{counts}$ ) を検出器表面積 ( $\text{cm}^2$ ) で除した比  $\text{pSv}/\text{counts}$  が比較的一定となることを意味する。G関数曲線は150keV以下では  $h(E)$  曲線に沿っているが、それ以上では光子エネルギーの上昇にともなって上昇しており光子検出効率が低下している。

10keV以下のG関数の急激な上昇は、低エネルギーX線が入射窓通過時の吸収および下限ディス

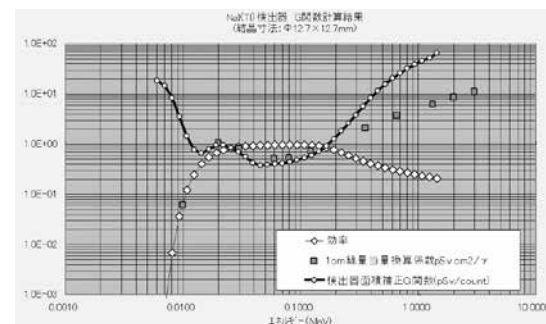


図4 NaI (Tl) シンチレータ (φ12.9×12.7) のG関数  
計算結果と検出効率および1cm線量当量率換算係数の比較

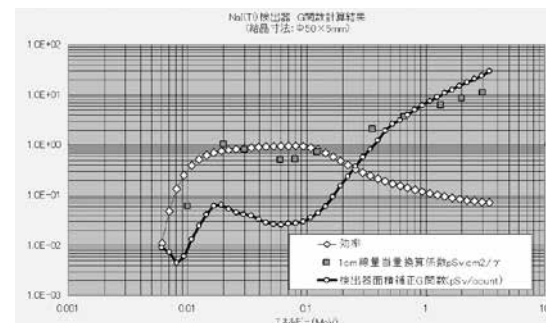


図5 NaI (Tl) シンチレータ (φ50×5t) のG関数  
計算結果と検出効率および1cm線量当量率換算係数の比較

クリミネータによる計数信号数の減少によるものである。両者のG関数を比較すると、200keV以下のX線エネルギー領域の1cm線量当量感度は、直径50mmのNaI (Tl) シンチレータに対し直径12.7mmのNaI (Tl) シンチレータは予測おり面積比  $(12.7/50)^2$  で感度が低下しており、広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの線量率の測定上限は、低エネルギーX線サーベイメータ (NHC4) 測定線量率上限の  $4 \mu\text{Sv/h}$  より16倍高い約  $60 \mu\text{Sv/h}$  となると考えられる。一方、200keV以上のγ線エネルギー領域の1cm線量当量感度は、X線エネルギー領域にくらべ約40倍低いので線量率の測定上限は約  $2 \text{mSv/h}$  になると考えられる。12.7mmの厚さのNaI (Tl) を用いている広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータのG関数は、5mm厚さのNaI (Tl) を用いている低エネルギーX線サーベイメータ (NHC4) のG関数より、特に高エネルギー領域でより平坦になっている、これは前者の高エネルギー光子に対する検出効率が後者に比べて高いためである。

### 4. 広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータの製作

以上の検討に基づき新しい広エネルギーレンジX/γ線サーベイメータは製作された。このサーベイメータは、実際のX線発生装置ではバースト状に発生する場で使用できるように、線量率を指示するアナログモードと一定時間の線量の積算値を表示するデジタルモードの両方を備えている。

実際の現場で使用されているX線発生装置は、~100msの断続的照射を繰り返す場合がほとんどであり、線量率の指示では漏洩線量が正確に測定できないので、このX線サーベイメータには、線量率をバーグラフ指示すると同時にその積算線量をデジタル指示できるようにした。

1cm線量当量に対するサーベイメータのエネルギー・レスポンスは、光子エネルギーの関数として、以下の方法で決定した。

最初に、エネルギースペクトルをX線モード (8keV~300keV) とγ線モード (50keV~1500keV) について、JQAにおいて10~200keVのX線基準ビームと富士電機システムズ株式

において59.5keV <sup>241</sup>Am, 120keV <sup>57</sup>Co, 340keV <sup>133</sup>Ba, 662keV <sup>137</sup>Cs, 1150keV <sup>60</sup>Coの基準γ線源を用いて測定した。X線モードとγ線モードは、光電子増倍管のバイアス電圧を変更することにより測定エネルギー範囲を変え、その測定エネルギー範囲にあわせてG関数も切り替えている。各出力パルス波高に図4で与えられるスペクトラム荷重G関数を乗じ、これらの全てを合計しサーベイメータの指示値 ( $H^*(10)$ ) を得ている。これは表示値である。

図6と図7は以上のようにして得た  $H^*(10)$  に対するエネルギーレスポンス (指示値) であり、X線モードについては100keVエネルギー、γ線モードについては662keVエネルギーでそれぞれ規格化されている。これらのグラフは、X線モードとγ線モードの両方の  $H^*(10)$  検出効率が25%内の偏差であることを明確に示している。

周辺線量当量率に対する検出効率の直線性 (指

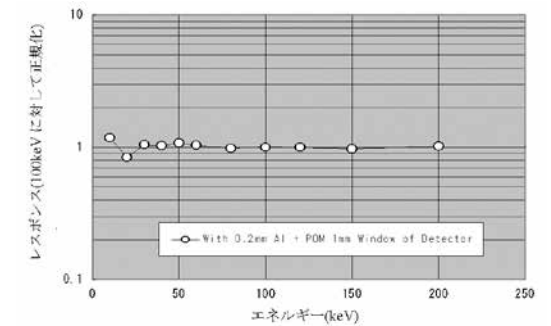


図6  $H^*(10)$  に対するエネルギーレスポンス (指示値)  
(X線モード)

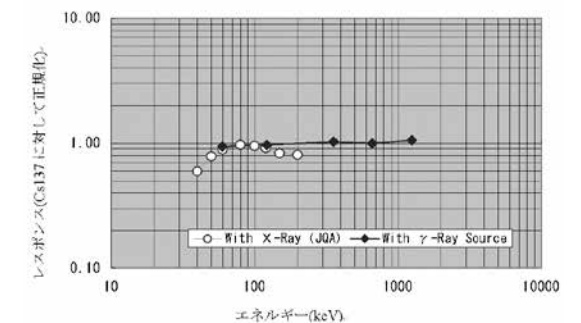


図7  $H^*(10)$  に対するエネルギーレスポンス (指示値)  
(γ線モード)

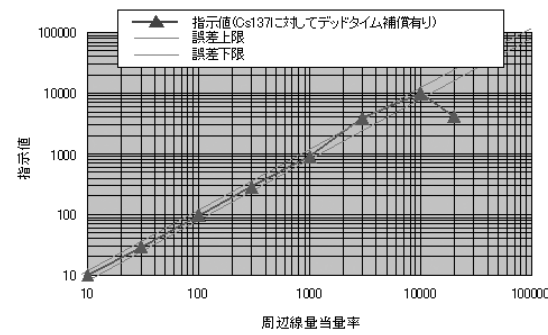


図8 周辺線量当量率に対する検出効率の直線性(指示値)  
(X線モード)

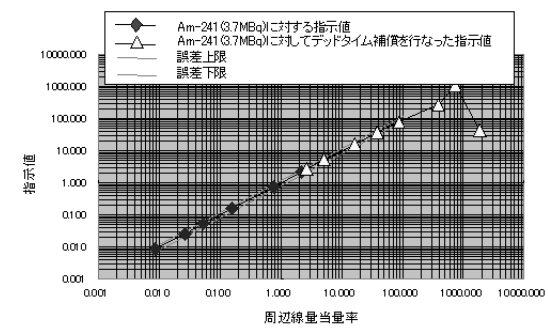


図9 周辺線量当量率に対する検出効率の直線性(指示値)  
( $\gamma$ 線モード)

示値)は、X線モードにおいては3.7mbqと3.7GBqの<sup>241</sup>Amの59.5keV光子、 $\gamma$ 線モードにおいては0.37GBq, 3.7GBq, 37GBq, 370GBqの<sup>137</sup>Csの662keV光子で検証した値である。結果はX線モードについては図8に、 $\gamma$ 線モードについては図9に示す。これらの図は、X線モードにおいて線量率60  $\mu$ Sv/h以下の領域で直線からの偏差が20%以内であり、 $\gamma$ 線モードにおいて線量率600  $\mu$ Sv/h以下の領域で直線からの偏差が20%以内であることが示されている。

表1に新規開発した広エネルギーレンジX/ $\gamma$ 線サーベイメータの仕様をまとめた。

表1 広エネルギーレンジX/ $\gamma$ 線サーベイメータの物理的特性

項目	特性		
エネルギー範囲	レスポンス		
エネルギーレスポンス	X線モード	+25~-25% (10~300keV)	
	$\gamma$ 線モード	+25~-25% (50~1500keV)	
指示範囲	X線モード	線量率	BG~60 $\mu$ Sv/h
		線量	0.001~9.999 $\mu$ Sv
	$\gamma$ 線モード	線量率	BG~600 $\mu$ Sv/h
			0.001~9.999 $\mu$ Sv
指示誤差	±20%		

広エネルギーレンジX/ $\gamma$ 線サーベイメータの10~1500keVのエネルギーレンジにおけるH\*(10)に対する指示値のエネルギー依存性は、25%以内である。

### 5. まとめ

低エネルギーX線サーベイメータ (NHC4) に続いて、われわれは8keVの低エネルギーX線領域から1500keVの環境 $\gamma$ 線領域まで高感度で測定可能な広エネルギーレンジX/ $\gamma$ 線サーベイメータを計画どおり開発できた。今後、このような低エネルギー領域で使用される医療用や実験用X線装置一般の放射線利用施設において放射線管理や環境放射線の測定に寄与することを期待している。

### 参考文献

- 1) W.R.Nelson, H.Hirayama, D.W.O.Rogers: "The EGS4 Code System", SLAC-Report-265, Stanford Linear Accelerator Center (1985).
- 2) 金ウンジュ他: 「高帯域エネルギー中性子モニタ用検出器の開発JAERI-Tech 2002-041」, p4, 2002年
- 3) 空間線量測定マニュアル

# 電磁波解析ソフトウェアを用いた ノイズシミュレーション Noise Simulation Using Electromagnetic Wave Analysis Software

並木 武文\*  
Takefumi Namiki

### 〔概要〕

今日、製造業の電子機器開発現場では、漏洩電磁ノイズ、伝送線路ノイズ、静電気ノイズなどの対策を、確実かつ効率的に実施することが課題となっている。そして、開発の期間短縮や費用削減を図る目的で、このノイズ対策に電磁波解析ソフトウェアによるシミュレーションを利用した取組みが非常に活発になってきている。

われわれは、このようなシミュレーションのニーズに応えるべく、適用範囲が広く計算効率の良いFDTD法を採用した電磁波解析ソフトウェアPoynting (ポインティング)を開発し、販売およびサポートを行っている。本稿では、Poyntingの概要とそれを用いたノイズシミュレーションの事例を紹介する。

### 1. はじめに

今日、さまざまな電子機器の開発にあたって、ノイズ対策は避けて通ることのできない課題となっており、これを確実かつ効率的に実施することが、製品開発の期間短縮や費用の削減に不可欠であると認識されている。近年、このノイズ対策に電磁波解析を応用することが有効と考えられ、様々な適用事例が報告されている。

ここでは、適用範囲が広く計算効率の良いFDTD法<sup>1)~3)</sup>を採用した電磁波解析ソフトウェアPoynting (ポインティング)<sup>4)</sup>と、それを用いたノイズシミュレーションの事例を紹介する。

### 2. 電磁波解析ソフトウェアPoynting

本章では、電磁波解析ソフトウェアPoyntingのシステム構成、基本機能、適用分野を述べる。

#### 2.1. システム構成

Poyntingのシステム構成を図1に示す。Poyntingは、電磁界解析を実行するSolverと、その出力データを解析するAnalyzer、プレ処理・ポスト処理を行うGraphical User Interface (GUI)から成る。SolverとAnalyzerは、シングルCPUで実行するスタンドアロン版と、PCクラスタの

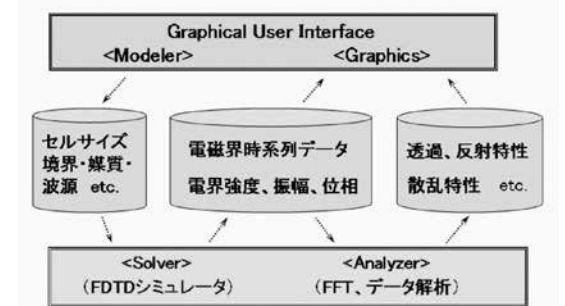


図1 Poyntingのシステム構成

ようなマルチCPUで実行する並列版とがある。また、オプションとして、基板CADや3次元CADのデータをインポートする機能がある。

#### 2.2. 基本機能

GUIは、プレ処理を行うModelerとポスト処理を行うGraphicsから成る。前者は、計算モデルの作成、差分格子の自動生成、境界条件・媒質条件・波源の設定などをポップアップウィンドウ形式で行う機能であり、入力データの作成を容易にする。後者は、算出された数値データを2、3次元グラフやアニメーションで可視化する機能であり、計算結果の確認や評価を効果的にするとともに、直感的な理解を支援する。

\* 富士通(株) 科学ソリューション事業本部 計算科学ソリューションセンター

Solverは、FDTD法に基づいた数値計算を実行し、解析領域内の電磁界各成分の時系列データやあらかじめ指定した部位の電圧電流の時間波形を算出する。規模の大きい計算の実行には、多大なメモリと長大な計算時間を要することがしばしばあり、ハイスpek的なPCが必要とされる。

Analyzerは、Solverの出力したデータを更に2次的に解析する機能で、フーリエ変換によって時間領域データを周波数領域に変換したり、時間的・空間的な積分処理をしたりして、Sパラメータ、インピーダンス、放射パターン、放射スペクトルなどの実務で必要とされるデータを算出する。

### 2.3. 適用分野

Poyntingは、主に次のような分野で利用される。

- (1) 各種プリント回路基板のシグナルインテグリティ、パワーインテグリティ、電波不要輻射、静電気放電現象の解析
- (2) 各種アンテナの入力インピーダンス、放射パターン、利得、軸比の解析
- (3) 各種マイクロ波コンポーネントのSパラメータの解析
- (4) 様々な物質、物体の電波吸収特性や電波遮へい特性の解析

### 3. CAD連携機能

製品設計の段階で効率的に計算モデルを作成するためには、CADデータをモデルデータに変換する必要がある。Poyntingは、基板CADのデータを変換するオプション機能であるECAD-LINKと3次元CADのデータを変換するオプション機能であるMCAD-LINKを用意している。

ECAD-LINKが対応しているのは、CR-5000/BD、Allegro、およびODB++形式のデータを出力可能なCADである。MCAD-LINKが対応しているのは、STL形式のデータを出力可能なCADである。データ変換のイメージを図2に示す。

