

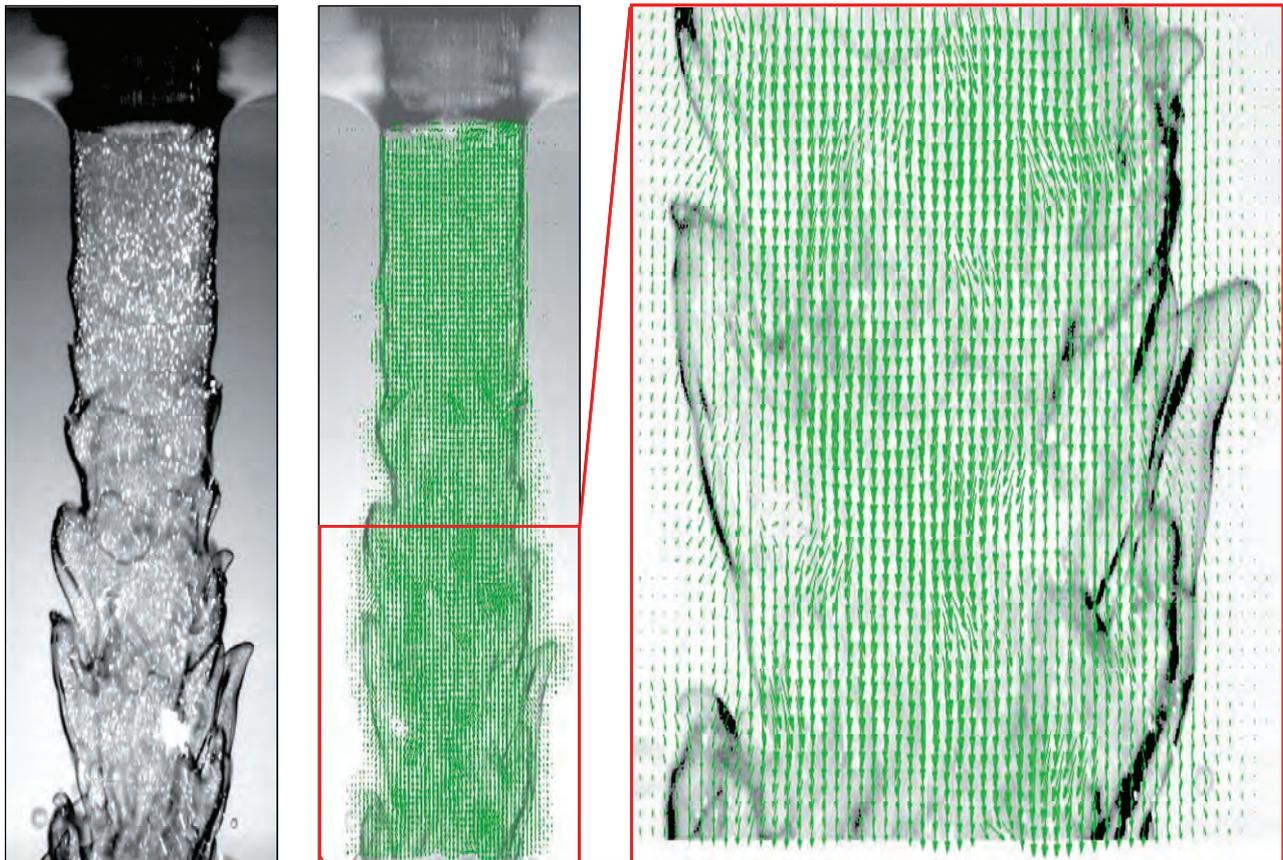
伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 52, No. 219
2013. 4

HETSJ

◆特集：エネルギー，原子力のあり方を考える — 伝熱工学の視点から —



(a) 可視化観測画像

(b) PIV 処理画像

(c) 液中噴流の詳細流動挙動

図1 液中噴流の可視化観測画像と PIV 処理結果

液中噴流の界面挙動の可視化観測

Visualization of liquid jet surface behavior

原子炉に設計基準を越える事故が発生し、炉心燃料の熔融を伴うような過酷事故に至った場合においても、熔融した炉心燃料を原子炉压力容器内に冷却保持することができれば、炉心損傷の影響を原子炉格納容器内に留めることが出来る。そのためには、熔融炉心燃料が分散・微粒化し、冷却が達成できるかを詳細に把握し、評価することが求められる。

本研究では、炉心熔融物質を模擬した可視化可能な高密度流体を、水中へ液体ジェット状に放出する実験を行って、その際の流体力学的挙動を調べている。図 1(a)は水中に、液体噴流として射出された模擬流体の分散・微粒化挙動の可視化観測結果である。取得した可視化観測画像に対し、図 1(b)のような PIV 処理を行うことで、図 1(c)に示すような、液体噴流界面近傍の詳細な速度場および界面挙動を得ることができる。

このようにして得られた可視化情報を高温熔融物実験と対比させつつ、格子ボルツマン法などの新しい解析手法からの詳細評価も用いて、冷却材中における熔融燃料の冷却挙動評価モデルの構築を行っている。

阿部 豊 (筑波大学)

Yutaka ABE (Tsukuba University)

e-mail: abe@kz.tsukuba.ac.jp

伝 熱

目 次

〈抜山記念国際賞報告〉

- 「抜山記念国際賞」の経緯と授賞報告 ……………門出 政則（佐賀大学）…………… 1
 The Nukiyama Memorial Award: Honor and Challenge
 ……………Peter STEPHAN (Technische Universität Darmstadt)…………… 4

〈特集：エネルギー，原子力のあり方を考える —伝熱工学の視点から—〉

- 「エネルギー，原子力のあり方を考える—伝熱工学の視点から—」
 ……………梅川 尚嗣（関西大学）…………… 6
 我が国における原子力利用の経緯と時代背景 ……………山名 元（京都大学原子炉実験所）…………… 7
 軽水炉の開発と冷却システム……………成合 英樹（筑波大学）…………… 15
 福島第一原子力発電所の事故について……………有富 正憲（東京工業大学）…………… 24
 福島第一原子力発電所事故後の世界の原子力動向……………杉本 純（京都大学）…………… 30
 関西のエネルギー事情……………西村 伸也（大阪市立大学）…………… 36
 持続可能な電力需給に求められるもの ……藤岡 恵子（ファンクショナル・フルイッド）…………… 44
 現代社会における動力技術のあり方……………小澤 守（関西大学）…………… 51
 原子力利用に世論がめざすもの……………土田 昭司（関西大学）…………… 61

〈報告〉

- 日本伝熱学会特定推進研究課題について
 ……………宇高 義郎（特定推進研究企画委員会委員長，横浜国立大学）…………… 68

〈国際活動・会議報告〉

- IFHT2012 開催報告……………宮崎 康次（九州工業大学）…………… 71
 九州伝熱セミナー in 由布院 報告……………長山 暁子（九州工業大学）…………… 74

〈巻頭グラビア〉

- 液中噴流の界面挙動の可視化観測……………阿部 豊（筑波大学）……………表紙裏

〈行事カレンダー〉…………… 75

〈お知らせ〉

- 第50回日本伝熱シンポジウムのご案内…………… 76
 優秀プレゼンテーション賞（第50回日本伝熱シンポジウム）について…………… 94
 編集出版部会からのお知らせ…………… 95
 編集出版部会ノート……………100

CONTENTS

<Report of the Nukiyama Memorial Award>

Report of the Nukiyama Memorial Award Masanori MONDE (Saga University)	1
The Nukiyama Memorial Award: Honor and Challenge Peter STEPHAN (Technische Universität Darmstadt)	4

<Special Issue>

For the Discussion of the Nuclear Power Hisashi UMEKAWA (Kansai University)	6
Development of the Japanese Nuclear Power Generation and its Historical Background Hajimu YAMANA (Research Reactor Institute, Kyoto University)	7
Development of Light Water Reactors and Cooling Systems Hideki NARIAI (University of Tsukuba)	15
The Accidents at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants Masanori ARITOMI (Tokyo Institute of Technology)	24
World Nuclear Trends after the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Jun SUGIMOTO (Kyoto University)	30
The Energy Situation of Kansai Nobuya NISHIMURA (Osaka City University)	36
Conditions Required for Sustainable Power Supply and Demand Keiko FUJIOKA (Functional Fluids Ltd.)	44
Power Technology in Society Mamoru OZAWA (Kansai University)	51
What the Public Want in Nuclear Use Shoji TSUCHIDA (Kansai University)	61

<Report>

On the Subjects of Specific Promotion Researches in Heat Transfer Society of Japan Yoshio UTAKA (Chairperson of Specific Promotion Research Planning Committee, Yokohama National University)	68
---	----

<Report on International Conference>

International Forum on Heat Transfer 2012 Koji MIYAZAKI(Kyushu Institute of Technology)	71
Report of Kyushu Heat Transfer Seminar in Yufuin Gyoko Nagayama (Kyushu Institute of Technology)	74

<Opening-page Gravure:heat-page>

Visualization of liquid jet surface behavior Yutaka ABE (Tsukuba University)	Opening Page
---	--------------

<Calendar>	75
<Announcements>	76
<Note from the Editorial Board>	100

「拔山記念国際賞」の経緯と授賞報告

Report of the Nukiyama Memorial Award

門出 政則 (佐賀大学)

Masanori MONDE (Saga University)

e-mail: monde@me.saga-u.ac.jp

1. はじめに

「拔山記念国際賞」が日本伝熱学会創立 50 周年記念事業の 1 つとして創設されたのは、日本伝熱学会の総会や WEB ページにて既にご存じのことだと思います。従って、ここでは拔山記念国際賞(以降、拔山賞と記す)の憲章(Charter)作成、更に第 1 回拔山賞の受賞者が推薦・決定されるまでの簡単な経緯と長崎での第 1 回授賞式について報告いたします。詳細は、日本伝熱学会 WEB ページ http://www.htsj.or.jp/NukiyamaAward_j.html (日本語) http://www.htsj.or.jp/NukiyamaAward_e.html (英語) を参照してください。

2. 拔山記念国際賞の憲章(Charter)作成と制定

まず、拔山賞の趣旨、賞の対象者や選考手順などを定めた憲章を策定する必要性がありました。この策定委員会として、国際賞委員会(委員長:宮内敏雄東工大教授、副委員長:牧野俊郎京大教授)が 50 周年記念事業の中に設置されました。策定された憲章の詳細は、WEB に譲りますが、拔山賞が日本伝熱学会の国際賞として世界に高く認知される内容となるように、候補者の推薦方法、推薦された候補者を選定するための委員会(Award Board)設置、さらに受賞者へ贈られる賞状などについて詳細な検討を致しました。それらはまとめて、憲章として制定されています。WEB ページを参照なされば、大変な作業によって制定された憲章であることにきっと驚かれるでしょう。

3. 拔山記念国際賞委員会の活動

憲章に従って、第 1 回拔山賞の記念国際賞委員会(Award Board)と委員(Board Member)の推薦手続きが進められ、日本伝熱学会理事会の承認を経て、2011 年 9 月に拔山記念国際賞委員会(表 1 参照)が正式に発足しました。委員会は憲章で日本人委員 3 名、外国人 4 名の構成と規定されてい

るため、日本、欧米・アジア地区から 7 名選任されました。(表 1 参照)

この国際賞の創設は、日本の学会としては画期的かつ先駆的な取り組みとして、国内のマスコミにも取り上げられ、広く発信されました。また熱・エネルギーに関連する国内外の学会にも、この賞の公募案内をしました。国内での発信と並行して、この国際賞が創設されたことを世界中に発信するための活動も始めました。拔山賞の授賞式が 2012 年 11 月に設定されたため、時間的な制約から表 2 に示される日程で早急に活動を開始しました。国際的な発信は、笠木委員長の国際的認知度の高さもあって、International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)を始めとして、広く認知されたものと思っています。また、拔山賞案内のパンフレット(図 1)も、Begell 社のご好意で非常に立派なものを作成して頂きました。ここに記して感謝いたします。



図 1 拔山賞公募の案内

表1 抜山記念国際賞委員会 (Board Member)

委員長	笠木伸英 (日本)
副委員長	門出政則 (日本)
委員	Avram Bar-Cohen (米国)
	Ping Cheng (中国)
	Gian Piero Celata (イタリア)
	Satish Kandlikar (米国)
	吉田英生 (日本)

(所属省略)

表2 抜山記念国際賞決定までの日程(2012年)

日付	項目
2012/09/30	Call for Nomination by e-mail
2012/01/31	Deadline for submission of nominations
2012/02/07	Report of evaluation of nominees
2012/04/01	Election of awardee by Award Board
2012/04/21	Approval of awardee from HTSJ
2012/04/23	Notification of awardee
2012/11/14	Award ceremony at IFHT2012

抜山賞の候補者として、世界中から 11 名の推薦があったが、重複推薦が 1 名あったので、実質 10 名の候補者が、55 人 (推薦には、5 名の連名が必要) から推薦されたのです。残念ながら、日本からの候補者の推薦はありませんでした。その候補者 10 名について、審査を行った結果、7 名の Board Member 全員一致で、ダルムスシュタット工科大学 (ドイツ) の Peter Stephan 博士が第 1 回抜山賞の候補者として推薦され、2012 年 4 月の理事会で正式に承認されました。Peter Stephan 博士は相変化伝熱、特に独自の先端的実験計測、数値解析を通じた沸騰熱伝達現象の解明による伝熱科学への顕著な功績を挙げていることが受賞の理由として認められました。

同博士の詳細な活動は、

<http://www.htsj.or.jp/Nukiyama%20Award%202012Recipient-j.pdf> に記されています。

第 1 回抜山賞受賞者の決定後、受賞者に贈呈される賞状、盾、副賞 (50 万円)、更に受賞者紹介のためのパンフレットの作成に早速取りかかりました。笠木委員長のリーダーシップと吉田委員の献身的な大奮闘で、無事完了し、11 月 14 日の授賞式を迎えることができました。写真 1, 2 は、賞状と盾、写真 3 は、紹介パンフレットの表紙 (中身は、WEB を参照して下さい) です。賞状や盾の制作に当たっては、幸い抜山先生の講義を東北大



写真 1 抜山記念国際賞の賞状



写真 2 抜山記念国際賞の盾

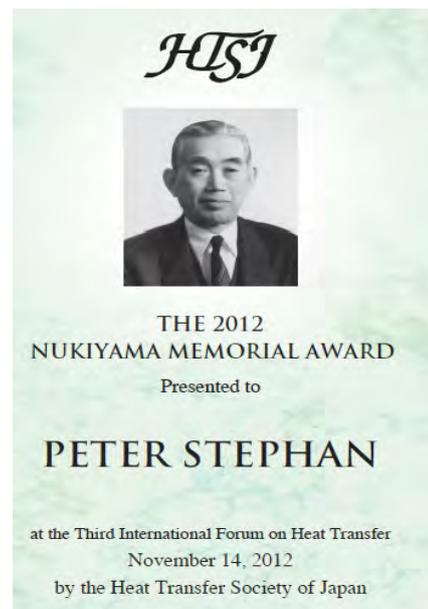


写真 3 紹介パンフレット表紙

学在学中に直接受講された高橋由貴彦様とそのご子息が、賞状や盾などのデザインをされていると東北大学の圓山先生から紹介して頂き、ご縁あって写真1,2のような日本文化の漂う格調高い賞状と盾を制作して頂きました。また、若々しい抜山先生の写真も手配して頂き、国際的に活躍している中堅(50歳程度まで)研究者の賞にふさわしい紹介パンフレットのお写真にすることができました。

4. 抜山記念国際賞の授賞式

憲章に従って、第1回抜山賞の授賞式と記念講演が日本伝熱学会主催のThe 3rd International Forum on Heat Transfer (IFHT 2012, 2012年11月14日於長崎)にて行われました。

記念講演に先立って、受賞者の紹介や受賞に至った研究内容の簡単な紹介がまず行なわれました。写真4は、筆者が受賞者Peter Stephan博士をIFHT参加者に紹介している様子です。

抜山記念国際賞の賞状・楯と副賞の授与式終了後、受賞者Peter Stephan教授の受賞記念講演が行われました。講演内容は、WEBページで公開されているので、参照して下さい。講演は、まず抜山先生が初めて見出した沸騰曲線の説明から始まり、ご自身の相変化に関連したこれまでの研究成果の説明、そして最後に沸騰研究におけるこれからの挑戦という内容でした。第1回抜山賞受賞者にもっとふさわしい講演内容で、感服しました。写真5は、講演開始時の様子で、抜山先生の研究業績を紹介しているところです。

受賞講演を聴講した外国からの参加者から、すばらしい受賞式であったこと、及び抜山賞が国際的な賞として今後更に高い評価を受けることを期待するという評価をいただきました。また、第1回抜山賞の受賞者として、Peter Stephan博士が最適である



写真4 抜山記念国際賞受賞者の紹介風景



写真5 Stephan 教授の受賞記念講演風景

とご意見も多数いただきました。

終わりに、第1回抜山記念国際賞候補者の審査をして頂いた4名の海外委員の方には、1週間という非常に短い審査期間にもかかわらず、慎重なご審査をして頂きました。ここに記してお礼申し上げます。また、抜山記念国際賞が、これから世界中から注目される国際的な賞の1つになるように活動できればと考えています。

The Nukiyama Memorial Award: Honor and Challenge



*Peter STEPHAN (Technische Universität Darmstadt)
e-mail: pstephan@ttd.tu-darmstadt.de*

Boiling is an important phase change and heat transfer method with a wide variety of technical applications in all branches of energy and process technology. Probably each and every undergraduate or graduate course on boiling heat transfer worldwide starts with a presentation and further discussion of the *Nukiyama Curve* (see Fig. 1).

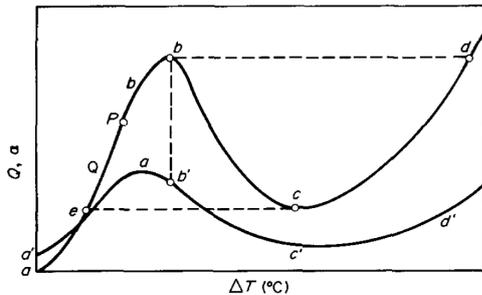


Fig. 1: The Nukiyama Curve [1]

In his pioneering work, published in 1934 [1], Shiro Nukiyama describes for the first time the relation between the wall superheat ΔT (compared to saturation temperature) and the supplied heat Q in the different pool boiling regimes. He found this characteristic relation using an electrically heated metallic wire evaluating accurately temperature and input heat flux. Important heat transfer states such as the onset of nucleate boiling (ONB), the critical heat flux (CHF), and the Leidenfrost temperature are related to characteristic changes in the slope of the Nukiyama Curve. Also the hysteresis with increasing or reducing heat flux was observed. Nukiyama's work became a guideline to heat transfer engineers for the design and control of boilers and/or steam generators. Intense research activities all over the world developed which contributed very successfully to the basic understanding of the physical phenomena and to the derivation of empirical correlations describing the

influences of wall material, fluid properties, and process parameters.

Today, almost 80 years after Nukiyama's pioneering publication, the boiling heat transfer research community is still very active. Typically, the aims of their research have slightly changed. From a fundamental point of view, the research is more focused on the very local heat and fluid flow phenomena in the two-phase thermal boundary layer including the dynamic wetting behavior. This is supported by (i) the order of magnitude increase of spatial and temporal resolution of measurement devices and (ii) the enormous progress in numerical simulation methods and computer power in recent years. From an application oriented point of view, today's research is strongly driven by (i) a huge technological demand for high heat flux applications on small scales, e.g. electronic cooling, (ii) the newest possibilities of targeted material design, e.g. surfaces with patterns of superhydrophilic and superhydrophobic nanostructures, and (iii) new fluids, such as nanofluids.

I personally had the privilege to carry out both, high resolution experimental studies and numerical simulations. Supported by several brilliant students in my team and in close collaboration with numerous colleagues from many different countries we further developed the measurement methods and the numerical methods. The close gearing and link between these two approaches allowed us to contribute to the further understanding of the local transport phenomena and to start building numerical prediction methods. This work must and will go on. Hence, when receiving the Nukiyama Memorial Award in November 2012 at the occasion of the International Forum on Heat Transfer in Nagasaki, I

felt much honored, because the research outcome was recognized by international peers, but also challenged, because there are still so many open questions and potential improvements in boiling research.

I sincerely thank the Heat Transfer Society of Japan and the members of the Board of the Nukiyama Memorial Award for bestowing this splendid award and honor to me. And I'll promise to deliver more results in future.

- [1] S. Nukiyama, The maximum and minimum values of the heat Q transmitted from a metal to boiling water under atmospheric pressure, J. Japan Soc. Mech. Engrs., 367-374 (1934) 37, reprint Int. J. Heat Mass Transfer, 959-970 (1984) 27.

「エネルギー，原子力のあり方を考える—伝熱工学の視点から—」

For the Discussion of the Nuclear Power

梅川 尚嗣 (関西大学)

Hisashi UMEKAWA (Kansai University)

e-mail: umekawa@kansai-u.ac.jp

震災から二年の時期に発刊される本号企画を担当するにあたり、二つの特集案を準備した。その一つが本特集である。二案準備したのは、このタイミングで学会ではなく編集担当主導で原子力を特集して支障が無いか判断がつかねたからである。結果、理事会の了承のもと本特集が採用されることになったが、少しページを頂くこととした。

原子力は人類がコントロールできる最大のエネルギー源であり、4kW 規模からスタートした蒸気機関が 300 年かけて到達した一形態である。その恩恵は計り知れないが、閉じ込めに失敗すると従来技術とは比較にならない被害範囲を発生させ長期化することを今回の事故は再認識させた。もちろん脱原発で全てが解決するわけでもなく、別の広範囲で長期にわたる影響が発生する。

研究での放射線利用の世界は、リスク&ベネフィットの判断の上で成立する。日常生活でも真に絶対安全なるものはなく、意識の有無にかかわらず同様の判断の上に生活を続けている。しかし原子力政策は、本来国民レベルで覚悟を決めた判断を迫られるべきものといえる。もちろんその判断材料が必要となるが、事故から二年が経過したことで、各種報告書が発表されてきたことに加え、二シーズン分のある種の実測データも蓄積されてきた。また落語の一八さんの意見が幅を利かせ専門家を“村”という単語で完全封印していた時期からも少し経過したことで改めて考える素地は出来てきた。

この機を見て伝熱学会誌で特集するにあたって

は、伝熱の専門家が、原子力に対する考え方によらず中立的な立場で事実理解を改めてできる企画をめざした。具体的には、原子力開発におけるコンセプト、海外動向、福島事故の再評価、エネルギー事情これに現代技術が抱える課題、世論動向に関する記事を依頼した。内容的には、「エネルギー，原子力のあり方を考える」ための土俵を作るであり、「伝熱工学の視点から」論じていただくのではなく、伝熱の視点から考える機会を作るものと考えている。個々に依頼した内容を特集として通して見た時に、通りが悪ければ当方の調整不足でありご容赦いただきたい。

さて図 1 は、当方が震災後実施したアンケート結果であり、左端のグループに対し、図中に示した質問項目に 5 段階で回答して頂いたものを数値化して示したものである。市民講座参加者(市民)の平均年齢が 67 歳と年齢差の要素も含まれるうえ、平均値表示では見えない要素があるが、概観すると工学部で年を重ねると原子力に対して寛容になる傾向は見える。学んだ結果この結論に至るのか、技術偏重になった故なのか、解釈はわかれるが、杉本先生の記事の中にある各国でのアンケート結果の大きな差も含めて考えさせられる。

50 周年記念号における長島昭先生の文章に「社会の人々に通じる統一見解の形成やその呼びかけの活動が不十分であった」という非常に考えさせられる課題がある。編集出版部会ノートでも触れたが、まずは各専門家が中立的な立場で議論できる土壌ができればと思う。

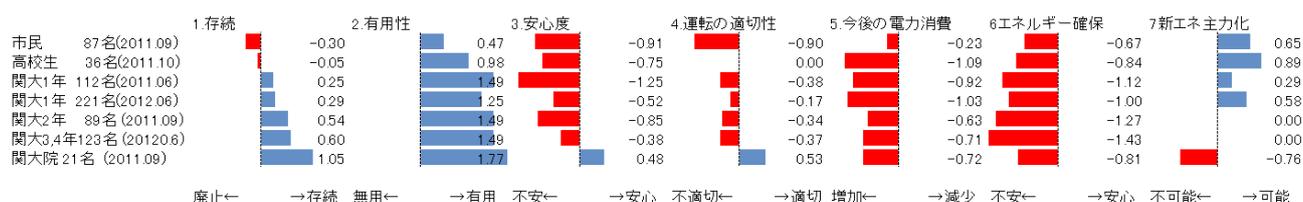


図 1 原子力に関する意識調査結果

我が国における原子力利用の経緯と時代背景

Development of the Japanese Nuclear Power Generation and its Historical Background

山名 元 (京都大学原子炉実験所)

Hajimu YAMANA (Research Reactor Institute, Kyoto University)

e-mail: yamana@rri.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故については，政府事故調査委員会により，技術面だけでなく，制度・組織の体質的な面についても多くの指摘がなされている[1]．我々は，個々の専門分野において技術的改善や強化を強く進めて行かねばならないが，事故調査委員会が言うように，今回の事故の背景になったと思われる「原子力発電という大きなシステムの運営の過程で蓄積した構造的な問題や齟齬」があったことにも注意が必要である．原子力は，多岐にわたる要素技術から成る“複合技術”であると共に，エネルギー経済，社会心理，国際要求，イデオロギー，等の非技術的な多くのファクターが絡み合う．また，我が国の原子力利用拡大の経緯においては，統合的あるいは横断的な取組の不足や本質課題への取組の遅れといった問題があったことも否定できない．このような複雑な状況の全体像を理解しておくことは，技術者にとって重要である．

その出発点として，「原子力発電が，如何なる背景において何を求められてきたのか」を改めて知ることが重要であると考え，本稿では，我が国における原子力利用の歴史やその背景について，改めて包括的に眺め直してみる．

2. 原子力利用拡大の時代背景

図1に，世界の原子力利用拡大の推移と[2]，我が国における同様の推移[3]を示した．本図の全体像に見える我が国の原子力の歴史は，一言で言うならば，「エネルギー安全保障上の国策の要請に沿って利用規模の拡大と技術的な発展を進め，原子力安全上の要求や様々な国際的要請に応えながら，官民挙げて取組んだ歴史」ということになる．単なる技術的な対応だけでなく，社会的感情や国際的な課題の存在など，その全体像は複雑である．

福島第一原子力発電所事故に至るまでの我が国

の取組を，以下のように粗く分類してみる．

- ①原子力への取組の開始 (1950～1960代)
- ②海外技術の導入と初期トラブル対応 (1960年代半ば～70年代初め)
- ③軽水炉技術の国産化と標準化 (1975～1980)
- ④軽水炉の更なる改良と高度化 (1980以降)
- ⑤事故や不祥事の多発と対応 (1990以降)
- ⑥原子力カルネサンスへの対応 (2000年以降)

さらに，原子力利用を支えるための以下のような取組が，1970年代から続けられてきた．

- ⑦原子力安全確保のための規制上の取組
- ⑧核燃料サイクル事業への取組
- ⑨次世代炉開発への取り組み
- ⑩関連する基礎技術や研究の取組

2.1 原子力開発の黎明期

1953年のアイゼンハワー米大統領による“Atoms for Peace”の国連演説[3]以降，世界的な原子力平和利用の動きが始まった．この時期は，「国連管理の下での原子力の平和利用」への強い期待が世界的に共有されていた．旧ソ連のチャンネル型黒鉛減速軽水沸騰炉 (RBMK, 1954)，英国の黒鉛減速炭酸ガス冷却炉 (Calder Hall型, 1956)，米国の加圧水型軽水炉 (PWR, 1957) および沸騰水型軽水炉 (BWR, 1960) 等の先陣が実用発電炉を実現する中，我が国では，産官学間で原子力技術導入の是非に関わる激論が行われ，1955年に原子力基本法が成立し，原子力発電実用を視野に入れた研究開発が開始された．1955年に，中曽根康弘氏 (参議員商工委員会)は，「我々の目標は，あくまでも，国産の原料で，国産の燃料で，国産の炉を作り，我が国の国民の生活に寄与するのだ・・・外国と勇敢に提携協力して進めてゆく，そういう精神が必

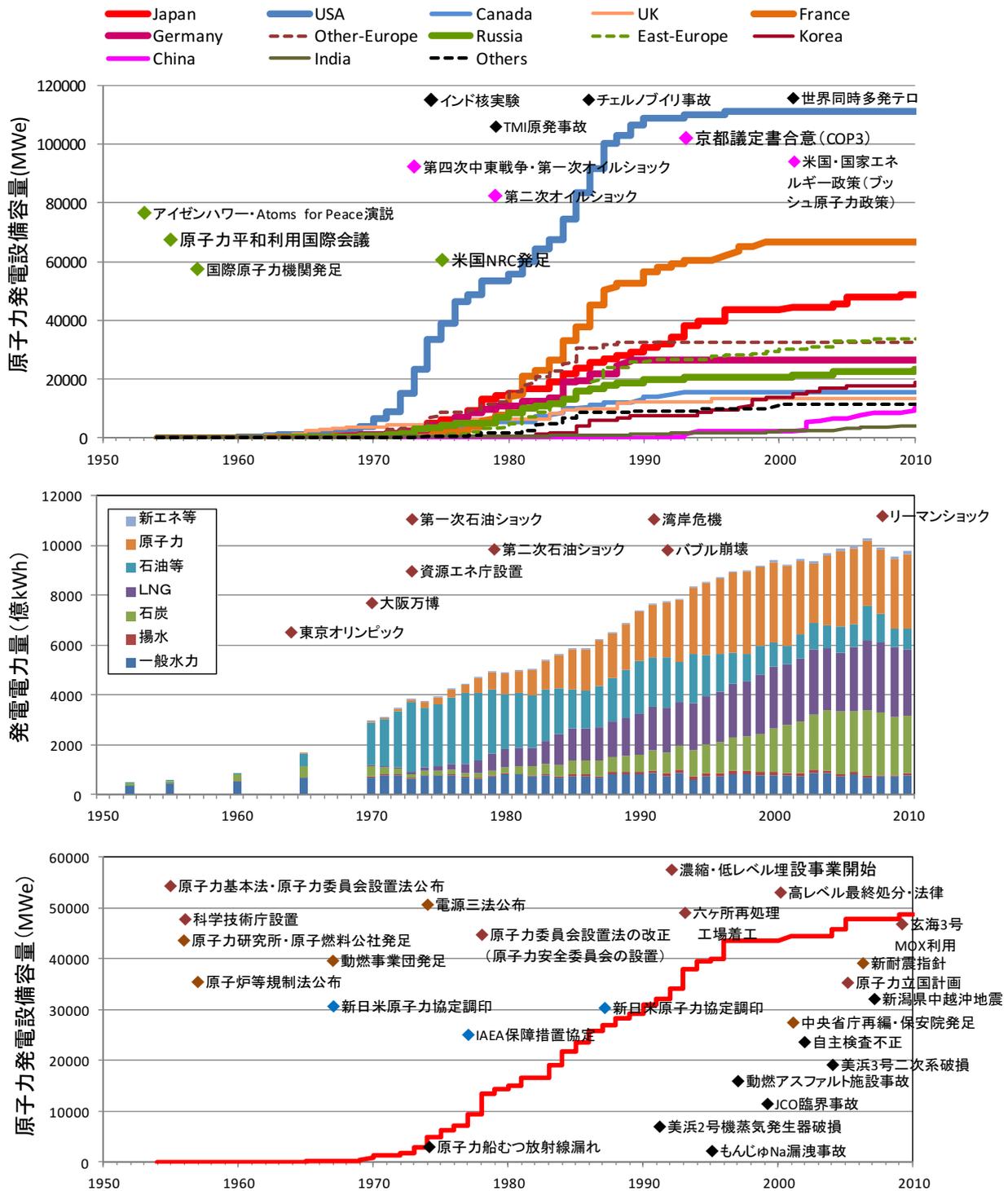


図1 世界および日本の原子力利用の推移

上段：世界の原子力発電規模の推移

中段：我が国の電源構成（発電量）の推移

下段：我が国の原子力発電規模の推移

（上段及び下段：WNA Advanced Nuclear Database, World Nuclear Association [2]

より作成，中段：エネルギー白書 2011[3]より作成）

要」と語っているが、この表明に、我が国が国策として原子力に取り組んだ原点が見える。すなわち、「自国産エネルギー確保のために、原子力発電に取り組む」との基本姿勢がこの時期に設定され、その後も、国策としてのこの考え方が維持されて来たと言える。科学技術庁や原子力研究所等の研究機関など、法制度や原子力利用の基盤的な枠組みの多くが、この時代に構築された。

2.2 原子力発電の導入から改良[4][5]

米国での急速な軽水炉の導入に遅れながらも、我が国では1960年代後半から、米国の軽水炉技術を導入する時代に入った。敦賀1号、美浜1号、福島1号等の技術の輸入が端緒となった。これらの炉では、初期トラブル（BWR ステンレスの応力腐食割れ、PWR 蒸気発生器の細管漏れ、燃料の損傷等）が多発し、自国の技術でこれらを克服することが必要になった。

この時期、高度成長に伴う「10%/年を超える電力需要の増加」があり、火力発電の増加による化石燃料への依存が懸念されていたことから、この時期の原子力発電の拡大は、社会的な必然でもあった。1961年の原子力利用開発長期計画[6]においては、「将来の電力需要の急速なる増加に対応するため、エネルギー源確保の安定化の面からもより安価なエネルギー源の開発のおよびその多様化をはかることが必要である。このため電力供給源として原子力発電に期待することは、大きな意義があるものとする」としており、国策としての高い位置づけを向うことが出来る。

需要面からの原子力利用拡大の要請が高かったものの、導入された軽水炉の初期トラブルについての技術的改善要求も同時に高まった。図2に、原子力発電所の設備利用率の変遷を示した。初期の設備利用率の低下は甚だしく、この時期は、稼働率の向上や従業員への被ばく低減等の保守性の改善について、国内メーカーや国の研究機関による技術的取組が最も必要とされた時期であった。このため、1970年代半ば以降、技術の国産化を強く意識した「第一次（1975～77）・二次（1978～80）改良標準化」が行われることとなった。第一次・二次改良標準化では、①機器の信頼性向上と設備利用率の改善、②定期検査の短縮、③作業員被ばくの低減、④運転操作性の改善、等が目標とされた。さらに、1980年代に入ると更なる高度化が求めら

れ、第三次標準化（1981～85）が進められた。第三次標準化は、炉心を含めて日本版軽水炉の確立を狙ったもので、安全性と信頼性の向上、稼働率の向上、立地の効率化、燃料利用効率の向上、建設工期の短縮、放射性廃棄物対策の標準化など、多くの改善が図られた。この成果は、改良型BWR（ABWR）および改良型PWR（APWR）の設計として具現化された。軽水炉の改良の技術的な内容や経緯については、本紙「軽水炉の開発と冷却システム（成合英樹）」を参照願う。

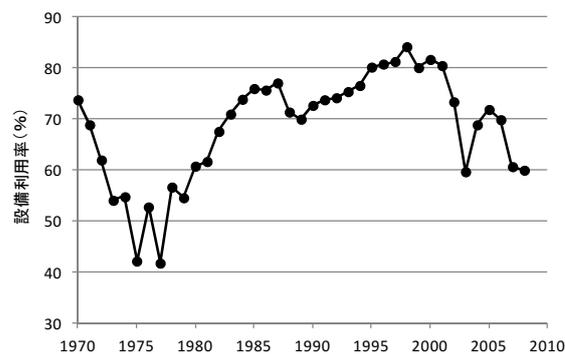


図2 原子力発電所の設備利用率の推移

このように、1970年から1980年代は、軽水炉技術の高度化と国産化が求められ、官民挙げて技術的な取組が進められた時代であったと言える。1990年代末から2000年初頭には、総発電電力量の30%近くを原子力で供給し（図1）、設備利用率が80%近くに高まる（図2）改善を見ている。

改良標準化に沿って、単基あたりの出力拡大が図られた。BWRについては、BWR-5の110万kWeが主流になり、PWRについても4ループの110万kWeが導入されるようになった。これは、スケールメリットによる経済性の向上を図ったものである。

2.3 事故の発生と世界的な原子力停滞

1970年代後期以降は、重大な原子力事故が世界的に発生した時代でもある。1979年のスリーマイルアイランド2号機（TMI-2）事故は軽水炉の安全性について、技術者だけでなく一般市民にも強い衝撃を与えた。さらに、1986年のチェルノブイリ4号機の事故は、放射性物質の大量放出と言う“クリフエッジを超える現象”を現実のものとして世界に見せつけた。さらに、皮肉なことに、軽水炉技術が高度化していった1990年以降、我が国

では，原子力事故や事業者の不祥事が頻発していった。特に，美浜2号機蒸気発生器の伝熱細管破断（1991）のような装置的な問題の顕在化に加えて，もんじゅのNa漏洩事故（1995），動燃アスファルト施設の爆発事故（1997），JCO 臨界事故（1999）等，原子力技術や事業者に対する国民の信頼性を強く低下させるような大きな事態が頻発した。この時期は，原子力の安全に対する世界的な不信が高まっていった時期でもある。世界的に，エネルギー価格の安定が進み供給不安が遠のいたこと，原子力事故への不安の高まりや環境保護運動の高まりなどから，原子力への否定的なムードが高まった時期である。実際，1990年以降，米国やドイツでは原子力発電所の増設がほとんどなくなった。スイスでは1990年に，原子炉の新規設置のモラトリアムを決定，ドイツでは2000年に，シュレーダー政権が緑の党との政策合意により，脱原子力政策を決定した。

米国では，第一次石油危機（1973）以前は，エネルギー需要増加が顕著であり，資源枯渇に対する危機感も強く，大量の原子力発電所の増設が計画されていた。しかし，第一次石油危機によりエネルギー需要の増加が激減し，原子力発電所の建設計画の多くがキャンセルされることになった。また，米国では，1979年のTMI-2事故以降は，許認可の見通しが難しくなったことや，反原子力市民感情の高まりや政治的な反対が拡大し，原子力発電への投資が発電事業者にとって難しいものになった。それでも，米国では建設中のプロジェクトを進めて，1980年代に約4000万kW近い原子炉が設置された。米国では，原子力安全強化（すなわち経済性強化）のために，事業者が新組織INPO（Institute of Nuclear Power Operation:1979）とWANO（The World Association of Nuclear Operators:1989）を設立し，NRC（Nuclear Regulation Committee）は，原子力発電所の認可の審査基準を10CFR Part 52[7]に改訂している。米国では，80年代から90年代にかけての安全性確保の取り組みが，規制者と事業者の両方で進められたことが分かる。

1980年代から1990年代での米国での動きと並行して，日本とフランスでは，エネルギー安全保障上の重要性を背景に1990年代に入っても新規建設が進められた。米国では1990年以降の新設は

4基しかないが，1990年以降の日本での新設は21基である。なお，我が国での1995年以降の新設9基のうちの5基は，第三次標準化によるABWRである。

2.4 核不拡散と核セキュリティ[8]

世界的な原子力利用の推移において，核不拡散に関わる動向を忘れてはならない。Atoms for Peace（1953）以降の世界的な原子力平和利用は，「核拡散防止条約（NPT）（日本は1976年に批准）」体制に準拠し，平和利用国が国際原子力機関による保障措置を受け入れることが基本となってきたが，1974年にNPT非加盟のインドが，研究用重水炉から回収されたプルトニウムを用いた地下核実験を行ったことが，世界的に衝撃を与えた。これをきっかけに，1978年に，原子力供給国グループ（Nuclear Suppliers Group: NSG）が設立された。NSGは，ガイドラインに沿って原子力技術や製品の輸出管理を求めるもので，我が国も積極的に参加している。米国では，フォード大統領による再処理禁止命令に続き，カーター大統領による核不拡散政策が1976年に制定され，これは，日本の原子力政策（核燃料サイクル政策）にも大きな影響を与えることになった。1977年には，先進7カ国首脳会議（ロンドンサミット）での合意に基づき，原子力平和利用と核不拡散の両立の方策をめざした核燃料サイクルの全分野に関わる評価・分析の作業（国際核燃料サイクル評価：INFCE）が開始された。この評価により，適切な保障措置や技術的対策によって核不拡散と平和利用が両立し得ることが，世界的に再確認され，我が国のウラン濃縮や再処理等の核燃料サイクル活動の実施が認められる結果となった。我が国と国際原子力機関との保障措置協定は1977年に発効している。さらに，1991年にイラクの包括的保障措置協定（INFIRC/153）違反が発覚したことをきっかけに，未申告活動に対する保障措置を強化することを目的として，追加議定書の締結が求められるようになった。我が国は，1999年に追加議定書に署名している。我が国については，保障措置を誠実に実施されてきたことを受けて，2004年に，統合保障措置の適用が認められた。

核物質防護（核セキュリティ）の重要性は当初より認識され，国際原子力機関は各国に核物質防護上の要請を行ってきた。時間がかかったが，核

物質防護条約（CPPNM）が1987年に発効した。2001年の米国での同時多発テロは、核セキュリティ強化の動きを加速し、2006年のG8サミットにおいて米露両大統領から「核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシアティブ（GI）」が提唱され、核テロリズム防止条約（2007）の発効に繋がった。核セキュリティという“新たな脅威に対する国際的要請”が2000年代になって急速にリアリティを持ったわけであり、我が国も、この要請に積極的に対応してきた。

2.5 原子力再拡大の流れから2011年まで

2000年代後半に入ると、世界的な原子力復活の動きが高まった。京都議定書の発効により、地球温暖化対策の一つとしての原子力への認識が高まったこと、世界的な電力需要の増加、代替エネルギーの不足、等が背景にある。中でも、中国、韓国、インド等のアジア諸国が、電力需要急増に対して原子力拡大を指向したことが目覚ましい。また、2000年頃までに一度原子力廃止を決めていた欧州の幾つかの国が、原子炉の利用延長を考えた。原子力拡大を停止していた米国でも、ブッシュ大統領が2005年に、原子炉の新設を視野に入れた「国家エネルギー政策」を打ち出した[9]。さらに、ガス冷却炉の廃止により原子力撤退を進めていた英国が、再び原子力を復活させる戦略を打ち出したこと（2006）、政治的な判断で2000年に脱原子力を決めていたドイツが原子炉の利用延長を指向し始めたことなど、所謂「原子カルネッサンス」の時代に入った。我が国でも、2005年に策定された「原子力政策大綱」[10]において、一定規模の原子力利用を2030年頃の目標とする方針が提示され、資源エネルギー庁による「原子力立国計画（2005）」[11]では、二酸化炭素排出削減等の視点から14基の原子炉の新規建設を基本とする、原子力発電容量の拡大が計画されることになった。そして、原子カルネッサンスに向けての行動が開始されつつある中で発生したのが、2011年の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故である。これにより、我が国では、市民感情的にも政治的にも、原子力廃止の動きが一挙に高まった。

以上のように、我が国の原子力発電が現在に至った経緯における歴史的な背景は複雑である。これらの背景を決めて来た境界条件としては、①米国をはじめとする世界的な原子力利用の潮流、②

国策としてのエネルギー安全保障上の要請、③産業界の技術的強化のインセンティブ、④原子力事故の発生と社会不安や批判の拡大、⑤核不拡散や核セキュリティ等の国際協調行動の進展、等を挙げることが出来る。我が国は、世界的な原子力事情の変遷の中で、国家エネルギー戦略として原子力利用重視の姿勢を堅持し、官民挙げての技術的取組や制度的な修正を続けながら、原子力発電の維持拡大を模索してきたのである。

3. 原子力世論と安全規制

上記の歴史を見ても、原子力利用の成否は、「国のエネルギー戦略（エネルギー安全保障）」、「原子力安全の確保」、「原子力の社会受容」の三者が、変化する国際情勢や社会的な情勢の下で、世論・技術・政治・制度などの面においてどれほど折り合いがつかいかにかかっている。福島第一発電所の事故以降の原子力に関わる様々な議論を見ると、多くの識者が、技術と社会のインターフェイスの問題、安全とリスクの問題、安全規制や安全確保の仕組みや制度の問題、放射線安全に関わる不確実性、安全文化や技術者意識の問題等について指摘している。これらの指摘は、原子力安全について、①技術的な安全確保、②制度的な安全確保、③社会的なリスク認知、のいずれも重要であることを語るものであるが、我が国においては、これら三者のバランスに瑕疵があったと考えられる。ここでは、原子力反対活動の経緯、原子力安全規制の取組、特徴的な原子炉安全への取組の経緯について、簡単に振り返る。

3.1 原子力反対世論の経緯

表1に、我が国における原子力安全に関わる主要な出来事と、原子力反対活動に関する出来事を併記して記した。我が国では、核兵器利用に対する強い懸念から原子力発電に反対する考えが、学者などを中心に当初からあった。第五福龍丸被災事件による社会的不安の広がりがあったものの、1950年代は、概して、原子力導入が国民的に歓迎されていた時代である。1960年代には、この流れを受けて原子力発電所の誘致が進んだが、一方では漁業者による反対なども起こっており、結果的に立地が実現しなかった地点も多い（芦浜、巻等）。1970年代に入ると、原子炉安全に疑念を抱かせるような事態が海外から伝えられ、原子力船“むつ”

の放射線漏れ事件のような象徴的な事態が国内でも起こり，原子力問題が社会問題化していった。社会党による反対活動，学生運動や組合活動のような組織的な活動も進展した。1973年には，初の行政訴訟である伊方発電所の設置許可差し止め請求が行われている。そして，1979年に発生したTMI-2事故の発生は，ECCSや格納容器による安全確保論理に対する疑念を，広く巻き起こした。こうして，1980年代には，それまでの反核イデオロギー的な反対活動に加えて，広瀬隆現象や日比谷大集会に見られるように，主婦を含めた市民感覚での反対も広がって行った。さらに，1990年代になると国内における原子力事故や不祥事が多発した。1999年のJCOの臨界事故は，「原子力施設による一般住民への危害」が現実化したという観点で，決定的な事態となった。また，2002年の東電による自主点検データの改ざん事件は，事業者に対する信頼性を失う大きなきっかけとなった。

表1 原子力安全上の出来事と反対活動

年	特徴的な出来ごと
1954	第五福龍丸被災事件
1955	原水協発足
1957	バグウォッシュ会議
1961	米国SL-1実験炉暴走事故
1974	原子力船むつ放射線漏れ
1973	伊方設置許可取り消し提訴
1975	ラスムッセン報告 (WASH-1400)
1979	映画チャイナシンドローム
1979	TMI-2事故
1981	原電敦賀排水放射能漏れ
1986	チェルノブイリ-4事故
1987	広瀬隆現象
1988	日比谷・脱原発2万人集会
1988	伊方発電所出力調整運転反対活動
1991	美浜2号機蒸気発生器破損
1992	あかつき丸反対活動
1995	もんじゅNa漏えい事故
1997	東海アスファルト施設事故
1999	JCO臨界事故
1999	志賀1号停止中制御棒誤引き抜き
2000	もんじゅ訴訟・請求容認判決 (名古屋高裁金沢支部)
2001	浜岡1号配管破断事故
2002	東電検査データ改ざん
2004	志賀2号機運転差し止め訴訟・請求容認判決 (金沢地裁)
2005	ブルサーマル反対活動活発化
2009	新潟県中越沖地震・柏崎刈羽発電所被災

2000年代に入ると，社会現象的な反対世論はやや沈静化し，2005年の内閣府の調査では，原子力推進の意見が55.1%を占めるようになった。「原子力を，消極的ではあるが容認する」という世論が，原子力カルネサンスの前からあったことを伺えるが，根強い原子力への不安感が存在してきたのも事実

である。2002年より原子力発電環境整備機構 (NUMO) が行っている「高レベル放射性廃棄物地層処分文庫調査候補地の公募」が失敗に終わっていること (東洋町の公募撤回：2009) も，社会による原子力受容が本質的に低いことを示している。このため，2000年半ば以降は，原子力に関わる広報やリスクコミュニケーションの改善の必要性が，強く謳われて来た。また，原子力報道の在り方についても議論されてきた。このように，原子力推進に対する本質的な社会認知が十分には進まないまま，原子力利用の拡大方針が取られて来たのが2000年以降である。福島第一原子力発電所の事故の発生により，世論が一挙に「ゼロ原子力」に向かったが，この前提には，顕在化しない不信感の存在があったのかもしれない。

3.2 原子力安全規制の展開

原子力基本法は1955年に公布され，原子力安全に関わる三つの法律が以下のように公布された。

- ① 原子炉等規制法 (1957：原子力安全規制を包括的に扱い，事業の規制を行う)
 - ② 放射線障害防止法 (1957：放射線障害を防止し，公共の安全を確保)
 - ③ 電気事業法 (1964：電気事業の運営の適性化と公共安全確保，電気事業を包括的に規制)
- さらに，原子力災害に関わる以下の法律が交付されている。
- ④ 原子力損害の賠償に関する法律 (1961)
 - ⑤ 原子力災害対策特別措置法 (1999：原子力災害予防と緊急時対応)

1956年に公布された原子力委員会設置法では，原子力委員会が安全確保を含む原子力政策の策定を担うとされた。放射線安全の技術的基準を策定するために，放射線審議会が1958年に設置された。原子力委員会は1964年に，「原子炉立地審査指針及び同指針を適用する際に必要な暫定的な判断のめやす (立地審査指針)」を決定した。さらに，1970年に「発電用軽水炉型原子炉施設に関する安全設計審査指針 (安全設計審査指針)」を決定している。我が国における軽水炉の導入期に作られたこの指針が1977年に改訂されて，以後，安全設計審査指針として使われてきた。放射線審議会は，国際放射線防護委員会 (ICRP) 1962年勧告を反映

した技術的基準を整備し、その後、ICRPの勧告の改訂に沿って、放射線安全の基準を提言する役割を果たして来た。

1970年代の初めは、立地反対活動や行政訴訟が進んだ時期であるが(表1)、原子力委員会は、安全規制の拡充を目指して、①環境放射線モニタリング、②原子炉等安全研究、③原子炉安全技術、各々の専門部会を設置して、規制行政や研究開発の強化を図った。原子炉安全技術専門部会によって1970年代の半ばに、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針(1975)」、「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の安全評価指針」、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(1978)」などの重要な指針が策定されている。さらに、核燃料サイクル施設や放射性廃棄物処分のための指針の策定を、この時期に開始している。

1978年には、原子力行政懇談会による行政改革提言により原子力委員会設置法が改正され、原子力安全に関わる事項は、新たに設置される原子力安全委員会が担うこととなった。原子力行政に対する世論の不信が増していたことが背景にある。原子力安全委員会は、事業を所掌する行政庁による安全規制のダブルチェックを担うこととなった。なお、1998年の中央省庁に関わる行政改革によって、原子力安全委員会は内閣府に置かれることになり、2012年の組織廃止まで機能を継続した。

1970年代後半以降は、国内における原子力安全研究の成果や、原子力発電所の建設と運転の経験などが、指針や基準の改訂や発行に反映された。特に、1978年に策定された「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」は、異常事象や事故の評価に必要な条件や判断について定めたもので、その後の原子炉安全評価の基本となっている。

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」は1978年に策定されたが(1981年改訂)、1995年の兵庫県南部地震やその後の鳥取県西部地震などの、従来想定を超える地震の発生を受けて、改訂の必要性が検討され、2001年から見直しが行われた結果、2006年に新耐震指針が策定された。新耐震指針では、活断層の定義の拡張や調査の充実、断層モデルによる解析の取り入れ、基準地震動の設定など、多くの新しい考え方が取り入れられた。また、想定した地震動を上回る地震発生の可能性

に伴うリスク(残余のリスク)への見解を求めた点で画期的であった。一方、2007年に新潟県中越沖地震が発生し柏崎刈羽発電所が被災したことや、2011年の東北地方太平洋沖地震の発生したことから、自然災害(外的要因)に伴う原子力施設のリスクの本格的な見直しが進められている。

3.3 過酷事故への取組

事故を起こした福島第一原子力発電所の1~4号機が運転を開始したのは、1971年~78年であるが、米国では、この頃既に、総合的な原子炉のリスク評価研究が始まっていた。この研究結果を報告したのが有名な「ラスムセン報告(WASH-1400)(1975)」[12]である。佐藤一男[13]は、「設計の範囲を超える極めて重大な事故が、単なる純理論的存在ではなくて、現実に発生し得ることを実証したこの報告は、衝撃的であり、過酷事故の発生確率が現にあることを示したリスク評価の試みとして画期的なものであった」と言う。さらに、数年後の1979年3月に発生したTMI-2事故により、シビアアクシデント(SA)が実際に起こることが世に示された。我が国の第一次標準化の頃に発生したこの事故に対して、原子力安全委員会は調査分析を行い、同年9月には、事故調査特別委員会の報告による“52項目の反映事項”を公表している(①基準・審査(13項目)、②設計(7項目)、③運転管理(10項目)、④防災関係(10項目)、⑤安全研究(12項目))。これらの項目においては、操作ミスの防止策やマンマシンインターフェースの強化が求められているものの、SA評価やシビアアクシデントマネージメント(AM)については、規制上の要求にはなっていない。

米国や欧州では、1980年代の半ばには、確率論的安全評価(PSA)によるSA評価に基づく安全確保措置の要求(ベントや格納容器機能の強化等)を事業者に対して行っており、その後のチェルノブイリ発電所事故によっても、世界的にSA対策が強化された。しかしながら、我が国では、これを事業者に義務として要求することはなかった。1992年になって、原子力安全委員会は「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネージメントについて」を決定したが、この中で、「多重防護の思想に基づき厳格な安全確保対策を行うことによって・・・SAは工学的には現実に起こるとは考えられないほど

発生の可能性は十分小さいものとなっており，原子炉施設のリスクは十分低い」とし，「原子炉設置者においては，原子炉施設の安全性の一層の向上を図るため，報告書が示す提案の具体的事項を参考としてアクシデントマネジメントの整備を継続して進めることが必要」とされ，事業者の自主的行動を求めるにとどまっている．その後，事業者において個別に実施は進んだものの，それらに対する規制側のフォローは十分ではなかったと見られている．

以上の様に，確率論的な安全評価（PSA），シビアアクシデント対応，原子炉安全目標の設定等に向けた我が国の対応は，欧米より遅れて来たということであり，その重要性が指摘されながらも，実施のタイミングを逸してきた感が強い．

4. まとめ

上記のように，我が国原子力発電の歴史とその背景は複雑である．エネルギー資源を持たない我が国にとって，輸入依存度が低く自国産エネルギーとして扱える原子力発電は，エネルギー安全保障の観点から重要である．この国策上のニーズを背景として，①1960年代からの海外炉の導入と技術克服，②軽水炉の改良標準化と高度化，③原子力カルネサンス，の流れに沿って歩んできた．一方，④1970年代末からの世界的な原子力事故の発生と安全性強化の要請，⑤国内での事故や不祥事の発生，⑥原子力反対世論の増加と変質，⑦核不拡散や核セキュリティの要請拡大，という難しい流れに対応することが求められてきた．この難しい流れの中では，技術や制度面をしっかりと制御するガバナンスが不可欠であったが，官民の体制の中で，そのガバナンスに不足があったと思われる．一方，欧米で成功しているように，このガバナンスを再構築すると共に，合理的で真摯な安全追求の姿勢（文化）を確保すれば，優秀な国内技術のメリットを活かして，原子力利用によるエネルギー安全保障の確保を継続出来る可能性は，まだ残されるであろう．歴史を見直し，反省し，専門性

を活かしながら，今後の在り方を真摯に考えることが，関係者全体に求められる．日本伝熱学会にも，そのような姿勢が期待される．

参考文献

- [1] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会最終報告書 (2013).
- [2] WNA Advanced Nuclear Database, World Nuclear Association, (<http://world-nuclear.org/NuclearDatabase/Advanced.aspx?id=27246>)
- [3] エネルギー白書 2011「平成 22 年度エネルギーに関する年次報告」, 経済産業省・資源エネルギー庁 (2012)
- [4] 軽水炉プラントーその半世紀の進化の歩み, 社団法人日本原子力学会・編集委員会編(2009)
- [5] 軽水炉発電所のあらまし, 財団法人原子力安全研究協会実務テキスト編集委員会 (平成 20 年 9 月) (2008)
- [6] 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画 (第 2 回) 昭和 36 年, 原子力委員会 (1961)
- [7] Part 52-Licenses, Certifications, and Approvals for Nuclear Power Plants, U.S.NRC (<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part052/full-text.html>)
- [8] 核不拡散にかかわる状況について, 原子力委員会国際専門部会第 3 回(平成 21 年 10 月), 資料第 1 号, (2009)
- [9] ブッシュ政権の国家エネルギー政策, JETRO 技術情報, 424 号 (2001)
- [10] 原子力政策大綱, 原子力委員会, 平成 17 年 10 月 11 日(平成 17 年 10 月 14 日閣議決定), (2005)
- [11] 原子力立国計画, 経済産業省・資源エネルギー庁, (平成 18 年 8 月), (2005)
- [12] 都甲他, ラスムッセン報告書(Reactor Safety Study(WASH-1400)Draft)の概要, 日本原子力学会誌, 17(2), 5-16 (1975)
- [13] 佐藤一男, 改訂 原子力安全の論理, 日刊工業新聞社, (2006)

軽水炉の開発と冷却システム

Development of Light Water Reactors and Cooling Systems

成合 英樹(筑波大学)

Hideki NARIAI (University of Tsukuba)

e-mail: hdnariai@mail1.accsnet.ne.jp

1. はじめに

発電用軽水炉は米国を中心に開発が始まり，日本はこれを米国より導入して建設し，独自技術を加えて改良した．ここでは米国と日本の軽水炉開発につき冷却システムを中心に記す[1]～[7]．

2. 原子力プラントの開発

原子力プラントは，1945年の第二次世界大戦直後から米国等により原子力潜水艦の動力用として開発が始まった．これを発電用に適用するため米国等で研究が進められたが，世界初の原子力発電に成功したのは米国的高速増殖実験炉 EBR-1 (Experimental Breeder Reactor-1) で 51 年である．54 年に旧ソ連が黒鉛減速加圧水炉，55 年に米国が沸騰水型軽水炉 BWR (Boiling Water Reactor) の実験炉 BORAX で発電に成功した．56 年には英国の黒鉛減速炭酸ガス冷却のコールドーホール型原子力発電所が運転を開始した．減速材と冷却材を兼ねる軽水を用いる軽水炉は，冷却材として加圧水を用いる加圧水型炉 PWR (Pressurized Water Reactor) が軍用艦動力用に開発され，55 年に米国で原子力潜水艦ノーチラス，61 年に原子力空母エンタープライズが就役した．この PWR と共に BWR の発電用軽水炉としての開発が進められた．

53 年 12 月にアイゼンハワー大統領の国連での“Atoms for Peace”宣言で公式に原子力の平和利用が進み，日本も 54 年以降原子力の利用へ向けて活発な活動を開始した．

3. 軽水炉の開発

3.1 米国における軽水炉開発

米国では 46 年に原子力エネルギー法が制定され，原子力委員会 AEC (Atomic Energy Commission) が設置され，広大な政府保留地に低出力工学試験用原子炉が建設された．AEC は，原子炉の利用には公衆の安全確保が最重要として後に原子炉安全諮問委員会 ACRS (Advisory Committee on Reactor Safeguards) となる原子炉安全保障委員会を 47 年に設置した．原子炉施設の住民居住地近傍への立

地や原子炉の大型化による安全確保が課題であった．主要な対策は，格納容器設置による放射性物質抑制と非常用炉心冷却系 ECCS (Emergency Core Cooling System) の強化による非常時炉心損傷防止で 62 年の立地指針に反映された．特に 57 年の英国ウインズケールの格納容器のないプルトニウム生産用原子炉の炉心溶融事故でのヨウ素やセシウム等の放出が安全対策に重要な教訓となった．

3.2 加圧水型炉(PWR)の開発

3.2.1 初期開発段階

図 1 に発電用 PWR の基本構成を示す．PWR は原子炉容器内の燃料棒を冷却する一次冷却系の冷却水圧力を加圧器により約 150 気圧に加圧して沸騰を抑え，加熱された高温の加圧水により蒸気発生器 SG (Steam Generator) で約 70 気圧の二次系冷却水を加熱して蒸気として蒸気タービンへ送る．

発電用 PWR は WH (Westinghouse) が主体で，CE (Combustion Engineering) 及び B&W (Babcock and Wilcox Service Co.) も加わり，軍用技術の転用から改良・開発がなされた．米国の最初の商用発電原子炉は PWR で，57 年に営業運転を開始した電気出力 60MWe (後に 90MWe) の Shipping Port である．この炉は航空母艦用に建造された PWR の転用で，民間技術はタービン発電機系のみであった．引き続き WH は 61 年運転開始の Yankee Rowe (175MWe)，B&W が 62 年運転開始の Indian Point-1 (265MWe) を建設した．なお PWR は貨物船の動力用利用も進められ，B&W の出力 74MW の PWR を搭載したサバナ号が 62 年に完成し約 10 年間の航海を行った．

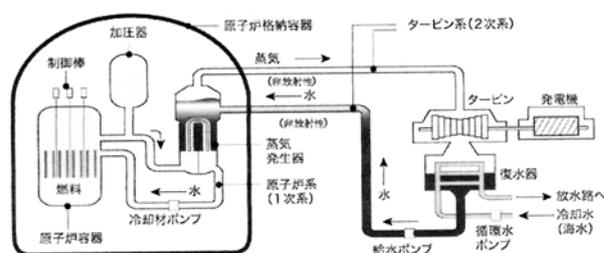


図 1 PWR の基本構成

[文献 5, 第 7 回 (Vol.50, No.4)]

日本も原子力実験船「むつ」が 69 年に進水したが 74 年の出力上昇試験中に放射線漏れを起こし、改修して 91 年に 1 年間の実験航海を行った。

3.2.2 実用発電炉の開発

米国の PWR は 3 社により建造されたが、ここでは WH を中心にその概要を記す。

PWR は時代と共に大型化が進んだ。WH の第一世代の PWR は、1960 年代から 70 年初めに運転開始の電気出力 500MWe 級炉、第二世代は 70 年代中頃運転開始の 750MWe 級炉、第三世代は 78 年以降運転開始の 1000MWe 級炉である。この間、基本的な設計概念は殆ど変わらなかったが安全系改良や性能向上がなされた。WH は出力増大に伴う冷却水流量の増大をループ数の増大、即ち 2,3,4 ループとして対応し、ほぼ同じ大きさのポンプや SG を使用した。第一世代が 2 ループ、第二世代が 3 ループ、第三世代が 4 ループに対応する。一方、出力増大に各ループの流量を増大させて対応したのが CE と B&W であり、ポンプの大型化を避けるため高温側 1 ループに対して低温側を 2 ループとして 2 台のポンプを設置したが、SG は大型化した。SG は WH と CE が U 字管型を用い若干湿った蒸気を生成するのに対し、B&W は過熱蒸気を生成する貫流型を用いた。

日本は三菱重工を主メーカーとして WH の PWR を導入した。1970 年に営業運転開始の美浜 1 号 (320MWe) が最初の 2 ループ炉、74 年の高浜 1 号 (780MWe) が最初の 3 ループ炉、79 年の大飯 1 号 (1120MWe) が最初の 4 ループ炉である。

PWR は内部が空気のドライ型格納容器で原子炉系を覆うが、冷却水配管破断時の流出蒸気を氷を詰めた層を通し凝縮させて圧力上昇を抑え、格納容器の小型化を図るアイスコンデンサ型格納容器もあり、日本では最初の 4 ループプラントである大飯 1 及び 2 号で採用された。その他通常の格納容器と同様の構造であるが、格納容器内を 0.6~0.8 気圧の減圧状態に保つ減圧格納容器 (Subatmospheric Containment) も米国の幾つかのプラントで採用された。これらの格納容器は放射性物質の放散を抑制するため気密性が要求される。

日本では 75 年度から 80 年度に米国で開発された PWR と BWR につき、第一次・第二次改良標準化を通産省のプロジェクトとして行い、初期トラブルの解決と共に作業性の向上等を考慮した設計を行った。また 76 年に原子力工学試験センター (後の原子力発電技術機構) が設置され実証試験が

行われた。特に三菱重工・日立・東芝を中心に技術開発がなされ改良が進むと共に技術力も向上した。81 年から 5 年間の第三次改良標準化で PWR では WH と三菱重工で APWR (Advanced PWR) を開発した。炉心の大容量化と共に、ポンプ・蒸気発生器等を大型化することで従来の 1200MWe クラスの 4 ループ構成のまま 1530MWe クラスに出力を増大し、安全機能改良では新しい高性能蓄圧タンクを採用した。APWR の最初のプラントとして敦賀 3,4 号炉が安全審査中である。

2000 年代に入り原子力プラント建設活動が発展途上国を含めて活発化し、PWR としてはフランスの EPR (European Pressurized Water Reactor)、米国の AP1000、日本の APWR (米国向け US-APWR)、韓国の APR1400 (Advanced Power Reactor 1400)、ロシアの VVER 等が受注活動を進めつつある。

3.3 沸騰水型炉 (BWR) の開発

3.3.1 初期開発段階

BWR は、炉心の燃料棒を冷却する約 70 気圧の冷却水を原子炉内で沸騰させ、気水分離して飽和蒸気をタービンへ送り発電するシステムであり、米国では GE (General Electric Co.) が主体的に開発した。当初、自然循環と強制循環の両方式が検討された。自然循環は水の沸騰による密度差を循環力として蒸気をタービンへ送るが、当初 SG を介する間接サイクルも検討された。強制循環は冷却水をポンプで循環させ、炉で生成した蒸気を直接タービンへ送る直接サイクル、SG を介して蒸気を生成する間接サイクル、炉上部の蒸気ドラムで気水分離された高圧蒸気をタービンへ供給すると同時に、蒸気ドラムからの再循環水により SG を介して低圧の二次系水を加熱して蒸気生成を行いタービンへ供給する強制循環二重サイクルが考えられ試験が行われた。図 2 に自然循環直接サイクル、自然循環間接サイクル、強制循環二重サイクル、強制循環直接サイクル、の概念図を示す。R: 原子炉, T: タービン, G: 発電機である。

最初の商用 BWR は強制循環二重サイクル炉で、60 年に営業運転開始の 200MWe の Dresden-1 である。炉外に設置した蒸気ドラムからの高圧 (70 気圧) 蒸気と蒸気ドラムの循環水で SG を介して生成した低圧 (35 気圧) 蒸気をタービンの高圧と低圧段へ供給した。二重サイクル炉はイタリア等でも建設されたが、高コスト等で開発から後退した。次いで自然循環炉である 63MWe の Humbolt Bay が 63 年に営業運転を開始した。自然循環炉はドイ

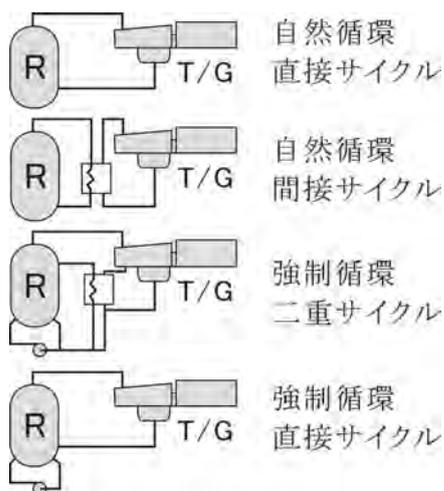


図2 BWRのシステム構成
[文献5, 第6回 (Vol.50, No.3)]

ツ・オランダの他に日本原子力研究所(原研)のJPDR (Japan Power Demonstration Reactor)としても建設された。この自然循環炉は低出力密度炉心では可能であったが大型化が難しくその後開発から後退する。自然循環炉は86年のチェルノブイリ事故後、受動的安全炉としてGE・東芝・日立によりSBWRとして改めて検討された。

最初の強制循環直接サイクル炉は72MWeのBig Rock Pointで65年に営業運転を開始した。気水分離は炉外の蒸気ドラムを用い、全給水流量を外部ポンプで原子炉へ循環させる方式である。