### 4. 並列計算機能

Poyntingの特長の一つに、PCクラスタを使用した並列計算機能がある。PCクラスタは、複数のPCをネットワーク接続して並列分散処理を行

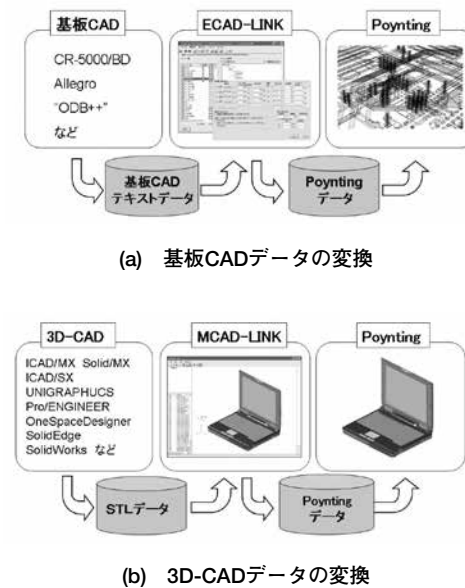


図2 CADデータの変換機能

うシステムで、比較的安価で構築できる上、アプリケーションによっては高い性能を発揮することが可能である。

並列計算の場合、計算領域をCPUの数に合わせて分割し、各CPUは分割された一つの領域のみを計算する。また、領域境界付近の電磁界データは各CPU間で通信される。FDTD法の場合、この通信データ量が少ないため、スケーラビリティ（台数効果）が出やすい。

図3に、差分格子数約13億（所要メモリ約90GB）のモデルをPCクラスタで計算した場合の並列計算の速度向上度を示す。計算環境は、CPU：Xeon 3.8GHz、ネットワーク：InfiniBand、OS：Red Hat Enterprise Linuxで、並列化ライブラリにはFJMPIを使用している。

計算速度向上については、CPU数を1としたときの計算速度に対する比を示している。図3に示したように、CPU数の増加に対して良好な速度向上が実現できており、並列計算性能が非常に高いことが分かる。

このような並列計算機能を用いれば、1台のPCでは多大な計算時間を要していた問題が短時間で計算できるようになる。また、従来は計算不可能と考えられていたような大規模問題が、実用的な時間で計算できるようになる。

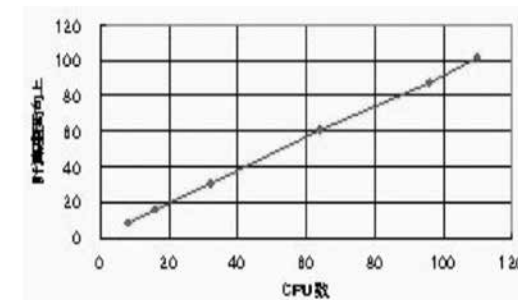


図3 並列計算性能

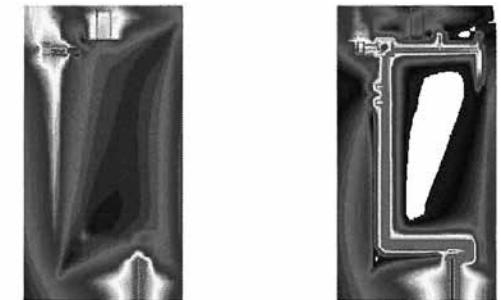


図4 携帯端末基板の電流分布

## 5. 計算事例

### 5.1. 携帯端末の静電気シミュレーション

従来、静電気の対策は、過去の経験やノウハウに依存し、試作と評価を場当たり的に繰り返すことが多かった。このような問題を克服すべく、Poyntingを用いたシミュレーションにより、定量的かつ効率的に静電気の対策を実施した例を示す。図4に、携帯端末の基板にパルス電流を印加した場合の電流分布（計算結果）を示す。対策前は基板に均様な電流が流れているが、対策後は誘導路が形成され基板の電流が減少していることが確認できる。このような基板の設計変更やフィルタ素子挿入などの効果をシミュレーションにより予測し対策を検討した結果、図5に示すように、評価ポイントでのノイズを大幅に低減することができた。さらに、シミュレーションの導入により、従来に比べて対策工数を大幅に削減し、後付対策部品を不要にできたことの意義は非常に大きい。

### 5.2. プリント回路基板のノイズシミュレーション

プリント回路基板のノイズ問題は、その種類、原因、メカニズムが多岐にわたり、かつ相互に関連しているため、現象の再現や対策の効果をシミュレーションするためには、基板全体を解析する必要がある。一方、基板を丸ごとFDTD法で電磁波解析することは、その計算規模が膨大であることから、従来は実用上不可能と考えられていた。しかし近年、前項で示したようにPCクラスタで並列計算をすることで、十分可能になってきている。

ここでは、サイズ185mm×87mm×2mm、層数10、配線幅約100μmの基板を解析した例を示す。計算モデルは基板CADデータをインポート

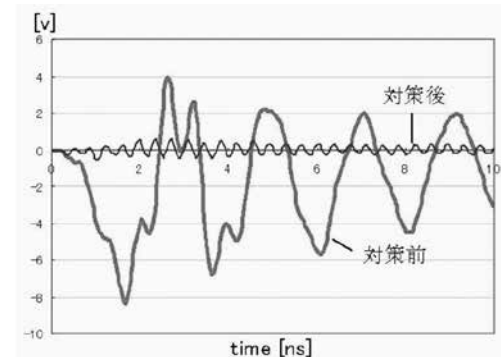


図5 評価ポイントの電圧波形

したものをベースに作成した。領域分割による差分格子数は約2.1億、時間ステップ数は25,000（物理的解析時間は1.3ns）とした。ある配線の一端に信号源を他端に終端抵抗を設定し、台形波を印加した。周囲の配線は全て整合終端した。

基板の電界強度分布（計算結果）を図6に示す。上が基板表面、下が基板断面である。信号源を設定した配線付近の電界強度が強いことや、周囲の配線にノイズが乗っている様子、さらに、電源グランド間の絶縁層を伝わってノイズが拡散する様子が確認できる。これは、特定時刻のスナップショットであるが、特定周波数での電界強度分布も算出できる。10M法での放射スペクトル（水平偏波）を図7に示す。これは、基板周囲の近傍電磁界を遠方界に変換するAnalyzerの機能を用いて算出した。

以上のシミュレーションを32CPUのPCクラスタ（CPU：Xeon 3.6GHz）で実行した場合、計算時間とCPUあたりの所要メモリは、それぞれ3.75時間と542MBだった。



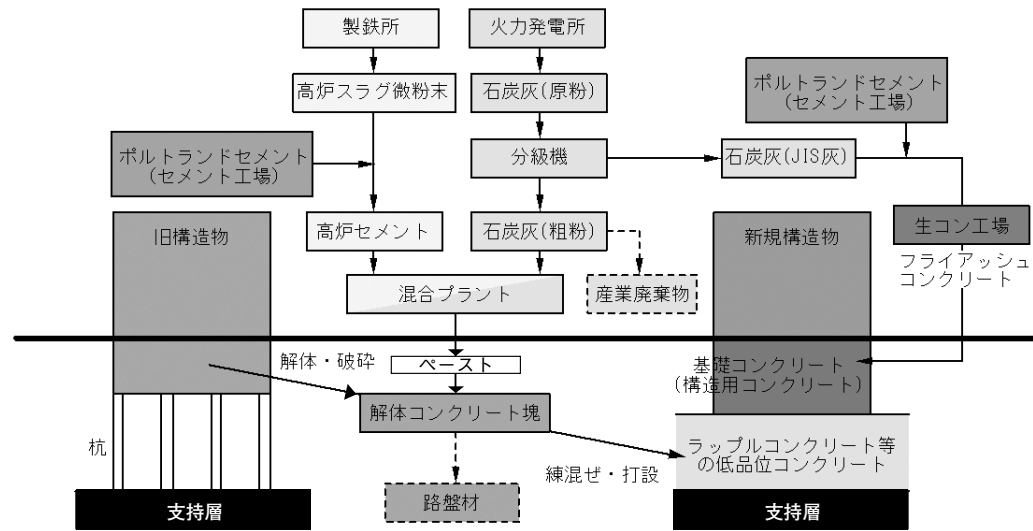


図1 火力発電所のラップルコンクリートに適用した場合のリサイクル全体の流れ

んどない。さらに、このコンクリートは、マンメイドロック（ラップルコンクリート、人工地盤）などへの適用を対象としているため、高い圧縮強度が必要ない。そこで、火力発電所から発生する石炭灰などをセメントの一部に使って、二酸化炭素排出原単位の大きいポルトランドセメントの使用量を削減し、環境影響負荷を抑制している。このように、環境影響負荷を最小限に抑え、過剰な性能を付与しないコンクリートを、ここでは「要求性能適合型コンクリート」と呼ぶこととした。

本報は、「要求性能適合型コンクリート」のうち、実際に、この環境影響負荷を低減したコンクリートを火力発電所のラップルコンクリートに適用した事例を紹介する。

2. 技術の概要

本報で紹介する「要求性能適合型コンクリート」のひとつであるラップルコンクリートは、一般のコンクリートと同様に、セメント、混和材、水、および骨材を材料とする。骨材については、粒径を40mm以下に破碎した解体コンクリート（以下、解体コンクリート塊と称する）を使用する。なお、一般のコンクリートの骨材は、粒径が5mm以上の粗骨材と5mm未満の細骨材を適当な比率で組み合わせ使用。これに対して、ラップルコンクリートの骨材は、破碎によって粗骨材分と細

骨材分の両方が同時に製造されるため、出たなりの割合で使用。セメントには、必要な圧縮強度を確保するのに必要な最少単位量の普通ポルトランドセメントを使う。これに、混和材として、微粉炭焼き火力発電所で副産される石炭灰と高炉で副産される高炉スラグ微粉末を使用する。

ラップルコンクリートに要求される圧縮強度は、一般のコンクリートの圧縮強度の1/10~1/20程度の数N/mm<sup>2</sup>である。

コンクリートの製造方法は、一般のコンクリートの場合、レディーミクストコンクリート工場で製造される。これに対して、ラップルコンクリートはあらかじめトラックアジテータ車に積載したセメント、混和材、および水で製造したペーストに、解体コンクリート塊を投入し、トラックアジテータ車で攪拌して練り混ぜる。なお、製造したラップルコンクリートは、一般のコンクリートと同様、ポンプ圧送などで所定の場所に打ち込む。

図1に、火力発電所のラップルコンクリートに適用した場合のリサイクル全体の流れを示す。

3. 解体コンクリート塊の品質

写真1に解体コンクリート塊の外観、図2に解体コンクリート塊の粒度分布を示す。

解体コンクリート塊は、コンクリートの解体現場に自走式コンクリート破碎機を搬入し、その場

で粒径40mm以下に破碎する。破碎した解体コンクリート塊は、その場で野積み保管する。

解体コンクリート塊の品質は、粒径5mm以上の解体コンクリート塊について、表乾密度が2.33g/cm<sup>3</sup>、吸水率が8.9%である。これは一般のコンクリート用骨材に比べて、表乾密度で9割、吸水率で3倍程度と低い品質となっている。

解体コンクリート塊の粒度分布は、質量比で、粒径5mm以上のものが64%、粒径0.15mm以上5mm未満のものが27%、粒径0.15mm未満のものが9%（いずれも質量比）であった。解体コンクリート塊の粒度はばらつきが大きく、各粒径における通過百分率の変動係数は10%程度であった。解体コンクリート塊の実積率は74%であった。

解体コンクリート塊は粒径が0.15mm未満の粒子が多く、そこに水分を含みやすいため、日射や降雨などによって、解体コンクリート塊の含水率は容易に変動する。ストック表面から50cm程度掘削したところにある解体コンクリート塊の含水率はおおむね14~20%であった。ラップルコンクリートの調合計画を行う上で、解体コンクリート

の含水率は大きく影響する。本事例では、含水率が18~20%の状態を「標準湿潤状態」と呼び、その状態の解体コンクリート塊に対して計画調査を設定した。

4. ラップルコンクリートの調合実験

4.1. 使用材料

表1に、使用材料の一覧を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合した高炉セメントB種を基本とし、比較用に普通ポルトランドセメントを使用した。混和材は、磯子火力発電所新1号機産の石炭灰（原粉）から、JIS A 6201に規定されたフライアッシュII種を採取した後に残った粗粉を用いた。

解体コンクリート塊の品質は、標準湿潤状態の密度が2.21g/cm<sup>3</sup>、含水率が18.04%であった。

練混ぜ水は、上水道水を使用した。

4.2. ペーストとラップルコンクリートの品質

表2に、ペーストとラップルコンクリートの目標品質を示す。

表1 使用材料の一覧

使用材料	品質など
セメント C	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm <sup>3</sup> , 比表面積3920cm <sup>2</sup> /g, T社製
	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積3300cm <sup>2</sup> /g, T社製
石炭灰 F	密度2.12g/cm <sup>3</sup> , 比表面積2390cm <sup>2</sup> /g, 磯子火力発電所新1号機産粗粉
解体コンクリート塊 Ag	標準湿潤状態の密度2.21g/cm <sup>3</sup> , 絶乾密度1.87g/cm <sup>3</sup> , 含水率18.04%
練混ぜ水 W	上水道水

表2 ペーストとラップルコンクリートの目標品質

製品	項目	目標値	備考
ペースト	シリンダーフロー	450~600mm	材料分離しないこと
	スランブ	15±2.5cm	ポンプ圧送
ラップルコンクリート	圧縮強度	2N/mm <sup>2</sup> 以上	材齢28日
	六価クロム溶出量	0.05mg/ℓ以下	環境省告示第46号



写真1 解体コンクリート塊の外観

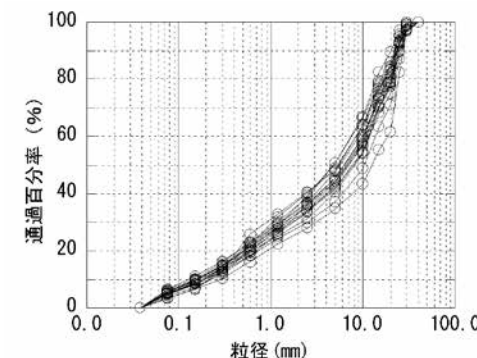


図2 解体コンクリート塊の粒度分布

ペーストは、後から解体コンクリート塊を加えて練り混ぜる必要があることから、流動性を重視し、受入れ時のシリンダーフローで評価した。

ペーストのシリンダーフローは、内径φ80mm、高さ80mmの亚克力製の円筒にペーストを入れた後、筒を一気に引き上げ、ペーストの広がりを直交する2方向で測定した。シリンダーフローの目標値は、解体コンクリート塊との練り混ぜりやすさ、およびペーストと解体コンクリート塊との材料分離抵抗性を考慮して、450～600mmの範囲とした。

ラップルコンクリートは、施工時の流動性、構造性能、および有害物質の溶出の観点から、練り上がり直後のスランプ、圧縮強度、および六価クロムの溶出量の3項目で評価した。

ラップルコンクリートのスランプは、ポンプ圧送性と圧送後のラップルコンクリートの仕上げ性を考慮して、15±2.5cmに設定した。

ラップルコンクリートの圧縮強度は、構造からの要求性能として、材齢28日で2N/mm<sup>2</sup>以上の強度を発現するように設定した。

ラップルコンクリートは一般のコンクリートに比べて著しく圧縮強度が小さいため、六価クロムの溶出が懸念される。ここでは、環境省告示第46号「土壌の汚染に係る環境基準について」(平成3年8月)に基づき、検液1リットルあたりの六価クロムの溶出量が0.05mg以下になるように、調査を検討した。

4.3. ペースト試験

ペーストは、解体コンクリート塊の間げきに入り、解体コンクリート塊相互を結合させて、ラップルコンクリートを形成する。このため、ペーストの品質は、ラップルコンクリートの品質に大きく影響する。そこで、ラップルコンクリートの試験に先立ち、ペースト試験を実施した。