その他、原子炉内で過熱蒸気とする核過熱炉も幾つか建設されたが過熱燃料棒の被覆管強度問題や出力密度が低いことから開発から後退した。

これら開発初期段階の発電炉をGEはBWR-1と呼んだ。原子炉を覆う格納容器は、当初は大きなドライ型であったが、Humboldt Bayから冷却系配管破断事故時に噴出する高温蒸気を圧力抑制室のプール水中で凝縮させる圧力抑制型が導入されて格納容器がコンパクト化した。BWRの格納容器内は過酷事故時の水素燃焼を避けるために運転中は窒素で置換して不活性化する。

BWR-1時代にはGE以外にAllis Chalmers社による強制循環直接サイクルBWRの開発があり、原子炉容器内気水分離等多くの技術開発がなされた。

3.3.2 実用発電炉の開発

BWR-2はGEの商用BWRの基本的な形が定まった段階のプラントで、トーラス状の圧力抑制室を有するMARK-I型格納容器、原子炉容器内部気

水分離器、全炉心流量の外部再循環、非常用炉心冷却系 ECCS 等を備えたシステムである。BWR-2は、69年に営業運転を開始した650MWeのOyster Creek等米国で2基あるが、日本の最初の商用BWRである敦賀1号(341MWe)も70年に営業運転を開始した。

BWR-3は炉内ジェットポンプの導入が重要な進展で、全炉心流量を炉外のループを通したBWR-2に比べ、外部再循環流量が炉心流量の約1/2に減少した。ECCSの改良もなされた。MARK-I型格納容器を備え、日本でも福島第一1号(71年営業運転)と島根1号(74年営業運転)が建設された。

BWR-4は、炉心の出力密度を20%上昇させると共に、ECCS系の改良がなされた。またMARK-I型格納容器を標準とするが、多数の垂直ベント管を有するMARK-II型も開発された。BWR-4は米国ではBrowns Ferry-1以降16基が建設されたが、日本も福島第一2号以降8基を建設した。

BWR-5はMARK-II型格納容器を標準とし、ジェットポンプの改良により外部再循環流量が炉心流量の1/3に減少した。米国ではLaSalle 1&2号以降4基が建設されたが、日本では東海第二以降、福島第一6号等12基が建設された。

BWR-6はMARK-III型格納容器が開発され、原子炉システムは基本的にはBWR-5と同様だが多くの改良が加えられて72年に米国で最初の発注がなされた。日本にはBWR-6は導入されなかったが、この型に含まれる多くの改良点はその後改良標準化やABWR開発の中で反映された。

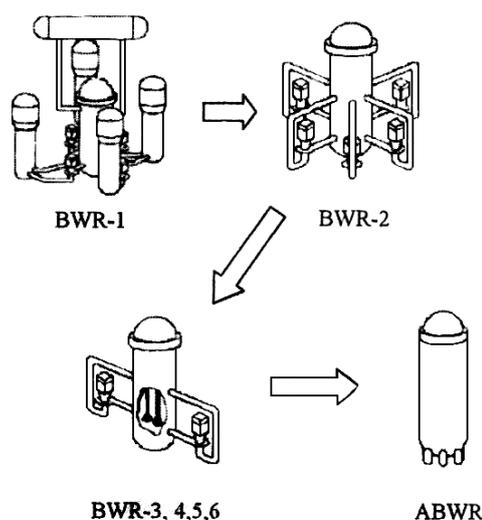


図3 BWR原子炉タイプ
[文献5, 第8回 (Vol.50, No.5)]

GE の BWR は，最初のプラント発注が BWR-2 で 63 年，BWR-3 で 64 年，BWR-4 で 66 年，BWR-5 で 70 年，BWR-6 で 72 年と 10 年足らずの間に一気に大型化がなされた．日本は東芝と日立を主メーカーとしてこれらを導入した．

日本では 75 年度からの第一次・第二次改良標準化により，BWR-5 の福島第二 2 号炉以降の炉で MARK-II 改や MARK-I 改と呼ぶ改良型格納容器が開発される等，日本独自の技術が大きく進んだ．81 年からの第三次改良標準化では東芝・日立・GE で ABWR (Advanced BWR) の開発を行った．

ABWR は再循環ジェットポンプを，内蔵型再循環ポンプへ変更した．内蔵型再循環ポンプは旧西独やスウェーデンのプラントで既に用いられていたもので，外部再循環ループの配管をなくすことによりシステムの単純化がなされた．格納容器は鉄筋コンクリート製の圧力抑制型で，MARK-II 型の垂直ベント管をなくして BWR-6 の MARK-III に近い水平ベント管方式とした．その他，総合デジタル化運転制御システムの採用等の新設計が取り入れられた．1996 年営業運転開始の 1315MWe の柏崎刈羽 6 号が最初のプラントで，柏崎刈羽 7 号，浜岡 5 号，志賀 2 号が建設された．ABWR は島根 3 号，大間が建設中であり，台湾でも建設中であるが，その他 2000 年以降，米国や新興国でプラント建設計画が進みつつある．

図 3 は BWR-1 から ABWR までの炉の概略図である．BWR-1 の上部の蒸気ドラム，BWR-2 の外部再循環ポンプ，BWR-3～6 のジェットポンプ，ABWR の内蔵型再循環ポンプが特徴である．

4. 軽水炉のプラントシステムと主要機器

4.1 PWR

4.1.1 プラントシステム

図 1 に示すように，PWR は炉心の燃料集合体，一次冷却水を加圧水状態に保持する加圧器，二次系の水を蒸気に変える蒸気発生器を主要機器とし，その他冷却水循環ポンプがある．

PWR は炉の一次系給水管ノズルが炉心より上部にあり，炉外の配管破断事故時に炉心が蒸気状態へ露出し難いこと，及び蒸気発生器が炉心より高い位置にあって一次水の自然循環による炉心冷却が可能であること，すなわち事故時に蒸気発生器が崩壊熱除去に有効であることが特徴である．

4.1.2 主要機器

(1) 燃料集合体

軽水炉の燃料は低濃縮二酸化ウランの焼結ペレットをジルコニウム合金の被覆管に詰めたもので，通常運転時及び異常な過渡変化時において安全設計上許容できる設計限界を越えないように設計される．設計限界には冷却不十分で生ずる過熱による被覆管の損傷や被覆管と二酸化ウランペレット間の相対的膨張によって生じる歪による被覆管の損傷があり，前者は沸騰の限界熱流束を越えないように設計される．

全長約 4 m，実効長約 3.6 m の燃料棒は，一辺約 220mm の正方格子状に配列した燃料集合体に組み込まれる．図 4 は燃料集合体の概念図であって大型炉ではこれが 200 体近く装荷される．当初の 2 ループプラントは 14 本×14 本(14 行 14 列) で 3 及び 4 ループプラントは 15×15 の格子状であったが，その後 17×17 集合体と進展した．この変更は，燃料棒の径とピッチを小さくして本数を増加することで，伝熱面積が増加し燃料中心部の最高温度が減少して，限界熱流束(PWR では DNB, Departure from Nucleate Boiling) に対する余裕の増大，出力分布の平坦化や安全性向上等がなされた．

(2) 蒸気発生器

蒸気発生器 SG は B&W による貫流型 SG (Once-Through Steam Generator) と WH 及び CE による U 字管(逆 U 字形伝熱管)型 SG (U-Tube Steam Generator) があるが，ここでは WH の U 字管型について記す．図 5 は U 字管蒸気発生器の構造を示す．U 字管 SG は，高さ約 20m の立置きで，管板より下部の一次側水室には，原子炉から約 150 気

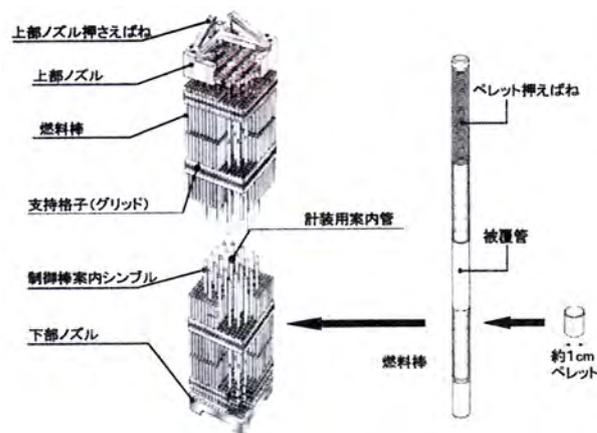


図 4 PWR 燃料集合体
[文献 5, 第 9 回 (Vol.50, No.6)]

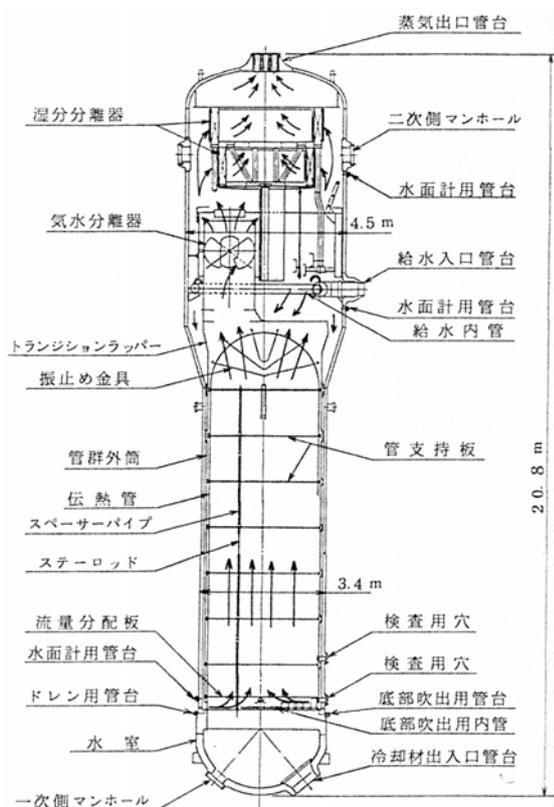


図5 PWR 蒸気発生器[4]

圧約 320℃の高温一次水が入り，U 字管部で 3 千数百本の逆 U 字状の U 字型伝熱管内を流れて伝熱管外部の二次水を加熱し，約 280℃になった一次水は管板下部水室から原子炉に戻る．蒸気タービンからの二次給水は二次主給水管入口から入り気水分離器からの再循環水と混合して約 220℃となって環状部を下降し，伝熱管部で一次冷却水で加熱され約 54 気圧の湿り蒸気流となる．U 字管部の上部にある二次側気水分離部は，回転翼式気水分離器及びその上部に湿水分離器が取り付けられ，二次湿り蒸気はここでほぼ飽和蒸気となって SG 頂部の主蒸気管から蒸気タービンへ向う．

SG は日米共に運転開始直後から水処理に関わる伝熱管の減肉や応力腐食割れ，流体振動による磨耗減肉等のトラブルが発生したが，対応として材質・応力除去・製造や支持板改善等がなされた．

(3) 加圧器

加圧器は PWR 一次系水をサブクール状態にするもので，大型 PWR では直径 2.5m，高さ 16m に達する．運転時にはこの容器内の約 60%が水で満たされ，上部は蒸気で下部の水は一次系高温側配管につながる．加圧器内の温度を一次系圧力の飽和温度にするため，下部水中には加熱用電気ヒーター

が，蒸気中の頂部には冷水スプレynoズルがあり，水を加熱して圧力を上げ，下げる時には低温側配管の水を蒸気中に噴出する．加圧器には逃し弁と安全弁が取り付けられ，圧力の過大上昇には逃し弁を開いて蒸気を加圧器逃しタンクへ放出する．

4.2 BWR

4.2.1 プラントシステム

強制循環直接サイクル炉の BWR-2 で原子炉容器内への気水分離器の内蔵化が行われたが，炉心上部の蒸気流路に気水分離器と蒸気乾燥器を置く．また BWR-2 は全流量外部ポンプ循環方式であるが，図 3 に見るように大出力化により外部循環ループ数が 5 ループにもなり，さらに圧力容器への給水ノズルが炉心より下部にあるため，LOCA 時に炉心が再冠水せず，非常用冷却能力が炉心スプレイ系の能力で制限される．

BWR-3 は，外部再循環ポンプに代わり内部ジェットポンプとなった．図 6 にジェットポンプ方式の原子炉容器内部構造を示す．ジェットポンプを炉内に置き，2 台の外部ポンプが約 1/2 の炉心流量を外部循環させて駆動流を供給するものである．これにより外部循環ループが 2 系統のままで，出力上昇に対してジェットポンプ台数と外部循環流量の増加によって対応できるようになった．また再循環ラインの破断によっても炉心の水位はジェットポンプの頂部より下がることはなく，少なくとも 2/3 の炉心冠水が出来るようになった．BWR-4 以降 BWR-6 まで，この基本的な循環流の構成に変わりはなかった．

ABWR はジェットポンプ方式に代わり炉容器内蔵型再循環ポンプを用いたが，これにより冷却系配管の大破断による LOCA の可能性が低下した．

4.2.2 主要機器

(1) 燃料集合体

図 6 の炉心には燃料集合体が装荷される．BWR 燃料も PWR と同様に，二酸化ウラン燃料の焼結ペレットをジルコニウム合金の被覆管に詰めたものである．BWR 燃料棒も正方格子状に配列された燃料集合体として正方形に組み立てられるが，BWR では沸騰が生ずるので横流れを防ぐため一辺約 140mm のチャンネルボックス内に納められる．

BWR-1 の正方格子は 6×6 (6 行 6 列) や 7×7 であった．BWR-2，BWR-3 の初期のプラントは 7×7 であったが，その後ほぼ全てのプラントが 8×8 となり，さらに 9×9 燃料が開発された．PWR と同様に燃料棒数の増加は燃料棒径の減少によるもので

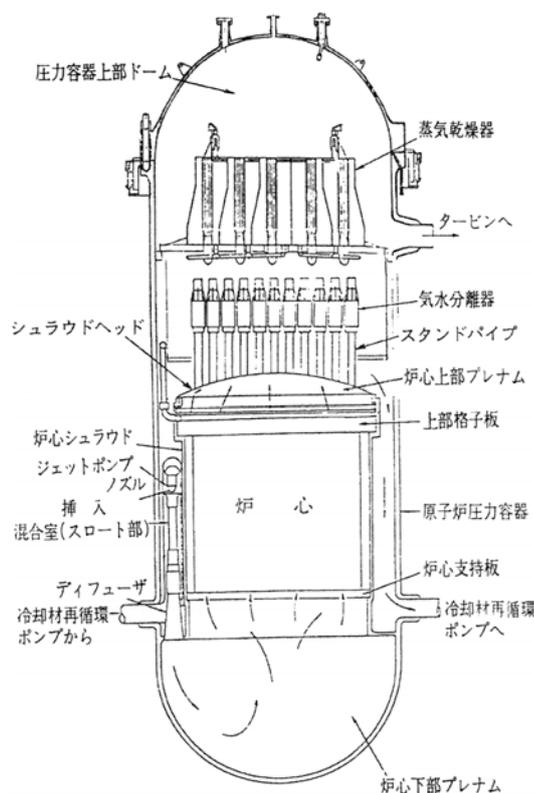


図6 BWR原子炉容器内構造
[文献5, 第8回 (Vol.50, No.5)]

伝熱面積の増加等がもたらされた。

(2) 気水分離器

図6に見るように燃料集合体を出た気水混合流は炉心上部よりスタンドパイプを通して上部の気水分離器へ入る。気水分離器入口の旋回翼により回転を与えられた気液流は遠心力により液が壁面に付着して外部へ流出する。気水分離器の上部に置かれた蒸気乾燥器も遠心力の作用を利用するが、これらを通った蒸気の湿り度は0.1%程度となる。

(3) 循環ポンプ

BWR-2では炉心を通る全流量を炉外部の循環ポンプで供給したが、BWR-3からはジェットポンプとなった。原子炉容器の入口ノズルより入った再循環水は炉心シュラウドの外側を上昇して反転し、ジェットポンプで気水分離器からの循環水を吸い込み混合流となって炉心へ供給される。これにより炉心流量の30%~50%を外部ループとポンプにより循環させれば良い。

ABWRは内部循環方式で、10基の再循環ポンプを圧力容器内の炉心シュラウド外側に直接取り付けられた形で設置され全炉心流量を循環させる。図3にはその外形図が示されている。

5. 非常用冷却システム

5.1 安全系冷却システムと安全対策

米国の軽水炉の開発では大型化に伴う審査がACRSにおいて62年の立地指針をベースになされ、事故時の炉心溶融量を抑えるためのECCS装備と格納容器の漏洩抑制が要求された。そこで発電用原子炉では、炉心燃料冷却のための非常用給水システムと事故後の長期除熱のための冷却システムが備えられた。60年代初頭に申請されたプラントのECCSによる炉心冷却は、BWRでは炉心スプレイ系、PWRでは安全注入系(ボロン水注入系)、また格納容器冷却は格納容器スプレイ系である。60年代に入り、東海発電所の炭酸ガス冷却炉の次に軽水炉の導入を考えていた日本では、最大想定事故としての一次冷却系配管破断事故時の安全防護設備の有効性確認のため、SAFE (Safety Assessment and Facilities Establishment) プロジェクト研究を63, 64年度に実施した[7]。課題は冷却水流出時の過渡挙動、炉心スプレイと格納容器スプレイの有効性、格納容器のケーブル等貫通部の気密性であり、米国のBWRやPWRの審査状況を捉えて世界に先駆けた研究であった。この成果は国際的に高い評価を受け、米国のアーゲン報告書にも反映される等、軽水炉の開発に貢献した。

安全系の冷却システムは原子炉出力の増大と共に改良がなされた。さらに79年のTMI事故、86年のチェルノブイリ事故という炉心損傷となる過酷事故が発生し、90年頃より過酷事故対応に関わるアクシデントマネジメントAM (Accident Management) 方策が強化され、新設炉に対し設計からの過酷事故対策考慮が要求されるようになった。

5.2 PWRの非常用冷却システム

PWRでは事故時に安全注入系SIS (Safety Injection System) により炉心への非常用注水が行われる。これは小口径から大口径配管の両端破断を考慮した冷却水喪失事故時に、冷却水注入による燃料冷却と、ホウ酸水注入による負の反応度付加を行うものである。安全注入系は、大口径配管破断時の容器内圧力の急減圧状態と、小口径配管破断時の高圧状態継続の両者を考慮し、急減圧時の蓄圧器からの受動的注入、高圧状態及び減圧後の低圧状態のポンプによる能動的注入、そして炉心が水で覆われた後の崩壊熱除去のための長期的再循環の3段階よりなる。

蓄圧器による受動的注入は、ECCS改良に関わ

る 68 年のアーゲン報告書を受け 74 年運転開始の Indian Point-2 から設置された。これにより窒素ガス加圧した蓄圧器内のホウ酸水が大破断 LOCA の急減圧時に急速に炉心へ注水されて，ディーゼル発電機のスタート等による能動的冷却系の時間遅れをカバーする。Indian Point-2 以前のプラントへのバックフィットとして蓄圧器を追加したプラントと安全上その必要がないプラントとがあった。

ポンプによる能動的な安全注入系は，低圧安全注入系 LHSI (Low Head Safety Injection System) と高圧安全注入系 HHSI (High Head Safety Injection System) の 2 種類がそれぞれ複数備えられた。これらの作動機器は多重性や多様性による冗長性を持ち，各安全注入系はそれぞれ独立した電力系から供給される。水源は燃料取替用水ピット RWST (Refueling Water Storage Tank) と格納容器再循環サンプである。HHSI は高圧注入ポンプで注入するが通常運転時の誤作動による過加圧防止には特に注意が払われる。

二次冷却系への非常用給水系(補助給水系) EFWS (Emergency Feedwater System) も工学的安全設備の一つで，主給水管破断や主給水喪失時に蒸気発生器の二次側に給水を行い崩壊熱(余熱，残留熱)を除去する。EFWS は 2 ないし 3 の多重性と多様性を持っており，非常用給水タンク(補助給水ピット)や復水貯蔵タンク CST (Condensate Storage Tank, 又は復水ピット)を水源として余熱(残留熱)除去系の作動へ引き継ぐまでの冷却を行う。

事故後の炉心の余熱除去機能は，一次系内の冷却水循環とその熱をヒートシンクへ輸送する二次系水循環(原子炉補機冷却水系統)でなされる。一次系冷却水循環は一次水を炉心の一定レベルまで保つよう余熱(残留熱)除去系 RHRS (Residual Heat Removal System) を働かせて行い，二次水量保持のための水循環は EFWS で行う。RWST が一定のレベル以下になると HHSI と LHSI の補給水は格納容器内サンプから取水する。日本の PWR は改良標準化を行いつつも基本的にはこのような非常時の機能を有している。

APWR では高性能蓄圧タンクが開発された。これまでの PWR は蓄圧注入系，高圧注入系，低圧注入系の 3 種類の系統を備えていたが，蓄圧タンクを改造して低圧注入系の役割を蓄圧注入系に統合した設計にして，蓄圧注入系と高圧注入系の 2 種類の系統により構成するものである。図 7 は高性能蓄圧タンクの注入の仕組みを示す。高性能蓄圧

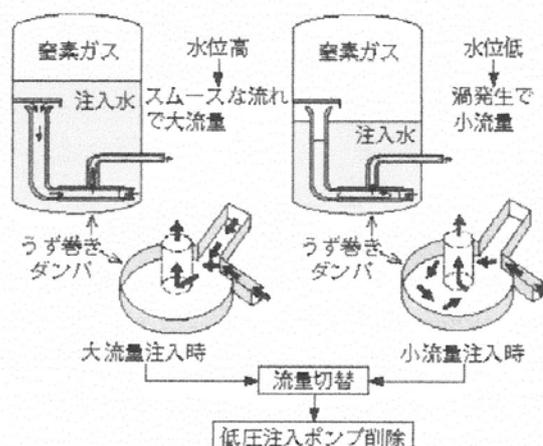


図 7 APWR の高性能蓄圧タンク
[文献 5, 第 13 回 (Vol.50, No.10)]

タンクは配管破断事故発生直後にはこれまでの蓄圧タンクと同様大容量の注水を行うが，数分すると蓄圧タンク内に設置された渦巻きダンパにより大流量から小流量注入へ自動的に切り替わる。

5.3 BWR の非常用冷却システム

BWR も PWR と同様に，冷却水系の最大口径配管の破断による冷却水喪失事故を想定し，さらに中小破断も考慮して非常用冷却システムが備えられた。非常用注水系は小口径配管破断時の高圧注水系と大口径配管破断時の低圧注水系がある。特に大容量の注水が可能な低圧注水系を用いるために自動減圧系 ADS (Automatic Depressurization System) が，また事故後の長期的な崩壊熱除去のための RHRS による冷却系が備えられている。

発電用 BWR の型は BWR-2~6 へと進展したが，非常用冷却系も変化した。BWR の各型毎に標準非常用冷却システムがあるが，型が急速に進展したため，同じ型の炉でも発注や着工が遅かったプラントは新しい型のシステムを取り入れた。

BWR-2 では，非常用炉心注水系として低圧炉心スプレー LPCS (Low Pressure Core Spray) と高圧給水系 FCI (Feedwater Coolant Injection)，残留熱除去系として非常用復水器 IC (Isolation Condenser)，格納容器スプレー CSS (Containment Spray System) と圧力抑制プール冷却 SPC (Suppression Pool Cooling) が備えられた。日本で最初の発電用 BWR である敦賀 1 号は外部に 3 台のポンプを置く外部循環ポンプ方式の BWR-2 であり，標準的な非常用冷却システムを装備している。最大口径配管破断時には炉内圧力が急速に低下するため低圧で作

動する LPCS を，また中小配管破断時には圧力低下が小さいため高圧で作動するディーゼル駆動の FCI を備えた．事故時炉心燃料の除熱として IC を，また格納容器の除熱として CSS と SPC が設けられた．

BWR-3 では，非常用炉心冷却系として LPCS と共に，高圧の注水系として FCI に代わり高圧注水系 HPCI (High-Pressure Coolant Injection) が開発された．これは原子炉内の高圧蒸気によりタービンを駆動して給水するもので外部電源喪失に備えたものである．また残留熱除去として BWR-2 と同様に IC, CSS, SPC があり，その他再循環モードの低圧注水系 LPCI (Low Pressure Coolant Injection) が装備された．日本の 2 番目の発電用 BWR である福島第一 1 号は BWR-3 であり，LPCS, HPCI, IC, CSS, SPC, LPCI が装備された．なお，島根 1 号も福島第一 1 号と同時期に BWR-3 を発注したが，着工が遅かったことで非常用設備としては BWR-4 に近いものとなった．

BWR-4 の非常用冷却システムでは，原子炉隔離時冷却系 RCIC (Reactor Core Isolation Cooling System) が IC の代わりに炉心冷却系として開発された．RCIC は HPCI と同様に原子炉内の高圧蒸気でタービンを駆動して注水する．その他の炉心冷却系は BWR-3 と同様の LPCS, HPCI 及び LPCI であり，残留熱除去系は CSS, SPC, LPCI である．福島第一 2 号が日本で最初の BWR-4 である．

BWR-5 の非常用冷却システムでは，高圧炉心スプレー HPCS (High-Pressure Core Spray) が HPCI に代わって導入された．炉心冷却としては LPCS, HPCS, RCIC が，また残留熱除去は BWR-4 と同様 LPCI, CSS, SPC である．東海第二が日本の最初の BWR-5 で福島第一 6 号が続いた．なお日本には導入されなかった BWR-6 の非常用冷却系は BWR-5 とほぼ同様である．

これら注水系の水源は復水貯蔵タンク CST 及び圧力抑制プール SP (Suppression Pool) である．例えば RCIC, HPCI, HPCS は CST または SP から，LPCI や LPCS は SP から取水する．

このような非常用冷却システムの例として，図 8 に BWR-5 の高圧炉心スプレー系 HPCS の系統概念図を示す．スプレー水の水源は復水貯蔵タンク CST 又は圧力抑制プール (サブプレッションチェンバー) であり，高圧炉心スプレーポンプにより原子炉内に注入される．非常用冷却システムは，このように水源から長い配管によりポンプと弁を利用し，また崩壊熱を海や大気へ放出する系統では熱交換

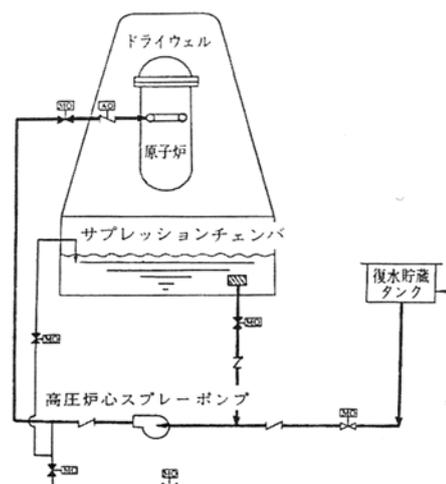


図 8 BWR 高圧炉心スプレー系系統概念図[4]

器も利用することにより原子炉を冷却する．

ABWR の非常用冷却システムは，再循環ポンプが内蔵されて外部ループがないこともあって大破断事故による急速な減圧の可能性が減ったこともあり，高圧系を 3 系統にし，高圧系と低圧系を組み合わせて 3 区分構成とした．すなわち，非常用冷却システムとして，1 系統の RCIC, 2 系統の高圧炉心注水系 HPCF (High Pressure Core Flooder), 3 系統の低圧炉心注水系 LPFL (Low Pressure Flooder), 3 系統の RHRS と ADS を最適化して 3 区分にしたもので過渡事象や中小破断対応で高圧注水系を強化した．

6. アクシデントマネジメント (AM)

80 年代後半から国際的に過酷事故対策の検討がなされ，AM として日本でも 92 年の原子力安全委員会の決定により事業者が整備し，規制行政庁による妥当性検討がなされ，安全委員会に報告された．これは，第一段階の炉心損傷防止及び第二段階の炉心損傷後の事故の拡大防止と影響緩和対策からなる．具体的には，原子炉停止機能に関わる代替制御，原子炉及び格納容器の注水冷却，格納容器の除熱等で，冷却に関わるものとしては炉心損傷防止のための冷却機能，炉心損傷後の炉心等溶融物(デブリ)の冷却機能，格納容器冷却機能，格納容器除熱機能等である．

BWR の主なものは，低圧注水系作動失敗時の復水補給水系と消火水系の水源・ポンプを活用した代替注水，高圧過渡事象の高圧注水系作動失敗時の ADS による圧力低下と低圧注水系活用による炉心注水，残留熱除去系故障時の格納容器からの除

熱にドライウェルクーラ・原子炉冷却材浄化系による代替除熱と残留熱除去系の復旧待機，耐圧性を強化した格納容器ベントによる格納容器過圧防止等である。

PWR の主なものは，非常用炉心冷却系の再循環失敗時の余熱(残留熱)除去系と格納容器スプレイ系の接続による格納容器スプレイ系からの炉心注入，原子炉補機冷却水系機能喪失時の空調用冷却水と補機冷却水系の接続による炉心冷却，格納容器スプレイ系作動失敗時の格納容器再循環ユニットに原子炉補機冷却水を通した格納容器内自然循環による蒸気凝縮，格納容器スプレイ系作動失敗時に原水タンク水の消火ポンプによるスプレイ等である。その他 PWR,BWR 共，全交流電源喪失時には号機間の電源融通を行う。

その後，07 年の新潟中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災から，消防車・免振棟等の常備が教訓となり整備が行われつつあった。

AM は TMI，チェルノブイリ等の事故も踏まえて安全系が働かない時を想定した対策であったが，11 年 3 月 11 日の東日本大震災では地震・大津波という巨大な外的事象の発生となった。福島第一原子力発電所以外の発電所では以上の対策もあって安全に停止状態とすることができた。しかし福島第一原子力発電所では，交直流電源の全喪失・制御室の停電による状態把握不能・余震による作業中断・津波漂流物による道路封鎖等により，十分な作業が出来ないことで AM も効果がなく事故が拡大した。

7. 終りに

以上，軽水炉の開発と冷却システムについて記した。現在運転中の軽水炉の殆どが 1960 年頃から 70 年頃の間急速に開発が行われたもので，事故対応もその時点で考えられるあらゆる状況を想定して対策をとってきたことが理解できる。福島第一原子力発電所事故を契機に，外的事象等さらに厳しい状況下においても原子力プラントの安全確保がなされるよう新たな知見を活用して一層の対策を考え対処することが重要である。

参考文献

- [1] M. Gavrilas, P. Hejzlar, N.E. Todreas, Y. Shatilla, Safety Features of Operating Light Water Reactors of Western Design, CRC Press, (1995).
- [2] R.T. Lahey, Jr., F.J. Moody, The Thermal-Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor, American Nuclear Society (1977).改, (2008).
- [3] L.S. Tong, J. Weisman, Thermal Analysis of Pressurized Water Reactors, (2nd Edition), American Nuclear Society (1979).
- [4] 軽水炉発電所のあらまし(改訂第 3 版)，原子力安全研究協会，(2008).
- [5] 軽水炉プラントーその半世紀の進化の歩みー，日本原子力学会誌連載講座(第 1 回～第 17 回)，(2007 年 9 月～09 年 2 月)。
- [6] 原子力システム研究懇話会編，軽水炉技術の改良と高度化，日本原子力産業協会，(2006).
- [7] 成合英樹，原子力発電プラントと伝熱，伝熱，50-213 (2011), 28.

福島第一原子力発電所の事故について

The Accidents at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants

有富 正憲（東京工業大学）

Masanori ARITOMI (Tokyo Institute of Technology)

e-mail: aritomimasa@yahoo.co.jp

1. はじめに

東日本の太平洋沿岸において、2011年3月11日の14時46分に、日本史上最大であるマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。震源地は北緯38.1°，東経142.9°で震源の深さは23.7kmであった。この地震により巨大な津波が発生して東京電力(株)の福島第一原子力発電所を襲った。津波の第1波は地震の発生41分後の15時27分に到達し、第2波は15時35分頃に到達した。

福島第一原子力発電所の設置許可における津波の想定高さは、設計の上では3.1mであった。2002年に、日本土木学会は日本における原子力発電所の評価方法を報告し、東京電力(株)は津波の最大高さ5.6mを採用した。しかし、実際の津波の高さは約15mに達した。

このように、巨大な地震と津波が福島第一原子力発電所を襲い、長期間の交流電源喪失と海水への最終的なヒートシンク機能の喪失という事態を招いた。その結果、想像を絶する1号機から3号機の炉心溶融事故、1号機、3号機と4号機の水素爆発事故を引き起こし、大量の放射能を福島第一原子力発電所の内外にまき散らした。

ここでは、福島第一原子力発電所の事故の実態を紹介し、次に、このような過酷事故の発生を防止できなかった理由を述べるとともに、更に、このような炉心溶融事故の再発防止を議論する。最後に、冷温安定化を真に達成するための課題について考察する。

2. 福島第一原子力発電所では実際に何が起きたのか

2.1 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所には6基のプラントがあり、3月11日の地震発生以前には1号機から3号機までは定格運転をしており、4号機から6号機

までは定期点検のために運転を中止していた。福島第一原子力発電所の地震前の概要を図1に示す。3月11日の14時46分の地震により、1号機から3号機までは炉停止に成功した。



図1 福島第一原子力発電所の概要

6系統の外部電源が福島第一原子力発電所に接続されていたが、巨大地震により地滑り等で高圧鉄塔が倒壊し、その結果、外部電源の供給が停止され、外部交流電源喪失が生じた。この際に非常用ディーゼル発電機は正常に作動した。続いて、約1時間後に巨大津波が福島第一原子力発電所を襲った。その津波の高さは約15mであった。6号機を除くすべてのプラントでは、すべての非常用ディーゼル発電機はタービン建屋の地下室に設置されていた。非常用ディーゼル発電機と受電・配電盤は海水で水没し、それらの機能が喪失した。その結果、すべての交流電源が喪失し、プラントのブラックアウトが発生した。その上、2系統ある非常用バッテリーは水没し、その機能を失った。更に、津波により重油タンクが流され、重油が流出してしまった。

過去に、外部交流電源の事故に関する調査研究

が行われた。その結果は、外部交流電源の喪失が発生する主な原因は、①変電所への落雷事故と②塩害による高圧電線の碍子の絶縁不良であった。このようなトラブルは、修理や保守に必要な部品が変電所内に常時装備してあるため、7時間以内に修復できていた。このため、バックアップ用の非常用バッテリーの保持時間は8時間程度とされた。福島第一原子力発電所の1号機では、非常用バッテリーも水没したため、中央制御室内での種々の修復作業はブラックアウト状態、即ち、真っ暗な中で実施しなければならなかった。

ポンプを含む海水の取入設備は屋外に設置され、防護構造の中に置かれていたわけではなかった。津波の高さも5.6mを想定しており、襲った実際の津波の高さは遙かに超え、15mに達していたと云われている。この津波のために、海水の取入設備は破壊され、流された。原子力発電のすべての冷却設備の「最終ヒートシンク」は海水である。結果として、すべての電源と最終ヒートシンク機能が喪失した。

3月11日に受けていた情報では、1号機の炉心で発生している蒸気は非常用凝縮器(IC: Isolation Condenser)により凝縮されているということであった。津波の到達前には、1号機の炉心圧力をICの操作弁の開閉で調整していた。津波が到達して全電源が喪失した際にICの操作弁は閉状態であり、津波の到達後にはICによる凝縮機能は失われた。このため、1号機では津波到達後2時間程度で炉心溶融事故が始まった。

3号機では、炉心で発生する蒸気でタービンを駆動し、同軸のポンプにより冷却水を炉心に注入する安全設備ではない原子炉隔離時冷却系(RCIC: Reactor Core Isolation Cooling System)と同様に蒸気でタービンを駆動し高圧下で冷却水を炉心に注入できる安全設備である高圧注入系(HPCI: High-Pressure Core Injection System)が3月13日の2時42分まで作動し、冷却水が炉心に注入されていた。しかし、その間に原子炉を減圧して、外部から注水する作業が行われず、HPCI停止後に炉心への注水が途絶えたため、炉心溶融事故が発生した。

2号機では、RCICが3月14日7時30分まで作動して、冷却水が炉心に注入されていた。しかし、その間に原子炉を減圧して、外部から注水する作

業が行われず、RCIC停止後に炉心への注水が途絶えたため、炉心溶融事故が発生した。

1号機は3月12日の15時36分に、3号機は図2に示すように3月14日11時1分に水素爆発が発生した。その結果、大量の放射性物質が水素爆発により破壊された原子炉建屋から環境に放出された。しかし、その大部分は幸運にも西風に乗って海に流された。但し、一部は福島第一原子力発電所の北西方面に流れて行った。



図2 3号機の水素爆発の状況

2号機では、3月14日の20時20分頃に安全弁が吹き、更に、15日の0時頃ベント弁が開き、放射性物質が大気中に放出され、放射能プルームが形成された。その時は、北北東の風が吹き、東京を含む関東地方に15日の午前中に放射能プルームは到着した。15日の6時頃、2号機の格納容器内の圧力抑制室近傍で爆発音が聞こえた。その爆発音とほぼ同時に4号機の使用済燃料冷却プールで水素爆発が発生した。4号機では炉内構造物であるシュラウドを交換するために、炉内のすべての燃料が取り出され、使用済燃料プールに移送されていた。このため、使用済燃料プール内の燃料の発熱量は高かったため、沸騰・蒸発が生じ、使用済燃料が露出してジルカロイ/水反応を誘起して水素が発生したためと考えられた。しかし、後日、航空写真や4号機を補修するために使用した重機に取り付けたカメラ等からの観察結果から、4号機の使用済燃料プール内の燃料は比較的健全であることが分かった。また、地震のためと考えられるが、使用済燃料プールと原子炉压力容器の間

のゲートは完全には閉じてはおらず，定期点検のために蓋を開け水が張られていた原子炉圧力容器内の水がプールに流れ込んだために，使用済燃料は発熱量が高いにもかかわらず，沸騰による露出状態が避けられていたことが分かった．水素爆発は3号機と共有する排気塔から水素ガスが回り込んだためと考えられている．

2.2 東日本太平洋沿岸の他の原子力発電所の状況

図3に示すように東日本の太平洋沿岸で津波に襲われた原子力発電所は福島第一原子力発電所を含めて4つある．ここでは，何故他の原子力発電所では炉心溶融事故が発生しなかったのかを論じる．

(1) 女川原子力発電所（東北電力）

女川原子力発電所は，東北地方太平洋沖地震の震源地に最も近い原子力発電所である．この地域は三陸地方と呼ばれ，しばしば大地震や津波に襲われた地域である．東北電力は，明治時代（1896年6月15日）と昭和時代（1933年3月3日）の大地震，チリ地震による大津波（1960年5月24日），869年7月9日に起こった貞観地震等を考慮し，原子力発電所を海拔10m以上の位置に建設するとともに，15m以上の津波に対する対策を講じていた．

このため，女川原子力発電所は特に考慮しなければならない損傷は経験せずに済んだ．これは，

高圧鉄塔の健全性が維持され，1系統の外部交流電源の供給が行われたこと，海水の取り入れ設備の健全性が維持され，最終ヒートシンク機能が維持されたため，冷温停止に成功したのである．

(2) 東海第二原子力発電所（日本原子力発電）

日本原子力発電は，新潟沖地震後に地元住民との話し合いの中で独自の対策を講じていた．襲ってくる津波の高さを従来の日本土木学会の基準から茨城県の基準に改めた．まず，空冷の非常用ディーゼル発電機を丘の上に追加した，更に，ポンプを含む海水の取り入れ装置に対する防潮対策を実施し始め，3月11日の数日前に1系統の止水工事が完成し，1系統の非常用冷却システムが健全であった．そして，運転員の多大なる努力のたまものであるが，綱渡り状態で2日以上を掛け冷温停止に導くことができた．この結果は，我が国にとって非常に幸運であり，万一，炉心溶融事故が発生すれば，放射能による被災地域が広がるとともに，事故対応が2分されその対応が困難になった可能性が高い．

(3) 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所は，福島第一原子力発電所に比べて津波の高さが低かったことと，後発であったためポンプ等の海水取入設備はコンクリート製カバーで覆っていたこと，非常用ディーゼル発電機と非常用炉心冷却システムが1系統は健全

原子力施設の場所

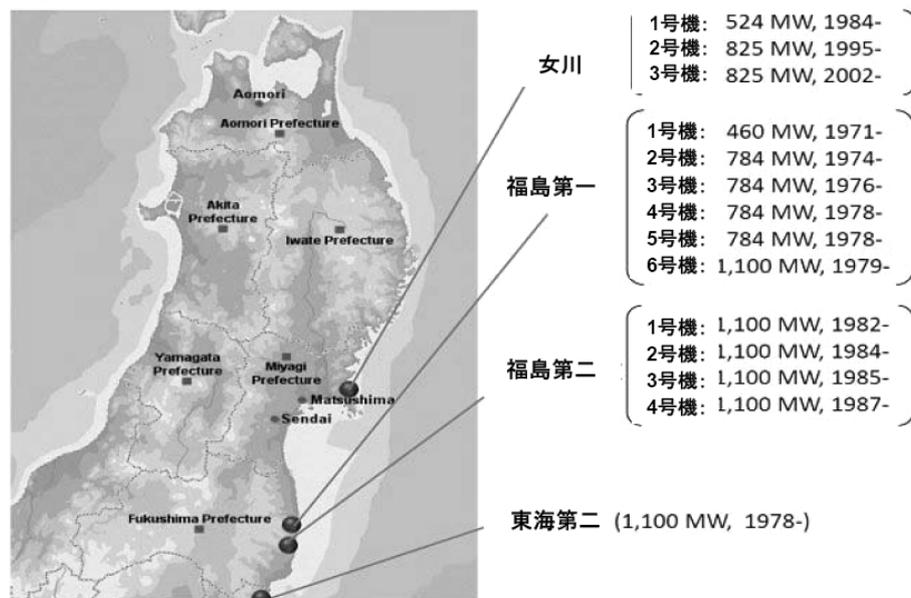


図3 東日本太平洋沿岸に設置されている原子力発電所

であったことと、そして運転員の多大な努力により冷温停止に導いた。

福島第一原子力発電所は、新潟沖地震後の対策として消火系ラインの強化と免振重要棟の建設を実施した。もし、免振重要棟が建設されていなければ、現場の作業員は福島第二原子力発電所に退避しなければならず、事故後の対応に支障が出た可能性が高い。一方、同発電所は GE によるターンキー方式で建設されたため、津波対策がなされておらず、その後、他の原子力発電所で実施されていた津波対策が十分に実施されていなかったことが、今回の事故につながったことは否定できない。

3. 何故炉心溶融事故の発生を防げなかったのか

3.1 電力の自由化と安全性向上の軽視

チェルノブイリ原発事故の後、原子力発電の安全性を向上させる研究は活発に行われていた。日本がバブル経済と呼ばれる時代に突入すると人件費が高騰するとともに、電力料金が世界的に高くなり、電力集約型輸出産業を中心に電力料金の低下が主張され、電力の自由化の時代に突入し始めた。そして、原子力発電が発電コストの中で最も安いと評価されるとともに、原子力発電は完成された技術として扱われるようになった。原子力発電所の安全性の改善や向上より、立地地域との共生や安心感の醸成が優先され、安全性の改善や向上を目指す者は「金食い虫」と云われるようになった。電力会社でも安全の専門家は金食い虫としてその地位が低下した。大学においても軽水炉は完成された技術ということで、安全性の向上に関する研究費は獲得しにくくなった。

従来から、原子力発電は、民間における産業の問題であり、国は安全性にのみ責任をもつと発言していた。福島第一原子力発電所の事故後、正確な情報が官邸に入ってこなかったことから、本来の政府内における指揮命令系統が構築できなかった。更に、原子力発電所の安全性を統括する原子力安全・保安院は機能せず、原子力安全委員会は原子力安全・保安院への指導と政府への適切な助言が出来なかった。福島第一原子力発電所の事故に対して原子力安全・保安院も原子力安全委員会も十分な責任を果たしていない。

3.2 アクシデント・マネジメント (AM)

チェルノブイリ原子力発電所の事故の後に、自然の物理法則で作動する受動的安全設備を積極的に導入した中小型軽水炉の概念が数多く提唱され始めた。安全設備の補強の例としては、①炉心溶融による再臨界事故を防止するためのコアキャッチャー、②放射性物質の格納機能を確実にするための二重格納容器、③バルブを開くだけで重力により冷却水を 72 時間注入できる重力落下緊急炉心注入系、④消防車等で冷却材を外部から注入できる消火系ライン等があった。スリーマイル島やチェルノブイリの原子力発電所の事故を受け、日本の研究者や技術者は、長時間のブラックアウトが生じれば設計想定外事象である炉心溶融事故は想定されるが、日本では、建設、運転や定期点検と保守に携わる技術者は優秀であるので、炉心溶融事故は発生しないという考えの甘さがあった。その結果、設計想定外事象に対しては安全設備を強化するのではなく、存在する機器を有効利用して事故を収束するシナリオであるアクシデント・マネジメントで対応することとなった。上記の④の消火系ラインの強化だけが取り入れられた。

原子力安全委員会は、1992 年 5 月にシビアアクシデントに対する AM の整備を国に勧告した。同年 7 月に国は各電力会社に AM の整備を要請した。電力会社は 10 年間をかけ、2002 年 5 月に原子力発電所毎の AM の報告書を国に提出した。原子力安全委員会はその報告書をレビューし、妥当であると判断した。AM は規制の対象ではなく、電力会社の自主努力で行われることになった。しかしその後の見直しや十分な訓練は行われなかった。AM には、設計基準事象を超えるが燃料の大幅な損傷には至らない事象に対するフェーズ 1 と、炉心溶融事故を含む大幅な燃料の損傷に対処するフェーズ 2 がある。

4. どのようにすれば炉心溶融事故の再発を防止できるか

日本の原子力政策に関しては現状では方針が定まらずふらついている。原子力発電の推進と維持が世界の潮流であり、福島第一原子力発電所の事故を受け、炉心溶融事故の再発を防止する必要がある。

福島第一原子力発電所の事故は、全交流電源喪

失，全バッテリー喪失，最終ヒートシンクの機能の喪失という事象が同時に発生した事故である。このような事象は，重大自然事象，例えば，巨大地震，巨大津波や巨大台風などで発生する可能性がある。特に，長時間の外部交流電源の喪失は考慮すべきである。燃料溶融事故の発生の防止策としては，福島第一原子力発電所で発生した事象，即ち，全電源喪失と最終ヒートシンク機能喪失の同時発生を設計基準事象にすべきであると考え，言い換えれば，現在のアクシデント・マネジメントのフェーズ1までを設計基準事象として捉え，規制対象として福島第一原子力発電所で生じた外部事象に対して大量の燃料の溶融に至らない対策を講じるべきである。後述するが，この対策を講じるために大幅な改造と高額な経費は必要としない。

最も大切なことは，原子炉压力容器，格納容器とそれらにつながる重要な機器の耐震性の確保である。万一，地震により原子炉压力容器と付随する配管と機器が損傷してしまえば，ざるの中に水を注入するようなものになり，炉心の冠水状態は維持できなくなるからである。全電源喪失と最終ヒートシンク喪失が同時に発生した場合には，外部注水量と崩壊熱による炉心での蒸発量がバランスするまでの減衰時間の確保が必要である。福島第一原子力発電所の1号機から3号機の場合には，簡単な試算から，崩壊熱による蒸発量と消防車等による外部からの注水量がバランスするのに10時間程度かかる[1]。この間は，BWRの場合は電源を不要とする炉心で発生する蒸気によるタービン駆動で注水ポンプを作動できるRCICやHPCI等の設備が必要である。冷却水は圧力抑制室の水などを用いればよいが，不足する場合には外部に貯水タンクを設け，圧力抑制室等に必要量だけ注水できる設備は追加する必要がある。また，RCICやHPCI等を作動させるためには弁の操作が必要となるため，弁は複数の手段で開けるようにする必要がある。PWRの場合は，一次系を直接減圧して冷温停止する場合には高性能蓄圧注水系と自動減圧弁の組み合わせと，エネルギーの大気解放用の格納容器からのベント弁が必要である。一方，蒸気発生器をヒートシンクとして自然循環で一次系を冷却し冷温停止する場合には，BWRのRCICのような装置を用いて蒸気発生器に注水を継続する必要がある。

最終的なヒートシンクが健全であり，交流電源が供給されるのであれば，原子炉压力容器内の蒸気を格納容器内の圧力抑制室に導き凝縮し続けることが可能である。しかし，最終のヒートシンク機能が喪失している場合には，圧力抑制室の水は冷却できないため水温は上昇し，飽和温度になれば格納容器の蒸気を放出（ベント）して原子炉压力容器と格納容器を等圧にして減圧する必要がある。この場合には，放射性物質が蒸気と一緒に系外に放出されるが，燃料の溶融が起こらず健全であれば， ^{60}Co や窒素の同位体等だけで放射能もあまり高くない。そして，0.3MPa程度まで減圧できれば消防車等で消火系ラインを用いて，原子炉压力容器内へ注水（真水 or 海水）できる。スリーマイル島や福島第一原子力発電所の炉心溶融の開始時間を簡易試算してみると，冷却水の注入が行われなければ2時間程度で炉心露出し燃料の溶融が開始する[1]。言い換えれば，RCICのような装置で炉心内への水の注入を停止した後，1時間程度で大気圧近傍まで減圧できれば，炉心の冠水状態を維持でき，消火系ラインと消防車等により炉心への注水が可能である。このためには，大気をヒートシンクとするアクシデント・マネジメント用ベントシステムが必要である。言い換えれば，既設炉の設備を大幅に改造しなくても炉心溶融事故は防止可能である。

福島原子力発電所の1号機から3号機の炉心溶融事故の教訓から，1つのサイトに複数号機が存在する場合には，他の号機での事象発展を予測し，その対策を講じることが重要である。現場では限られた人員で事故対応をしなければならないので，電力会社と規制当局は号機毎に事故対応の専門家チームを組織し，事象の推移を予測するとともに対策を講じるために，現場への適切な指示が必要であり，その指揮命令系統の確立も重要な課題である。

5. 安定化への課題

民主党政府は，福島第一原子力発電所の事故は安定化していると公表しているが，現状では下記の課題が解決していないと考える。

5.1 冷温停止と格納機能の確立

解決すべき課題は，原子炉建屋の格納機能の確立，地下水のタービン建屋への流出入防止と冷却

汚染水の安定な浄化・循環が挙げられる。

格納容器内の水位が上がらないので，熔融燃料により原子炉压力容器の下部が損傷し，メルトスルーにより格納容器が損傷していると考えられる。しかし，1号機から3号機の周辺の空間線量が顕著に上昇していないことを勘案すると，原子炉建屋は損傷していないであろう。タービン建屋は地震と津波により損傷しており，潮の満ち引きによる潮位の変化で地下水がタービン建屋に出入りしており，熔融燃料を冷却した高濃度の汚染水が原子炉建屋から流れ込まなければ，その地下水の出入りは大きな問題にはならないが，現在，配管や電気ケーブルのための貫通孔付近で原子炉建屋に貯まった汚染水はタービン建屋に流れ込んでいる。このため，原子炉建屋の格納機能を一日でも早く確立しなければ，汚染水が海に流れ出ている可能性は否定できない。

タービン建屋の損傷箇所は5,6号機では作業員が入れるため，漏洩箇所の発見と修復は人の手で実施可能である。その技術を遠隔技術やロボット技術として開発し，人が長時間近付けない1号機から4号機のタービン建屋の損傷箇所を修復する技術を確立する必要がある。

現状の逆浸透膜（RO）技術は海水の淡水化技術であり，50%を淡水化し，10%を逆洗浄に使用して60%を濃縮海水として戻す技術である。言い換えれば，熔融燃料を冷却するために循環する冷却水の60%が濃縮汚染水として蓄積されている。このため，膨大な数の蓄積タンクが建設されているが，現状の技術のままでは蓄積タンクを設置し続けなければならない。汚染水は海水に比べて含まれる不純物は微量であるので，循環水の80%程度は浄化水として利用できる技術開発は難しいことではないと考える。濃縮汚染水は放射性物質を除去できるといわれているアルプス装置と逆浸透膜（化学物質の除去）によりトリチウムを除く放射性物質の除去は可能となるであろう。最大の問題点は，浄化水中のトリチウムを除去する技術の確立と排水基準を満足する浄化水の海への放水を許可できる地元住民との信頼関係の再構築であろう。

5.2 AREVAの共沈物の固化

人が近づけない高放射濃度の汚染水を1/100に

除染することは，Cs等の放射能が100倍に高まった超高放射濃度の共沈物が固体ではなく，液体として存在することである。固化処理しなければ長期的な保管は困難になり，安定化の最大の課題の一つである。

6. まとめ

2011年3月11日の14時46分に，日本史上最大であるマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生し，約1時間後に巨大な津波が福島第一発電所を襲った。本論文では，はじめに1号機から3号機でどのような経過により炉心熔融事故が発生したのか，1号機，3号機と4号機で何故水素爆発が発生したのかを紹介した。次に，日本では1990年代に入ると軽水炉は完成された技術として扱われ，安全性の向上より，安心感の醸成や立地地域との共生が重要視され始めた。スリーマイル島やチェルノブイリ原子力発電所の事故を受け，炉心熔融事故の発生する可能性を否定できないので，アクシデント・マネジメントの整備が約10年前に行われた。しかし，日本の原子力関係者は，炉心熔融事故は自国では起こらないであろうという安直な考えから，見直しや訓練が十分に行われなかった結果として，福島第一原子力発電所の事故が発生したことを考察した。最後に，福島第一原子力発電所で発生した炉心熔融事故を，世界で二度と起こさないためにアクシデント・マネジメントのフェーズ1，即ち，現行の設計基準事象を上回るが大量の燃料損傷には至らない事象までを設計基準事象とすることを提案し，どのような対策をとれば，現行の炉でも大幅な改良と多額の経費をかけずに，この課題を克服できるかを述べた。最後に，1つのサイトに複数号機が存在する場合に，共通起因事象で異常が発生する場合を想定して，電力会社と規制当局は各号機の状態の推移を考察し，対策を講じられる原子力安全の専門家チームを組織し，現場に適切に判断を伝達する指揮命令系統の確立が重要であることを述べた。

【参考文献】

- [1] 有富正憲編著，今，原子力研究者・技術者ができること，培風館（2012.3）

福島第一原子力発電所事故後の世界の原子力動向

*World Nuclear Trends after the Accident at Fukushima Daiichi
Nuclear Power Plant*

杉本 純 (京都大学)

Jun SUGIMOTO (Kyoto University)

e-mail: sugimoto.jun.8u@kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災を機に発生した福島第一原子力発電所事故（以下「福島事故」）の直前までは、エネルギー需要の増加、気候変動への懸念、流動的な化石燃料価格、エネルギー安全保障等を背景として、世界的な「原子力ルネッサンス」の様相を呈していた。しかし、福島事故後はドイツ、スイスなどでは、感情的な反発もあって、脱原子力政策を採用する国が現出した。我が国でも国会周辺での反原子力デモが毎週あったのは記憶に新しい。福島事故後約2年を迎え、原子力についてのより冷静な議論が国内外でなされつつある。本稿は、福島事故前後の世界の原子力動向についてまとめたものである[1-3]。

2. 各国の原子力動向

2.1 欧州

(1) フランス

原子力発電は運転中58基、建設中1基、電力に占める原子力の割合は78% (2011年) である。1973年のオイル・ショックを契機に大規模な原子力発電計画に取り組み、欧州では最も力を入れている原子力大国である。イギリス、ドイツ、スイスなど周辺諸国へ発電電力の約15パーセントを輸出している。フラマトム社が米国ウエスティングハウス (WH) 社から技術供与を受けつくったPWRは欧州の標準炉となっている。2007年にフラマンビル3号機となるEPR (欧州加圧水炉, 160万kW) を2016年の運転開始めざして建設中である。その次の新規原子炉建設の検討も進められている。

福島事故直後の2011年3月14日、サルコジ大統領は「脱原発は論外」と発言し、その後も原子力路線堅持を述べている。2012年5月オランダ新大統領は2025年までに原子力依存度を50%に下げるとの公約で当選したが、就任演説では「最も古い炉のみ停止し、残りの57基は運転する。建設

中のフラマンビルは継続する」と明言した。

(2) ドイツ

原子力発電は運転中17基、電力に占める割合は、原子力が18%、豊富に算出する石炭が43% (2011年) である。1998年に誕生した社会民主党と緑の党の連合によるシュレーダー政権は、当時3分の1を占めていた原子力を減らし (2020年までに全廃)、代替エネルギーに順次転換していく政策に転換し2基を廃止 (2002年施工) した。特に風力発電を増加させたが量的に限度があり、2009年に発足したメルケル新連立政権は、再生可能エネルギーが原子力を代替できるまで、原子力発電を存続させることを決定した。

福島事故後、メルケル政権は国内の反原発の高まりを受け2011年6月、2022年までに国内の全原発17基の廃止方針を閣議決定した。その後7月までに脱原子力法案を連邦議会で可決し、シュレーダー政権時代の脱原子力法に逆戻りした。かつて失敗した再生エネルギーの導入で量的に賄えるかが最大の課題である。

(3) スウェーデン

原子力発電は運転中10基であり、原子力の割合は39%、水力が43%、化石燃料が13% (2011年) である。1980年の国民投票を受け、2010年までに原子力発電所の段階的廃止を1988年に議決し、バーセベック1, 2号機を閉鎖した。その後、代替電力が見出せないことから、2010年まで原子炉の新設・閉鎖は行わず、既存原子炉の出力増強に転換した。2010年に脱原子力政策を撤回し、既存原発の運転継続とリプレースによる新規原子炉建設が議会で承認された。高レベル放射性廃棄物施設は、8自治体から2009年フォルスマルクを選定した。2010年に立地・建設の許可申請を行っている。

福島事故後も政策変更はない。2011年4月に行われた世論調査では、原子力利用賛成49%、反対51%であった。

(4) 英国

原子力発電は運転中 17 基，電力に占める原子力の割合は 18% (2011 年) である。ガス冷却型原子炉 (GCR) を独自に開発し，70 年代にかけて 26 基の GCR が運転を開始した。改良型ガス冷却炉 (AGR) を開発し，80 年代末にかけて 14 基が運転開始したが経済性は十分ではなく，サイズウェル B (PWR) を建設し，95 年から運転開始した。80 年代の北海油田の生産増大と電気事業民営化政策の推進により，経済性の悪い GCR は全て閉鎖した。チェルノブイリ事故の影響も受け，新規の軽水炉建設計画は全て中止した。しかし，北海ガス田の枯渇問題や二酸化炭素排出抑制のため，2008 年に新規の原子力発電所の建設方針とし，2010 年のエネルギー国家政策声明書では原子力を推進するとした。シンクリートポイントとサイズウェルに EPR を 2 基ずつ計 4 基，またウィルファとオールドベリーに 600 万 kW の原子炉を各 1 基建設予定である。

福島事故後も原子力推進政策は不変であり，新世代の 19GWe のうち最初の原子炉は 2018 年に営業運転を開始する予定である。2012 年 7 月に行われた世論調査では，原子力利用賛成 63%，反対 22% と原発支持は増加しており，原子力のコスト効果への期待も大きい。

(5) フィンランド

原子力発電は運転中が 4 基であり，電力に占める原子力の割合は 32%，石炭が 22%，水力が 17%，輸入が 19% であり (2011 年)，エネルギー自給率を高めることがエネルギー政策の中心である。2002 年に 1600MW の欧州加圧水型原子炉 (EPR) をオルキオト 3 号機として建設を決定し，現在建設中である。運転開始は 2014 年 8 月の予定である。原子炉の新規建設を約 20 年ぶりに再開した西欧で最初の国である。2010 年 7 月，議会はオルキオト 4 号機及びハンヒキヴィ炉を建設することを承認した。廃棄物対策では，2001 年に高レベル使用済燃料の処分地を議会決定 (オルキオト) し，2012 年に建設許可申請をしている。

福島事故後も政策変更はなく，2012 年 2 月に実施された世論調査では，原子力利用賛成が 65% と反対 30% を大きく上回った。

(6) スイス

原子力発電は運転中が 5 基，電力に占める原子

力の割合は 39% であるが，水力の割合が 56% とクリーンエネルギーが 95% を占めている (2011 年)。水力と並ぶ重要なエネルギー源として，60 年代より原子力開発を開始したが，チェルノブイリ事故を契機に反原子力の動きが活発化し，90 年の国民投票では原子力発電所建設の 10 年間凍結が可決された。しかし，2003 年の国民投票では新規原子力発電所の建設凍結や段階的な原子力発電所の閉鎖を求める反原子力請願は約 6 割の反対で否決された。3 基の原子炉を用いて地域熱供給を実施している。

福島事故後，2034 年までに国内 5 基の原子炉を全て停止する国家目標を 2011 年 5 月 25 日に決定した。2011 年 3 月末の世論調査では，原子力利用賛成が 34%，反対が 62% となっている。

(7) ベルギー

原子力発電は運転中が 7 基，電力に占める原子力の割合は 54%，天然ガスが 27% である (2011 年)。70 年代より原子力開発を積極的に推進してきたが，99 年の総選挙で自由党，社会党，緑の党の三党連立政権発足したことから原子力政策を見直す動きが加速し，2003 年に脱原子力法が成立した。2015～25 年頃までに段階的に閉鎖することを決定したが，2003 年の総選挙で，緑の党が惨敗して脱原子力政策を軌道修正，2009 年 10 月には，2015 年に閉鎖予定だった 3 基の原子炉の運転を 10 年間延期することを政府が決定した。

福島事故後の 2011 年 10 月に成立した新政権は，代替エネルギーが確保され価格が過度でない条件で脱原子力政策の継続を表明している。2011 年末の世論調査では，58% が原子力継続利用賛成，69% が原子力の代替は困難，74% が脱原子力だと電気料金が上昇と認識と答えている。

(8) イタリア

原子力発電開発に比較的早くから取り組み，85 年までに 10 地点建設などの重点政策を打ち出したが，その後反対運動が強まり，チェルノブイリ事故後の 87 年に国民投票により廃止を決定し，運転中の 3 基が停止するとともに，ほぼ完成の 2 基は建設中止となった。2008 年，エネルギー安全保障及び地球環境問題対策の一環として原子力復活を公約したベルルスコーニ率いる中道右派が選挙で勝利し，2009 年 7 月に原子力復興法案が国会で可決され，フランスのサウコジ政権とイタリアの

電力事業者とフランスEDFが4基の原子力発電所建設に協力する覚書に調印した。

福島事故後，2011年6月の国民投票で，原子力復興法は57%の投票率で90%の反対票が投じられ廃止が決定した。

(9) ウクライナ

原子力発電は運転中が15基，建設中が2基であり，電力に占める原子力割合は47%である（2011年）。1991年に旧ソ連から独立し，エネルギー分野での自立を目指している。チェルノブイリ事故後の90年，原発建設の凍結を最高会議は決議したが，電力価格の高騰のため，93年に撤回し事故前に着工していた原発の建設を継続した。2006年1月のロシアによる天然ガス停止問題をめぐる対立を契機に，政府は同年3月，エネルギー源をガスから石炭，原子力へ移行させるため，2030年までに22基の原発を建設するウクライナエネルギー戦略を発表した。86年に事故を起こしたチェルノブイリでは，2号機は91年に火災事故を起こして閉鎖，安全性の問題から先進7ヶ国との約束に基づき，1，3号機も2000年末までに閉鎖した。

福島事故後の2012年4月，首相は「今後10～20年間は原子力以外に代替エネルギーはない」と明言し，2基の新設の可能性についても言及している。同年6月には2030年までに5GWeの新規発電所を建設するエネルギーシナリオを発表している。

(10) チェコ

原子力発電は運転中が6基，原子力割合は33%である（2011年）。石炭火力が約60%を担うが，政府は温室効果ガス排出削減に果たす原子力の有効性を認め，ドコバニ原子力発電所の寿命を2025年からさらに10年延長を決定している。

福島事故後も原子力継続を政府は表明し，2011年7月にテメリン3，4号機の入札が行われ，米WH，ロシアRosatom，及び仏Arevaグループが応札した。契約は2013年の予定である。2011年3月末の世論調査では，原子力利用賛成が61%，反対が34%となっている。2012年11月に発表されたエネルギー政策では，2060年までに少なくとも原子力割合を50%とするとしている。

(11) リトアニア

1991年に旧ソ連から独立したリトアニアは，ソ連製の150万kWのRBMK型大型原子炉を2基有

し，電力に占める原子力割合が約8割，他国へ電気を輸出していたが，2004年のEU加盟条件として，2004年及び2009年末にそれぞれ1，2号機が停止された。電力料金の高騰とロシアへのエネルギー依存への懸念から，2009年，議会は新たな原子力発電所として，ヴィサギナス原子力発電所の建設を認める法案を採択した。2011年7月には戦略投資家としてGE日立ニュークリア・エナジー社と契約を結んだ。

福島事故後は巨額な建設費用も問題となり，2012年10月にヴィサギナス発電所建設の是非を問う国民投票が実施された。投票結果は拘束力を持たないものの，反対63%，賛成34%と反対意見が上回った。同年11月には社会民主党へ政権が交代し，首相は同発電所を建設しないと発表しており，先行きが不透明となっている。

2.2 ロシアと米国

(1) ロシア

原子力発電は運転中が33基，建設中が11基，原子力の割合は18%である（2011年）。ロシアは石油資源は豊富だが輸送上の問題もあり，原子力開発に熱心に取り組んできた。建設と運転経験を基に，レニングラード原子力発電所1号炉（RBMK）を74年に運転開始した。60年代からソ連型加圧水炉（VVER）も実用化し，2010年には，2030年までに原子力の比率を25%に高める計画を発表し，30年までに電力の約半分を原子力と水力で賄うことを目標としている。チェルノブイリ炉と同じRBMK炉は運転中33基のうち11基である。チェルノブイリ事故後は安全性向上対策を実施したが，24年までに全て閉鎖の予定である。原子力の海外進出にも熱心であり，国営原子炉輸出会社により，中国，イラン，インドで運転中ないし建設中である他，2010年にベトナムの原子力発電所建設第1期工事を受注し，ウクライナ，ブルガリア，トルコ，タイ，インドネシア，モロッコ，チリ，アルゼンチン，サウジアラビアなどをターゲットにビジネスを展開している。

福島事故後，プーチン首相（当時）は早い段階から，事故が原子力発電事業推進に関するロシアの計画に影響を及ぼすことはないと言明している。

(2) 米国

原子力発電は運転中が104基，電力に占める割

合は、石炭が43%、天然ガスが24%、原子力が19%、水力が8%である（2011年）。1950年代にWH社によるPWR、GE社によるBWRの開発以来、世界に原子炉を提供し、現在も世界最大の原子力発電国である。79年のTMI事故後は、新規発注が途絶えたが、ブッシュ政権の下、2002年にDOEは官民協力により2010年までに新規原子力発電所を建設する「原子力発電2010」を発表。「2005年エネルギー法」に原子力発電の新設の促進をめざす条項が盛り込まれ、2008年～09年にかけて30年振りに新規原子力発電所の発注があった。2009年末までに原子力規制委員会に申請された建設・運転一括認可は18件、28基。「原子力発電2010」以来、原子力発電所の有効利用の気運が高まり、設備利用率も改善、発電コストも低下して、標準炉型に対する原子力規制委員会の規制が緩和された。現在建設中はワッツ・バー2号機（PWR、118万kW）である。

福島事故後、原子力規制委員会の主導により国内原子炉施設の設計・運転の安全点検を実施し、問題がないことを確認した上で、事故の教訓を生かし、安全性の向上を図る一方、原子力政策に変更がないと発表した。国民の3/4が原子力を支持しており、福島事故による支持低下は僅かである。

2.3 アジア

(1) 韓国

韓国は、我が国と同様エネルギー供給量のほとんどを輸入に頼っている。政府はエネルギーの安定供給を目指し、大規模な原子力利用を進めている。電力に占める割合は、石炭が45%、原子力が29%である（2011年）。韓国の原子力発電は、1978年の古里1号機の営業運転開始で始まり、現在、23基の原子炉が運転中、4基が建設中である。当初は米国、フランス、カナダの原子炉を導入したが、その後軽水炉の国産化を押し進め、90年代には100万kW級の韓国標準型炉を確立した。さらに、2008年には新古里3号機として営業運転を開始した140万kW級の韓国次世代炉を開発し、中国やベトナム、インドネシアなどに輸出しようとしている。09年暮れ、アラブ首長国連邦の原子力発電所建設4基、約200億ドルの契約を韓国企業連合が受注したことは記憶に新しい。