ペースト試験では、水粉体比 (W/(C+F)) の影響、および石炭灰(粗粉)の置換率 (F/(C+F)) の影響を確認した。ここでは、石炭灰に、粗粉とフライアッシュII種を使用した。W/(C+F) は、45, 55, および65%の3水準、F/(C+F) は、25, 50, 75, および90%の4水準とした。

図3にW/(C+F)とシリンダーフローの関係、

図4にF/(C+F)とシリンダーフローの関係を示す。

シリンダーフローは、W/(C+F) およびF/(C+F)の増加にともない、増加する傾向を示した。また、石炭灰に粗粉を用いた時のシリンダーフローは、フライアッシュII種を用いた時のシリンダーフローに比べて大きくなる傾向が確認された。

図5に (C+F)/Wと圧縮強度の関係、図6にF/(C+F)と圧縮強度の関係を示す。

(C+F)/Wが増加すると、それに比例してペーストの圧縮強度は増加した。この傾向は、一般のコンクリートと同様であった。

一方、F/(C+F)が増加すると、それに比例してペーストの圧縮強度は低下した。(C+F)/WおよびF/(C+F)と、ペーストの圧縮強度の間には、高い1次の相関関係(相関係数≥0.99)が認められた。

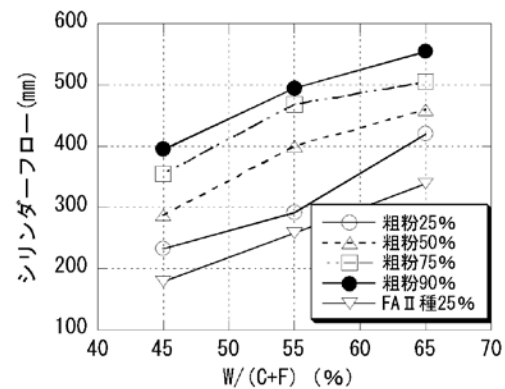


図3 W/(C+F)とシリンダーフローの関係

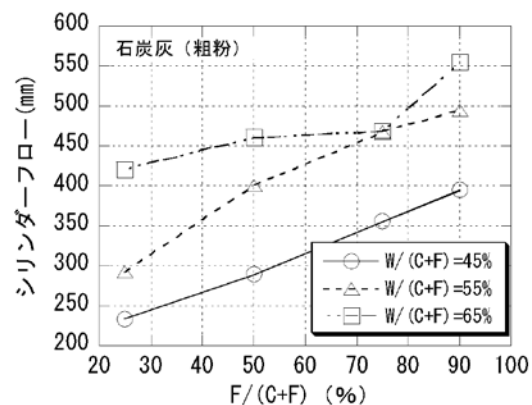


図4 F/(C+F)とシリンダーフローの関係

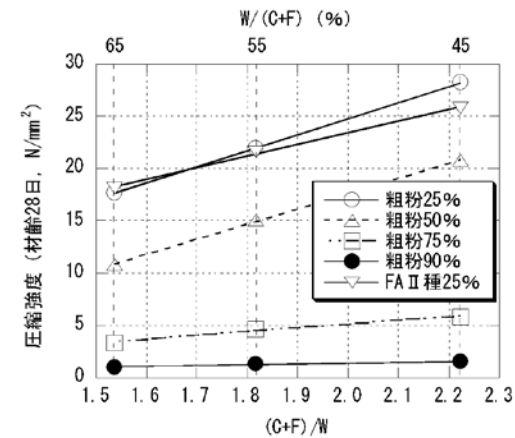


図5 (C+F)/Wと圧縮強度の関係

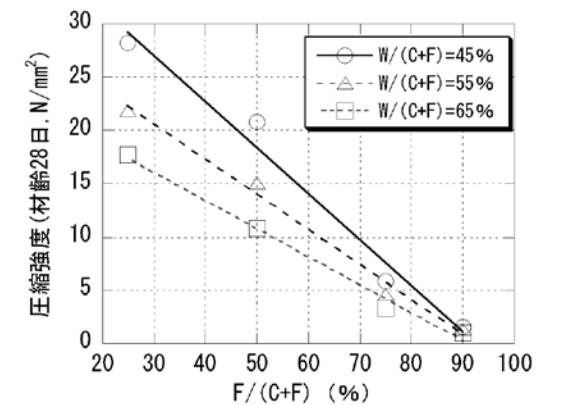


図6 F/(C+F)と圧縮強度の関係

表3 ラップルコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度の試験結果

No	セメント	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				フレッシュ性状		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
				W	C	F	Ag	ペーストフロー (mm)	コンクリートスランプ (cm)	ペースト	コンクリート
1	高炉B種	60	60.2	118	78	118	1503	535	15.0	6.66	3.29
2	高炉B種	60	31.1	118	135	61	1503	588	15.5	11.79	6.95
3	高炉B種	60	13.3	118	170	26	1503	530	17.0	15.89	8.04
4	普通	60	64.8	118	69	127	1640	533	16.0	4.33	2.20
5	高炉B種	55	31.3	119	149	68	1503	527	15.5	13.76	7.52
6	高炉B種	50	31.1	115	157	71	1503	475	13.0	16.05	8.52

※ペースト：解体コンクリート塊 = 2 : 8 (体積比) とした。

4.4. ラップルコンクリート試験

(1) 室内試験

ラップルコンクリートは、ペーストと解体コンクリート塊をトラックアジテータ車のドラム内に投入し、練り混ぜて製造する。ここでは、実施工を想定し、トラックアジテータ車のドラムを模した傾胴式ミキサ内にペーストと解体コンクリート塊を投入してラップルコンクリートを練り混ぜ、諸性状を確認した。ペーストと解体コンクリート塊の混合割合は、解体コンクリート塊の実積率から、ペースト：解体コンクリート塊 = 2 : 8 (体積比) に設定した。W/(C+F) は50～60%, F/(C+F) は13.3～64.8%に設定した。

表3に、ラップルコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度の試験結果を示す。

フレッシュ性状について、すべての調査において、ペーストのシリンダーフローが475～588mm,

ラップルコンクリートのスランプが13.0～17.0cmを示し、目標品質を満足した。

圧縮強度については、F/(C+F) > 60%なる調査では、セメントの種類にかかわらず、圧縮強度が2～3N/mm<sup>2</sup>と低かった。一方、F/(C+F) ≤ 31.3%なる調査では、圧縮強度が約7～8N/mm<sup>2</sup>と十分な値を示した。実施工におけるラップルコンクリートの品質のばらつきを考慮した場合、F/(C+F) ≥ 60%なる調査では、圧縮強度が目標品質2N/mm<sup>2</sup>を下回る危険性がある。そこで、F/(C+F) は31.3%以下に設定した。

図7に (C+F)/Wと圧縮強度の関係、図8にF/(C+F)と圧縮強度の関係を示す。

高炉セメントB種を使用したF/(C+F) = 31.1%なる調査では、(C+F)/Wと圧縮強度の間に高い1次の相関関係が認められた(相関係数0.99)。このことから、ラップルコンクリートのように圧

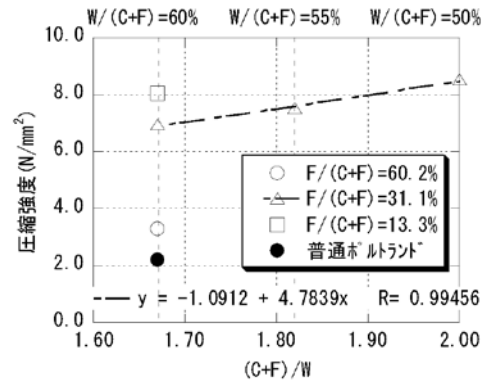


図7 (C+F)/Wと圧縮強度の関係

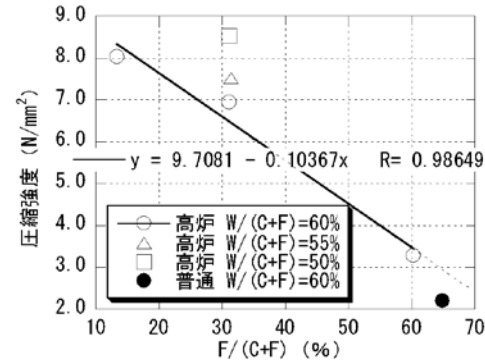


図8 F/(C+F)と圧縮強度の関係

縮強度が数N/mm<sup>2</sup>程度のコンクリートであっても、一般のコンクリートと同様に、圧縮強度を(C+F)/Wで評価できるものと考えられる。

F/(C+F)と圧縮強度の関係では、F/(C+F)の増加にともない、圧縮強度は比例して低下した。この傾向は、ペーストにおけるF/(C+F)と圧縮強度の関係と同様であった。

ラップルコンクリートからの六価クロムの溶出量は、高炉セメントB種を使用したすべての割合について土壌環境基準を満足した。

(2) 実機試験

実機試験では、実際の施工に使用するペースト製造工場、トラックアジテータ車、およびポンプ車を用いて、ペーストの製造・輸送、ラップルコンクリートの製造、および打込み状況をシミュレーションして確認した。

実機試験では、室内試験から得られた結果を反映して、W/(C+F) = 60%、F/(C+F) = 65%に設定した。また、ペースト(P)と解体コンクリート塊(Ag)の混合割合(体積比)は、P:Ag = 3:7、2.5:7.5、および2:8の3水準とした。練混ぜ時間は、1、2、3、および4分間とし、各練混ぜ時間でフレッシュ性状を確認した。

ペーストは、製造工場からラップルコンクリートの打込み場所まで約1時間かけて輸送される。これを考慮して、シリンダーフローは、練り上がり直後と現場到着時を想定した練り上がりから1時間後に測定した。シリンダーフローは、練り上がり直後で620mm、現場到着想定時で603mmであり、1時間の輸送でも低下しなかった。

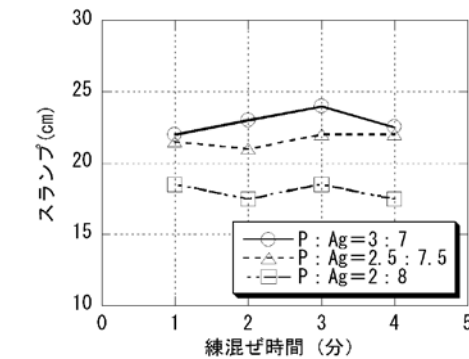


図9 練混ぜ時間とスランプの関係

図9に、練混ぜ時間とラップルコンクリートのスランプの関係を示す。練混ぜは、トラックアジテータ車のドラムを高速回転して行った。また、練混ぜ時間は、解体コンクリート塊の全量がトラックアジテータ車のドラム内に全量投入された時点から起算とした。

ペースト:解体コンクリート塊の混合割合が、P:Ag=3:7~2:8の範囲では、1分以上の練混ぜで、ラップルコンクリートのスランプは同等の値を示した。この結果から実施工場で確実に練り混ぜるため、練混ぜ時間は2分間に設定した。

練り上がりのスランプは、ペーストの量が多い(解体コンクリート塊の量が少ない)ほど、大きな数値を示した。スランプの目標品質から、ペーストと解体コンクリート塊の混合割合をP:Ag=2:8に設定した。

図10に、ラップルコンクリートのポンプ圧送試験の状況を示す。W/(C+F) = 60%、F/(C+F) = 65%、ペーストと解体コンクリート塊の混合割

合は、ペースト:解体コンクリート塊 = 2:8、練混ぜ時間は2分間とした。圧送に用いた配管の径は、解体コンクリート塊の最大寸法が40mmであることから、解体コンクリート塊の3倍以上のφ125mmとした。配管の長さは、水平配管で40mとした。吐出量は実施工にあわせて60m<sup>3</sup>/hに設定した。表4に圧送前後のフレッシュ性状の試験結果、図11に圧送前後の圧縮強度を示す。

スランプは、圧送前が18.5cm、圧送後が15.5cmと、圧送によってスランプは3.0cm低下した。しかし、圧送後のスランプであっても、十分打ち込めるだけのワーカビリティを有していることが確認された。

空気量および単位容積質量は、圧送前後で、ほとんど変化が見られなかった。

圧縮強度は、圧送前が1.38~1.85N/mm<sup>2</sup>、圧送後が3.63~4.74N/mm<sup>2</sup>と、圧送によって、圧縮強度は2.6倍になった。ポンプ圧送によって、ペー

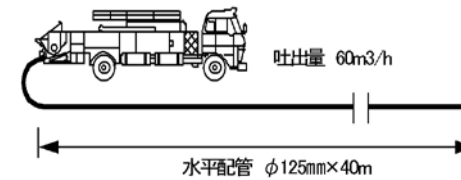


図10 ラップルコンクリートのポンプ圧送試験の状況

表4 圧送前後のフレッシュ性状の試験結果

項目	圧送前	圧送後
スランプ(cm)	18.5	15.5
空気量(%)	1.0	1.1
単位容積質量(t/m <sup>3</sup> )	1.98	2.01
コンクリート温度(°C)	9.0	9.0
外気温(°C)	9.0	9.0

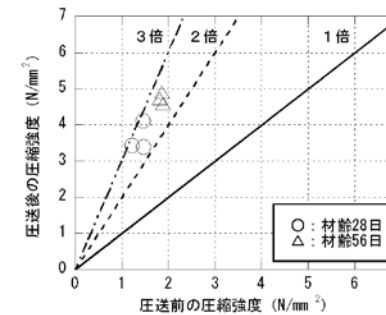


図11 圧送前後の圧縮強度

スト中の水の一部が解体コンクリート塊中の微粉などに加圧吸水され、圧送後のW/(C+F)が小さくなったためと推察される。

これらのことから、ラップルコンクリートは、普通コンクリートと同様に、ポンプ圧送が可能であることが確認された。

4.5. 使用材料および調合の確定

ラップルコンクリートでは、解体したコンクリートを破碎しただけのものと、石炭灰からフライアッシュII種を採取した後の粗粉といった、一般のコンクリートに比べて、品質が劣る材料を使用している。また、破碎した解体コンクリート塊は、日射や降雨などの影響を受けやすく、コンクリートの流動性や圧縮強度に大きく影響する含水率を一定に管理することがむずかしい。

さらに、解体コンクリート塊は現場で容積計量されるため、質量計量に比べて誤差が大きい。

そのため、ラップルコンクリートの品質は、専用の工場で製造される一般のコンクリートに比べて、品質のばらつきが大きいことが予想される。したがって、圧縮強度は、要求品質である2N/mm<sup>2</sup>ぎりぎりではなく、確実に2N/mm<sup>2</sup>が発現できるW/(C+F)とF/(C+F)を設定する必要がある。そこで、計画調合は、W/(C+F) = 60%、F/(C+F) = 31.1%に設定した。

表5に最終的に確定した使用材料、表6に最終的に確定した計画調合を示す。

表5 最終的な使用材料

使用材料	仕様など
セメントC	高炉セメントB種、密度3.04g/cm <sup>3</sup> 、比表面積3,920cm <sup>2</sup> /g
石炭灰F	磯子火力発電所新1号機産粗粉、密度2.12g/cm <sup>3</sup> 、比表面積2,390cm <sup>2</sup> /g
解体コンクリート塊Ag	旧磯子火力発電所産、絶乾密度1.87g/cm <sup>3</sup> 、含水率18.04%、実積率80.3%
練混ぜ水W	水道水

表6 最終的な計画調合

W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
		C	F	W	Ag
60	31.1	147	67	129	1640

### 5. 実構造物への適用

以上の検討で決定した「要求性能適合型コンクリート」を、電源開発株式会社火力発電所リプレース工事のうち、新2号機（神奈川県横浜市、出力60万kW）発電所本館建物のラップルコンクリートに適用した。