福島事故後の2011年10月に規制と開発を分離するため、新原子力安全委員会を大統領直属とした。同年11月に政府は原子力の継続を再確認し、2016年までに6基を完成させ、2030年までに40基体制により原子力の割合を59%に増大させるとしている。また、2030年までに世界の原子力シェアの20%を占めて、米、仏に次ぐ世界3位の輸出大国を目指すとしている。

(2) 中国

中国はエネルギー資源が豊富であるが、石炭の8割は北西部に偏在しているため、海岸沿いの都市部や工業地帯はエネルギー不足に悩まされている。また、石炭への依存度が高いため、大気汚染などの環境問題が深刻化している。電力に占める割合は、石炭が80%、水力が15%、石油が2%、原子力が2%、天然ガスが1%である（2006年）。中国の原子力開発は1955年に中ソ原子力協力協定の締結で始まったが、中ソ対立を契機に独力で原爆開発を進め、60年代に原爆及び水爆実験まで行い、原子力の軍事利用技術を確立した。最初の原子力発電所である秦山1号機は中国が独自に設計・建設し、94年に営業運転を開始した。その後は、仏、カナダ、ロシアからの輸入プラントを中心に、2011年末時点で6ヶ所の原子力発電所で計16基が運転中である。建設中や計画中の原子炉には、米国のAP-1000、仏のEPR、ロシアのVVERなどがあるが、アジア、アフリカ諸国への原子炉輸出を図るため、AP-1000に中国が独自に改良を加えた原子炉にシフトして行くこととしている。

福島事故後の2011年3月、政府は新原子力発電所の新規申請・着工を停止し、建設中を含む全発電所の安全性点検を行い、10月までに点検を完了した。2012年10月に公布された新安全計画及び中長期原子力計画では、新規申請・着工の停止が解除され、穏やかに正常な建設に復帰するとし、新規炉は第3世代標準原子炉とし、2015年までに既存炉と併せて計58GWe、2020年までに88GWeの導入を目標としている。

(3) 台湾

台湾はエネルギー供給の99%を輸入に頼っており、エネルギー源の多様化、化石燃料の輸入多角化、新エネルギー開発と原子力開発を積極的に進めて来た。電力に占める原子力、石炭、天然ガスの割合は、それぞれ17%、38%、20%

である（2008年）。78年に米国GE社による最初の第1原子力発電所1号機が運転開始以来、第2及び第3原子力発電所が相次いで運転を開始し、現在6基が運転中である。第4（龍門）原子力発電所のABWR型の1、2号機が99年以来建設中である。主契約者はGE社であるが、原子炉圧力容器は1号機が東芝、2号機が日立、タービン発電機は2基とも三菱が製作するなど我が国と関係が深い。ところが、2000年に脱原子力を掲げて当選した陳水扁新総統が率いる行政院は、工事が約3分の1進んでいた同年10月、同発電所の工事中断を宣言した。野党が大半を占める立法院はこの決定を不服とし、その後両方で協議した結果、2001年2月に行政院が建設再開を決定した。しかし、この混乱の影響は極めて大きく、本格的な再開は同年11月にずれ込み、工期が大幅に遅延している。

福島事故後、台湾電力は安全総点検を実施し、電源強化などの安全性向上対策を施した。龍門1号機の運転開始は当初2011年末の予定だったが、2012年1月の選挙で当選した2期目の馬総統は、安全要求に合致すれば、2016年までに運転開始すると明言している。

(4) ベトナム

ベトナムにおける電力の割合は、水力が38%、天然ガスが33.6%、石炭が18.5%である（2010年）。電力需要は2012年には前年の11%増、2015年まで前年の15%増が予想されている。電力需要増に対処するため、1995年から原子力導入が検討され、2006年には2020年までに2GWeを導入するとの国の方針が示された。2010年10月、中部ニントゥアン第一原子力発電所建設計画で、第1期工事（VVER-1000、2基）をロシア国営の原子力企業ロスアトムに発注する協定に署名した。同10月、ニントゥアン第二原子力発電所建設計画の第1期工事（第3世代炉、2基）を我が国に発注する政府間協定に署名した。日本側は、日本原子力発電と国際原子力開発（国内の9電力、3メーカー、及び産業革新機構が出資）がプロジェクトを進めている。

福島事故後の2012年3月、ベトナムと韓国の間には原子力協力協定が締結され、韓国型の原子炉の建設に関する調査が実施されており、将来、韓国型も導入される可能性がある。同年6月、福島事故で手一杯となった東京電力が国際原子力開発を

始め、輸出事業から事実上撤退することとなり、我が国の態勢立て直しが迫られている。

(5) インドネシア

インドネシアでは早くから原子力研究開発に力を入れ、1965年には現在の原子力庁が発足した。1989年、スハルト大統領により原子力発電導入の準備が進められたが、97年からの経済危機により計画は棚上げされた。しかし、電力需給の逼迫から、2005年の国家電力総合計画に初めて原子力発電が盛り込まれた。2009年には原発導入のための法規制、人材面等での整備状況についてIAEAから好評価を受け、安全技術、運転管理等及び人材育成面での指導が日本に期待されていた。

建設予定地であるムリア半島では2007年以来、大統領経験者やイスラム団体の支援も加わった大規模な原発反対運動が発生していた。そこで、代替候補地としてスマトラ島東岸沖のバンカ島が目されたが、福島事故が報道されるにつれ、同地域でも誘致賛成派の住民は5割を切ったとの報告がある。一方、同年7月には原子力庁長官が、建設準備を今後も継続する方針を表明した。2012年4月、早ければ2016年にもバンカ島で原発建設の着工が可能との政府見解が伝えられている。

(6) タイ

近年の目覚ましい経済発展に伴い、電力需要が急激に増加したため、新規の電源開発が急務となっている。しかし、石炭火力は温室効果ガスの抑制の観点から、水力発電は地元の強い反対から、開発は計画通り進んでいない。このような状況下、タイエネルギー省は2007年2月に、2020～2021年頃に計4GWeの原子力発電所の運転開始をオプションとする発電設備の増強計画を発表した。

福島事故後は、2026年～2027年に計2GWeと計画が縮小・延期されている。制度、規制、人材育成などのインフラ整備は進められているが、パブリックアクセプタンスなどの課題があり、政府レベルで建設を正式決定するに至っていない。

(7) インド

近年経済的発展が著しいインドは、電力需要も急速に増大しており、2009年の消費電力は1990年に比べて3倍以上となっている。電力に占める割合は、石炭が68%、天然ガス12%、水力12%、原子炉4%である。現在20基が運転中、7基が建設中、39基が計画中である。今でも人口の約1/3

が電気の恩恵を受けていない。インドは核所持のため、34年間核不拡散条約に加盟していなかった。そのため、原子力プラントや核物質の貿易が出来ず、民間原子力分野でも2008年まで阻害を受けて来た。そのため、自国産のトリウムを利用した独特の燃料サイクルを発展させて来た。2009年9月に原子力供給グループが対インド禁輸を解除した。

福島事故後は、津波対策などの安全性向上対策を施している。2050年までに原子力の割合を25%までに増大する計画としている。インド独自の重水炉ばかりでなく、近年は米仏による民生分野の原子力輸出容認によりロシアのVVER, EPR, AP-1000, ESBWRの導入が計画されている。

2.4 中近東

(1) アラブ首長国連邦

2009年のデータでは電力の98%を天然ガスで供給しており一部は輸入に頼っている。電力需要は毎年9%増大しており、2020年までに40GWeの需要が見込まれている。そこで原子力導入を決定し、米、仏、日、韓が参加した入札では、2009年12月、韓国企業連合が受注に成功した。APR-1400炉を4基、計5.6GWeをバラカに建設することになっており、1号機は2012年7月に建設を開始している。運転開始は1号機の2017年から1年毎に4号機が2020年の予定となっている。受注に際し、韓国は異例の60年間保証を約束したことが大きな話題となった。

(2) サウジアラビア

サウジアラビアは湾岸諸国で最大の電力生産・消費国であり、2009年のデータでは電力の55%を石油、44%を天然ガスで供給している。電力需要は毎年8%増大しており、2020年までに60GWeの需要が見込まれている。2009年8月に政府は原子力導入を検討中と発表し、2011年6月には、今後20年間に16基の原子力を建設予定との発表があった。最初の2基は10年以内に運転開始、その後、2030年まで毎年2基建設し、電力の約20%を原子力で賄う予定としている。海水淡水化にはアルゼンチンのCAREM炉のような小型炉を検討している。

(3) トルコ

電力に占める割合は、天然ガス37%、水力32%、石炭が23%である(2011年)。原子力導入の話は

1970年からあったが、近年は経済的発展のために原子力導入は必須と捉えている。2007年に原子力発電・運転関連法が発効し、2010年にロシアが地中海沿岸のアックユに4基のVVER-1200を建設する協定を結んだ。1号機の建設開始は2015年、運転開始は2020年の予定となっている。黒海沿岸のシノップに140万kW級の原子炉を4基建設する計画は、2010年11月に韓国が辞退し、12月に日本と東芝が優先交渉権を得たが、福島事故で交渉が中断した。トルコ政府は我が国の耐震技術と事故教訓の反映への期待を表明し、現在、日、韓、中、加と平行して交渉中である。

3. おわりに

以上、世界の主な国の原子力事情を述べたが、言及していない国も含めて、福島事故後は大きく2つのグループに分かれていると言えよう。一つは、福島事故後も原子力維持・拡大するか、新規導入を推進する国で、欧州の仏、英、スウェーデン、フィンランド、ロシアなど14ヶ国、アジアの韓国、中国、台湾、インド、パキスタン、アルメニアの5ヶ国、南北アメリカの米国、カナダ、メキシコ、ブラジル、アルゼンチンの5ヶ国と南アフリカ、それにベトナム、インドネシア、アラブ首長国連邦、サウジアラビア、トルコ、ベラルーシ、カザフスタンなど新規導入国が約10ヶ国、合計30数ヶ国である。もう一つは、反原子力運動の影響を受けて脱原子力政策に転換したドイツ、スイス、ベルギー、イタリアの計4ヶ国である。

世界的なエネルギー需要増、気候変動への懸念、流動的な化石燃料価格、エネルギー安全保障の重要性と言う構造は、福島事故後も基本的に変化していない。トルコ政府が期待するように、我が国の進んだ原子力技術と福島事故教訓の共有が世界的にも求められていると言えよう。今後の我が国のエネルギー戦略の検討では、こうした視点と世界の状況を冷静に見つめることが必要と思う。

参考資料

- [1] World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/>
- [2] 原子力産業協会, <http://www.jaif.or.jp/ja/asia/index.html>
- [3] 杉本 純, 世界の原子力事情 リトアニア, 日本原子力学会誌, 53[12], 850-851(2011).

関西のエネルギー事情 The Energy Situation of Kansai

西村 伸也 (大阪市立大学)

Nobuya NISHIMURA (Osaka City University)

e-mail: nisimura@mech.eng.osaka-cu.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災から約2年が経過したが、被災地の復興は遅々として進んでいない。また、原子力発電についても、国の明確な方針が定まっていない。このため、電力需要が多く、50%以上の電力を原子力発電に依存していた関西においては、原子力発電所が停止し供給力が大幅に低下したなかで、今後、電力需要をいかにして安全かつ安定的に賄うか、住民や企業の関心が高まっている。しかし、判断の基となる、エネルギー需給に関する定量的データの少なさが課題となっている。そこで、本稿では、その判断材料を提供すべく、東日本大震災前後の関西のエネルギー事情について解説する。

2. エネルギー需給の現状

2.1 関西地域の動態

エネルギー消費は地域の人口や生産活動と関連が深い。そこで、まず、関西2府4県の人口と最終エネルギー消費の動態を示す。図1は1960年から現在までの約50年間の府県別人口[1]の推移を示したものである。関西の総人口はここ10年、2090万人程度で一定であり、全国人口の約16.3%を占めている。また、大阪府の人口は、年代によらず、関西全体の40%強を占めている。

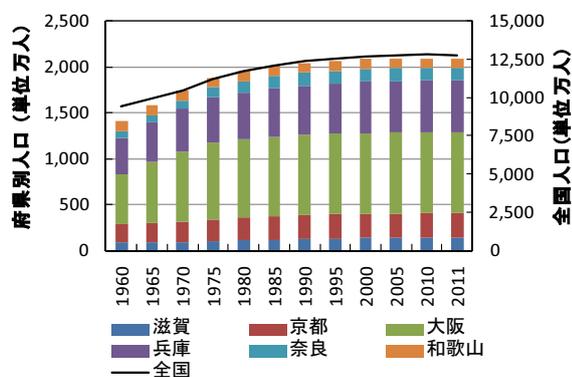


図1 関西2府4県の人口推移

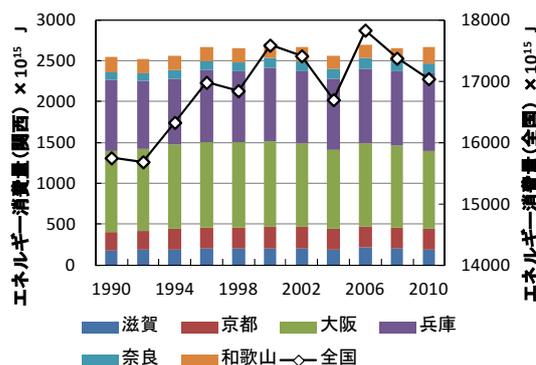


図2 関西2府4県のエネルギー消費動向

続いて図2は、1990年から2010年までの、関西2府4県の最終エネルギー消費量[2]を示したものである。同図に実線で示す全国最終エネルギー消費が基本的に増加傾向にあるのに対して、関西地域の最終エネルギー消費は、この間ほとんど増減がなく2500ペタジュール程度で推移している。なお、出典の「都道府県別エネルギー消費統計」は元来、地方公共団体の地球温暖化対策の技術支援を目的として策定されているため、エネルギー転換部門と運輸貨物等部門など、地域を横断するネットワークの中で損失・消費が発生する部門におけるエネルギー消費は含まれていない。

2.2 東日本大震災前後のエネルギー需給状況

ここでは、東日本大震災により、関西地域のエネルギー需給状況が具体的にどのように変化したか、電力と都市ガスの月別の需要量変化を示し、その概要を把握する。

2.2.1 電力需要

2010年4月から2012年12月までの1時間ごとの電力需要から算定した月別の平均電力需要を図3に示す[3]。月平均電力需要は、まず、夏季と冬季にピークがあり、5月と10月の中間期に最少となっている。また、震災の前後で、夏季の電力需

要が10%程度減少している。

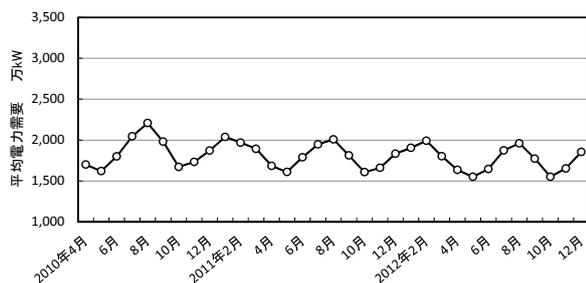


図3 大震災前後における月別の平均電力需要

ついで，同期間における，各月のピーク電力需要の推移を図4に示す．まず，図3との比較から，平均需要に対するピーク需要の増加は夏季において顕著であり，平均需要に対して40%程度増加している．一方，冬季における増加は20~25%程度であり，大阪や神戸など，大都市が温暖な気候にある関西地域の特徴が表れていると思われる．なお，夏季と冬季ではピークとなる時刻が異なる．これについては第3章において論じる．

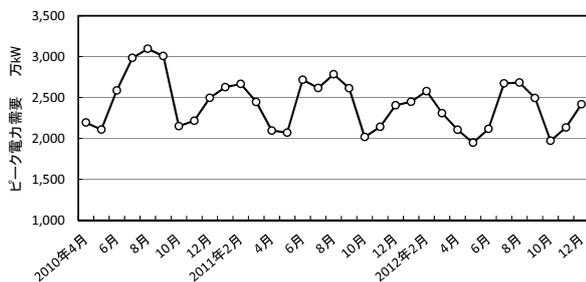


図4 各月の電力需要のピーク推移

2.2.2 都市ガス需要

図5に，近畿地区における，2010年4月から2012年12月までの，都市ガスの月別供給量の推移[4]を示す．この図は 1m^3 当たりの発熱量を 41.8605MJ として求めたものである．

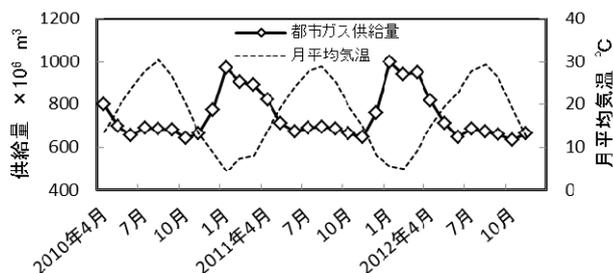


図5 大震災前後における月別の都市ガス需要

図に実線で示す都市ガス需要のうち約95%が，季節に関係なく，大阪ガスによるものである．都市ガス需要は電力需要と異なり，冬季に増大している．この一因として，外気温度が考えられるので，図中，大阪の月平均気温を示した．また，電力需要と比較するために，熱量換算し単位時間当たりの都市ガス需要量を求めてみた．期間中で最大需要を示した2012年1月の需要量は9億9865万 m^3 であり，熱量換算で約1784万kWとなった．一方，夏季のピーク需要はおおよそ7億 m^3 であり，熱量換算で1250万kWとなった．

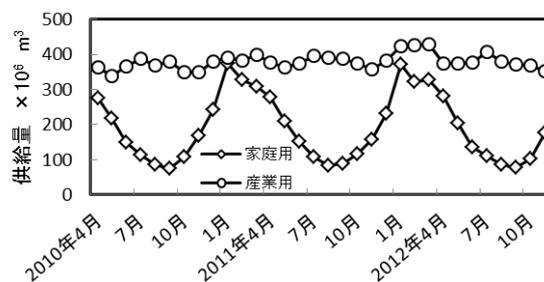


図6 部門別月別都市ガス需要の推移

都市ガス需要においては，家庭用と産業用の占める割合が大きい．そこで，図6に産業部門ならびに民生家庭部門の二つの部門別の都市ガス需要の推移を示す．産業部門における都市ガス需要は季節を問わずほぼ一定であるが，冬季と夏季にほぼ同程度のピークを示している．一方で家庭部門の需要は季節により大きく変動することがわかる．

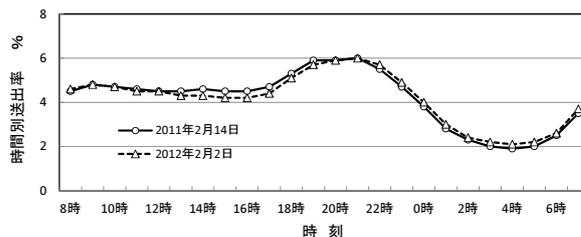


図7 都市ガス送出率の時刻変化（大阪ガス）

都市ガス需要についても，電力需要と同様に各月のピーク需要量を求めることを考えた．しかし，都市ガスは製造所で加圧され導管を経て消費者に供給されるため，送出量と需要量のピークが一致しない．よって，ここでは，年間の最大送出量日における時刻別送出率を図7に示す．東日本大震災前後の2011年2月14日と2012年2月2日の結果である．送出率は夜間の21時頃に最大となって

おり，また，年による変化は殆ど見られない。

3. 夏季の電力需要分析

第2章では，東日本大震災前後の関西におけるエネルギー需要の概要を述べた。本章では，東日本大震災以降，日常生活にも大きな影響を及ぼしており，本特集号のテーマとも係りが深い電力需給問題についてより詳しく調べ，電力の安定的な供給のためには，今後，どのような点に気をつけなければならないかを検討する。2章に述べたように，関西における電力需要のピークは夏季に出現している。そこで，ここでは，夏季の電力需要に焦点を絞り，その特性を明らかにする。

3.1 時刻別電力需要

図4に各月のピーク電力需要を示したが，この図からは，一日のうちの何時頃にピークが出現し，それがどれくらいの時間持続するのか分からない。そこで，まず，図8に震災を挟んだ2010年と2011年の，7月から9月までの3ヶ月間の時刻別の電力需要のうち，各年で電力需要が多かった上位3日間の結果を示す。電力需要は14時～17時頃にピークとなることが分かる。また，ピーク時の電力需要は，早朝の5時～6時くらいに出現する最少需要量に比べて，1200～1300万kWほど大きくなっている。

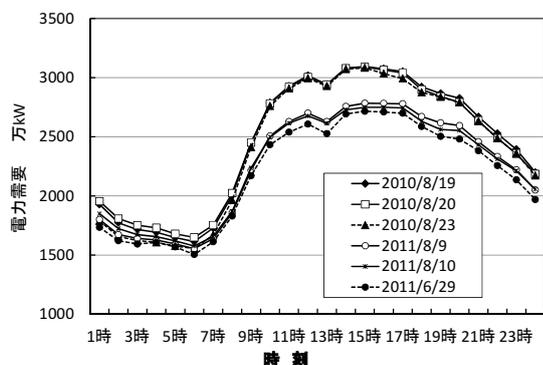


図8 夏季における電力需要曲線（上位3日）

ついで産業部門，ならびに，民生業務部門，民生家庭部門の三つの部門別の時刻別電力需要曲線を図9に示す。この図は2010年の最大需要日であった8月19日のものである。図より，電力需要がピークとなる14時～15時で見ると，業務用の需要が大きく，家庭用の需要は，ほぼその2/3程度であることがわかる。19時以降になると，家庭用の電力需要が多くなり，1100万kWを占めること

もわかる。なお，部門別電力需要特性は地域により大きく異なり，中部電力管内では，産業用の電力需要が最大となることである。

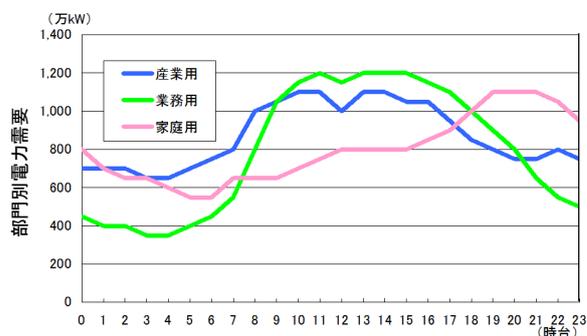


図9 最大電力需要日の部門別内訳

3.2 電力需要の地域特性

前項の結果より，電力需要の時刻特性は分かったが，東京電力管内で2011年3月に実施された輪番停電や，将来的な課題（東南海地震に対する防災対策，後述する再生可能エネルギーの大規模系統連係による電力システムの動揺）を想定すると，電力需要の地域特性（正確には時空間分布）を知ることは極めて重要である。

ここでは二通りの地域特性を示す。一つ目は文字通りの地理的な地域特性である。図10に大阪府内の電力需要が関西電力管内の電力需要に占める割合を示す。図より，大阪府内の電力需要は，早朝を除いて，時間に関係なく，関西電力管内の電力需要の約40%を占めている。この比率は図1に示した関西における府県別人口比率とほぼ同じである。電力需要を概算するときの目安になろう。

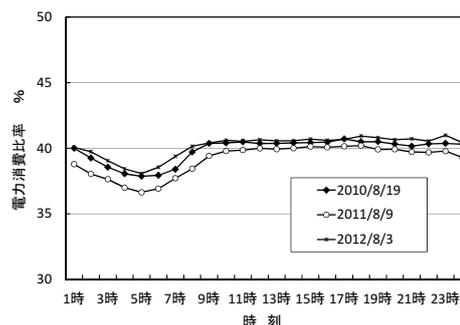


図10 大阪府内の電力消費が関電管内の電力消費に占める比率の時間推移

次いで，住宅地区や商業業務地区，工業地区といった土地利用用途の違いによる電力需要の特性変化を図11に示す。(a)は商業業務地区を，また，(b)は住宅地区を主な供給エリアとする変電所の

時刻別電力需要を示したものである。なお、この図 (a) は、2011 年の 8 月 3 日～8 月 9 日の間のピーク時間帯である 8 月 9 日 (火) の 16 時台の電力需要を基準 (100) として示したものであり、(b) は 8 月 3 日～8 月 9 日の間のピーク時間帯である 8 月 9 日 (火) の 19 時台の電力需要を基準 (100) として示したものである。土地利用用途ごとの電力需要は、図 9 に示した業務用ならびに家庭用の電力需要曲線の時間特性と、ほぼ同様な時刻特性を示している。

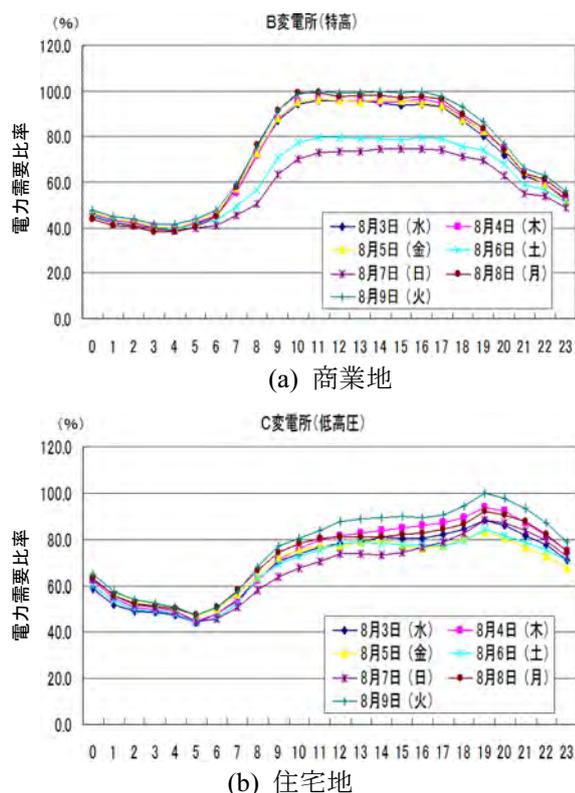


図 11 土地利用用途による電力需要曲線の比較

3.3 電力需要の気温感応度

夏季や冬季の電力需要は気温に大きく左右される。これを電力の気温感応度という。図 12 に関西電力管内の夏期 (5 月連休明け～9 月 7 日) のピーク時間帯である 14 時～15 時の電力需要の比較 (2010～2012 年) を示す。図よりいずれの年においても、気温上昇に伴い電力需要が増加していることが分かる。2010 年の気温感応度は、30℃で約 84 万 kW であり、気温が猛暑の基準である 35℃に上昇すると約 125 万 kW に増大した。なお、気温感応度は、年ごとの気温傾向や社会状況により変わることを断わっておく。また、節電が強く求め

られた 2012 年の夏のピーク電力需要は、2010 年と比べて平均で 11% (約 300 万 kW) 減少した。

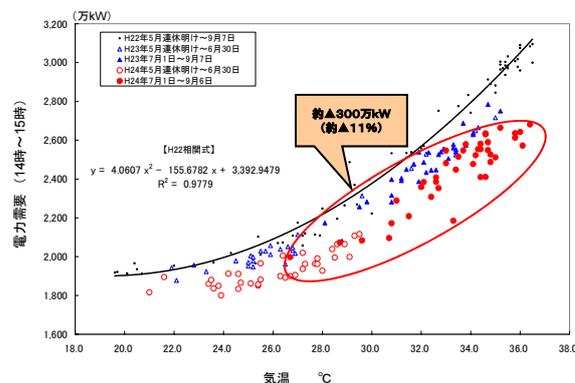


図 12 電力需要の気温感応度

夏季に電力の最大需要が出現する最大の原因は冷房等夏季需要が多いためだと考えられる。東京電力管内についてであるが、最大電力 (送電端) に占める冷房等夏季需要の比率を図 13 に示す [5].1990 年以降の 20 年近くで夏季需要の比率が高いのは、1994 年の 40%、1995 年と 2001 年の 39%、1991 年と 2002 年の 38%、および 1994 年、2004 年、2010 年の 37% の順であり、いずれも高温年である。また 2001 年から 2010 年の間についてみると、夏季需要の比率は平均で 35.2% であり、きわめて影響が大きいと考えられる。

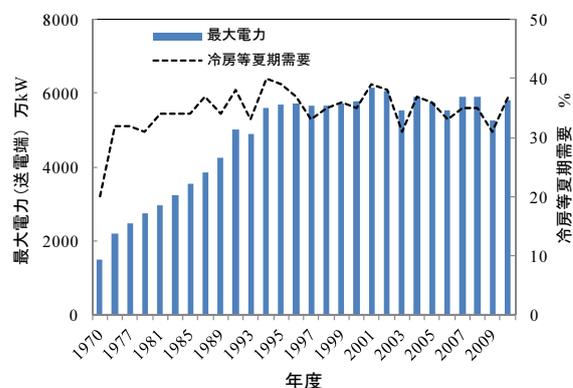


図 13 夏季電力需要に占める冷房等夏季需要

では、なぜこのように冷房等夏季需要の影響が大きくなるのか。最大の要因は、快適な環境を目的とした空調機の増加にあることは論を待たない。その他の要因の一つを図 14 に示す。この図は筆者らが家庭用空調機として一般に使用されている電動式の蒸気圧縮式空冷空調機 (通称ルームエアコン) の性能をシミュレーションにより予測したものである [6]。空調機の定格性能試験は外気温を

35℃として行われる．この時の性能がカタログ記載の定格 COP_{JIS} である．一方で実運転環境下では，外気温は一定ではなく，35℃とは異なる．実運転時の性能が図中の COP である．したがって，図の縦軸は定格性能に対する実運転時の性能を比率として示したものである．ところで，実運転時における空調室外機周辺の気温は，気象台発表の気温よりも高いことが知られている．したがって，ヒートアイランド現象により夏季の気温上昇が顕著な大阪や東京などの大都市では，空調機が 35℃以上で運転されることは珍しいことではない．図より，気温が 35℃から 37℃に 2℃上昇すると，約 8% の性能低下が生じることになる．

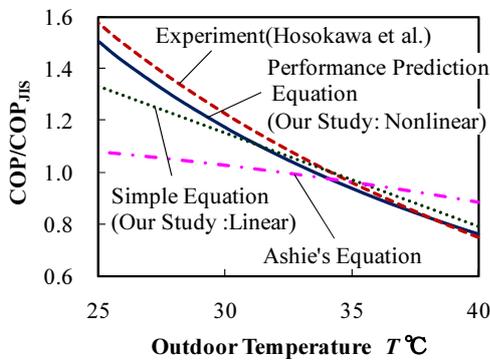


図 14 ルームエアコン性能の気温依存特性

参考までに，ルームエアコンの性能を，外気温 T_{od} [°C]，室内設定温度 T_{id} [°C]，冷房負荷率 ζ [-]，および，室内空気風量 V の関数として表した，性能予測式を以下に示す．なお， a は室内機風量の補正係数である．

$$\frac{COP}{COP_{JIS}} = a \left(-0.14 + 11 \cdot T_{od}^{-0.84} \cdot T_{id}^{0.46} \cdot \zeta^{0.47} - 1.9 \cdot T_{od}^{-0.45} \cdot T_{id}^{0.39} \cdot \zeta^{1.79} \right)$$

$$a = -0.7368 \left(\frac{V}{V_{max}} \right)^2 + 1.6374 \left(\frac{V}{V_{max}} \right) + 0.0994$$

$$(24 \leq T_{od} \leq 40, 23 \leq T_{id} \leq 28, 0.3 \leq \zeta \leq 1.0)$$

3.4 節電効果の検証

話を図 12 の関西における 2010 年と 2012 年の夏季における節電効果の話に戻し，2012 年の 7 月～9 月の電力需要実績から部門別の節電効果を求

めた結果を表 1 に示す．2012 年 7～9 月の電力需要実績は，2010 年比で家庭用は 87.3%，業務用は 89.5%，産業用は 92% であり，合計では約 10% 減少しており，節電効果が表れたものと思われる．

表 1 2010 年と 2012 年の電力需要実績 (MWh)

	2010.7-9 月	2012.7-9 月	対 2010 年比
家庭用	11,956,307	10,437,571	87.3%
業務用	14,326,212	12,828,929	89.5%
産業用	15,428,927	14,190,791	92.0%
その他	446,279	413,788	92.7%
合計	42,157,724	37,871,079	89.8%

しかしながら，前節 3.2 の議論を考慮すると，この効果が今後も期待できるとは限らない．それは，2011 年と 2012 年の夏季の気温が，震災前の 2010 年のものと比べて相対的に低かったからである．図 15 に冷房が必要な 5 月から 10 月までの大阪市における気温の出現頻度を示す．気温が 30℃以上について見ると，2012 年 (593hr) に比べて猛暑年であった 2010 年 (731hr) のほうが，23% も出現時間が多かった．

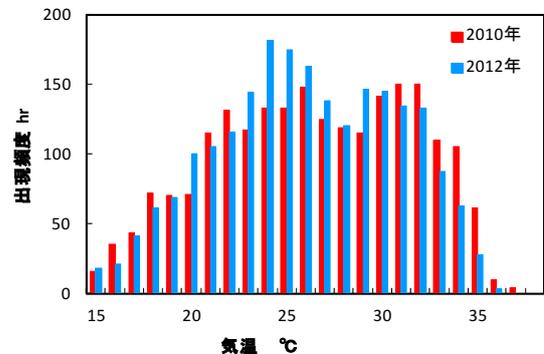


図 15 5 月から 10 月における気温出現頻度 (大阪)

4. 電力は足りるのか —量と質について考える

昨 2012 年の 5 月と 6 月は全国ですべての原子力発電所が運転を停止し，夏場の電力需要期を控えて，全国的に，原子力発電抜きで電力需要を賄えるだけの発電が可能かどうか注目が集まった．

なかでも，原子力発電への依存度が高かった関西においては，電力需要逼迫の恐れから計画停電の実施が検討された．実際 6 月には図 16 に示すように，関西電力の供給エリアを 6 つのグループに分けて，午前 8 時 30 分から午後 9 時までの間に，

るように，原子力発電所が定常的に運転されていた2010年までは，3000万kW程度の最大電力消費に対して，3300～3450万kW程度の供給力が準備されており，予備力として300～450万kW，予備率として10～15%が確保されていた．一方，東日本大震災後の2011年には，予備率としては10%が確保されているものの予備力は270万kWに低下した．また，2012年には原子力発電所の稼働により予備率は改善されたものの，原子力発電抜きでの予備率は2.7%であり，厳しい状況が続いている．

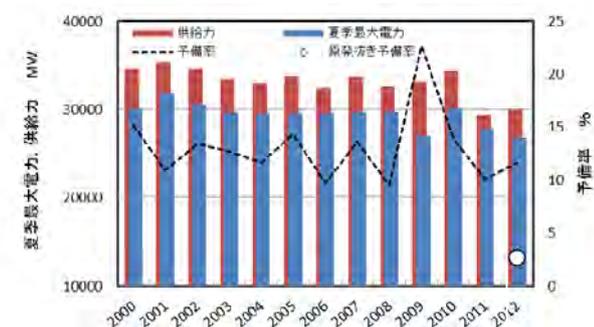


図 18 夏季最大電力と供給力・予備率の推移

また，図 17 からは，夏季の電力供給に欠かせないのが他社受電であることが分かる．2012 年の 8 月においては 24%の比率を占めている．この内訳の概要を表 3 に示す [7]．卸電気ならびに IPP・共同火力による火力発電が 56%と半分以上を占めている．IPP として規模が大きいのは，(株)神戸製鋼所の 2 基の石炭だき発電所（出力 67 万 kW×2）である．

表 3 他社購入・融通による供給力の内訳

	電源	種別	出力 万kW	H24想定 万kW
融 通	他電力	応援融通		121.4
		卸電気	260.0	155.5
	火 力	IPP共同火力	225.6	205.9
		6社8発電所		
		小 計		361.4
	水 力	卸電気	52.9	50.4
		1社9発電所		
		公営	1.1	0.3
		小 計		50.7
	揚 水	卸電気	35.0	16.4
	太陽光		4.5	4.5
	卸電気, IPP共同火力, 公営, 太陽光	小計	433.0	
	自家発		89.0	
	融通+他社	合計	643.4	

4.2 電力品質について — 系統電力の動揺問題

大規模な系統電力網においては，電力は基本的に貯蔵できない．このため，図 8 に示したように電力需要が急激に変化し，図 19 に示す需要（電力消費）と供給（発電）のバランスが崩れると，系

統全体の周波数が瞬時（数秒以内）に変動する．これに関しては，北海道における大規模風力発電の導入などについて詳細な検討[8]がなされており，0.2Hz 程度の変動で一部の需要家の機器に影響が出ると言われている．また，近年，大容量化が進んでいる火力発電機への影響も大きいと言われている．したがって，電力会社ごとに，表 4 に示す系統周波数の抑制目標が定められている[9]．

表 4 周波数変動抑制目標

北海道	50 ± 0.3 Hz
東地域	50 ± 0.2 Hz
中西地域	60 ± 0.1 Hz 滞在率が 95%
沖縄	60 ± 0.3 Hz

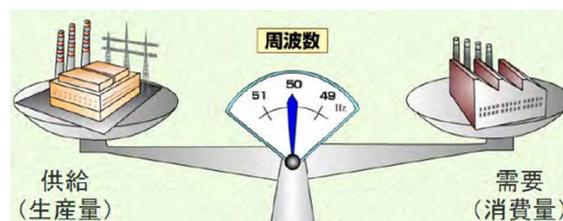


図 19 電力系統の周波数と発電・需要の概念

この系統周波数の変動は電力系統の容量と関係があり，系統容量が小さいほど変動しやすくなる [10]．日本の電力系統は欧米の電力網と比べて系統容量が小さいうえに，1 日の需要変動が大きいために，周波数が変動しやすいと言われている．このため，実際には，系統の電圧と周波数を適正な範囲に保ち電力品質を維持するためのサービス（アンシラリーサービス）が提供されている．翻って，昨 2012 年の関西における電力需給に関する行政委員会やマスコミなどの議論を顧みると，原子力発電抜きで電力需要を満たせるかどうか，需要量と供給力の関係についての量的議論にのみ目が向けられ，電力の品質維持についての検討が不足していたと個人的には考えている．今後，数年間は同様な状況が継続すると想定されること，また，出力変動が激しい再生可能エネルギーの大量導入が推進されていることを考え併せると，電力品質の維持と，系統容量（特に供給量にどれくらいの余裕をもたせるか予備力の適正值）について，技術的な対応策を早急に検討する必要がある．

5. 新たなエネルギー社会づくりについての取組

第4章までに，東日本大震災による関西のエネルギー事情の変化を，主に夏季の電力需給に焦点を絞って説明した。しかし，現在解決を求められているエネルギー問題は，電力需給の緩和と安定化だけではない。世界的な視点からは，地球温暖化問題の解決，また，地域的には，大阪などの大都市におけるヒートアイランド対策やごみ減量化への取組みも求められている。

最後に，筆者が近年関わった，大阪府の「新たなエネルギー社会づくり」や大阪市の「地球温暖化対策および廃棄物処理施設建設」のなかから，本稿と関係の深いトピックを，エネルギー供給側（サプライサイド），エネルギー消費側（デマンドサイド），および廃棄物処理（ディスポーズサイド）の三つの視点から，関西におけるエネルギー問題への取組みとして紹介し，結びとしたい。

5.1 サプライサイドの取組み

一つ目は，姫路第二発電所において高効率コンバインドサイクル発電への設備更新が進められていることである。低位発熱量基準で発電端熱効率が42%から世界最高水準の60%へ向上し，CO₂排出原単位も約30%の低減が図られる予定である。初号機はすでに試運転を開始している。二つ目は，電源構成の多様化・安定化を担うものとして，電源コージェネレーションの導入が検討されていることである。電源コージェネレーションとは，大量の熱需要がある工場などで，熱需要に合わせて設備を設置したときに余剰となる電力を系統へ逆潮流させるコージェネレーションのことである。導入に向けた規制緩和が検討されつつある。

5.2 デマンドサイドの取組み

デマンドサイドの取組みとして目新しいのは，個別の対策ではなく，地方自治体が，エネルギー政策を国やエネルギー供給事業者任せではなく，地域の問題として捉え，需要者の立場から，積極的かつ主体的に取り組む体制を整えつつあることである。具体的な取組みとして，スマートコンシューマーの育成，また，自治体・エネルギー事業者・学識経験者などが地域のエネルギー問題に取り組むためのステークホルダー会議などが検討されている [3]。その他，主な取組みとしては，省エネ型ライフスタイルへの転換や省エネ・省CO₂機器の普及などによるエネルギー消費

の抑制や，再生可能エネルギーの普及拡大が具体的に検討されている。

5.3 ディスポーズサイドの取組み

京阪神地域には大都市が集中しており，清掃工場や下水処理場が多数設置されている。大規模施設には，発電設備が付設されていることが多い。しかしながら，中小規模や老朽な施設においては未導入施設も多い。これら施設への発電設備の新設や，更なる低温排熱活用策としてバイナリー発電等が検討されている。廃棄物発電は，太陽光発電や風力発電などと異なり，安定的な発電が期待できる。この特徴に着目して，廃棄物処理施設を地域のエネルギーセンターとして，災害時の防災拠点として活用する試みも検討された [11]。

謝辞

各種データをご提供頂いた大阪府，関西電力(株)，および大阪ガス(株)の関係諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] www.stat.go.jp/data/nenkan/zuhyou/y0203000.xls
- [2] 資源エネルギー庁，都道府県別エネルギー消費統計。
- [3] 大阪府環境審議会新たなエネルギー社会づくり検討部会報告，(2012.11)。
- [4] 日本ガス協会，都市ガス販売量速報。
- [5] 東京電力，平成23年度数表で見る東京電力，25，(2011)。
- [6] 四宮徳章ほか2名：ヒートアイランド解析に有用な蒸気圧縮式空冷空調機の実性能簡易予測式の提案，冷凍空調学会論文集，26(1)，pp.69-80，(2009)。
- [7] 大阪府市エネルギー戦略会議，第8回委員会，配布資料，今夏の電力需給見通しについて，(2012.5)。
- [8] 総合エネルギー調査会新エネルギー部会，電力系統影響評価検討小委員会中間報告書，(2000.7)。
- [9] 幸田栄一，低炭素社会実現に向けた分散電源による系統貢献の可能性，第1回エクセルギーデザインシンポジウム2010，(2010.12)。
- [10] 例えば 加藤・田岡，電力システム工学の基礎，pp.82-90，数理工学社(2011)。
- [11] 大阪市廃棄物処理施設建設等委員会，大阪市環境局森之宮工場建替計画における基本方針について(答申)，(2011.2)。

持続可能な電力需給に求められるもの

Conditions Required for Sustainable Power Supply and Demand

藤岡 恵子 (ファンクショナル・フルイッド)
Keiko FUJIOKA (Functional Fluids Ltd.)
e-mail: kfujioaka@functional-fluids.co.jp

1. はじめに

大震災と福島原子力発電所事故によって始まった「電力危機」で、いつでも望むだけ供給される電気を無意識に使う時代は終わった。この認識を多くの国民が共有し、短期間であれ計画停電も経験し厳しい節電要請にも応えて、エネルギーと電力への関心が高まった。原発の停止によって大きな変更を余儀なくされた電力需給は、長期的な見通しが不透明なまま何度かの需給ひっ迫期を乗り切ってきた。

しかし、現在の火力発電に大きく依存した電力供給は、高燃料コストと二酸化炭素排出量増大だけを取りあげても、短期的にのみ成り立つ緊急避難的な手段で、新たなエネルギー政策を早急に確立しなければならないことは明らかである。本稿では、震災以後の電力問題の経緯を簡潔に振り返り、この間の過程と現在の状況に見られる問題を抽出して、今後の持続可能な電力需給体制を作ってゆくための条件を考える。

2. 震災後の経過

2.1 震災後の電力需給の推移

2.1.1 火力発電所被災と福島事故による電力危機

大震災時、地震と津波によって東京電力、東北電力の発電設備は太平洋側を中心に大きな被害を受けた。東京電力では、震災前に 6000 万 kW 以上あった電力供給力は震災直後には 3100 万 kW にまで低下し、東京電力管内で 5500 万～6000 万 kW と推定される夏季の最大需要をいかにして満たすかが、緊急の課題となった。

この事態に対して、被災火力発電所の復旧と停止中火力設備の再開、他社からの融通を中心として供給力増大が図られ、需要抑制としては節電、電力需要の時間的シフト（休日・夜間シフト）・空間的シフト（他電力管内や海外への生産移転）、自家発電設備導入や発電量増大の対策がとられた。

結果的には、これらの対策の効果、なかでも被災火力発電所が驚異的な速さで復旧されたことによって、2011 年夏の計画停電は回避された。

2.1.2 原発停止が順次停止し、火力で代替

2011 年 7 月 6 日の菅直人首相の答弁でストレステストが言及され、7 月 11 日には政府見解として定期検査の終わった原発にストレステストの実施・合格が再起動の前提条件とされた。その結果原発は順次停止してゆき、火力の増強でしのいだ急場を原発の稼働率上昇でおぎなう選択肢が無くなると同時に、それまで発電設備が被災した東京電力、東北電力管内が主たる問題であった需給ひっ迫が全国的な「電力危機」となった。以後 2011 年冬、2012 年夏と、需要の大きくなる時期のたびに、需給予測、電力不足の懸念、節電目標の設定が繰り返される事態が常態となって今日に至っている。

2.2 エネルギー政策見直しの推移

政策面では、それまでのエネルギー政策の基軸であった「エネルギー基本計画(2010年6月改訂)」の全面的な見直しが表明され、2011年6月22日に発足した「エネルギー・環境会議」(閣僚会議)が主導して新たなエネルギー政策の基本方針策定を推進することになった。新エネルギー政策の策定においては、ベストミックス、エネルギーシステム、国民合意の3点が基本理念とされ、原発への依存度低減と分散型エネルギーシステムを目指す方向性が示された[1]。

具体的には (1)コストの検証、(2)エネルギーミックスの検討、(3)革新的エネルギー・環境戦略の策定を主な柱として、国家戦略室あるいは経済産業省などの複数の作業部会で検討を進め、2012年6月に「エネルギー・環境会議」から「エネルギー・環境に関する選択肢」が発表された。「エネルギー・環境に関する選択肢」は、「“原発からグリーンへ”大胆な構造改革」を意図したもので「2030

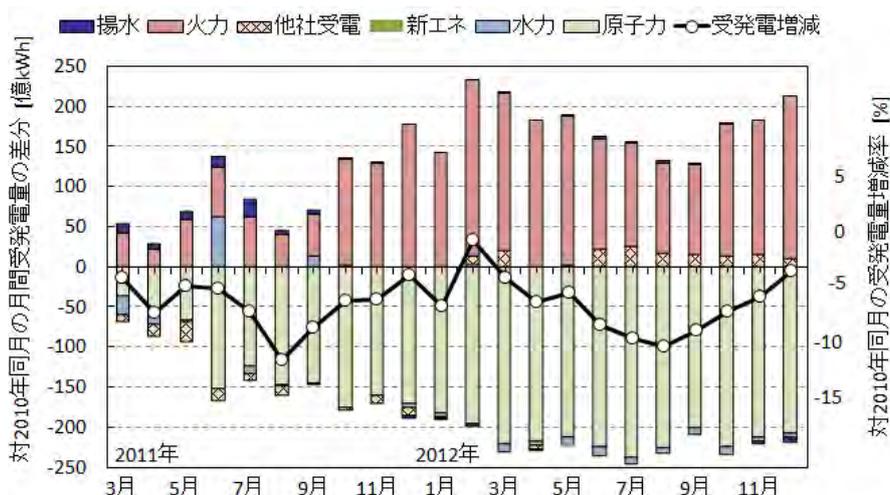


図1 受発電量の推移 (2010年同月からの増減)

年までに(1)どこまで原発依存度を下げ、(2)どの程度のコストをかけてどこまで再生可能エネルギーや省エネを拡大するのか」を主題としていた[2].

2012年9月14日、2030年代に原発稼働ゼロ、グリーンエネルギー革命の実現、エネルギーの安定供給を柱とする「革新的エネルギー・環境戦略」[3]が策定されたが、経済界や原発立地自治体をはじめとする国内外からの批判や矛盾の指摘が相次いだために閣議決定は見送られた。その後の政権交代もあって、エネルギーの基本政策を定める方針は未確定のままである。

2.3 原子力発電稼働減少と火力の増大

図1は、2011年3月から2012年12月までの各電源の受発電量の変化を2010年同月との差として示している。原子力減少分がほぼ火力で置き換わっていることが分かる。図1の折線は、各月の総受発電量を2010年同月と比較した増減率で、2010年と比較した節電率の概略を表していると考えてよいだろう。2011年8月には、最大の減少率-12%となったが、冬季の暖房需要の増大とともに節電率は減少し、冬季需要ピークの2月には2010年を上回る受発電量となった。2012年も同様の推移だった。夏季には節電効果による需要削減が見られるが、一日を通じて暖房需要のある冬季の需要抑制は難しい。

図2は図1と同じ期間の火力発電効率とCO₂排出量の推移である。震災後の急速な電力供給回復を担ったのは被災火力の復旧に加えて長期計画停止火力の再開、ガスタービン、ディーゼルなど

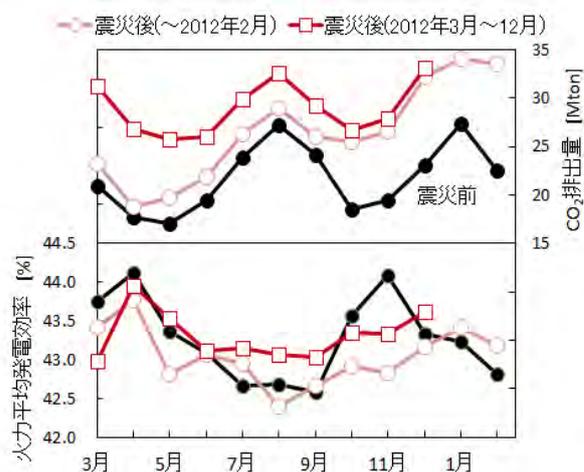


図2 火力発電効率とCO₂排出量の推移
平均発電効率=火力発電量÷(燃料種別ごとの物量×発熱量)

$$CO_2 \text{ 排出量} = \sum \text{各燃料種} (\text{CO}_2 \text{ 排出係数} \times \text{物量})$$

電気事業連合会の受発電速報から算出[4].

小型発電設備の大量導入だった。原発の順次停止にともなって、火力がベースロードを含めた電力供給の主体となった。2012年末の時点では総発電量の90%以上が火力によっている。その結果、図2の上段に示したように、CO₂排出量は2011年3月～2012年2月の平均は前年同期の21%、12月だけで比較すると2011年12月には2010年の40%、2012年12月には44%増加した。発電効率(図2下段)は、LNG火力の稼働率上昇で再開・急増火

力の低効率を補う状態が続いている。

2.4 産業・経済への影響

2.4.1 様々な負担を伴った節電

電力需給のひっ迫とその切り切り過程は、節電による損失、電力供給不安、電気料金上昇の予測として、主として製造業に大きな影響を与えた。2011年7月1日から9月初旬の間、東京電力・東北電力管内の大口需要家には電力使用制限に基づき、使用最大電力15%削減が義務づけられた。小口需要家と家庭用には、強制措置ではないがそれぞれ15%、関西電力管内でも数値目標として大口、小口、家庭用ともに10%の節電数値目標が設定された。関東と東北では目標を上回る値で、関西では目標をやや下回る節電実績が得られ、電力危機の回避に大きく寄与した。

家庭やオフィスビル・店舗など業務用では、照明や空調の調節による節電は、ある程度までは大

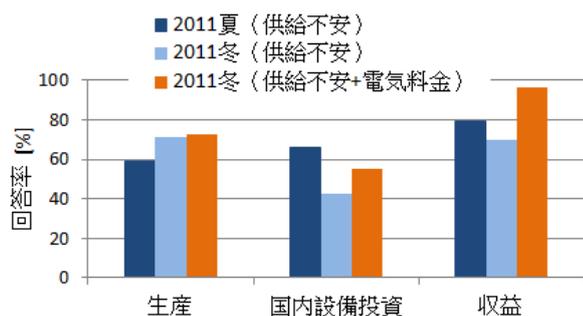


図3 経団連のアンケート結果 [5], [6]

(2011年夏、2011年冬は供給不安についてのみ、2011年冬は供給不安と電気料金値上げについて2組の設問。アンケート対象は大企業。)

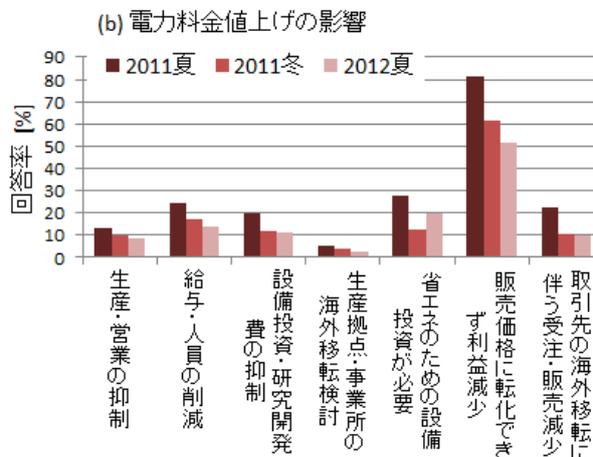
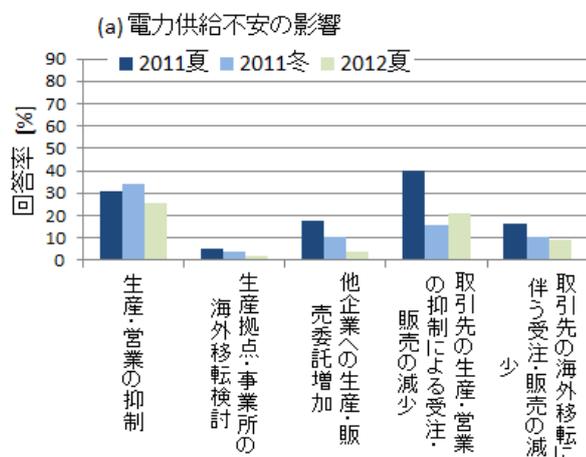


図4 商工会議所のアンケート結果 [7]-[9] (小口需要家 (契約電力 500kW 以下) の回答)

きな不都合はなく、むしろ電力費の削減になるメリットもある。しかし製造業では業務部門が少なく、これまで以上の省エネルギーを積み上げる余地も少ない。常に通電が必要なプロセスを持つ工場もある。10%以上の節電目標に達するには、自家発電の導入・増強、生産の前倒し、休日勤務・夜間勤務への勤務時間のシフトが有効な方法だった。自家発電の導入費、燃料費、時間外勤務の人件費などで、企業によっては数10億円規模のコストを要した。勤務シフトに応じた就業者の負担も大きかった[7]

2.4.2 電力供給不安と電気料金値上げ

2011年夏の節電要請期間終了時に、この状況が続くなら多電力消費部門の海外移転が避けられない、あるいは国際競争力を失うとの危惧を抱いた企業は多い。経団連と商工会議所は、2011年夏、2011年冬、2012年夏の「電力危機」の影響を企業がどう捉えているか、各節電期間の終了後にアンケートを行って調査してきた。図3、4に、それぞれ経団連と商工会議所による資料の中から、供給不安と電気料金値上げの影響についての製造業の結果を示した。

図3は生産、国内設備投資、利益が「減少する」「大きく減少する」と答えた比率で、生産や利益の減少といった企業の存続にかかわる問題への懸念を過半数が持ち、また、将来の日本の産業にとってより重要とも言える国内設備投資についても約半数が減少すると考えている。図4の小口需要家では、生産や利益の減少に対する危惧が目立つ。

図3, 4の双方とも，震災直後の2011年夏から時間が経過しても，各項目への回答比率は顕著には減少してない。2011年夏を除いて電力使用制限令のような強制措置はとられなかったが，電力供給への不安が持続していることを示している。

2.4.3 高燃料コスト化と貿易赤字

火力発電への依存度が高まったことにより，燃料費が大きく増大し，2011年度の燃料費は2010年よりも2.3兆円，2012年度には3.1兆円増加した。2012年の貿易収支は，過去最大の6兆9273億円の赤字であった。主な原因としては中国やヨーロッパへの輸出減少があるが，火力発電向け燃料費の影響も大きい。今年1月の貿易統計速報（財務省）では，1月上旬（1-10日）だけで1兆700億円の貿易赤字が報告されている。短期の情報を過大に評価してはいけないが，震災以来一貫して燃料輸入額は増加してきており，1兆円を超える過去に例のない巨額の赤字を軽視して良いはずはない。

3. 持続可能な電力需給を考えるための問題提起

電源構成を選択する上で，安全性，安定供給性，経済効率性を重要な指標とすることに異論は少ないだろう。安全性としては，事故リスク，環境リスクに対する安全性，安定供給性としては，燃料調達リスク，系統安定性，経済効率性としては，発電コストや燃料価格交渉力などが評価すべき要素になる。各発電方式の基本的な特徴を表1に示した。それぞれの発電方式には長所と短所がある

ので，これを総合的に考慮して，リスクを最小にする電源構成を選ぶことが現在の大きな課題である。ここでは，将来にわたって持続可能な電力構成を選択するために留意すべき条件を検討する。

3.1 再生可能エネルギー

震災後のエネルギー政策見直しの一応の総括である昨年9月の「革新的エネルギー・環境戦略」では，「原発に依存しない社会の一日でも早い実現」を第一の柱にし，節電，省エネ，再生可能エネルギーの大量導入による「グリーンエネルギー革命の実現」を進めつつ，「地球温暖化対策の着実な実施」も目指すというものだった。この戦略がそのまま今後のエネルギー政策の指針になるとは考えにくい，再生可能エネルギーの拡大は今後の趨勢の一つで，何時までどの程度の導入量を想定するかは電源構成の選択に大きな意味を持つだろう。

3.1.1 現実的な導入工程を

再生可能エネルギーは運転時にCO₂を排出せず，純国産で豊富な賦存量があり，原子力減少分を補う発電方法として期待が寄せられている。「革新的エネルギー・環境戦略」では，2010年に250億kWhだった水力以外の再生可能エネルギーの発電電力量を，2015年に2倍の500億kWh，2020年に約3倍の800億kWhに増大し，2030年には約8倍の1900億kWhにする工程が示されている。2015年までの3年間の導入量とされる250億kWhは，120万kWの原発の発電量の約3.4基分である。仮にリードタイムの短い住宅用とメガソーラーで250

表1 各発電方式の特徴

電源	CO ₂ 排出量 g-CO ₂ /kWh	発電コスト 円/kWh	出力安定性	負荷変動 への対応	リードタイム
石炭火力	943	9.5	○		10年程度
石油火力	738	22.1	○	○	10年程度
LNG火力	474	10.7	○	○	10年程度
原子力	20	8.9～	○	○	20年程度
一般水力	11	10.6	○	○	5年程度
小水力	-	19.1～22.0	○	○	2-3年程度
地熱	13	9.2～11.6	○	×	9-13年程度
太陽光（住宅用）	38	33.4～38.3	×	×	2-3ヶ月程度
太陽光（メガソーラー）	-	30.1～45.8	×	×	1年前後
風力（陸上）	25	9.9～17.3	×	×	4-5年程度

CO₂排出量は[10]，発電コスト，リードタイムは[11]による。

億 kWh 分の設備を導入するならば，3 年間で 5 兆円～10 兆円の投資が必要だ[12].

政府の試算では，再生可能エネルギー導入目標達成のために，家庭用太陽光パネルを今の 90 万戸から 2030 年には約 1 千戸（421 億 kWh，4000 万 kW）を増やすことを一つの方策として挙げている[13]. 日本の 1 年間の新築戸建家屋 40 万戸すべてと既存の家屋の 10 万戸に，今年から毎年設置してゆけば 2030 年にほぼ想定量になる。

図 5 は，太陽光，風力，地熱，水力発電の設備量の変化である。太陽光は 2009 年に住宅用余剰買取制度が導入されてから飛躍的に増大し，昨年再生可能エネルギーの固定価格買取制度が始まって以降メガソーラーの新設計画が急増しているが，パネル供給の速度や原材料の資源的制約もあり，太陽光だけの寄与には限界がある。風力はスケールメリットがあり運転コストが低くリードタイムも比較的短い。しかし適地が需要地と遠くまた偏在しているので，大量導入には送電線の整備も必要だろう。水力以外で 2015 年に 2 倍，2020 年に 3 倍への増大を目指すのは，現状からの飛躍が大きく現実的ではない。

原発事故の衝撃が大きかったので，これまでの方針を白紙に戻して転換を図る期待があるのは理解できる。しかし現実の条件を総合的に考慮すべきエネルギーミックス策定にバックキャストिंगのすぎる視点が入るのは危険だ。

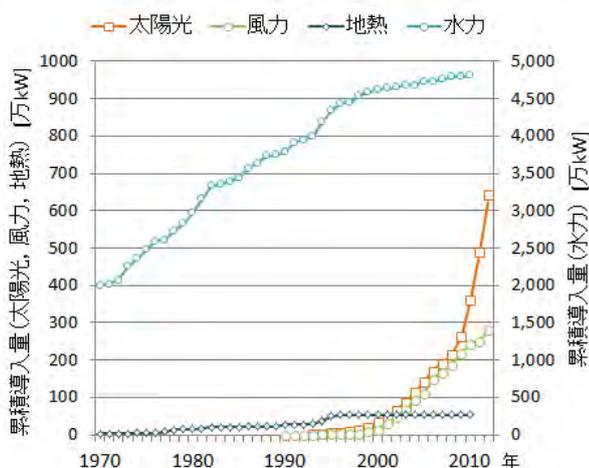


図 5 再生可能エネルギーの累積導入量（設備容量） [14]

3.1.2 太陽光大量導入を可能にするには

太陽光と風力の出力は不安定で，季節や時間，天候による変動も大きい。現時点では大型の蓄電設備の併設は経済的に成り立ちにくいので，火力でバックアップして需給のバランスを取る。今の発電量なら問題ないが，導入が進んだ時にどんな状態になるだろうか。図 6 に，太陽光が大規模に導入された際の夏の日の電力需要と太陽光発電の発電量を表した。赤い線は太陽光発電が年間の総発電量 (kWh) の 30% を供給するときの快晴日の発電量を表している。このとき，太陽光でまかなえない時間帯を電力会社が供給すると仮定した供給量は水色の曲線になる。図には 20%，10% の場合の供給量も示した。電力会社は昼間は発電せず余剰があれば買取り，夜間と朝夕や雨の日に発電設備を稼働して電力を供給することになるが，こんなビジネスは現実にはあり得ない。

やや極端な想定だが，FIT 開始で加速している再生可能エネルギーの導入が，火力のバックアップを多量に必要とするような状態になってはいけない。再生可能エネルギーが着実に成長して行くために，蓄電技術の進展予測や，安定供給が確保されるためのシステムなど長期的な広い視野にたって再生可能エネルギーの導入を検討してゆく必要があるだろう。

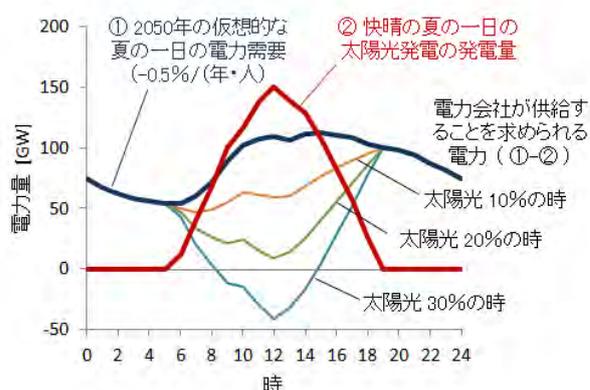


図 6 太陽光発電大規模導入時の仮想的電力需給 ([15]より，古山通久氏提供。電力需要①は人口予測と毎年 0.5% の使用量減少を考慮した値。)

3.2 経済的な問題

震災後の電力供給によって新たに生じると予測される費用がいくつかある。まず，固定価格買取制度の費用は利用者の電気料金に上乘される。

2012年度は標準家庭で1000円程度ですみそうだが、仮に2030年に再生可能エネルギー比率が25%~35%になれば、そのときの電力料金は原発を25%以下に減少させていったケースで2010年の1.7倍~2.3倍、原発比率が35%の場合でも1.5倍~1.8倍(家庭用と産業用の平均)になると試算されている[16]。生活者にとって電気料金は税金と同じで、特に経済的弱者には節電の余地も少なくFIT賦課金が逆進税制のように機能しかねない。企業にとって電気料金の大幅な上昇は、国内で操業を続けることができるかという問題に直結する。

どのようなエネルギーミックスを選ぶにしても、省エネルギー、節電は不可欠な要素になるだろうが、無駄をなくす節電は別として、「革新的エネルギー・環境戦略」で想定しているような、2030年までに19%の省エネルギー(10%の節電)を達成するには多額の費用がかかる。ある試算によれば、2030年までに累計で84兆円~96兆円の投資が必要とされている[17]。節電投資の内容は、家庭用高効率給湯器を全世帯の9割に導入する、新築の住宅に断熱を義務づける、現在1%未満のHEMSを100%の導入率にするなど、強制的な規制措置を伴うものが多い[12]。

再生可能エネルギーの大量導入に伴って系統対策投資も5~7兆円想定されている[18]。これらの投資は先に述べた火力の燃料費と違って国富の流失にならず、むしろ内需を喚起する効果がある。しかし誰がこの巨額の投資を負担するのか、国債でまかなって未来の世代の負債にしても良いのか、FITのコストが高額になった場合どこまで負担を続けて行けるか。これらの点について広く合意を得るための努力を続けてゆくことも、持続可能な電力利用社会への条件になるだろう。

3.3 原子力—現状と再稼働，将来の選択

現在、大飯の2基以外の原発はすべて停止している。この現状がエネルギー政策の一環として選択された結果ではなく、再稼働のための適切な安全基準と責任ある判断を早期に提示ことができず、いわばなしくずしに至った状態であることは問題である。その後も、規制委員会委員長が「規制委は科学技術的な判断にとどまり、再稼働の判断は政治の責任」という立場を表明すると、政府(前政権)は「政治が介入すれば独立性を損なう」と応じたように、責任をもって判断する機関が不在

だ。一方で、政府が主導して再稼働に至る展開も今後はあるかもしれないが、国民の多数の合意のないままの再稼働は電力会社のその後の行動を拘束し、あり得ない「絶対安全」の名のよりの危険に逆戻りするのではないかと危惧される。

他の電源とのバランス、エネルギー安全保障、温暖化対策、経済・産業政策など、多くの要素を総合して検討すべき中長期の原子力政策と、再稼働の是非は本来別の問題である。原子力に関しては、海外の動向も重要だ。中国をはじめアジア地域には、日本以外に64基の原発が稼働しており、46基が建設中、40基が計画中である[19]。どの国も自国だけで完結した政策では原子力の安全は図れない。技術力と原子力平和利用への信頼の高さから期待される役割を、日本の安全保障においてどう位置付けるかも、原子力政策を考える上での大切な要素である。

3.4 現在の状況が持つリスク

産業界にとっては、震災後2年近く経って未だにエネルギー政策の進路が見えないことが何よりのリスクだ。いつまで夏と冬の供給不安を繰り返すのか、電力料金はどこまで上昇するのか不明な状態では国内への設備投資にも雇用拡大にも積極的にはなれず、海外への生産移転が加速するのは当然と言える。現下の状況の深刻さ、中長期的に選択可能な政策の利点と問題についての冷静な議論を通して、広く支持される持続可能なエネルギー政策を一日も早く確立することが問われている。