ラップルコンクリートに使用した解体コンクリート塊は、老朽化した磯子火力発電所旧1・2号機（合計出力53万kW）の撤去時に大量に発生した解体コンクリート塊の一部を用いた。石炭灰（粗粉）は、磯子火力発電所新1号機から副産された石炭灰からフライアッシュⅡ種を採取した後の粗粉を使用した。

図12にリプレース完了後の磯子火力発電所の状況、写真2にラップルコンクリートの製造状況、写真3にラップルコンクリートの打込み状況を示す。

ペーストは、専用工場で質量計量のうえ練り混ぜ、約1時間かけて建設現場に輸送した。そこで、ペーストの受入れ検査を行い、シリンダーフローが目標品質に満足することを確認した。

解体コンクリート塊は、あらかじめ解体コンクリート塊の質量と容積の関係を確認したバケツに、バックホウを用いて解体コンクリート塊を投入し、容積計量とした。

解体コンクリート塊は、トラックアジテータ車を高速回転させたままペーストが入ったドラム中に投入し、解体コンクリート塊全量を投入後2分間攪拌した。練混ぜが終了したラップルコンクリートは、打ち込む前にスランブを測定し、目標品質を満足していることを確認した。



図12 リプレース完了後の磯子火力発電所の状況

ラップルコンクリートの打込みはブーム車によるポンプ圧送（配管径φ100mm、最大吐出量65m<sup>3</sup>/h）を用いた。ラップルコンクリートの総打設量は約7,000m<sup>3</sup>（解体コンクリート塊使用量：11,500トン）であった。



解体コンクリート塊の野積み保管



解体コンクリート塊の計量



解体コンクリート塊の練混ぜ

写真2 ラップルコンクリートの製造状況



写真3 ラップルコンクリートの打込み状況

### 6. 実施工時における品質管理

#### 6.1. 解体コンクリート塊の含水率の計測

解体コンクリート塊の含水率は、ラップルコンクリートのフレッシュ性状や圧縮強度に影響する。そこで、ラップルコンクリートの打設日ごとに解体コンクリート塊を採取して、含水率を測定した。

図13に、ラップルコンクリート打設期間中における解体コンクリート塊の含水率の変動状況を示す。ラップルコンクリートの打設は3月末から5月末の2か月におよんだ。この間の解体コンクリート塊の平均含水率は16.7%、変動係数は9.2%であった。

#### 6.2. ペーストのフレッシュ性状

現場に到着したペーストは、その都度、受入れ試験として、フレッシュ性状（シリンダーフロー）を確認した。

図14に、ペーストのシリンダーフローの変動状況を示す。

受入れ時のペーストのシリンダーフローは、490～578mm（平均525mm）であり、目標品質を満足した。ペーストのシリンダーフローの変動係数は4.2%と非常にばらつきが小さかった。なお、出荷時のペーストのシリンダーフローは556mm（平均）であったことから、1時間の輸送で、ペーストのシリンダーフローは約30mm低下した。

#### 6.3. ラップルコンクリートの品質

ペーストと解体コンクリート塊を練り混ぜて製造したラップルコンクリートは、打ち込む前に、フレッシュ性状（スランブ）の確認と圧縮強度確認用の供試体の採取を行った。

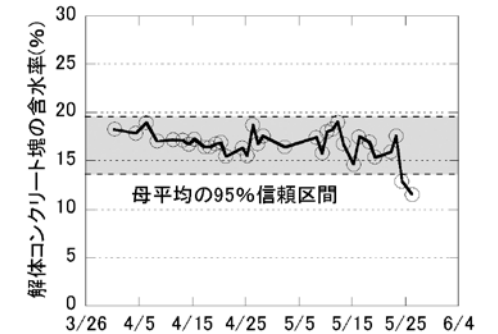


図13 解体コンクリート塊の含水率の変動状況

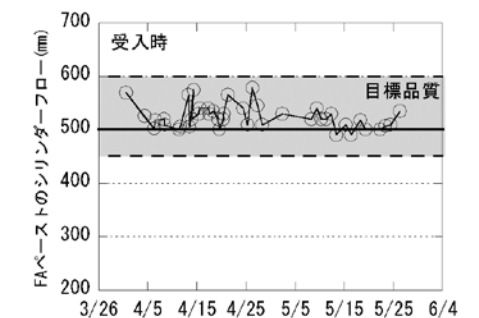


図14 ペーストのシリンダーフローの変動状況

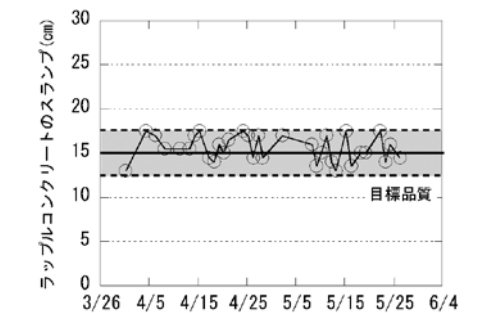


図15 ラップルコンクリートのスランブの変動状況

図15にスランブの変動状況を示す。

打設期間中のラップルコンクリートのスランブは13.0～17.5cm（平均15.6cm、変動係数9.2%）であり、目標品質を満足した。ポンプ圧送の前後で、ラップルコンクリートに材料分離は認められなかった。

ラップルコンクリートの圧縮強度（材齢28日）は、平均5.4N/mm<sup>2</sup>、最小値3.6N/mm<sup>2</sup>で、圧縮強

度の目標品質2N/mm<sup>2</sup>以上を満足した。なお、ラップルコンクリートの圧縮強度の変動係数は、室内実験では1.9%であったが、実施工時では13.3%と、ばらつきが大きくなった。実施工時でのばらつきの大きさは、施工期間中における材料の品質、および計量などのばらつきに起因するものと推察された。

## 7. 本適用事例における環境負荷低減効果

### 7.1. 解体コンクリート塊の再利用

本事例では、約7,000m<sup>3</sup>のラップルコンクリートを打設した。解体コンクリート塊の単位量は1,640kg/m<sup>3</sup>であるため、ラップルコンクリート用骨材に再利用した解体コンクリート塊は11,500トンである。解体前のコンクリート物量は61,000トンであるため、約20%を再利用したことになる。

なお、本事例では、解体コンクリート塊のほか、石炭灰や高炉スラグ微粉末といった産業副産物も多量に再利用を図っている。

ラップルコンクリート1m<sup>3</sup>中に含まれる解体コンクリート塊の質量比は83%、解体コンクリート塊に石炭灰や高炉スラグ微粉末を加えた産業副産物などの質量比は90%に上っている。

「要求性能適合型コンクリート」は、廃棄物量を低減する環境にやさしいコンクリートでもある。

### 7.2. 二酸化炭素排出量の低減効果

本事例における「要求性能適合型コンクリート」は、二酸化炭素排出量の低減効果に関しても、環境にやさしいコンクリートである。

本事例では、①高い圧縮強度が不要のため、二酸化炭素排出原単位の大きい普通ポルトランドセメントの使用量を削減し、代わりに多量の産業副産物を使用したこと、②解体コンクリート塊を場内保管し、そこでラップルコンクリートを練り混ぜることによって、コンクリートの輸送時に排出される二酸化炭素を削減したこと、および③解体コンクリート塊を場内で再利用することによって、中間処理場への輸送にともなう二酸化炭素の排出をなくしたこと、による3つの対策で、二酸化炭素の排出量を大きく削減している。

本事例を適用する以前では、解体コンクリート塊を中間処理場に排出した後、市中のレディーミ

クストコンクリート工場でコンクリートを製造し、建設現場に輸送する計画であった。この時の二酸化炭素の排出量は、環境影響負荷が小さいフライアッシュセメントB種を用いたが、それでも、1,172t-CO<sub>2</sub>になると試算された。

これに対し、本事例の適用による二酸化炭素排出量は、447t-CO<sub>2</sub>と試算されている。すなわち、本事例の適用により、二酸化炭素排出量は、当初計画の38%まで大幅に削減されたことになる。

## 8. おわりに

今回紹介した技術は、破砕しただけの低品質の解体コンクリート塊に、少量のポルトランドセメントと多量の石炭灰などの産業副産物で製造したペーストを混合して製造した「要求性能適合型コンクリート」を、マンメイドロック（ラップルコンクリート）など、それほど圧縮強度が必要ない部位に適用したものである。

この技術で製造される「要求性能適合型コンクリート」は、一般のコンクリートに比べて、品質を上げていない分、材料や製造の管理方法も、簡易的なものになっている。

このようにして製造された「要求性能適合型コンクリート」を適用することによって、条件にもよるが、コンクリート1m<sup>3</sup>中に83%（質量比）もの解体コンクリート塊を再利用できること、さらに、コンクリートの製造などで発生する二酸化炭素の排出量を6割以上も削減できることなど、地球環境にきわめてやさしいコンクリートである。

発電所の解体によって発生するコンクリートの量は多量であり、これをすべて「要求性能適合型コンクリート」に適用するのは容易ではない。しかし、これまでの再利用方法（路盤材利用や高度処理してでの高品質なコンクリート用骨材としての利用）に、「要求性能適合型コンクリート」への利用方法があらたな選択肢として加わったことによって、そのサイトに応じたベストミックスのリサイクル方法のシナリオが増えるものと考えられる。その意味においても、本報で紹介したリサイクル技術が、今後コンクリート構造物を解体する諸氏の参考になればさいわいである。

## 謝 辞

ラップルコンクリートの製造・打設に関わる種々の検討に際し、太平洋セメント(株)には多大なるご尽力を賜りました。記して、感謝の意を表します。

## 参考文献

1) 木村博・櫻井隆喜・石川嘉崇・井ノ上弘行：解体コンクリート塊を用いた極低品位コンクリートの実施工への適用事例，コンクリート工学年次論文

集，Vol.29，No.2，pp.361-366，2007年

2) 石川嘉崇・櫻井隆喜・木村博・坂詰義幸：環境影響負荷を最小限にすることを目標にした解体コンクリート塊と産業副産物を用いた極低品位コンクリートの製造，コンクリート工学，VOL.45，NO.8，pp.16-24，2007.8

3) 櫻井隆喜・石川嘉崇ほか：再生砕石を用いた極低品位コンクリートの施工に関する研究（その1～14），日本建築学会大会学術講演梗概集，2005～2007

# 高温ガス炉 (GTHTR300C) における 混合酸化物 (MOX) 燃料炉心の核設計 Nuclear Design for High Temperature Gas Cooled Reactor (GTHTR300C) Using MOX Fuel

毛利智聡\* 國富一彦\*\*  
Tomoaki Mouri Kazuhiko Kunitomi

〔概要〕

日本原子力研究開発機構では、発電と水素製造が行える電力水素併産型高温ガス炉システム (GTHTR300C) の設計研究を進めている。GTHTR300Cは、熱出力600MW、原子炉出口温度950℃の高温ガス炉システムであり、2020年代以降、燃料電池自動車に水素を供給することなどが期待されている。将来、天然ウランを消費しない高速増殖炉サイクルの本格運用にともない、高温ガス炉システムにおいても混合酸化物 (MOX) 燃料を利用することが求められる。そこで、GTHTR300CにMOX燃料を装荷した炉心の成立性を確認するために核設計を実施した。その結果、高い性能を有し安全上の制限値を満足する炉心が得られた。

本稿では、GTHTR300Cの概要とMOX燃料を装荷した炉心の核設計について報告する。

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構 (以下、原子力機構) では、2001年度から、高温ガス炉の熱利用の一環として、高温ガス炉を用いた電気出力300MW程度のガスタービン発電システム (GTHTR300) の設計研究を行ってきた<sup>1)</sup>。この設計研究によって、GTHTR300は高温ガス炉固有の安全上の特長を十分に生かした高い安全性を有し、高いプラント熱効率と高燃焼度の効果により、経済性の点でも優れた発電システムであることが示された<sup>2)</sup>。現在、GTHTR300の設計に基づいて、電力と水素を併産できる電力水素併産型高温ガス炉システム (GTHTR300C) の設計研究を進めている<sup>3,4)</sup>。

原子力機構では、高速増殖炉サイクルを将来の主要なエネルギー供給源として確立するための研究が進めている。高速炉の本格運用以降は、天然ウランの需要がなくなることになる。これに合わせて、高温ガス炉システムについても、天然ウランを用いずに混合酸化物 (MOX) 燃料を使用することが求められるため、MOX燃料を装荷した高温ガス炉システム炉心の成立性を確認しておく

必要がある。

これまでの高温ガス炉システムの設計研究では、濃縮ウラン燃料を装荷した原子炉出口温度950℃の炉心の核設計が行われており、新しい燃料交換方式の採用、高性能燃料の使用などによって、高性能で経済性の高い炉心を構成できること、および制御棒操作方法の改善によって、安全上十分な裕度が確保されることが確認された<sup>5)</sup>。この濃縮ウラン燃料の核設計に基づいて、MOX燃料を装荷した原子炉出口温度950℃炉心の核設計を実施した<sup>6)</sup>。

本報では、GTHTR300Cの概要とMOX燃料を装荷した原子炉出口温度950℃炉心の核設計の結果を報告する。

## 2. GTHTR300Cの概要

GTHTR300Cは、水素製造と発電の両方を行うことを目的としたCO<sub>2</sub>ガスを発生しない高温ガス炉システムであり、2020年代に導入することを想定して、現在、概念設計が行なわれている。GTHTR300Cは、日本初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉 (HTTR) の設計、建設および運

転から得られた原子炉技術、中間熱交換器のために開発された材料技術および構造技術、さらに、熱化学法ISプロセスによる水素製造技術、ガスタービン圧縮機および磁気軸受のために、これまでに開発された技術に基づいて設計されている。GTHTR300Cはこれらの成熟した技術を使用しているため、開発リスクが最小限に抑えられ、経済的で早期の導入が可能なシステムとなっている。

GTHTR300Cの概念図を図1に、基本系統構成を図2に示している<sup>4)</sup>。GTHTR300Cは、水素製造設備と発電設備を接続した熱出力600MWt、原子炉出口温度950℃の高温ガス炉システムである。中間熱交換器とガスタービンが、一次ヘリウム循環系内に直列に接続されており、水素製造用に900℃以上の熱を、発電用に850℃の熱を効率的に供給することができる。原子炉熱出力600MWtのうち約170MWtの熱が、中間熱交換器を通して二次ヘリウム循環系に移り水素製造設備に供給される。水素製造は原子炉からの熱を利用した熱化学法ISプロセス<sup>7)</sup>によって行われ、水素エネルギー

が水素製造設備に供給される熱エネルギーの50%となることを目標としている。この水素製造効率は、軽水炉と電気分解を組み合わせた水素製造設備の効率に比べて20%程度高い値であり、水素製造量は24000Nm<sup>3</sup>/hとなる。

一方、発電は一次ヘリウム循環系内に直接設置されたガスタービンによって行われる。中間熱交換器から出る850℃のヘリウムガスは、ガスタービンを駆動した後、再生熱交換器、前置冷却器を経て圧縮機に流入する。圧縮機からの135℃のヘリウムガスは再生熱交換器において594℃まで昇温され、軽水炉において使用実績のある材料 (Mn-Mo鋼) で製造された原子炉圧力容器内に流入する。ガスタービンによる発電効率は、蒸気サイクルを用いている軽水炉に比べて10%程度高い約46%となる。