4. おわりに

以上、福島事故以後の経過と現状がはらんでいる問題を、断片的であるが、将来の目指すべき電力需給を考える上での論点として提示した。

電力問題を考える際に避けておれない原子力の問題が本特集のテーマである。筆者は原子力発電の問題は、電力・エネルギー政策の一環として検討されるべきであり、そのメリットとリスクを冷静に分析して禍根を残さない判断を下すことが必要で、電力供給が経済に及ぼす影響は重要な因子であると考えている。また安全と経済、利益を対置するかのよう論調はいましめなければならぬとも思う。しかし、それだけでは、足りないのではないかと。

核廃棄物の最終処分場の選定に関連した学術会

議の回答書[20]で、「受益圏」と「受苦圏」という概念が提示されている。電気を利用する利益を享受する「受益圏」としての都会と、超長期にわたる汚染発生の可能性を引き受ける「受苦圏」が分離している不公平と、この分離が高レベル放射性廃棄物に対する大都市圏の無関心を引き起こしたことが言及されている。福島事故が、周辺住民に多大な被害を及ぼし、多くの地域で未だに帰還のめどがたたない状況であることを銘記していたい。

原子力を巡っての意見対立が解消されることはないだろうが、今後の原子力政策の策定には、多くの国民に受け入れられる明快な論旨とフェアなプロセスを尽くしてほしい。原子力に限らず、多くの異論を無視した方針決定は脆弱で危険であると考えられるからだ。

参考文献

- [1] 国家戦略室エネルギー・環境会議，中間的整理（2011年7月29日）
- [2] 国家戦略室エネルギー・環境会議，エネルギー・環境に関する選択肢（2012年6月）
- [3] 国家戦略室エネルギー・環境会議，革新的エネルギー・環境戦略（2012年9月）
- [4] 中垣隆雄，「電力安定供給に向けた課題と対策」．日本機械学会動力エネルギー部門市民フォーラム「東日本大震災を契機として我が国のエネルギーインフラの諸問題を考える」講演資料（2012）を元にデータ追加
- [5] 日本経済団体連合会，今夏の電力需給対策に関するアンケート結果について，（2011年10月）
- [6] 日本経済団体連合会，当面の電力供給および電気料金に関するアンケート結果，（2012年4月）
- [7] 資源エネルギー庁，夏季の電力需給対策のフォローアップについて，（2011年10月）
- [8] 日本商工会議所，節電に関するアンケート調査結果について，（2012年4月）
- [9] 日本商工会議所，今夏の節電に関するアンケート結果について，（2012年10月）
- [10] 電力中央研究所，日本の発電技術のライフサイクルCO₂排出量評価—2009年に得られたデータを用いた再推計（Y09027），（2010）
- [11] 国家戦略室エネルギー環境会議，コスト等検証委員会報告書（2012年12月）
- [12] 国家戦略室エネルギー環境会議，エネルギー・環境戦略策定に当たっての検討事項について（2012年9月）
- [13] 資源エネルギー庁，第19回総合資源エネルギー調査会基本問題調査会配布資料，（2012年4月）
- [14] 資源エネルギー庁，再生可能エネルギー発電設備の導入状況について（2012）
- [15] 化学工学会緊急提言委員会編，ゼロから見直すエネルギー，丸善（2012）
- [16] 資源エネルギー庁，経済影響分析に係る感度分析の結果について（2012年5月）
- [17] 資源エネルギー庁中央環境審議会地球環境部会，2013年以降の対策・施策に関する検討委員会資料（2012年6月）
- [18] 環境省，検討会再生可能エネルギーの大量導入に向けた系統対策の概要（地球温暖化政策に係る中長期ロードマップ委員会資料）（2010）
- [19] 日本原子力産業協会，世界の原子力発電の状況（2012）
- [20] 日本学術会議，高レベル放射性廃棄物の処分について（2011年9月）

現代社会における動力技術のあり方

Power Technology in Society

小澤 守 (関西大学)

Mamoru OZAWA (Kansai University)

e-mail: ozawa@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって、東北から関東にかけての太平洋岸に位置する原子力発電所、火力発電所などエネルギー関連施設が甚大な被害を受けた。なかでも福島第一原子力発電所では我が国で初めての炉心溶融を引き起こしてしまった。この炉心溶融事故を受けて、2012年夏の関西地域の電力不足に対処するために再稼働が認められた大飯3号、4号以外の原発は2013年2月の時点でも再稼働できない状態におかれている。原発の停止による電力不足を老朽火力や長期停止火力も含めた火力発電が多く負担することになり、燃料費が我が国全体で3兆円以上増加し、貿易収支悪化の原因になっている。

原子力技術は我々人類が地上で実現した最も大きな単機容量を有する、巨大エネルギー技術である。原子力発電に限らず技術一般は、元来、国民の繁栄、福利、幸福のためのものであるべきで、巨大であればあるほど、健全に運用している限りにおいて国民はそのメリットを遍く受けることになる。しかし一旦事故に見舞われたら、その被害を受けるのは局地的であり、他地域は相対的に軽微な影響を受けるに過ぎないことが、福島原発事故によって如実に示された。松本はこのことを「技術と社会の間の非対称構造」といった[1]。我々技術に携わるものは、この非対称性の存在を等閑にしてはならないし、またその非対称性を少しでも軽減すべく努力することが当然ながら求められている。

近代技術の発展過程の中で、1700年代初頭からのNewcomen機関やWatt機関に端を発する蒸気動力技術は常に各時代の最先端技術であり、当時から大規模、大出力の動力装置として発達してきた。熱発生原理は異なるが原子力発電所も蒸気動力であることには変わりはない。その意味で、蒸気

動力技術、なかでも著者が主として関わってきたボイラ技術について、それがどのように展開してきたのか、さらに動力技術と社会との関わりや社会的制度設計などについて概観することは、今後の原子力も含めた技術のあり方について考える上で非常に重要であると思う。

2. 初期のボイラ技術の展開

蒸気動力機関が市場に登場するのはThomas Newcomenによる揚水用動力機関が最初であろう。Newcomen機関は、熱効率こそ0.5%程度と極めて低く、また出力も4kW程度で、当時の水車に比べても低かったとはいえ、昼夜を分かたず使用できることや炭を燃料として利用できることなどから、炭鉱の揚水機関としては十分な活躍の場を与えられた。これに続くSmeaton機関ではNewcomen機関の改良によって、熱効率は0.8% (1767年)、1.4% (1774年)と上昇していった[2]。

James Wattは1769年に分離復水器に関する第一特許を取得した。また1775年にはMatthew Boultonと共同し、翌1776年には高炉送風用大型機関を製造している。シリンダに直接水噴射する当初のNewcomen機関に比べて、Watt機関の熱効率は当然ながら高く、1775年時点で約2.7%であった。そして第2特許に基づく回転機関では4.6%となった。さらなる熱効率の上昇には、Wattの特許の満了以後の蒸気圧力の上昇、すなわち高圧機関の出現が必然であり、Richard TrevithickのCornish機関は17% (1834年)を記録している[2]。

図1に示したものは1700年～1800年ころの蒸気機関の製造台数に関するデータである。同時にそのころの製鉄技術や英国における産業革命期の中心的存在であった紡績機などの情報についても併記している。1712年ころ、Newcomen機関が市場に登場し、炭鉱におけるポンプ駆動に利用され、本格的な蒸気時代が到来したかに見えるが、実は

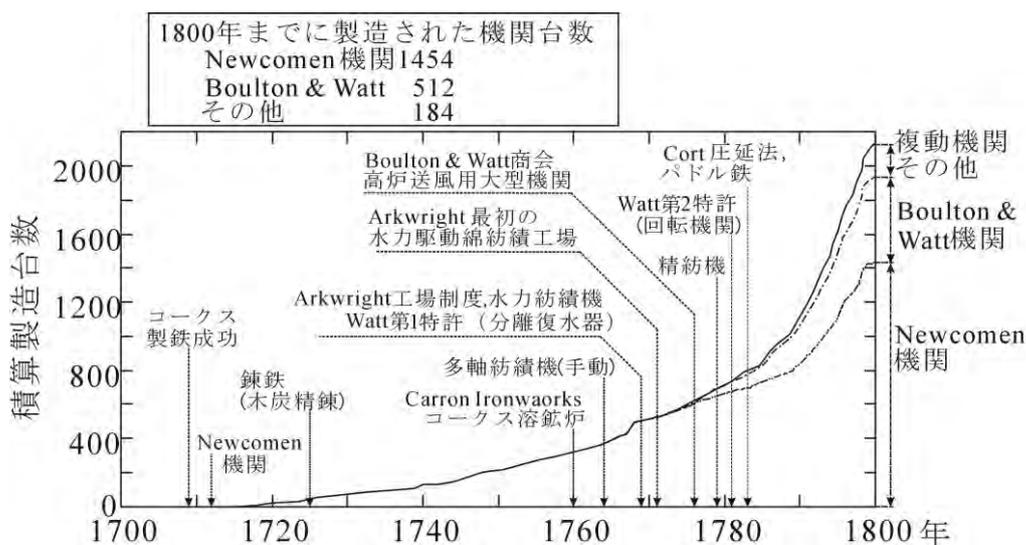


図1 蒸気機関製造台数の推移 (参考文献[3, 4]に基づいて作成)

そうではない。1700年代後半から1800年代前半の英国はまさしく産業革命期にあったが、農業生産性の上昇と余剰労働力の都市への集中、港湾、道路、橋、運河など輸送手段の整備発展と相まって、産業分野としてはまず綿工業が、のちに鉄鋼などの産業分野が大きく伸展した。1750年代では英国の全輸出品目中で綿製品の占める割合は精々1%であったが、1800年代には40%弱を占め、1830年代には50%を超えるまでになった。それとは逆に羊毛製品は当初の47%程度から順次減少し、13%程度までに低下し、相対的優位を綿製品に譲ったことになる。一方の鉄鋼は1800年代初めにはおおよそ10%で、生産高成長率は7%程度と非常に高かった[4]。そのような状況にあっても、図中に示しているように、1770年ころに建設された紡績工場における紡績機は水車駆動であった。つまり動力需要の規模、単機出力の規模としてそれほど大きなものが必要でなかったのだろう。

1780年以降、Watt機関の製造台数が着実に増加しているとはいえ、1800年においてもNewcomen機関が依然として増加し続けている事実が重要である。つまり長年にわたる実績と製造台数に依存した低価格、構造の簡単さと制御の簡単さなどが背景理由で、新技術自身に内在する様々な問題を克服し、社会に受け入れられるにはかなりの時間を要したことになる。

図2には1700~1900年ころの代表的と思われる機関出力を示している。1700年代を通じて、大気圧機関は精々数10kWであり、100kW級は1800

年以降に高圧機関として出現している。これら高圧機関は出力と効率の面で水車動力利用のメリットを凌駕し始めたのが1830年代で、1835年の統計によれば当時の英国における綿工場数は1113、その工業で使用されていた蒸気動力の合計は約22500kW、一方、依然として用いられていた水力は約7300kWであったという[4]。

表1はボイラ材料、ボイラ形式、製鉄技術などの関係を取りまとめたものである。当初のNewcomen機関ではボイラ材料には銅が用いられ、シリンダは真鍮製で、製造にははんだ付やろう付が用いられていた。1709年にはすでにコークス製鉄に成功していたが、Coalbrookdaleでコークス溶鉱炉が稼働し、本格的な鉄の時代に到達するには、50年近い年月を要したことになる。ボイラに錬鉄（当初は木炭製錬）が用いられ始めるのが1725年ころである。当時の技術では大型の鉄板が作れず、60cm程度の小さい錬鉄を手打ちハンマーで

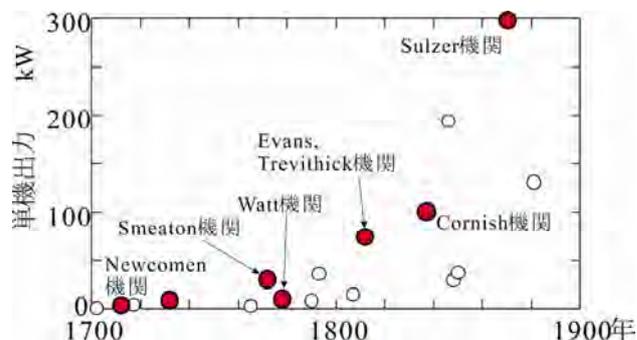


図2 単機出力の推移[2]

表 1 ボイラ形式と関連技術（参考文献[4, 5]に基づいて作成）

年代	1705～1712	1712～1775	1775～1802	1802～1811	1812～1850	1850～	1855～
ボイラ材料	銅		錬鉄（当初は木炭精錬，後にパドル鉄）	铸铁	錬鉄（パドル鉄）	鋼 铸鋼 ベッセマー鋼	
機関	Savery機関	Newcomen機関	Watt機関	高压ボイラ			
ボイラ形式	球形ボイラ	樽型ボイラ	ワゴンボイラ	樽型ボイラから円筒型ボイラへ	円筒型ボイラ（本格的な丸ボイラ） 1812～コルニッシュボイラ， 1844～ランカシャーボイラ		
製鉄技術	A. Darby I, Coalbrookdaleにおいてコークス製鉄(1709年) 1760年 Carron Ironworksでコークス溶鉱炉稼働		H. Cort: 圧延法(1783年) パドル法(1784年)	1806年 銑鉄の87%が炭田地帯で生産 1830年代に始まる鉄道事業と共に鉄鋼需要増大	A. Krupp: 铸鋼大量生産(1850年)	H. Bessemer: 転炉法によるベッセマー鋼(1855年)	

ベット止めしていたようである。機械式のリベット打ち機が登場するのは 1800 年代に入ってからであった。

ボイラ形式についてみると，当初は球形であったが，Newcomen 機関の樽型（英語では Haystack boiler，ドイツ語では Faßkessel，ここではドイツ語準拠）ボイラから Watt らのワゴンボイラ，高压機関では近代に通じるコルニッシュボイラやランカシャーボイラのように円筒型へと変化し，材料や加工法も順次変化していった。このようにボイラ技術は，鉄鋼技術やここでは省略しているが加工技術，水処理技術（例えば船用機関では当初，海水をそのまま利用していたためトラブルが頻発していた）などボイラを取り巻く周辺技術の発展に，完全に同時並行ではないにしても，大きく依存している。このことは他の技術においても同じである。新技術は周辺技術が完全に用意された中で進展するものではないことを，技術に係るもののみならず社会に対しても知ってもらふ必要がある。

さて，このころの蒸気機関の価格は，たとえば復水器タイプのボイラ 1 基と機関 1 基の組み合わせで，15kW クラスで£750，30kW クラスでは£1200 程度であった[6]。1835 年の英国における教師の年収は£82，医師が£200，技師（高級技術者，海軍でいえば機関将校クラスや検査官など）が£400 程度であった[7]。当時の蒸気機関は技術者の年収でも 2～3 年分に相当する，かなり高価であったことになる。最近の船外機エンジンの価格をみると 30kW クラスで 60～70 万円であり，2010 年 30 代後半の平均年収 430 万円に比べて 1/7～1/6 であり，相当安くなっている。

3. 機関出力上昇に伴うボイラ破裂問題

1800 年に Watt の特許が切れ，ボイラは高压化に向かうことになる。ボイラ圧力の上昇は飽和蒸気サイクルを前提とすれば，必然的に蒸気温度の上昇を伴った。図 3 は 1712 年から 1960 年までのボイラ圧力の変遷を示している。ボイラ圧力は 1840～1860 年，すなわち英国での産業革命期後に顕著に上昇し，1900 年ころには 2MPa に近いものまで出現している。

缶体そのものは錬鉄板やのちには鋼板をリベット止めしてあるとはいえ，ボイラ破裂事故が頻発することになる。図 4 はランカシャーボイラの破裂の様子を示している[12]。このような破裂の原因としては表 2 に示すように，不確定要因を除けば，製造上の問題が最も多く，続いて摩耗や腐食，運転上の問題，水処理上の問題などがそれに続いている。さらに深刻なのは原因が不確定である件数が全件数の約 45%を占めていることである。最悪の事故として記録が残る 1865 年 Sultana 号ボイラ破裂(乗船していた 2000 人のうち 1500 人が死亡)

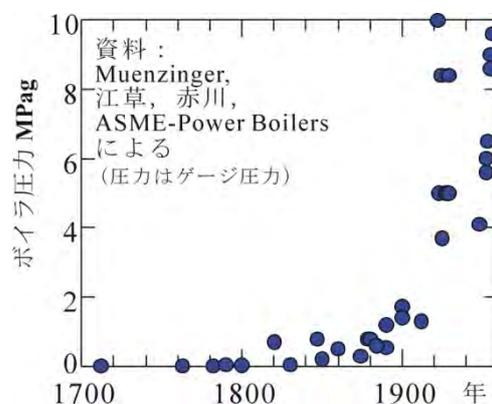


図 3 ボイラ圧力の変遷[8-11]

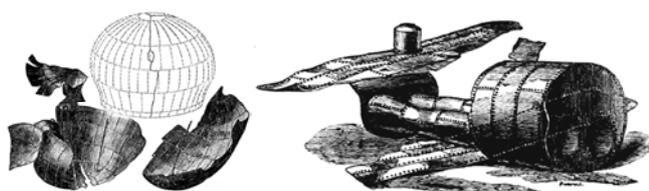


図4 ボイラ破裂[12]

は極端にしても1度の事故で10数人死傷というのは最近においても特に奇異な数値ではない。

蒸気圧力が上昇することは必然的に蒸気温度も上昇し、当時のボイラ用材料、製造技術からしてボイラ破裂が続発することになる。米国ではボイラ破裂事故の多発を受けて、1830年に Franklin Institute of Philadelphia がボイラ破裂の原因究明のための委員会を設立し、ボイラや材料強度に関する研究およびボイラ破裂の原因として考えられる様々な問題について研究を開始した[13-15]。

Franklin Institute の研究成果は1836年10月号の同協会誌に掲載された。調査された12項目に関する議論と共に、”have shown not only what are some of the causes of explosions, but, which is quite important, what are certainly not causes”と述べられている[15]。

当時の先進技術であるボイラにおいて、いまだ未知の事象や機構が残されているとき、安全であった実績を積み上げることこそ重要であるということだろう。これは規模が巨大になった現在のプラントについてもあてはまる。かつて武田康生がいったように、「われわれの設計した機械には、あ

んがいわれわれがわかっていないところが多いのである」[13]。

このような時代背景の中、英国では The Institution of Mechanical Engineers, IMechE (1847年) が、ドイツでは Verein Deutscher Ingenieure, VDI (1856年)、米国では The American Society of Mechanical Engineers, ASME (1880年) が設立された。その設立当初の構成メンバーとしては、いずれも技術の Professional と技術経営者やマネージャが設定されていた[16-18]。Proc. IMech. E.の第1巻(1847-1849年)の全掲載論文38件には、2件のボイラ破裂記事を含めてボイラ並びに鉄道用蒸気機関関連が10件、また当時問題となり始めた車軸の疲労を含めて鉄道車両関係が5件含まれている。

同じころ刊行された Zeitschrift für Bauwesen にも鉄道車軸の金属疲労研究の創始者ともいわれる August Wöhler の研究(1858年から1870年にかけて)が多く掲載されている[19]。我が国においても戦後の新幹線開発段階で、車軸はそれまで経験もなかったほどの高速走行を経験するため、綿密な研究が当時の鉄道技術研究所において行われた。しかし疲労や経年劣化という時間の関数でもある問題に対して、加速試験はあるものの、最終的には長期間の実車試験をするほかになく、鉄道技術研究所では営業運転中の新幹線からもデータを採取したという[20]。加速試験ができないボイラ、原子炉、タービンなども基本的には同様であろう。

さて、Franklin Institute の成果を受け継いだ

表2 1870年までのボイラ破裂件数と要因[12]

破裂原因	1866年6月までの破裂件数			1866年から4年間の破裂件数			1870年までの破裂件数
	英国	外国	小計	英国	外国	小計	合計
摩耗，腐食，焼損	92	53	145	89	5	94	239
過圧，過負荷	132	5	137	25	6	31	163
製造不良，管やフィッティングの強度不足，修理ミス	136	108	244	69	8	77	321
水処理不良，スケールや泥	106	8	114	28	2	30	144
火災など外部要因	6	3	9	2		2	11
その他不確定要因	247	150	397	6	325	331	728
合計	719	327	1046	219	346	565	1611

ASME は 1911 年にボイラコード委員会を立ち上げ、1919 年に ASME 定置式ボイラ製造コードを発行した[15]。同年、全米ボイラ圧力容器検査官協会 (NBBI) が発足した。NBBI は各州、各地域の代表的検査官から構成され、ボイラの修理、メンテナンス、検査会社、検査組織などの認証機関である。(具体的なボイラ検査・保険業者として米国では 1866 年に The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company が創立している)。それ以降、ASME によるボイラ製造にかかわる標準化とコードの維持管理および NBBI を中心とした“One Stamp, One Code, One Standard”の標語のもとでの第三者検査というボイラの安全確保の体制が出来上がっていったのである。

このようにユーザでもメーカでもない、ましてや行政でもない第三者によるボイラ検査の進行と行政における法的根拠づけによって、図 5 に示したようにボイラ破裂事故は 1900 年をピークとして急速に減少していった。このような第三者検査体制は船舶部門から始まっており、代表的なものを列挙すると、Lloyd’s Register (現在の形態になったのが 1834 年)、Bureau Veritas (1828 年)、Det Norske Veritas (1864 年)、American Bureau of Shipping (1862 年)、我が国では日本海事協会(1899 年創立の帝国海事協会が原型、船級部門を持ったのは 1915 年)などの船級協会、ドイツでは TÜV (1866 年設立の DÜV : Dampfkessel Überwachungs-Verein が原型)などが著名である[21]。

我が国では 1889 年に汽罐に関する国家的調査が行われ、1900 年に行政執行法第 4 条および同施行令第 2 条として「汽罐、汽機及びその付属装置につき危害を生ずるおそれありと認められるときは行政官庁はその使用を制限できる」とされた。1903 年には内務省警保局長より各府県長官あて「蒸気機関技術者取締に関する依命通達」が出された。つまり我が国においては当初、ボイラの検査は内務省の管轄であった。1935 年には内務省令第 20 号公布、従来地方庁で施行していた汽罐取締規則を統一整備した汽罐取締令が制定され、これによって罐体検査、汽罐の統一的な構造要件の制定、汽罐士制度が一応出来上がったことになる。検査の体制については従来、東京では警視庁が、各地方ではそれぞれの警察が行っていたが、1908 年に第一汽罐保険株式会社が創立し、1911 年には

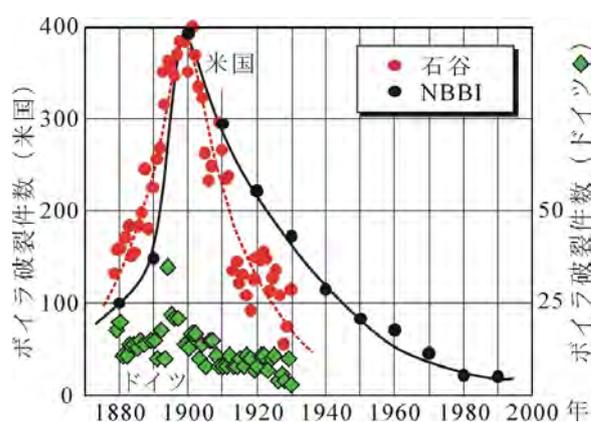


図 5 米国およびドイツにおけるボイラ破裂件数の推移[13-15]

警視庁から検査代行者に指定された。1935 年に汽罐取締令 14 条により更新検査の代行者に指定されるに及んでようやく民間による第三者検査体制がおおよそ出来上がった[22, 23]。

現在のボイラの検査は日本ボイラ協会や元の第一汽罐保険 (現在の損保ジャパン)、ボイラ・クレーン安全協会などの民間団体が行っている。

発電用ボイラの検査については 1911 年制定の旧電気事業法 (1935 年以降は発電用汽機汽罐取締規則) のもとで通産省が行っていた。1964 年に制定された新電気事業法のもとでは通産省が検査業務にあたっていたが、1970 年以降は発電用熱機関協会、のちの発電設備技術検査協会 (1985 年) が火力機器の溶接検査を代行するようになり、1985 年以降は発電設備の検査業務を担うようになっていく[24]。しかしその検査は原子力分野においては電力会社の自主検査の立会業務に限定されている。

4. 戦後の技術導入状況

明治以来、我が国は技術のみならず教育制度までも海外から導入したのは周知のとおりである。ここでは戦前の状況は別の機会に譲るとして、戦後の産業の状況について述べておきたい。

図 6 は戦後、我が国で建設された火力発電所の発電容量をプロットしたものである。1950 年ころではせいぜい数万 kW であったが、戦後復興が進むにつれて単機容量は増大し、1960 年では 20 万 kW 級、1970 年では 60 万 kW 級、そして 1980 年ころには 100 万 kW 級の火力発電所さえ建設され

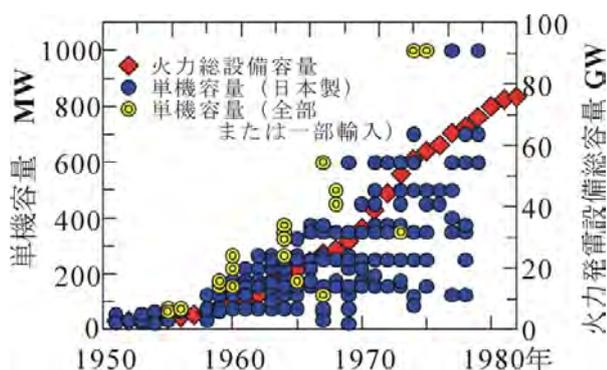


図6 戦後建設された火力発電所の単機容量 (参考文献[25]に基づいて作成)

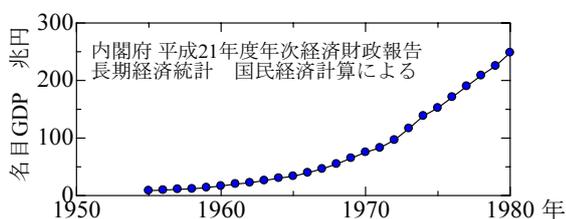


図7 わが国のGDPの推移

た。この建設の推移は図7に示した国内総生産GDP(名目値)の推移[26]と見事に整合している。そのような経済発展を支えたのが上記の発電設備であった。なかでも大容量発電設備は全部、もしくはその一部を海外、主として米国から輸入し、場合によってはボイラ、タービンとも海外企業から、いわゆるターンキー方式で導入したのも少なくない。

このような状況は国土再建に係る建設機械、発電、鉄鋼、船用主機、電気電子機器、石油化学など産業の全領域にわたる。戦中の技術的空白を埋めるために電力ははじめ各種製造企業はこぞって海外技術を導入した。技術の最重要基盤である鉄鋼では、当時の八幡製鉄をはじめ主たる鉄鋼メーカー6社が平板圧延技術や電縫管製造技術など、1951年からの5年間で100件を超える技術導入を行っている。続く5年間ではさらに増えて134件に達している[27, 28]。

技術導入の典型的なパターンは欧米企業との技術提携で、蒸気動力分野では三菱重工がCombustion Engineering, Westinghouse, Sulzerと、日立、東芝はGEと、石川島播磨重工はFoster

Wheelerと、川崎重工はVereinigte Kessel Werkeと、そして富士電機はSiemensと提携していた[26]。なお1950年から1963年までの間に外資法に基づく甲種技術援助契約は2,562件、外為法による乙種技術援助契約は2,847件に及んでいた[28]。日本の石油化学技術は戦後ほとんど海外技術のパッケージ買いで、原料や工程のフローシート、デザインマニュアル、運転マニュアル、製品検査マニュアルまで購入したという。

このような状況は原子力分野でも本質的には変わらない。福島第一原発では1号機はGEからのターンキー方式による導入であったし、2号機以降はGEと国内企業の共同建設段階を踏んで、現在の状況に至っている。火力の場合には当初建設されたものの発電容量や効率の点から一部を除いて運用停止、リプレース、リパワリングなどがなされているが、原発の場合には廃炉処置中の東海原発を除き、このようにして導入されたものが現在まで併存して運用されてきた。1970年に運開した比較的小容量の敦賀1号、美浜1号でも35万kW程度の出力があること、またこれらは運開以来すでに40年あまり経過しているが、圧力容器など基幹要素の寿命評価そのものがいまだ確立していない、つまり先に述べた新幹線車軸同様、商業運転を続けながら実績を積み、データを採取している状況であろう。このような状況は世界的にも共通している。

5. 技術発展の課題

大型技術の開発には時間と膨大な費用が必要となる。開発中に幾多のトラブル、事故に見舞われるのは当然である。1930年代半ばから当時のソ連で独自開発された火力発電用貫流ボイラの1形式であるラムジンボイラは15年間の開発期間中に約60件の重大なトラブルが発生した。このうち約40件は高温ガスからの高熱負荷を受ける伝熱管に関連し、技術開発上もっとも難しい問題であった。これらの諸問題を克服して初めて信頼性の高い商品になった[9]。新しい大型技術の場合には、かつてのボイラの高圧化に伴う破裂と同様、設計コンセプトは正当であっても材料技術、製造技術や制御技術、計測技術が同時並行的に進化しているわけではない場合が多い。

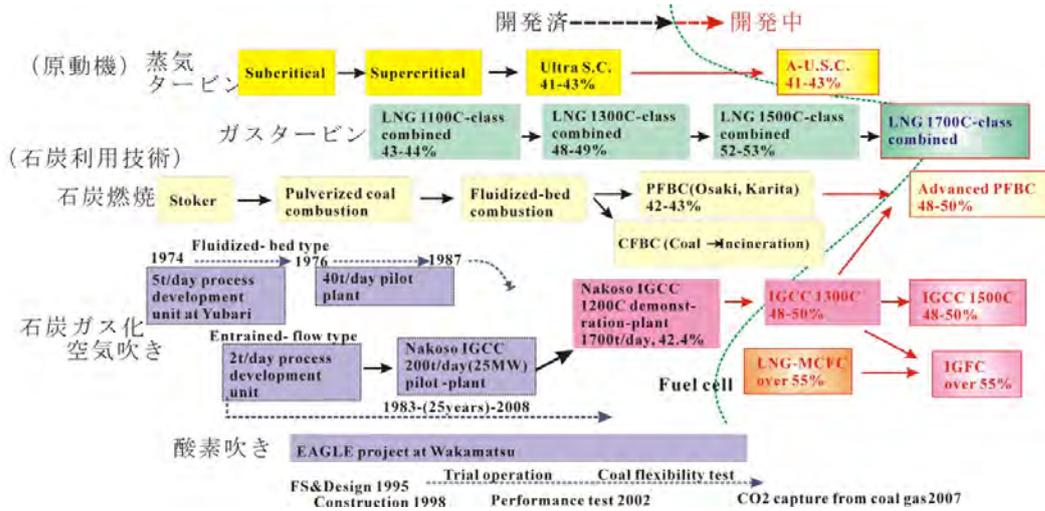


図 8 クリーンコール・テクノロジーの開発状況 (参考文献[31]をベースに作成)

別の事例をあげれば，1970年に試運転中の33万kW蒸気タービンロータ（重さ50トン）がほぼ4等分に破壊・飛散して4人死亡，61人重軽傷という多数の死傷者を出すとともに，一部は880m余りの距離にも達した．破壊の原因はロータ素材の欠陥であり，これ以降，製鋼技術が飛躍的に進歩し，結果的に信頼性の非常に高いタービンとして海外から高い評価を得ることとなった[29]．また1972年に当時国内最大級の海南発電所3号機（60万kW）においてもタンデム編成の蒸気タービン・発電機の試運転中にバランス不良が原因で軸振動を発生し，損壊，火災事故を起こした．この当時は海外との技術提携の時代で，回転軸のバランス技術が十分に確立していなかった時期でもある[30]．

図8は石炭燃焼技術を中心としたR&Dの状況を模式的に示したものである[31]．IGCC開発においても海外で主流の酸素吹きか空気吹きか，熔融灰に係る諸問題など非常に多くの問題を解決してようやく勿来の実証機が長期連続運転を達成したのであって，大型であればあるほどその開発期間は長くなり，開発のコストも高くなる．いくつかの実例をあげれば，PFBC（加圧流動層燃焼複合サイクル）については海外における研究開発から数えて約40年，国内においても20年，今開発中のA-USC（先進超超臨界圧ユニット）でも10年から15年といわれている．船用大型2サイクルディーゼルエンジンの開発には10年程度必要であり，そのエンジンが競争力をもって商売になるにはさら

に10年必要であるという．この競争力とは性能は当然であるが，まず実績とコストであろう．実績がなければコストは下ならず，コストが高ければ実績が積めないという矛盾はメーカとユーザの協力がなければ克服できない．

また各種機関の標準的な価格を熱出力ベースで見ると，船用大型2サイクルディーゼルではUS.\$100~200/kWt，ガスタービンで約US.\$80/kWt，微粉炭火力は約US.\$680/kWt，ガス焚き火力はUS.\$320/kWt，そしてIGCCは現状ではUS.\$800/kWt程度となる．石炭火力のコストが高いのは環境対策やハンドリングなどの設備に費用が掛かるためであろう．一方，ガス焚き給湯器や小型水管ボイラ，自動車などはいずれも約US.\$100/kWtである．すなわち動力分野では1kWあたり1万円程度というのが標準的であろう．設備の選定は販売価格だけでなく，燃料資源のコストやそのハンドリング費用を含むランニングコス

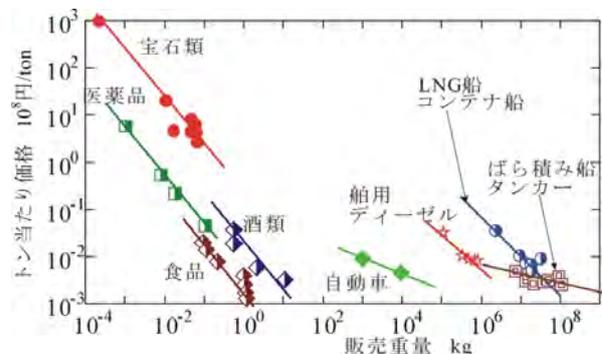


図 9 各種商品のトン当たり販売価格[32]