また、GTHTR300Cは水素製造あるいは発電のみの運転が可能であり、水素製造のみの運転においては、原子炉出口温度は950℃のまま原子炉出力を低下させて、ガスタービンでは発電を行わずにヘリウムガスを循環させる。発電のみの運転においては、中間熱交換器では熱交換を行わず、原子炉出口温度を850℃まで低下させて運転する。

## 3. MOX炉心の核設計

### 3.1. 炉心基本条件

GTHTR300Cの炉心の水平断面図を図3(a)に示す。炉心の主要諸元を表1に示す。図に示すように90体の燃料カラム (燃料体を縦に8段積み上げたもの) が環状に配置され、燃料カラムの上下部には同形状の黒鉛製の可動反射体が存在する。燃料カラムと上下部の可動反射体の内側と外側には、10段積み上げた黒鉛ブロックから構成される可動反射体カラムが配置されている。制御棒と後備炉停止系のための制御カラムが、燃料カラムに隣接する可動反射体部に30体置かれている。スタンドパイプが制御棒1対ごとに設けられており、同一スタンドパイプ内の1対の制御棒は駆動機構を共有している。外側の可動反射体カラムの周囲には、固定反射体が配置されている。

燃料体および燃料棒の断面図を図3(b)に示す。燃料体は、半径410mm、高さ1050mmの六角柱の

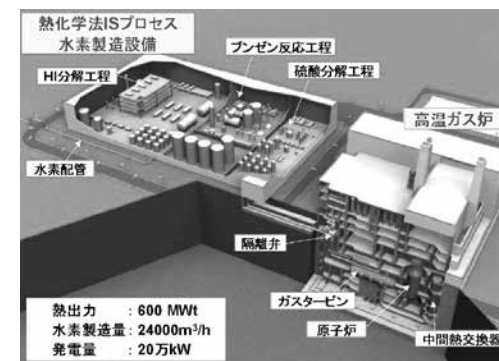


図1 GTHTR300Cの概念図

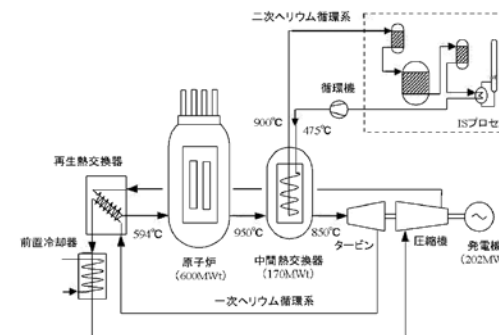


図2 GTHTR300Cの基本系統構成

\* カワサキプラントシステムズ(株) 原子力室

\*\* 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 コージェネレーション高温ガス炉設計評価グループ

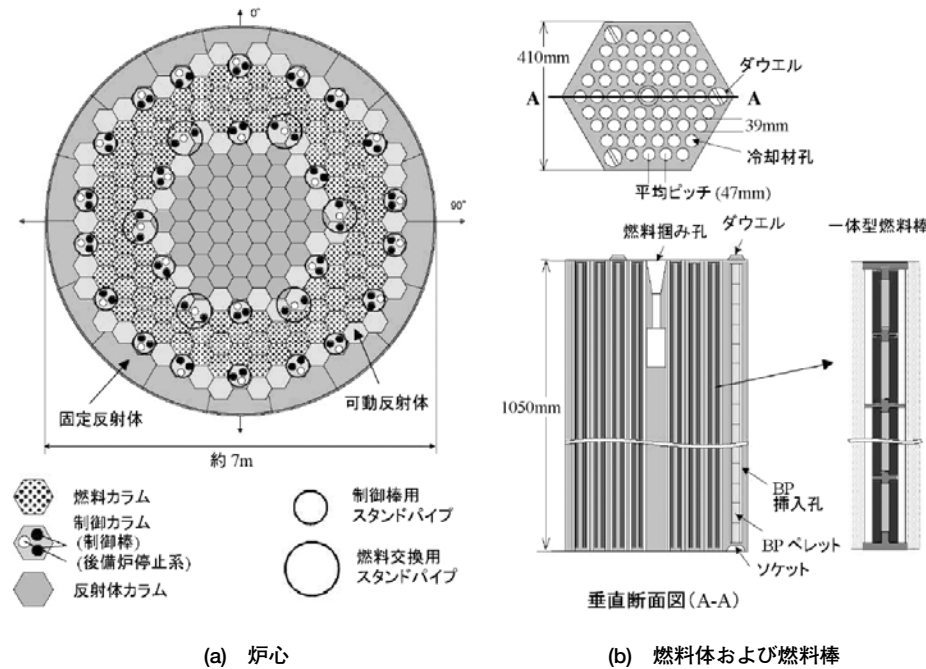


図3 炉心、燃料体および燃料棒の水平断面図

表1 炉心主要諸元

項目	値
原子炉熱出力	600MWt
原子炉入口/出口温度	594℃/950℃
冷却材圧力	5.1MPa
運転サイクル長さ	450日
燃料形態	UO <sub>2</sub> -PuO <sub>2</sub>
燃料体の種類	ピンインブロック型
炉心高さ	8.4m
炉心内径/外径	3.7m/5.5m
燃料体段数	8
内側反射体カラム数	73
燃料カラム数	90
制御棒対数	30
平均出力密度	5.4MW/m <sup>3</sup>

黒鉛ブロックである。燃料体はピンインブロック型であり、57の燃料棒挿入孔 (直径39mm) が存在する。燃料棒は被覆燃料粒子を黒鉛マトリック中に分散したものである円筒状 (内径9mm, 外径26mm, 高さ83mm) の燃料コンパクトを積み上げたものである。燃料コンパクトの内側には黒

鉛棒が挿入されている。燃料コンパクトの外側には厚さ1mmの黒鉛被覆層が施され、一体型燃料となっている。ヘリウム冷却材は、燃料棒挿入孔と燃料棒の間の隙間を上方から下方に向かって流れる。また、燃料体の角の3箇所には、炭化ほう素 (ほう素は天然同位体組成) と黒鉛粉末の混合焼成体である可燃性毒物 (Burnable Poison) (以下、BPという) の挿入孔がある。BPは燃焼初期の過剰反応度を抑えて長期間の燃焼を維持するために装荷する。

MOX燃料のプルトニウムには、炉心性能目標を満足させるため、高速炉の多重リサイクル平衡時に取出される2種類の組成のものを使用した。1つは、高速炉の炉心部の取出し燃料とブランケット部の取出し燃料を混合したものから抽出されるものであり、組成は (<sup>238</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu/<sup>240</sup>Pu/<sup>241</sup>Pu/<sup>242</sup>Pu/<sup>237</sup>Np/<sup>242</sup>Am/<sup>243</sup>Cm = 1.1/54./32.1/4.3/3.9/0.5/2.0/1.0) である<sup>9)</sup>。このプルトニウムを用いたMOX燃料を、以下では多重リサイクルTRU燃料という。もう1つは、取出しブランケットから抽出されるものであり、組成は (<sup>239</sup>Pu/<sup>240</sup>Pu/<sup>241</sup>Pu/<sup>237</sup>Np/<sup>241</sup>Am = 92.6/6.8/

0.3/0.2/0.1) である<sup>9)</sup>。このプルトニウムを用いたMOX燃料を、以下では取出しブランケット燃料という。

燃料交換方式には、1サイクルごとに、炉心の軸方向に8段ある燃料体のうち偶数段の燃料体を取り出し、奇数段の燃料体を偶数段に移動して、空いた偶数段に新燃料を装荷するサンドイッチシャッフリング燃料交換方式を採用した<sup>1)</sup>。新燃料と1サイクル燃焼後の燃料が炉心の軸方向に交互に存在するため、軸方向の出力分布の平坦化に有効である。

### 3.2. 炉心設計条件

本設計では、炉心性能目標および安全上の制限条件を以下のとおり設定した。

- ①取出し燃料の平均燃焼度：120GWd/ton以上
- ②運転サイクル長さ：現行の軽水炉並の12ヶ月を確保
- ③最大出力密度：13MW/m<sup>3</sup>以下 (これを満足すれば、事故時の燃料最高温度は有意な追加燃料破損の生じない1600℃以下となる<sup>5), 10)</sup>)
- ④炉停止余裕：許認可上の制限である1.0% Δk/kk'以上
- ⑤反応度係数：負の値

### 3.3. 設計方法

#### (1) 燃焼特性

燃焼特性の計算手順を図4に示す。格子燃焼計算には高温ガス冷却炉・格子燃焼特性解析コードDELIGHTの最新版DELIGHT8<sup>11)</sup>を使用した。DELIGHT8は、最新の核データであるJENDL-3.3に基づくデータライブラリーを扱うことができる。また、Cmなどのマイナーアクチニドが扱える燃焼チェーンを有しているため、マイナーアクチニドを含む多重リサイクルTRU燃料を扱うのに適している。格子燃焼計算のエネルギー群数は107群 (高速61群, 熱46群) として、燃焼ステップ (燃焼期間450日に対して22ステップ) ごとに、マクロの群定数を作成した。群定数は、燃焼領域ごとに燃焼度に対応する値を求めた後、炉心計算の出力分布と中性子束分布を用いてXe蓄積量など空間的な燃焼効果の違いを補正して求めている。

炉心計算には多次元拡散計算コードCITATION<sup>12)</sup>を使用した。炉心計算では、107群

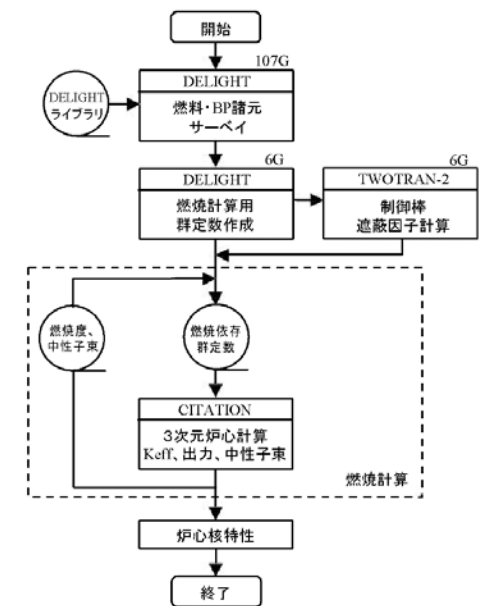


図4 燃焼特性計算手順

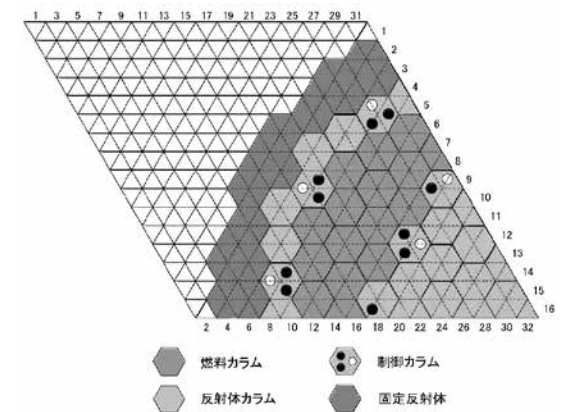


図5 60°回転対称計算モデル (水平断面)

の群定数を6群 (高速3群, 熱3群) に縮約して用いた。計算モデルは、図5に示すように60°回転対称の3次元1/6炉心モデルを使用した。径方向は固定反射体までをモデル化範囲として、1燃料体を6メッシュに分割した。軸方向は可動反射体までをモデル化範囲として、1燃料体を8メッシュに分割した。燃料体1体を軸方向に2領域に分割して、それを基本的に1燃焼領域とした。ただし、径方向の燃焼領域については、燃料体内を燃料の種類異なる2領域に分割する場合には、それに合わせて燃焼領域も分割した。

制御棒ブロックの群定数については、2次元輸送計算コードTWOTRAN<sup>19)</sup>を用いて制御棒遮蔽因子(制御棒ブロック内平均中性子束に対するブロック内各部の中性子束の比)を計算した。それを重みとして制御棒ブロック内各部の群定数から制御棒ブロック平均の群定数を作成した。

出力密度の計算では、燃料体ブロック内を1/6に分割した三角形の領域を1チャンネル(図5の1メッシュに相当)として、軸方向出力密度分布を求めた。

(2) 炉停止余裕

炉停止余裕の計算は、最大反応度値を持つ制御棒1対が炉心から引抜かれた状態(ワンロッドスタック)を対象とした。燃焼特性計算において用いたCITATIONによる60°回転対称の3次元1/6炉心モデルでは、制御棒1対が引抜かれた非対称な状態を表現することができないため、この状態を詳細にモデル化できる連続エネルギーモンテカルロ法コードMVP<sup>10)</sup>を用いて、3次元全炉心モデルにより計算した。炉停止余裕の計算対象は、他の状態を包絡する燃焼初期の低温状態とした。また、MVPによって平衡炉心の計算を行うことは、入力データ数が多く現実的ではないため、燃料が燃焼していない状態の第1サイクル移行炉心を対象とした。後備炉停止系の炉停止余裕の計算は、制御棒は高温状態の臨界位置に保持され、後備炉停止系の1系統が投入されない場合として、

その他の条件は制御棒の場合と同一とした。

(3) 反応度係数

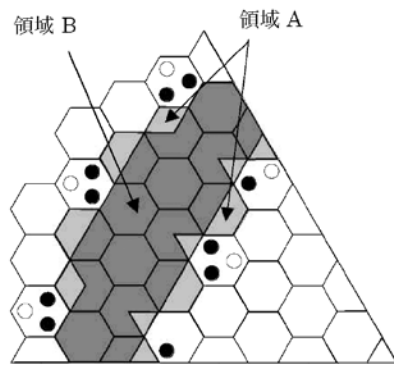
反応度係数の計算では、平衡炉心の燃焼初期と燃焼末期の燃料温度係数、減速材温度係数および等温温度係数を求めた。DELIGHT8によって計算したマイクロ断面積と原子数密度を基に、燃焼領域ごとに評価時点の燃焼度に対応したマイクロ断面積と原子数密度を求め、CITATIONの摂動計算によって反応度係数を求めた。計算モデルは燃焼特性計算と同じく60°回転対称の3次元1/6炉心モデルを用いた。

3.4. 設計結果

(1) 燃料構成

炉心内の燃料構成の複雑さを避けるために、燃料とBPの種類をできる限り少なくすることを目標として、①燃料の粒子充填率(燃料コンパクト内の黒鉛マトリックスに対する被覆燃料粒子の体積割合)、②プルトニウム富化度(プルトニウム重量/重金属重量)、③BPのほう素濃度と直径をパラメータとして燃料構成を検討した。

MOX燃料として多重リサイクルTRU燃料のみを使用する場合には、過剰反応度が小さくなり運転サイクル長さ1年以上の臨界を維持できなかった。また、取出しブランケット燃料のみを使用する場合には、BPの効が悪く、燃焼初期の過剰反応度を十分に抑えることができなかった。このために、多重リサイクルTRU燃料と取出しブランケ



燃料体段数 <sup>a)</sup>	燃料領域	燃料の種類	Pu 富化度 <sup>b)</sup> (wt%)	粒子充填率 <sup>c)</sup> (vol%)	BP濃縮度 <sup>d)</sup> (wt%)	BP外径 (mm)
1	A	多重リサイクル TRU	30	15	0.15	40
	B	取出しブランケットPu	36	20	0.15	40
3, 5, 7	A	多重リサイクル TRU	30	15	0.48	40
	B	取出しブランケットPu	36	20	0.48	40

炉心中心 a) 軸方向燃料段数(奇数段の燃料体は各サイクル後に偶数段に移される)  
 b) プルトニウム重量/重金属重量  
 c) 黒鉛マトリックスに対する被覆燃料粒子の体積率  
 d) BP内のほう素濃度(ほう素は天然同位体組成)

図6 燃料諸元と配置

ット燃料の2種類の燃料を組み合わせる燃料を構成した。最終的に決定した燃料構成を図6に示す。

径方向の出力密度を平坦化するために、図6に示すように、1燃料体を1/6に分割した3角形の領域を出力密度の高い領域と低い領域に分けて、燃料の条件(燃料の種類、プルトニウム富化度および被覆燃料粒子の充填率)を変えて設定した。また、燃料のBPのほう素濃度を軸方向に変えて、燃焼末期に炉心上部において生じる最高出力密度を低く抑えた。

この燃料構成条件のもとで計算した燃焼特性、炉停止余裕および反応度係数の結果を以下に示している。主要な核特性の計算結果を表2に示す。

(2) 燃焼特性

燃焼期間中の制御棒挿入度の変化を図7に示

表2 主要核特性

項目	値
制御棒炉停止余裕	1.5% Δk/kk'
後備炉停止系炉停止余裕	1.4% Δk/kk'
平均燃焼度(1/2燃料体平均)	123GWd/ton
最大燃焼度(1/2燃焼体平均)	220GWd/ton
燃料温度係数(燃焼初期/末期)	-2.5×10 <sup>-5</sup> /3.6×10 <sup>-5</sup> Δk/k/ΔT
減速材温度係数(燃焼初期/末期)	-6.4×10 <sup>-5</sup> /6.6×10 <sup>-5</sup> Δk/k/ΔT
等温温度係数(燃焼初期/末期)	-7.2×10 <sup>-5</sup> /8.1×10 <sup>-5</sup> Δk/k/ΔT
最大出力密度	12.0MW/m <sup>3</sup>
最大中性子フルエンス(1/2燃料体平均)	3.9×10 <sup>25</sup> n/m <sup>2</sup> (>0.183MeV)

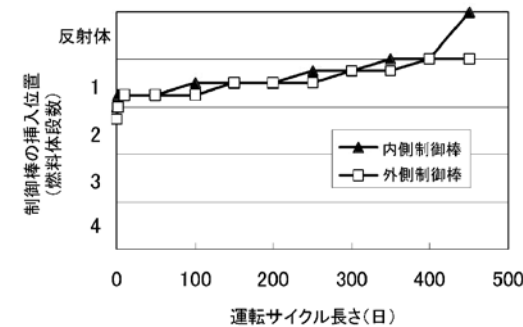


図7 運転期間中の制御棒挿入位置

す。制御棒は燃焼初期において最も深く挿入され、内側制御棒は燃料体の1段目下端の高さまで、外側制御棒は燃料体1段目下端から燃料体1/4に相当する分だけ深く挿入される。運転サイクル長さは450日(約15ヶ月)となり、目標とした12ヶ月以上を満足している。

炉心軸方向の出力密度分布の燃焼変化を図8に示している。最高出力密度は燃焼末期(450日)で生じており、約12.0MW/m<sup>3</sup>となった。制限値である13.0 MW/m<sup>3</sup>以下を満たしており、事故時の燃料最高温度は1600℃以下になると判断される。

1/2燃料体平均の取出し燃焼度は123GWd/tonとなり、目標の120GWd/ton以上を満足している。取出し燃料の1/2燃料体平均の最大中性子フルエンスは3.9×10<sup>25</sup>n/m<sup>2</sup>(E>0.183MeV)となり、固定反射体部の最大中性子フルエンスは、運転期間60年では4.7×10<sup>24</sup>n/m<sup>2</sup>(E>0.183MeV)となっている。

(3) 炉停止余裕

表2に示すように、移行炉心の燃焼初期の低温状態における制御棒の炉停止余裕は1.5% Δk/kk'となり、制御棒のみで低温状態の未臨界維持が可能であることが確認できた。また、後備炉停止系の炉停止余裕は1.4% Δk/kk'となり、制御棒が高温状態の臨界位置に保持されたもとで、後備炉停止系によって低温状態の未臨界維持が可能であることが分かった。この結果から、炉停止余裕は制限値である1.0% Δk/kk'以上を満足することが確認できた。

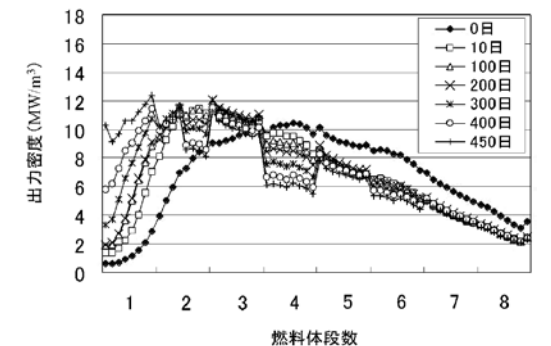


図8 軸方向出力密度分布

(4) 反応度係数

表2に示すように、燃焼初期の燃料温度係数、減速材温度係数および等温温度係数は、それぞれ、 $-2.5 \times 10^{-5} \Delta k/k/\Delta T$ 、 $-6.4 \times 10^{-5} \Delta k/k/\Delta T$  および  $-7.2 \times 10^{-5} \Delta k/k/\Delta T$  となった。燃焼末期の反応度係数は、いずれも燃焼初期の値に比べて負に大きくなっている。以上の結果から、いずれの反応度係数についても負の値になることが確認できた。

3.5. 検討課題

今後の検討課題を以下に示す。

- ①事故時の安全評価による安全性の確認
- ②詳細な手法を用いた本設計手法の精度検証
- ③高速炉からのプルトニウム利用による高速増殖炉サイクルへの影響、プルトニウム燃料の入手可能性および経済性の検討
- ④回収したプルトニウムの処理から、MOX燃料の製造、被覆燃料粒子の加工までの燃料製造工程の技術的成立性の確認
- ⑤核拡散抵抗性の観点から、ブランケット燃料から取出されるプルトニウムを直接使用しない炉心の検討

4. おわりに

高温ガス炉システム (GTHTR300C) にMOX燃料を装荷した場合の炉心の核設計を行った。その結果、運転サイクル長さ450日、取出平均燃焼度123Gwd/tonの性能を有する炉心を設計することができた。また、出力密度のピーク値は13MW/m<sup>3</sup>以下、炉停止余裕は1.0%Δk/kk'以上、さらに反応度係数は負となり、安全上の制限値を満足する炉心を設計することができた。以上のようにMOX燃料を装荷した高温ガス炉システムの炉心の成立性を示すことができた。

参考文献

1) 國富他, 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, 1(4), (2002) pp.352  
 2) 武井他, 高温ガス炉ガスタービン発電システム (GTHTR300) の経済性評価, 日本原子力学会和文論文誌, 5(2), (2006) pp.109

3) K. Kunitomi, et al., JAEA's VHTR for Hydrogen and Electricity Cogeneration GTHTR300C, Korean Nuclear Engineering Design, Vol. 39, No.1 (2007) P9-20.  
 4) 西原他, 電力水素併産型高温ガス炉 (GTHTR300C) の安全設計方針, 日本原子力学会和文論文誌, 5(4), (2006) pp.325  
 5) 日本原子力研究所, 平成15年度 核燃料利用システム技術開発成果報告書 (文部科学省委託研究), (2005)  
 6) 毛利他, MOX燃料を使用した高温ガス炉の核熱設計, 日本原子力学会和文論文誌, 6(3), (2007) pp.253  
 7) S. Kubo, et al., A demonstration study on a closed-cycle hydrogen production by the thermochemical water-splitting iodine- sulfur process, J. Nucl. Eng. Des., 233, (2004) pp.347.  
 8) 水野他, 各種冷却材を用いた高速増殖炉の炉心・燃料形態に関する設計評価-ナトリウム冷却炉, 重金属冷却炉, ガス冷却炉, 水冷却炉, 小型炉-, サイクル機構技報, No.24別冊, (2004) pp.55-80  
 9) 永沼他, ナトリウム冷却炉の炉心・燃料設計検討 (MOX燃料炉心) - 2003年度報告 -, JNC TN9400-039, (2004)  
 10) S. Saito, et al., Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), JAERI 1332, Japan Atomic Energy Research Institute, (1994).  
 11) 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)  
 12) T. B. Fowler, D. R. Vondy, G. W. Cunningham, NUCLEAR REACTOR CORE ANALYSIS CODE: CITATION, ORNL-TM-2496, Rev.2, (1971).  
 13) K. D. Lathrop and F. W. Brinkley, TWOTRAN-II: An Interfaced Exportable Version of the TWOTRAN Code for Two-Dimensional Transport, LA-484-MS (1973).  
 14) 森他, MVP/GMVP連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード, JAERI-DATA/Code 94-007, (1994)

善光寺街道一人旅

Sentiment of Solitary Journey on Zenkoji-Kaidou

米田正章\*  
Masaaki Yoneda

〔概要〕

中山道の脇往還としての北国街道は、長野県北佐久郡軽井沢町大字追分の追分宿で中山道と分かれ、小諸・海野・上田・善光寺・野尻などの宿を経て越後国直江津に至る約三十五里の街道である。善光寺参りの善男・善女はもちろん、多くの旅人が往来し、加賀藩をはじめとする諸国大名も参勤交代に使用した江戸と信越・北陸を結ぶ重要路線であった。また、佐渡金山の金銀を江戸に運んだ街道としても知られている。この街道の、追分宿から善光寺宿までの凡そ十八里は、善光寺街道とも呼ばれている。新緑を吹き抜ける風を感じながらの二泊三日の道中記である。

2007年4月29日 (日)

追分宿一小諸宿一田中宿

長野新幹線軽井沢駅でしなの鉄道に乗換え信濃追分駅で下車後、中山道と善光寺 (北国) 街道の分岐点「分去れ (わかされ)」を目指して歩く。9時45分、分去れに着く。この分岐点の真ん中には、道標や道祖神・常夜燈などが立っている。



中山道と善光寺街道との分かれ

これを見ながら善光寺街道に入ると、右手の藪の中には「南無阿弥陀仏」と彫られた大きな供養塔が見える。その奥には、シャロックホームズの像も見える。満開の桜の下をくぐり抜ける。すぐに国道18号線に出て、しばらく歩く。馬瀬口の集落に入ると、右手に高山家の長屋門が見える。門前には「明治天皇馬瀬御小休所」の碑が立っている。その先の十字路を越した右手に柵口 (ませぐち) 神社への参道と鳥居が見える。右手後方に、雄大な浅間山が望める。さらに進むと、右手に長泉寺があり、寺の奥に大きな馬頭観音堂がある。お堂の前には狛犬ではなくて馬の像がある。また国道に出て歩く。小諸市に入り、12時10分十石坂



長泉寺の馬頭観音堂

を下る。谷はかなり深く、昔はこの絶壁を行き来した相当厳しい難所であったと思われる。風とともに堆肥の香りが鼻をくすぐる。上信越自動車道の上を渡り、やがて国道と別れて左の道へ進む。畑の中を進むと、左手に平原一里塚跡の碑が立っている。左手に小諸市重要無形文化財二十



\* (株) 荏原製作所 風水力機械カンパニー エネルギー事業統括部 業務管理室

五菩薩来迎会の説明板がある。右手の蔵の前には、かつて加賀の殿様も賞したという、枝を真横に伸ばした見事な平原の松がある。この辺りは蔵が多い。国道に出て、四ツ谷の交差点で左手の道に入る。交通量が少なくなり、のどかな道になる。その先の左手角に道標がある。「右甲州街道、左江戸街道」とある。ここを右手に折れ、乙女川を渡り坂道を上がると五叉路で、国道141号に合流する。唐松交差点で、道が3つに分かれる。唐松一里塚跡を捜すが見つからない。真ん中の道、善光寺街道を進む。昔は美しい松並木が続いた道だったそうだが、明治になってから伐採されてしまった。小さな川を渡り坂道を登ると与良町商店街で、小諸宿の入口となる。その先で荒町に入る。右手には、全宗寺、海応寺、宗心寺、光岳寺と寺院が並んでいる。荒町1丁目交差点を渡り、左折すると、宿場時代を彷彿とさせる小諸の町並みが続く。昔は、道の中央に水路があったという。本町交差点から直ぐのところ



平原の松

のところに蕎麦屋の「丁子庵」がある。国道141号を渡り、突き当たりの寺で左折し、次の十字路を右へ行くと本町一丁目で、右手に旧脇本陣、旧本陣兼問屋が残されている。街道から離れて、平成5年に国の重要文化財に指定された小諸城大手門を見に行ったが修復中で、



そば蔵丁子庵



小諸宿本陣跡

工事用のフェンスで覆われていて全然見えない。旧道に戻る。しなの鉄道の下をくぐり抜けて懐古園入口の交差点に出る。左折すれば懐古園こと小諸城に至るが、時間がないので交差点を直進して坂を下り、右折して中沢川を渡り、道なりに進み新町に入る。小諸宿の家並はここまでとなる。新町を通り抜け、左手の諏訪神社の前で右折して坂を下り小川を渡ると、布引観音へ向かう道の横に立つ大きな道標の前に出る。坂を上り、青木一里塚跡を過ぎ、しなの鉄道の踏み切りを渡り、国道18号線を越えて突き当りを左折して西原集落に入る。国道と平行した高台にある街道を、西へ進む。昔の面影を留めている。旧道はまた国道と合流し、深沢橋を渡り200mほどで国道から分かれて左の道に入る。芝生田、赤岩新田と集落が続く。土塀の家が続いて街道の雰囲気を残している。路傍には道祖神が並んでいる。片羽集落を過ぎ、畑のなかの道をしばらく歩くと、滋野郵便局の隣に牧家一里塚跡碑が立っている。牧家集落に入る。その先の十字路に「力士雷電為右衛門の碑」が立っている。加沢集落に入り、加沢橋を渡ると、右手に諏訪神社が見える。まもなく道は二又となり、16時50分田中宿の入口に着く。道路が拡幅され、宿場と思わせる町並みは消えてしまっているが、新しく建て替えられた



布引観音への道標



赤岩新田集落の道祖神



田中宿本陣跡

店は、宿場情緒を保つように配慮された造りにもなっている。薬局の角を右折すると、右側にかつての本陣の門と明治天皇田中御小休所の碑が立っている。今日は、ここでおしまい。17時20分、しなの鉄道田中駅より電車に乗り、今宵の宿に向かう。

2007年4月30日 (月)

田中宿一海野宿一上田宿一坂木宿一上戸倉宿

7時15分、田中駅からスタートする。駅前からすぐに変形した十字路に出る。枳形の名残である。左折する。「海野宿 1,500m 徒歩17分」と書かれた看板がある。途中、二つの小川を越え、道路の高架下を通り、左にカーブしてしなの鉄道の踏切を渡ると、右手に海野宿の大きな石碑が出迎えてくれる。その先に、大きな樹木に覆われた白鳥神社がある。海野宿は、重要伝統的建造物群保存地区に指定されていて、往時の宿場が見事に再現されている。街道の真ん中を用水が流れ、柳の並木が続く。朝早いからか、観光客が数名居るだけで、地元の人が犬を連れて散歩している。海野格子の家、出桁造りの旅籠、卯建のある家などが並び、海野宿資料館もあるが開館時間まで1時間以上待つことになるので、



白鳥神社



海野宿の街並



海野宿の街並

資料館の見学は諦めて歩みを進める。東の枳形から西の枳形まで約六町 (650m)、上宿・中宿・下宿に分かれている。西の枳形から先も古い家が続く。静かな佇まいの西海野集落を過ぎると、千曲川の土手に近くなる。やがて上田市大屋の普通の商店街に入る。大屋駅入口の手前で、左折して千曲川に突き当たって右折する。その角には仁王堂があり、全身を真っ赤に塗られた仁王様が見える。先を急ぎ、大屋神社を右手に見て西へ進む。住宅地を過ぎ、しなの鉄道に平行して進む。桜並木が終わったところで左折する。しばらく進むと左手空地に「明治天皇岩下小休所跡」の石碑が見える。伊波保神社を過ぎ、千曲川沿いに歩き、岩下集落を抜け、神川小学校前で道が二又に分かれている。真ん中には道祖神と馬頭観音がある。また千曲川に出て堤防に沿って進む。徐々に新幹線に近付いて行く。千曲川に架かる新幹線の美しいハープ橋が左手に見える。吊り橋のワイヤーが正にハープの弦ようである。やがて道は下堀集落に入る。右手に大きな家が見える。かつては上田宿本陣の柳沢家で、宿場廃止後に現在地に



大屋仁王尊

移転してきたそう。新幹線の高架下に突き当たり、右折して線路に沿って歩く。新幹線が出来たことで、往時の街道は消滅してしまっている。交差点を直進して上堀地区に入る。踏入交差点と越え、道なりに進む。信州大学繊維学部の正門前が出る。信濃国府のあった場所である。ここを左折し、境内に上田市の天然記念物に指定された大櫓のある科野大神宮を過ぎると、古い家並がまだ少し残っている地域に入る。土蔵造りの家も



街道筋の柳沢家

土蔵造りの家も

残っている。その先の横町は道路が拡幅され、新しい街に一変している。右手に日輪寺、宗畔寺と



日輪寺

続き、高市神社が見え、その反対側の歩道には「本陣問屋跡」の石碑が立っている。この辺りが上田宿の中心だった場所である。その先の中央二丁目の交差点を右折する。原町の駐車場前に「問屋跡」の碑があり、その先には真田幸村の活躍を描いた作品を記念した「池波正太郎真田太平記館」がある。上田市内では、真田家の紋、六紋銭があちこちに見える。中央三丁目交差点を左折し、柳町に入ると、江戸時代の家並がかなり残されている。左手の岡崎商店は酒を醸造し続けている。また、明治時代の商家を改造して食事と喫茶が楽しめる店もある。右手には、明治14年(1881)に設けられた保命水という井戸が残されていて、町人や旅人の飲用に利用されたという。道は、紺屋町から西脇へと一直線に進んで行く。矢出沢川に架かる高橋を渡る。間もなく12時になる。矢出沢川は上田城の外堀でもあったので、ようやく城下を出ることになる。18号線に突き当たり、これに合流し左折し、すぐ右に分かれる。分かれた先の右側に正福寺が見える。正福寺には、寛保2年(1742)の大洪水の犠牲者を埋葬し供養した千人塚が立っている。この辺りから、



岡崎商店



保命水

かつては見事な杉並木が続いていたそうだが、現在では1本もなく、ただ残骸の古株が残っているだけである。右側に長昌寺が見える。秋和集落の西の外れに八幡宮があり、右手に伸びている参道入口に「猿田彦大神」と刻まれた大きな庚申塔が立っている。道は丘を下り、新幹線の下を通り、上塩尻へと進む。この辺りは、街道情緒の残された静かな道だ。やがて国道に出て、山裾を廻って進み下塩尻に入る。昔は千曲川が崖下まで迫っていたので、現在の道より高い崖の中腹を歩いたという。そのために「岩鼻の嶮」と呼ばれ、坂木の横吹八丁(後述)と並ぶ難所で、加賀の前田侯は参勤交代の際、岩鼻を通過すると飛脚をたてて国許に伝えたという。右手に会地早雄神社が見える。その先には、明治天皇御小休所跡の碑も立っている。鼠宿に入る。説明板には、上田宿と坂木宿の間宿(あいのしゅく)で、幕府公認の本宿ではなく、松代藩が設けた私宿であると記されている。宿場の南北入口には櫛形がある。一里塚もあったらしいが、橋の名前にしか残っていない。鼠宿を抜けると、国道18号線に戻る。中之条の集落である。右手には「文化の館」という看板が掲げられている長屋門が見える。坂城町の老人施設だそうだ。道路の反対側には、「天領中之条陣屋跡入り口」という標識が立っている。標識の奥の小道に入ってみたが、何も見付からない。国道に戻り北に向かって進み、左手に入る。分岐点には、常夜燈などの石造物が立っている。旧道はその先で狭くなり、御堂川を越えてまた国道と交差して進む。やがて十王堂に着く。裏

かつては見事な杉並木が続いていたそうだが、現在では1本もなく、ただ残骸の古株が残っているだけである。右側に長昌寺が見える。秋和集落の西の外れに八幡宮があり、右手に伸びている参道入口に「猿田彦大神」と刻まれた大きな庚申塔が立っている。道は丘を下り、新幹線の下を通り、上塩尻へと進む。この辺りは、街道情緒の残された静かな道だ。やがて国道に出て、山裾を廻って進み下塩尻に入る。昔は千曲川が崖下まで迫っていたので、現在の道より高い崖の中腹を歩いたという。そのために「岩鼻の嶮」と呼ばれ、坂木の横吹八丁(後述)と並ぶ難所で、加賀の前田侯は参勤交代の際、岩鼻を通過すると飛脚をたてて国許に伝えたという。右手に会地早雄神社が見える。その先には、明治天皇御小休所跡の碑も立っている。鼠宿に入る。説明板には、上田宿と坂木宿の間宿(あいのしゅく)で、幕府公認の本宿ではなく、松代藩が設けた私宿であると記されている。宿場の南北入口には櫛形がある。一里塚もあったらしいが、橋の名前にしか残っていない。鼠宿を抜けると、国道18号線に戻る。中之条の集落である。右手には「文化の館」という看板が掲げられている長屋門が見える。坂城町の老人施設だそうだ。道路の反対側には、「天領中之条陣屋跡入り口」という標識が立っている。標識の奥の小道に入ってみたが、何も見付からない。国道に戻り北に向かって進み、左手に入る。分岐点には、常夜燈などの石造物が立っている。旧道はその先で狭くなり、御堂川を越えてまた国道と交差して進む。やがて十王堂に着く。裏



猿田彦大神の碑

かつては見事な杉並木が続いていたそうだが、現在では1本もなく、ただ残骸の古株が残っているだけである。右側に長昌寺が見える。秋和集落の西の外れに八幡宮があり、右手に伸びている参道入口に「猿田彦大神」と刻まれた大きな庚申塔が立っている。道は丘を下り、新幹線の下を通り、上塩尻へと進む。この辺りは、街道情緒の残された静かな道だ。やがて国道に出て、山裾を廻って進み下塩尻に入る。昔は千曲川が崖下まで迫っていたので、現在の道より高い崖の中腹を歩いたという。そのために「岩鼻の嶮」と呼ばれ、坂木の横吹八丁(後述)と並ぶ難所で、加賀の前田侯は参勤交代の際、岩鼻を通過すると飛脚をたてて国許に伝えたという。右手に会地早雄神社が見える。その先には、明治天皇御小休所跡の碑も立っている。鼠宿に入る。説明板には、上田宿と坂木宿の間宿(あいのしゅく)で、幕府公認の本宿ではなく、松代藩が設けた私宿であると記されている。宿場の南北入口には櫛形がある。一里塚もあったらしいが、橋の名前にしか残っていない。鼠宿を抜けると、国道18号線に戻る。中之条の集落である。右手には「文化の館」という看板が掲げられている長屋門が見える。坂城町の老人施設だそうだ。道路の反対側には、「天領中之条陣屋跡入り口」という標識が立っている。標識の奥の小道に入ってみたが、何も見付からない。国道に戻り北に向かって進み、左手に入る。分岐点には、常夜燈などの石造物が立っている。旧道はその先で狭くなり、御堂川を越えてまた国道と交差して進む。やがて十王堂に着く。裏



文化の館

かつては見事な杉並木が続いていたそうだが、現在では1本もなく、ただ残骸の古株が残っているだけである。右側に長昌寺が見える。秋和集落の西の外れに八幡宮があり、右手に伸びている参道入口に「猿田彦大神」と刻まれた大きな庚申塔が立っている。道は丘を下り、新幹線の下を通り、上塩尻へと進む。この辺りは、街道情緒の残された静かな道だ。やがて国道に出て、山裾を廻って進み下塩尻に入る。昔は千曲川が崖下まで迫っていたので、現在の道より高い崖の中腹を歩いたという。そのために「岩鼻の嶮」と呼ばれ、坂木の横吹八丁(後述)と並ぶ難所で、加賀の前田侯は参勤交代の際、岩鼻を通過すると飛脚をたてて国許に伝えたという。右手に会地早雄神社が見える。その先には、明治天皇御小休所跡の碑も立っている。鼠宿に入る。説明板には、上田宿と坂木宿の間宿(あいのしゅく)で、幕府公認の本宿ではなく、松代藩が設けた私宿であると記されている。宿場の南北入口には櫛形がある。一里塚もあったらしいが、橋の名前にしか残っていない。鼠宿を抜けると、国道18号線に戻る。中之条の集落である。右手には「文化の館」という看板が掲げられている長屋門が見える。坂城町の老人施設だそうだ。道路の反対側には、「天領中之条陣屋跡入り口」という標識が立っている。標識の奥の小道に入ってみたが、何も見付からない。国道に戻り北に向かって進み、左手に入る。分岐点には、常夜燈などの石造物が立っている。旧道はその先で狭くなり、御堂川を越えてまた国道と交差して進む。やがて十王堂に着く。裏

側には村上義清の墓がある。NHKの大河ドラマ「風林火山」にあやかってか、ここにも青地に白抜きで風林火山と記した幟が立っている。村上義清は葛尾城の城主であり、一度は武田信玄を破ったこともある武将である。十王堂を出て十字路を左折する。横町に入ると、すぐの右手に神社、その隣には心光寺がある。その先左手には「明治天皇御膳水」の碑が立っている。坂木宿に着く。坂木駅前には坂木陣屋跡がある。立町に入ると道幅が広くなり、右手には本陣跡の瓦葺屋根の表門が見える。今は、春日医院になっている。本陣跡から少し行った右手には、漆喰壁に「さかた」と屋号を彫り出した江戸時代の名主坂田家が見える。左手の郵便局前を過ぎ、日名沢川を渡り、大門町から新町に入る。道を下ると、ほどなく突き当たりを左折してすぐ右折する。角に常夜燈があるが、修理中なのか下半分を青いシートで覆われている。坂木宿はここまでである。その先刈屋原までの旧道は、山腹からの風が強いこともあり、横吹八丁と呼ばれた難所であった。今は、18号線をただただ歩くのみである。途中、刈屋原ミニパークには句碑や歌碑が立てられている。刈屋原の集落を過ぎると戸倉町となる。国道から分かれ、右手に入ってしなの鉄道の踏切を越え左折する。上戸倉宿の入口に着く。宿場は約200m続く。その中央辺り左手に火の見櫓のある空地が玉井本陣跡で、長野県文化財保護協会の「史跡説明板」がゴミ集積所の後ろに無残な姿で立っている。往時の面影を偲ぶことが難しい街並になっている。しなの鉄道の踏切を渡って、国道に合流する。しばらく国道を進むと、信号のある交差点に着く。左折して、千曲川に架かる万葉橋を渡ると上山田温泉である。旧道は直進する。次の戸倉交差点は三叉路で、T字路の角は柳沢家本陣跡でコンビニになっていたそうだが、そのコンビニも潰れている。唯一の宿場の名残が、戸倉駅入口交差点の角にあ



坂木宿本陣表門

側には村上義清の墓がある。NHKの大河ドラマ「風林火山」にあやかってか、ここにも青地に白抜きで風林火山と記した幟が立っている。村上義清は葛尾城の城主であり、一度は武田信玄を破ったこともある武将である。十王堂を出て十字路を左折する。横町に入ると、すぐの右手に神社、その隣には心光寺がある。その先左手には「明治天皇御膳水」の碑が立っている。坂木宿に着く。坂木駅前には坂木陣屋跡がある。立町に入ると道幅が広くなり、右手には本陣跡の瓦葺屋根の表門が見える。今は、春日医院になっている。本陣跡から少し行った右手には、漆喰壁に「さかた」と屋号を彫り出した江戸時代の名主坂田家が見える。左手の郵便局前を過ぎ、日名沢川を渡り、大門町から新町に入る。道を下ると、ほどなく突き当たりを左折してすぐ右折する。角に常夜燈があるが、修理中なのか下半分を青いシートで覆われている。坂木宿はここまでである。その先刈屋原までの旧道は、山腹からの風が強いこともあり、横吹八丁と呼ばれた難所であった。今は、18号線をただただ歩くのみである。途中、刈屋原ミニパークには句碑や歌碑が立てられている。刈屋原の集落を過ぎると戸倉町となる。国道から分かれ、右手に入ってしなの鉄道の踏切を越え左折する。上戸倉宿の入口に着く。宿場は約200m続く。その中央辺り左手に火の見櫓のある空地が玉井本陣跡で、長野県文化財保護協会の「史跡説明板」がゴミ集積所の後ろに無残な姿で立っている。往時の面影を偲ぶことが難しい街並になっている。しなの鉄道の踏切を渡って、国道に合流する。しばらく国道を進むと、信号のある交差点に着く。左折して、千曲川に架かる万葉橋を渡ると上山田温泉である。旧道は直進する。次の戸倉交差点は三叉路で、T字路の角は柳沢家本陣跡でコンビニになっていたそうだが、そのコンビニも潰れている。唯一の宿場の名残が、戸倉駅入口交差点の角にあ



坂井銘醸

る藁葺の酒屋である。今も坂井銘醸として酒造りと小売をしている。屋敷内には資料館「酒造コレクション」があって、見学することができる。試飲ができるかまでは定かでない。この交差点の酒屋と反対の角には、宮本家本陣跡がある筈だが、その名残は見付からない。16時15分、戸倉駅入口交差点を右折し、戸倉駅に着く。まだ明るいのが本日はここまで。電車で宿に向かう。

2007年5月1日(火)

上戸倉宿-下戸倉宿-矢代宿-丹波島宿-善光寺宿

雨模様との予報を聞いていたので、5時半にホテルを出発。戸倉駅を、5時55分スタートする。上戸倉宿には、宿場時代のものはほとんど残っていないので、先を急ぐ。今井の信号の先から国道と分かれて右に入る。国道としなの鉄道に挟まれて進む。徐々に線路に近づく。供養塔や道標のある道に行く。柏王集落の中央に十字路があり、角に「信濃宮御古跡迄二町」の道標が見える。ここを右折すると、柏王神社に突き当たる。江戸時代に築いた水除土堤の跡や芭蕉句碑の前を過ぎると、右手に永昌寺の長い参道が見える。今日は有価物の収集日のようで、朝早くから沢山の人が、ビンや缶などの分別をしているの見える。旧道は鋳物師屋集落に入る。変わった名であるが、鋳物師がこの地にいたことによるとされている。屋



藤屋旅館

代駅前を通り過ぎ、7時30分矢代宿に着く。本町に入ると、左手に生蓮寺、須々岐水神社手前には「ふじや左治衛門」と看板を出した二階

建ての藤屋旅館が見える。建物は明治時代に建て替えられているが、現役の旅館である。横町交差点を右折し、70mほどですぐまた左折して新町に入る。矢代宿脇本陣がある。問屋も兼ねていた柿崎家である。少し先の空地には「明治天皇御小休所跡」の石碑が立っている。まもなく右手に屋代寺があり、その先が宿場の出口となる。屋代交差点から先は矢代の渡しへ向かう旧道の筈だが、新幹線、長野自動車道更埴インターチェンジなどが建設され、旧道は消滅している。国道18号に出て、篠ノ井橋を渡って千曲川の対岸へ向かう。約2kmの迂回コースになる。土手を歩き、しなの鉄道の踏切を渡り、新幹線の下を通り、軻良根古



軻良根古神社

(からねこ) 神社前まで歩く。鳥居脇には「明治天皇御召喚之処」の石碑が立っている。神社前から北に向かうと、リング畑が道の両側に広がる。今年例年より開花時期が早いとのこと、真っ白な花が咲き誇っている。畑を過ぎると、民家の前に「更級農学校発祥の地」の石碑が、さらにその先には「郡役所跡、警察署跡」の石碑がある。神社から500mほどでT字路に突き当たる。角に「篠ノ井追分宿跡」の石碑が立っている。間



篠ノ井追分宿跡の碑

の宿である。左折すると、中山道洗馬(せば)宿まで約66kmの善光寺西街道の追分である。9時15分、雨が降り出した。右折して、しなの鉄道の踏切を越え、新幹線の下をくぐり進む。茅葺き屋根の宝昌寺の前を通り、六辻の交差点を過ぎると、街道の赴きを残した道が迎えてくれる。幣川神社を左手に見て、栄町通りを抜けると、篠ノ井駅前商店街に出る。駅へ続く大通りを渡り、

斜め右へと続く道へ入り、次の十字路を左に曲がる。さらに進むと右に大きな門がある。茶屋本陣の跡である。左手には、蓮香寺参道があり、二層の鐘楼門が見える。長野オリンピックではドイツ



蓮香寺鐘楼門

のゲストハウスになっていたそう。北原西交差点で雨が強くなり、近くのスーパー西友でしばし雨宿りをする。30分ほどで雨は小ぶりになり、わが足の痛みも和らいだので旧道に戻る。北に向かう一本道を進む。丹波島交差点を渡ると左手に「親鸞聖人御舊跡」の石碑があり、浄土真宗唯念寺への参道がある。コンビニを過ぎ、川中島駅入口の交差点を過ぎると丹波島宿に入る。左手には浄生庵という地藏堂があり、於佐加神社、脇本陣跡、数軒先に本陣跡が続く。雨が、



丹波島宿旧脇本陣柳島家



丹波島宿旧本陣柳島家

また強くなってきた。脇本陣跡と本陣跡のどちらの門前にも「明治天皇御小休所跡」の碑が立っているが、脇本陣跡よりも本陣跡の門の方がやはり立派である。変形した十字路を左折し道なりに進むと丹波島橋が見えてくる。かつての渡しは、橋の手前にあったよう。この橋で犀川を渡る。橋を渡ると、道路の両側に常夜燈が立っている。善光寺のものである。丹波島橋北詰交差点から右手に入る県道35号線に進みたいのだが、信号も歩道橋もない。大回りをして目的の善

光寺街道に入る。しとしとと雨は降り続けている。雫がズボンを濡らして、だんだん体温を奪っていく。途中、小さなお堂に入っている馬頭観音が見える。文化会館南交差点を過ぎると延命地藏堂がある。その先には蓮心寺、木留神社と続く。やがて旧道は線路に突き当たってしまう。左手から地下道をくぐって北側へ抜ける。車の往來が激しい。後ろから自転車に追い抜かれる。駅の北側は近代都市で、沢山の車と人が溢れている。人の流れにまかせながら、善光寺へと向かう。末広町交差点の角には、今も昔ながらの味噌・醤油を醸造している「こうじや」が見える。その先は西光寺、裁松院、本日宿泊するホテルJALシティ長野と続いている。大門交差点を過ぎると石畳の道となる。ホテルや土産店が並んでいる。そこが善光寺街道最後の宿場町、善光寺宿である。本陣藤屋は、今もホテルとして営業している。前方に、



末広町交差点のこうじや



善光寺宿日本陣藤屋旅館



善光寺仁王門



仲見世通り

善光寺の仁王門が見える。仁王門の先には仲見世通りが約100m続いて、土蔵造りの土産屋が軒を連ねている。土産屋を過ぎると巨大な三門がある。平成の大修理が平成14年10月から平成19年の12月31日までの予定で進められていて、白いシートで覆われている。三門を過ぎると、本堂が目の前にそびえている。14時30分、善光寺に到着である。本堂に入り旅の無事を感謝して合掌。広い境内に戻ると、いつのまにか雨は止み、薄日が射している。これ



善光寺本堂

はご本尊さまからのご褒美かと悦に入りながらホテルに向かう。三日間の総歩数は約十五万六千歩であった。

# FAPIG の 機 構 (社名 ABC順)

(平成20年2月1日現在)

## 理 事 会・委 員 会・専 門 部 会・事 務 局

会 長 伊 藤 晴 夫 富士電機ホールディングス社長	理 事 杉 本 素 信 みずほCB常務執行役員
副 会 長 林 敏 和 カワサキプラントシステムズ社長	〃 荻 原 勉 清水建設常務執行役員
〃 田 邊 弘 幸 双日副社長	
	監 事 油 山 哲 也 みずほCB営業第十部次長
理 事 小 笠 原 保 雄 荏原製作所常務執行役員	
〃 矢 内 銀 次 郎 富士電機システムズ社長	事 務 局 長 溝 口 忠 雄
〃 中 村 巧 富士通経営執行役常務	
〃 吉 田 政 雄 古河電工専務取締役	
〃 小 長 谷 保 平 古河機械金属取締役	

## 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 (12名)

- ◎ 白 川 正 広 (富士電機システムズ)
- 三 沢 秀 行 (荏 原 製 作)
- 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
- 竹 石 均 (〃)
- 山 田 昌 彦 (富 士 通)
- 中 川 敏 一 (古河機械金属)
- 山 崎 誠 一 郎 (カワキアクトシステムズ)
- 土 井 一 晃 (み ず ほ C B)
- 吉 澤 顕 (双 日)
- 小 林 経 夫 (清 水 建 設)
- 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- オ ブ ザ ー バ ー
- 阿 部 修 一 (原 燃 工)

### 広報委員会 (9名)

- ◎ 溝 口 忠 雄 (事 務 局)
- 米 田 正 章 (荏 原 製 作)
- 三 木 俊 也 (富士電機システムズ)
- 笹 野 貢 (富 士 通)
- 岩 間 和 義 (古河機械金属)
- 湯 原 貴 浩 (カワキアクトシステムズ)
- 山 本 晴 彦 (み ず ほ C B)
- 村 野 博 一 (双 日)
- 酒 井 喜 則 (清 水 建 設)

### 原子力情勢調査部会 (6名)

- ◎ 村 野 博 一 (双 日)
- 尾 崎 博 (富士電機システムズ)
- 組 田 泰 男 (荏 原 製 作)
- 瓦 井 健 二 (富 士 通)
- 湯 原 貴 浩 (カワキアクトシステムズ)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)

### 高温ガス炉プロジェクト部会 (7名)

- ◎ 岡 本 太 志 (富士電機システムズ)
- 中 村 志 郎 (双 日)
- 田 沢 勇 次 郎 (富士電機システムズ)
- 前 川 勇 (カワキアクトシステムズ)
- 甲 斐 芳 郎 (清 水 建 設)
- 斎 藤 正 直 (〃)
- オ ブ ザ ー バ ー
- 加 藤 茂 (原 燃 工)

### 廃止措置プロジェクト部会 (6名)

- ◎ 武 伸 五 月 (カワキアクトシステムズ)
- 見 上 寿 (富士電機システムズ)
- 荒 井 正 幸 (荏 原 製 作)
- 樋 口 哲 二 (富 士 通)
- 沢 本 雅 弘 (双 日)
- 鳥 居 和 敬 (清 水 建 設)

### 核燃料サイクル調査研究部会 (7名)

- ◎ 山 崎 誠 一 郎 (カワキアクトシステムズ)
- 藤 沢 盛 夫 (富士電機システムズ)
- 石 山 祐 二 (荏 原 製 作)
- 三 澤 真 (富 士 通)
- 井 上 桂 一 (双 日)
- 沢 本 雅 弘 (〃)
- 加 納 茂 和 (清 水 建 設)

### 品質保証部会 (8名)

- ◎ 高 橋 正 昭 (富士電機システムズ)
- 斉 藤 利 二 (カワキアクトシステムズ)
- 新 田 和 彦 (富士電機システムズ)
- 竹 山 敏 (荏 原 製 作)
- 児 玉 義 和 (富 士 通)
- 有 本 徹 (古 河 電 工)
- 石 黒 修 司 (双 日)
- 中 村 誠 (清 水 建 設)

### 事 務 局

局 長 溝 口 忠 雄

Sadao Nakashima, Takashi Nakamura, Takashi Yabutani, Kaoru Masui, Seini Yamamura

**Development of Wide-Energy Range X/γ-Ray Survey-Meter**

FAPIG No. 176 pp.10~14 (2008)

The X-ray radiation produced from various X-ray generating machines for medical and industrial uses has energies between 8keV to 300keV and for monitoring environmental γ-rays around nuclear facilities, the energy range to be measured is generally from 50keV up to 1500keV.

We developed a wide-energy range X/γ-ray survey-meter covering this energy range of 8 keV to 1500keV by dividing the output pulse heights into two energy ranges, from 8 to 300keV for X-ray mode and from 50 to 1500keV for γ-ray mode, using a 12.7mm diameter by 12.7mm thick NaI(Tl) scintillator with thin aluminum window. The pulse amplitude of each detected signal was corrected with the energy compensation function, G-function, corresponding to the pulse amplitude, in order to realize good energy response of the detection sensitivity to ambient dose equivalent, H\*(10), in the range of 8 keV to 1500keV. The G-function was obtained by the EGS-4 Monte Carlo calculation. The measurement range in dose rate of this survey-meter is from background level to about 60 μ Sv h<sup>-1</sup> in X-ray mode and to about 600 μ Sv h<sup>-1</sup> in γ-ray mode. The error of indication for dose rate is within 20% both for X-ray mode and γ-ray mode. The energy response is within 25% both for X-ray mode and γ-ray mode. This survey-meter will be a high-quality radiation instrument for radiation management in various facilities using X-ray generating machines and any radiological installations, and for environmental monitoring around nuclear facilities.

**KEYWORDS** : x / γ -ray survey-meter, wide energy range, g-function

Takefumi Namiki

**Noise Simulation Using Electromagnetic Wave Analysis Software**

FAPIG No. 176 pp.15~18 (2008)

In recent years, in the field of electric manufacturing industries, it is indispensable to clear various noise problems caused by radiated electromagnetic waves, crosstalk of signals, and electrostatic discharge. It is becoming active to apply the electromagnetic wave simulation software to solve the noise problems, because it is effective for cost cutting and for shortening the development period.

To meet such needs, we have developed the application package Poynting for electromagnetic waves simulation, and market it. In this report, we explain the various functions of Poynting and introduce the numerical examples using Poynting.

**KEYWORDS** : electromagnetic wave, simulation, FDTD method, noise prevention, parallel computation

Hiroshi Kimura, Yoshitaka Ishikawa, Takaki Sakurai, Yoshiyuki Sakazume, Hiroyuki Inoue

**Proposal on Recycling Method of Concrete Debris by Decommission of Power Station****—Realization of Concrete Minimizing Environmental Load—**

FAPIG No. 176 pp.19~29 (2008)

Until now, most of the concrete debris produced by the demolition of concrete structures has been recycled as pavement materials. Recently, the examples which aggregate removed mortar from concrete debris perfectly are reused to new concrete are increasing. We propose new concrete recycle system that concrete debris is reused to concrete material as it is. This recycle system can reduce the amount of industrial waste and greenhouse gas emission. This report shows the application to concrete work and the ecological effect of the concrete produced in new recycle system.

**KEYWORDS** : demolished concrete debris, new recycle system, industrial waste, greenhouse gas emission

FAPIG No.176

平成20年 2月25日印刷

平成19年度 第2号

平成20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

〒107-8655 東京都港区赤坂6丁目1-20

双日(株)内

電話 (03) 5520-4911

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)



Tomoaki Mouri, Kazuhiko Kunitomi

### Nuclear Design for High Temperature Gas Cooled Reactor (GTHTR300C) Using MOX Fuel

FAPIG No. 176 pp.30～36 (2008)

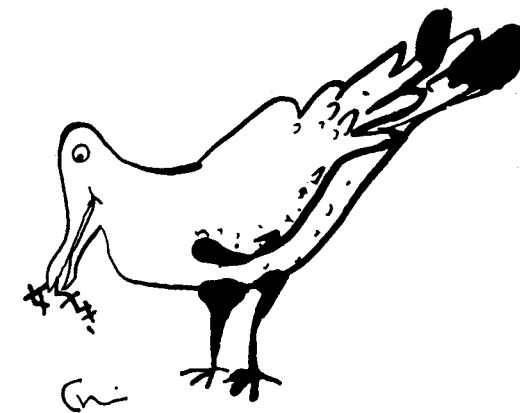
A design study of the hydrogen cogeneration high temperature gas cooled reactor (GTHTR300C) that can produce both electricity and hydrogen has been carried out in Japan Atomic Energy Agency. The GTHTR300C is the system with thermal power of 600MW and reactor outlet temperature of 950℃, which is expected to supply the hydrogen to fuel cell vehicles after 2020s. In future, the full deployment of fast reactor cycle without natural uranium will demand the use of Mixed-Oxide (MOX) fuels in the GTHTR300C. Therefore, a nuclear design was performed to confirm the feasibility of the reactor core using MOX fuels. The designed reactor core has high performance and meets safety requirements.

In this paper, the outline of the GTHTR300C and the nuclear design of the reactor core using MOX fuels are described.

**KEYWORDS** : GTHTR300C, cogeneration, hydrogen, fuel cell vehicle, mixed-oxide fuel, nuclear design

カラス

どうして  
ごみを漁るかだって？  
届けられずに  
すてられた  
言葉を  
集めているんです



「いいねこだった」 P.49より

## 作者プロフィール

本間ちひろ Chihiro Homma

絵本作家・詩人・児童文学者1978年、神奈川県生まれ。

2003年、第5回絵本作家フェスタ奨励賞。2004年、第37回日本児童文学者協会新人賞。

東京学芸大学大学院修士課程修了。現在、東京学芸大学、白百合女子大学非常勤講師。

著書に『奥田準一の戦中と戦後』（高文堂出版社）。詩集『金魚のでんわ』『いいねこだった』（書肆

楽々）。絵本に『ABCブック』（らくだ出版）『ねこくんこんやはなにたべる？』（リーブル）。挿画

に『宮沢賢治童話絵本 注文の多い料理店』（につけん教育出版）など。雑誌「おかずのクッキング」

（テレビ朝日）の「ムッシュクレソンの料理ノート」（レシビ・土井善晴）好評連載中。

## 第一原子力産業グループ

旭電化工業株式会社

株式会社荏原製作所

富士電機ホールディングス株式会社

富士電機システムズ株式会社

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

カワサキプラントシステムズ株式会社

株式会社神戸製鋼所

みずほコーポレート銀行

日本興亜損害保険株式会社

日本軽金属株式会社

清水建設株式会社

双日株式会社

横浜ゴム株式会社