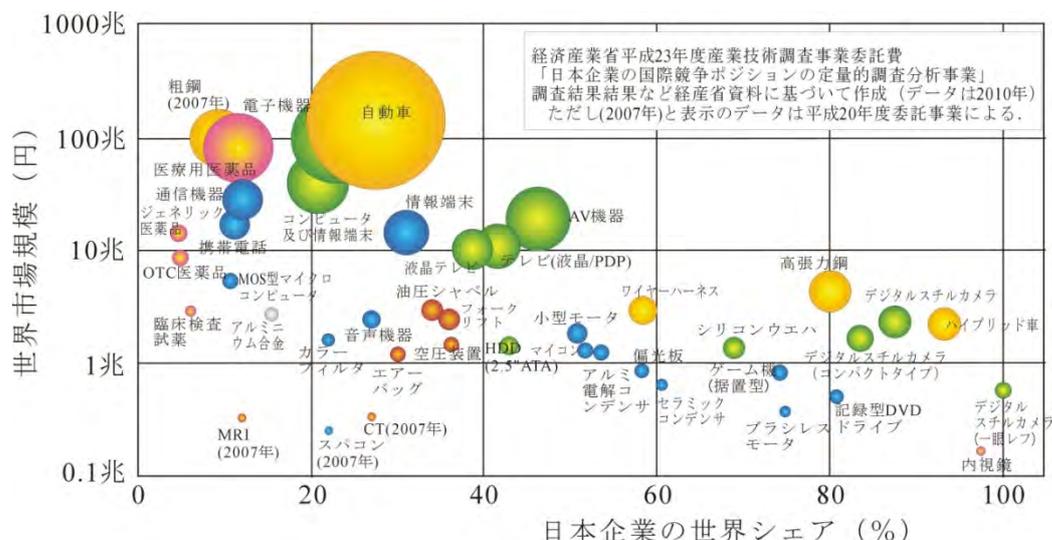


図 10 世界市場規模と日本の国際競争力（参考文献[34]に基づいて作成）

トやそもそもの資源埋蔵量，燃料供給国などにも依存した非常に大きな課題である。

このような商品価格について販売重量に対してみるとどのようになるのだろうか。図 9 は宝石，医薬品，食品などと自動車，船用ディーゼル，船舶，タンカーなどの工業製品を比較したもの[32]で，機械工学や熱工学，伝熱工学などが主として関与する分野では 1 トン当たり 100 万円がおおよその相場となる。特に大型タンカーはトン 50 万円レベルに位置していて，かなり安い。トン 100 万円というレベルは，販売重量すなわち 1 台の売上高は当然けた違いに大きい，味噌や醤油の市場とほとんど変わりはないのである。

2000 年ころの製品製造に係る消費エネルギー原単位のデータ[33]によれば，100 万円稼ぐのに化学製品で 70GJ，鉄鋼で 60GJ，紙・パルプで 50GJ，非鉄金属では 20GJ，食品類では 8~9GJ である。鉄鋼や化学はエネルギー多消費の産業と言える。消費エネルギーが少なく，かつトン 100 万円レベルであれば，その方が好ましいのは当然であるが，そもそもの市場規模がどの程度なのかについて配慮しなければ経済・産業戦略としてはおかしなことになる。

図 10 は日本企業の世界シェアに対する世界市場規模をプロットしたものである[34]。図中，円形の大きさは日本企業による売上高の大きさを相対的に表したものである。ここに示したデータは 2010 年度のものであるが，一部，2007 年度のデー

タ（2007 年と表示）も示している。日本の製造業の世界シェアの高い商品の市場規模は小さく，市場規模が大きいものについてはシェアが低いのである。

図 10 中で最もシェアが高いデジタルスチルカメラ（一眼レフ）はほぼ 100% のシェアを占めるが，世界の市場規模としては精々 5000 億程度にとどまる。一方，高張力鋼などは自動車分野の市場規模の大きさに依存して，5 兆円程度の市場規模を占めている。電子機器や自動車，医療用医薬品，粗鋼（2007 年度）はおおよそ 100 兆円の市場規模を有している。先端技術を駆使して長期間かけて開発しても，売上高，市場規模そのものも小さく，その分野・局所では妥当であっても，国全体での売上高にはなかなかつながらず，したがって大きな雇用の創出にもなりがたいものもある。我が国は半導体をはじめ先端的素材もしくはそれに近い部分では世界に冠たるものがあるが，素材そのものの市場規模は鉄を除いて小さく，シリコンウェハでも 1 兆円程度の市場規模にとどまっている。エネルギー戦略に見通しが悪い日本にあって，今後どのような方向に産業を推し進めるのか，課題は非常に大きいと言わざるをえない。

6. むすびに

明治以降，我が国は近代科学技術を積極的に，場合によっては政府主導で導入してきた。ボイラ，蒸気タービン，製鉄，造船など現在日本を代表す

る技術[35]すべてと言って過言ではない。さてそれら技術導入過程で，ボイラや船舶については機関故障，ボイラ破裂などが運転員，乗組員の生命に直接関わるためか，機器の導入と同時並行的に検査制度を導入し，当初は政府が，のちには民間による第三者検査制度を育ててきた。逆の言い方をすればそれら認証がなければ海外に輸出さえもできない状況を作り出したともいえる。いずれにしてもそれら第三者検査制度は技術をめぐる社会制度として非常に重要な役割を果たしてきたのである。この点は原発を論じる際には非常に重要な点である。

新技術が社会に受容される，というより「社会になじむ」といった方がいいだろうか，には時間が掛かる。場合によっては何世代にも亘る。その過程で，技術と社会をめぐり様々な相互作用[1]による問題が顕在化した，それらは政策的にあるいは技術的に克服されてきた。その過程の中で，技術のみならず社会そのものもその有用性のゆえに変化し，受容環境が整備されてきたのだろう。その意味で，まず技術者あるいは技術の専門家集団としての学会，企業，監督官庁などの組織の役割は極めて重要である。

著者の師である石谷は，大学紛争の只中であつた卒業生に対して技術者の社会的責任について「技術の発達についての見通しをたて，適時，適正にテーマを設定し，これを最低のコストで最短期間に開発すること，および，こうして開発された技術が生産の現場で運用されるのを，その専門的能力を駆使して援助すること，この両者が技術者の職分であり，これを完全に果たすことが技術者の第一の責任である」，そして「第二は，一般人の理解しえない特殊な専門をもつ人が，一般国民に対して負う責任である。言い換えれば『国民に対して警告する責任』である」と説いた[36]。石谷の言わんとするところは技術の Professional の社会的責任であり，技術者，そして技術経営者も含めて専門家，専門家集団は社会に対して重要な責任を有すると説いたのである。我々技術に係るものは，単に自らの分野だけにとどまるのではなく，絶えず社会の動向，技術の動向を時空間的に俯瞰しておくこと，また社会に対してメリットもデメリットも含めて説明しておくことが求められる。一つの技術の周辺には数百数千の技術が，そ

してそれら技術に直接・間接に関与する多数の人たちが，さらに周囲も含めれば数万，数十万の人々が関係しており，それら総体として見ておく必要があると考える。

本稿の執筆中に，本特集の企画者である関西大学梅川尚嗣教授より，かつての帝国海軍における臨機調事件[37]の解決において重要な役割を果たされた久保田芳雄元海軍少将（当時，機関大佐）の回顧録[38]の所在を教えられた。その手記の中に「優良なる設計は計算尺より生まれるに非ずして，歴史を勉強し再び同じあやまちを繰り返さないことの信念を深くした」とある。この歴史の意味は年代順に並べた事象経過ではなく，設計の思想や方法，製造，社会的位置づけも含めたものであるはずで，さればこそ久保田機関大佐は臨機調事件に際して重要な役割を果たされたのだと思う。

さて，本稿では，ここ数年来の著者の雑念を並べた結果，予定ページ数が大幅に超過したものになってしまったが，伝熱工学分野の研究や技術に深く関与されている会員諸氏の暇つぶしの読み物にでもなればと，希っている。

参考文献

- [1] 松本三和夫，科学技術社会学の理論，木鐸社（1998），p.140.
- [2] C. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall 編，R. J. Forbes 原著，石谷清幹，坂本賢三訳，第5章 動力，技術の歴史 7—産業革命/上，筑摩書房（1963），pp.125-139.
- [3] L. T. C. Rolt, J. S. Allen, The Steam Engine of Thomas Newcomen, Landmark Pub., Ashbourne（1993）.
- [4] 中西重康，蒸気機関の発明と産業革命について，日本機械学会関西支部，第180回機械技術フィロソフィ懇話会資料（2010）.
- [5] 小林学，蒸気機関用ボイラの発達と材料技術との関係に関する研究，科学史研究，41-221(2002), pp.14-24.
- [6] R. L. Hills, Power from Steam - A History of the Stationary Steam Engine, Cambridge University Press, Cambridge（1989）.
- [7] The Marteau Early 18th-Century Currency

- Converter, Nominal annual earning for various occupations in England and Wales, <http://www.pierre-marteau.com/currency/indices/uk-03.html>
- [8] F. Münzinger, Dampfkraft - Wasserrohrkessel und Dampfkraftanlagen, Verlag von Julius Springer, Berlin (1933).
- [9] 江草龍男, 貫流ボイラ, オーム社 (1962).
- [10] K. Akagawa, Thermal and Hydraulic Design of Steam-Generating Systems, S. Ishigai ed., Steam Power Engineering - Thermal and Hydraulic Design Principles, Cambridge University Press, New York (1999), pp.204-322.
- [11] M. D. Bernstein, L. W. Yoder, Power Boiler - A Guide to Section I of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME Press, New York (1998), pp.213-215.
- [12] E. B. Marten, Records of Steam Boiler Explosion, E. & F. N. Spon, London (1872).
- [13] 石谷清幹, 工学概論, コロナ社 (1972).
- [14] 厚生労働省作成資料 (1998).
- [15] A. M. Greene, Jr., History of the Boiler Code, ASME (1953).
- [16] R. H. Parsons, History of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1947, IMech. E, London (1947).
- [17] Technik, Ingenieure und Gesellschaft - Geschichte des Vereins Deutscher Ingenieure 1856-1981, VDI Verlag, Düsseldorf (1981).
- [18] F. R. Hutton, A History of the American Society of Mechanical Engineers from 1880 to 1915, ASME, New York (1915).
- [19] 日本材料学会疲労部門委員会, 金属疲労研究の歴史 (1988).
- [20] 中村宏, 物と事と生の研究史—新幹線台車・金属疲労寿命・生命観, 永田文昌堂 (1997).
- [21] 第三者検査機構研究会編, 我が国の第三者検査機構を語る, 第三者検査機構研究会 (1987).
- [22] 日本ボイラ協会, 最近におけるボイラの発達 (1956).
- [23] 安田火災海上保険, ボイラ検査 80 年史 (1991), および 安田火災百年史 (1990), pp.285-297. .
- [24] 発電設備技術検査協会, 発電技検二十年史 (1991).
- [25] 宇治田惣次, 玉井幸久, ボイラ技術の歩み, 火力原子力発電, 31-12 (1980), pp.1315-1367.
- [26] 内閣府, 平成 21 年度年次経済財政報告 (長期経済統計, 国民経済計算) (2009).
- [27] 並川宏彦, 戦後昭和期の産業技術と社会, 日本機械学会関西支部機械技術フィロソフィ懇話会配布資料 (2012.5.23).
- [28] 外国技術導入要覧 1965 年版, 重化学工業通信社 (1965), pp.25-33,.
- [29] 三菱重工業長崎造船所資料館資料.
- [30] 火力発電技術協会, 火力発電用タービン発電機の事故防止について, 火力発電, 24-2 (1973), pp.199-202.
- [31] 犬丸淳, 原三郎, 1-1 技術開発の背景, 石炭ガス化複合発電の実現に向けて—実証機開発の支援と将来への研究展開—, 電中研レビュー, No.44 (2001), pp.11-12.
- [32] 赤木新介, エンジニアリングシステム設計工学, 共立出版 (1982), p.63.
- [33] 日本エネルギー経済研究所・計量分析ユニット編, エネルギー・経済統計要覧 (2012 年版), 省エネルギーセンター (2012), pp.82-83.
- [34] 経済産業省, 平成 23 年度産業技術調査事業委託費「日本企業の国際競争ポジションの定量的調査分析事業」調査結果による.
- [35] 松本三和夫, 船の科学技術革命と産業社会, 同文館 (1995).
- [36] 石谷清幹, 技術者の責任—石谷研卒業生への送別の辞にかえて— (1969).
- [37] 渋谷文庫調査委員会編, 「渋谷文庫」—旧海軍技術資料—と我が国造機技術の発達 (2001).
- [38] 久保田芳雄, 八十五年の回想 (1980). 2013 年 1 月末現在, <http://tng.sub.jp/85-kaisou.html> に掲載.

原子力利用に世論がめざすもの

What the Public Want in Nuclear Use

土田 昭司 (関西大学)

Shoji TSUCHIDA (Kansai University)

e-mail: tsuchida@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災における東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）を経験して、日本における世論は発電に原子力を利用することに反対あるいは慎重となる方向に大きく変化したといえるであろう。事故当時の菅直人総理大臣ならびに政権与党であった民主党は、原子力利用の一時的停止を命じると共に将来的に原子力利用を廃絶する政策を打ち出したこともあって、日本の主要報道機関には、原子力利用の廃絶を主張する報道を繰り返すものが少なくなかった。

しかしながら2012年12月に実施された衆議院選挙においては、原子力発電の継続に反対しない政策を明示した自由民主党が大勝して、原子力発電の廃止を公約した諸政党は期待していた議席数をほとんど得ることができなかった。このことは、日本の有権者の多くが原子力利用に伴う危険の評価と、日本経済の回復の望ましさを比較勘案して前者よりも後者を選択した結果と解釈されるであろう。

本稿では、土田らが実施したwebによる世論調査結果を紹介して、福島第一原発事故からおよそ半年後の世論の実態を確認する。その際、福島第一原発事故によって直接、間接の影響を強く受けた東北文化圏と東京都の住民と、福島第一原発事故からの直接の被害を全く受けなかった九州七県と大阪府の住民の世論を比較する。また同時に、地方圏（東北文化圏、九州七県）と大都市圏（東京都、大阪府）の住民の世論についても比較検討する。

そして、これを受けて、原子力政策について自らは積極的に発言しようとする大多数の人々（サイレント・マジョリティ *Silent Majority*）の世論を、事故や災害などの危険に遭遇した場合の意識に着目して社会心理学の立場から考察する。

さらに、安全の多義性にもとづいて世論が求める安全について考察する。

2. 社会調査に表れた世論の地域差

原子力発電に関する世論調査は、政府機関や新聞社、学会などさまざまな組織によって行われてきている。ここでは、土田らが行った社会調査[1]をもとに福島第一原発事故半年後の世論の概略を見てみたい。

調査は、web調査の形式で、2011年10月13日～17日に実施された。

調査対象者の母集団として、次の4地域が設定された。1) 東北文化圏 [東北六県+新潟県] N=1,000。2) 東京都 N=500。3) 大阪府 N=500, 4) 九州七県 [沖縄を除く] N=500。調査会社 [(株) インテージ] の20～59歳の登録モニターから、9,119名に調査依頼を行った。依頼に応じて回答した者は3,015名であった (回収率=33.1%)。回答者から、平成22年の国勢調査結果を基に性年齢と居住県による割り当て法により無作為に有効回答者が抽出された。有効回答者数は、2,500名であった (有効回答率=27.4%)。

調査では、以下の質問がなされた。1) 各地域のコミュニティ特性、2) 防災・減災についての認知と日頃の防災・減災行動、3) 原子力発電と福島第一原発事故についての認知、4) リスク認知特性、5) パーソナリティ特性と価値観、6) 個人属性。

ここでは、原子力発電と福島第一原発事故についての認知に関するいくつかの質問項目への回答結果を報告する。なお、ここで報告する質問項目は5件法 (1:否定, 3:どちらでもない, 5:肯定) によって測定された。

図1は、原子力発電に対する賛否、原子力発電の必要性認知、原子力発電への不安感の結果である。

どの調査地域においても回答者は，原子力発電には反対であり，必要性も認めず，高い不安感をもっていった．統計的には，東北文化圏において他の地域よりも有意に（1%水準）原子力発電に反対し高く不安を覚えていた（Appendix 1）．

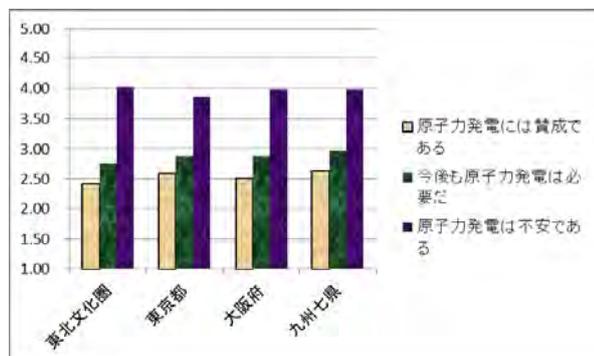


図1 原子力発電への賛否・必要性認知・不安感

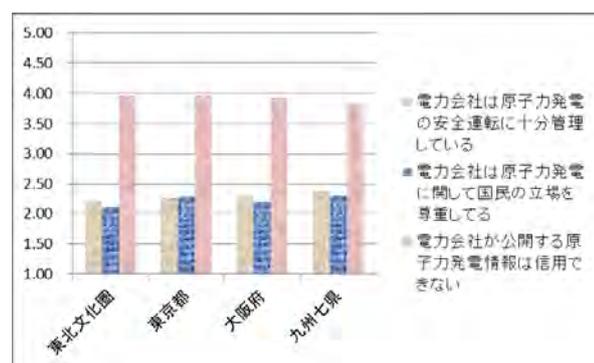


図2 電力会社への信頼

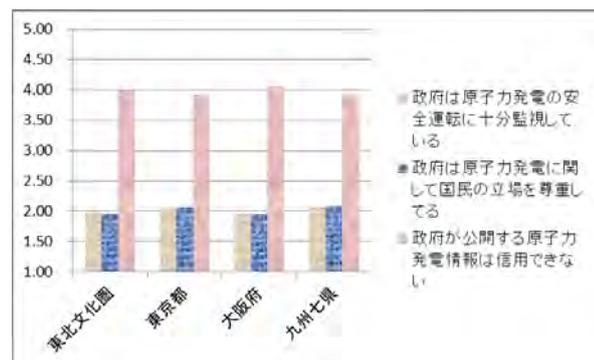


図3 政府への信頼

原子力発電についての電力会社への信頼は，5件法で平均値が2 或いは4 程度になるほどに極端に低かった（図2）．電力会社は，原子力発電の安全運転を十分管理してはならず，国民の立場も尊重せず，また，公開している情報は信用できない，

ことは疑いの余地はないと大多数の調査対象者が回答したことをこの結果は示している．

政府への信頼は，電力会社への信頼よりもさらに低かった（図3）．

福島第一原発事故が発生してしまった原因についての認識は，図4 に示したように過半数（51.0%）の回答者が，政府や電力会社の対応の仕方のために事故が生じた，すなわち，事故は人災であると認識していた．回答者の27.2%は，事故の原因は地震や津波にある，すなわち，天災であると認識していた．原子力発電の仕組みそのもの，あるいは，福島第一原発の施設が旧型であったためと認識していた回答者は合わせても2割弱であった．このことは，大部分の回答者は，人災か天災かの認識の違いはあるものの福島第一原発事故は何か特別な事象があったために発生したと認識しており，原子力発電所の仕組みそのものが過酷事故を起こす性質を持っていると認識していた回答者は少数であったことを示している．

ただし，その特別な事象として多くの回答者は「政府や電力会社の対応の仕方」の問題を指摘しており，このことは政府や電力会社に管理責任を追求する気持ちが反映した結果であるともいえる．また，政府や電力会社の対応の仕方が改善されない限りは，原子力発電所において同じような過酷事故がまた発生することを世論は予測していることを示しているとの解釈も可能である．

なお，この質問の回答に地域差はみられなかった（Appendix 2）．

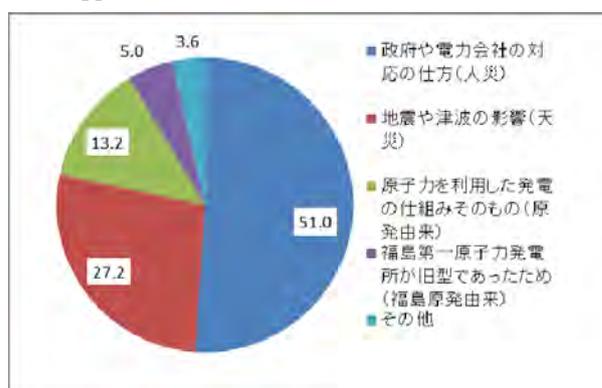


図4 福島第一原発事故の原因

福島第一原発事故による放射能汚染についての認識には，東日本の回答者と西日本の回答者に有意差が認められた（図5，Appendix 1）．

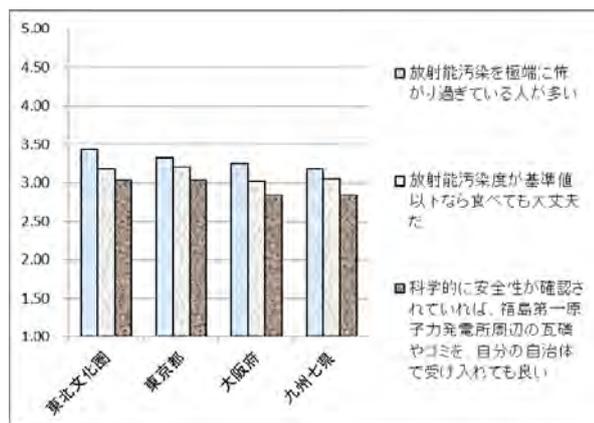


図5 放射能汚染に対する態度

東北文化圏と東京都に住む東日本の回答者は、大阪府と九州七県に住む西日本の回答者よりも、福島第一原発事故による放射能汚染を、極端に怖がり過ぎている人が多いと認識しており、放射能汚染度が基準値以下の食品であれば食べても大丈夫だと認識していた（図5）。また、科学的に安全性が確認されていれば、福島第一原子力発電所周辺の瓦礫やゴミを、自分の自治体で受け入れても良いとする意見にも、西日本の回答者よりも東日本の回答者のほうが高く同意していた（図5）。

以上のように、福島第一原発事故からおよそ半年後の世論は、原子力利用に対して強く否定的であった。すなわち、原子力発電の受容と原子力発電の必要性を否定して、原子力発電への強い不安が表明されていた。この傾向は、福島県を含む東北文化圏において特に強くみられた。

これと関連して、辻川ら[2]は、上記と同じデータなどを用いて、東北地方における原子力発電所立地県である福島県、宮城県、青森県の住民の原子力発電に対する意識構造の2009年と2011年の比較分析を行っている。その結果、2009年に比べて2011年（福島第一原発事故からおよそ半年後）には、原子力発電が必要であると考えても原子力発電を受容しない傾向が高まっていること、原子力発電の管理機関に対する信頼が原子力の不安感と必要性認知を規定する傾向が強まっていることを明らかにしている。

しかしながら、放射能汚染についての意識は、東日本（東北文化圏，東京都）の住民のほうが、西日本（大阪府，九州七県）の住民よりもより受容的であった。放射能汚染の脅威が自分の日常生

活の問題となっていた多くの人がいる東日本の住民が、福島第一原発事故による放射能汚染の脅威がまったくない西日本の住民よりも、放射能汚染を科学的に受容しようとする意識を形成した心理的メカニズムは、2012年末の衆議院選挙において原子力利用を否定しない政党を大勝させた選挙民の心理的メカニズムにも通じるものがあると思われる。以下にこの点について詳述する。

3. 危険に遭遇したときの人間心理

事故などの社会災害だけではなく自然災害をも含めて危険に遭遇したときの対応を、広瀬[3]は「制御可能性」と「被害の程度」という二要因によって類型化している。

ここで制御可能性とは、危険な事態を安全に収束させる能力が自分にあるかどうかをいう。広瀬は、事故そのもの、あるいは事故によって生じた被害から逃れる能力、すなわち、知識・行動力・資金などが自分にはあると認識している場合（＝制御可能性あり）と、そのような能力は自分にはないと認識している場合（＝制御可能性なし）では、危険に遭遇したときの対応が異なるとしている。図6は、広瀬の類型化を対応行動の量と被害評価量とによって図示したものである。

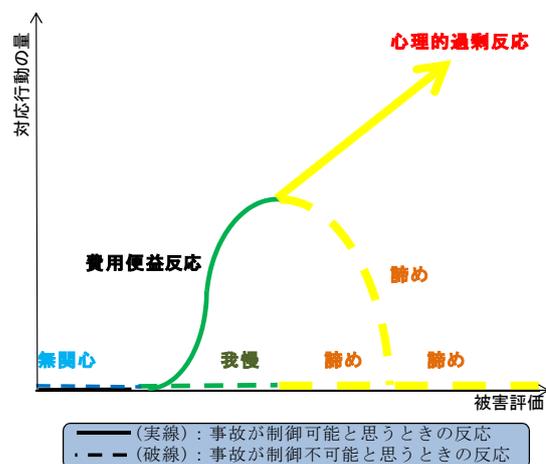


図6 危険に対処する人間の反応

自分には制御可能性があると認識している場合には、[1-A]被害の程度が閾値以下で無視しうるほど小さければ人は事故に対して無関心である。

[1-B]被害の程度が閾値を超えるが極端に大きくはなく、自分に制御可能であると認識している場合には、人は費用便益反応、すなわち、費用便益比

が高い合理的・理性的対応をとる。[1-C] 被害の程度が極端に大きな場合には、自分には制御可能性があると思いついていても実際には事故や被害を制御することはできない可能性が高い。そのような場合には、焦りなどの心理的負担も発生して不適切な対応を繰り返す心理的過剰反応が生じやすい。

これに対して、自分には制御可能性がないと認識している場合には、[2-A] 被害の程度が閾値以下であれば人は事故に対して無関心である。

[2-B] 被害の程度が閾値を超えるが極端に大きくはない時には、人は事故や被害を我慢しようとする。[2-C] 被害の程度が命に関わるなど極端に大きな場合には、自分には制御可能性がないと認識していれば諦めの境地に至る。実際、旅客機の墜落事故現場から墜落間際に書かれたと思われる家族などに向けた遺書が回収されることがあるが、それらのほとんどは自分の運命を受け入れたことを示す内容である。

また、人間には、危険を目の前にしたときに事態を安全であると認識しようとする心理メカニズムがある。これを正常性バイアスという。具体的には、例えば、ビルの中で火災報知器のベルが鳴ったとしても、本当に火災が起きていると認識するよりも、火災報知器が故障したのであって火災は起きていないと認識するほうが一般的であろう。正常性バイアスが生じるのは、人間に自己正当化の強い欲求があるからである。健全な精神とは自己を肯定する認識によって保たれている。自己を否定して、自分を価値の無いものとみなし、自分の存在は脅かされていると認識することは人間にとって最も大きな苦痛の一つである。したがって、自分が危険に巻き込まれていると認識することを避けようとする心理メカニズムを人間は持っている。「自分は守られるべき大切な存在である。その自分が危険な目に遭うはずがない。」との信念によって生じるのが正常性バイアスである。

また、認知的不協和理論[4]による多くの研究が明らかにしてきたように、自己正当化の強い動機のもとに、人間には自分にとって都合のよい情報だけに接触しようとする性質がある。そのため、自分が危険に巻き込まれようとしている兆候があったとしても、意識的にせよ、無意識的にせよ、自分が被害を受けることを示す情報は無視してし

まう傾向がある。

本稿で報告した世論調査の結果では、福島第一原発事故による被害・影響を最も深刻に受けた人々がいる東北文化圏において、原子力発電に対して最も否定的な世論が形成されていた。しかし同時に、福島第一原発事故による放射能汚染被害に対して最も冷静な反応を示したのも東北文化圏であった。

このことが生じた主たる要因は、東北文化圏の人々が放射能・放射線による健康影響について科学的な正しい理解を深めたことであると解釈すべきであろう。しかしながら、それ以外の心理的要因も介在している可能性を無視すべきではない。すなわち、放射能汚染に曝された人々に正常性バイアスがはたらいていた可能性がある。また、東北文化圏の人々が現実の放射能汚染に制御可能性があると思うことができずに無力感に陥っていたのであれば、我慢や諦めの心理が判断に影響していた可能性も否定できない。

さらに、西日本の人々は放射能汚染を現実には受けていないことから、放射能・放射線による健康影響について自分には制御可能性がある（例えば、東北地方には旅行をしない、被災がれきを受け入れない、等）と知覚しやすく、放射能汚染による被害の程度が極端に大きなものだと思う者ほど心理的過剰反応が生じて放射能汚染の害を過大評価した可能性もある。

繰り返すが、福島第一原発事故から半年後の世論は、原子力発電に対して極端なほどに否定的であった。この時期には、原子力発電に反対するデモ活動などに参加する人々だけでなく、いわゆるサイレント・マジョリティにおいても原子力発電に対して否定的な世論が形成されていたとみるべきであろう。

しかしながら、事故から1年半後の衆議院選挙では、原子力発電を容認する政策が支持された。衆議院選挙戦が行われていた時期においても、報道機関や政治家の主張では原子力発電を廃止する論調が強かったのであるから、衆議院選挙の結果はサイレント・マジョリティによる世論が原子力発電を容認する方向に変化したことを反映しているとみるべきであろう。

サイレント・マジョリティによる世論が原子力発電を容認する方向に変化したのは、福島第一原

発事故から1年半が経過したなかで，原子力発電の安全性についての理解が深まり，また，放射能・放射線による健康影響についての理解も深まったためであると解釈することもできる。

原子力発電は，元来，一般の人々にとっては自分が直接に制御可能なものではない。一般の人々にとって原子力発電の制御可能性は，原子力発電を担う組織や人々が信頼できるかどうかにかかっている。原子力発電を担う組織や人々が原子力発電を安全に制御できていると信頼できることによって，自分自身の制御可能性感覚を得るのである。原子力発電を担う組織や人々が信頼できない場合に，一般の人々が制御可能性を保持しようとするならば，原子力発電を止めさせようとする活動をするしかない。2012年の衆議院選挙の結果は，サイレント・マジョリティが原子力発電を担う組織や人々に対して一定程度の信頼を保持していることを示していると解釈することも可能である。

しかしながら，2012年の衆議院選挙の結果に，福島第一原発事故の記憶が少しずつにせよ薄まって行くにつれて正常性バイアスの効果が現れた可能性はないであろうか。

また，原子力発電について自分に制御可能性あるとは思えないならば，我慢や諦めによって対応することになる。原子力発電はどうしようもないのだと我慢や諦めによって投票判断した人はいなかったのであろうか。

今後とも詳細に検討する必要があるであろう。

4. 世論が求める安全

福島第一原発事故の前においては，原子力発電所の事故は，仮に発生したとしても外部に影響を及ぼすほど甚大なものではなく，その被害は閾値以下であるとサイレント・マジョリティは知覚していたであろう。そのため，サイレント・マジョリティは原子力発電に対して無関心であって，そのことが結果として原子力発電を受容する世論となってあらわれていた側面もあるであろう（土田[5]を参照）。

これに対して，福島第一原発事故の後においては，サイレント・マジョリティにおいても原子力発電の事故被害が閾値以下に知覚されることは考えにくく，無関心ゆえの受容という世論が形成されることはもはやないといえるであろう。

今後の原子力発電に対する世論は，安全対策が十分になされているかどうか，日本の経済・社会にとってどれほど必要性があるのかなどが吟味された上で形成されて行くであろう。

それでは，世論は原子力発電に対してどのような安全を求めていくであろうか。

日本語の安全は多義的であって，いくつかの側面がある[6-8]。

その一つは，セキュリティ（security）である。セキュリティとは，危険の発生確率を最小化するという意味での安全である。すなわち，事故を起こさないようにするという安全である。

あと一つは，セイフティ（safety）である。セイフティとは，危険による被害の程度を最小化するという意味での安全である。すなわち，事故が起きたとしても，それによる被害を可能な限り小さくするという意味での安全である。

さらに，必ずしも安全の範疇には入らないかもしれないが，世論が求める安全に関わる概念にレジリエンス（resilience）がある。レジリエンスとは，字義的には弾力的な回復力を意味する。ここでは，レジリエンスを「事故による被害をいったんは受け入れて，しかし，可能な限り速やかに，かつ，効果的に被害から回復する能力」と定義したい。

福島第一原発事故以前において，原子力発電に対して世論が求める安全はセキュリティだけであった。原子力発電においては，事故だけではなく，事故とはいえないほどの比較的軽微な不具合であっても「あってはならないこと」として世論は厳しく糾弾してきた。

世論は，原子力発電に事故は起きてはならないものであり，起きるはずのないものとの前提をおいていたため，逆に，原子力発電所で事故が起きた際の安全対策（＝セイフティ）や，事故からの速やかな復旧を可能とする事前の対策（＝レジリエンス）を求めることはなかった。むしろ，セイフティ対策やレジリエンス対策を行うことは，セキュリティが破綻する可能性を前提にするのであるから，原子力発電が安全ではないことの証明であると世論から糾弾されることもあった。

けれども，福島第一原発事故において被害が拡大した要因は，セイフティ対策やレジリエンス対策が十分ではなかったことであると，政府や国会

などの事故調査委員会は指摘している。

今後，世論は，事故を起こさないセキュリティとしての安全はもちろんのことであるが，それに加えて，たとえ事故が起きたとしても甚大な被害を発生させないためのセイフティとしての安全対策，そして，事故から効率的かつ速やかに復旧するためのレジリエンス対策が十分になされているかを問うであろう。

参考文献

[1] 土田昭司, 辻川 典文, 塩谷 尚正, 中川 由理, 東日本大震災にみる日本人の被災意識：東北・首都圏・関西圏・九州での Web 調査 (1), 日本リスク研究学会第 24 回年次大会予稿集 (2011)

[2] 辻川 典文, 土田昭司, 塩谷 尚正, 中川 由理, 東北地方原子力発電所立地地域での原子力発電に対する態度構造の変化, 日本リスク研究

学会第 25 回年次大会予稿集 (2012)

[3] 広瀬弘忠, 人はなぜ逃げ遅れるのか：災害の心理学, 集英社新書 (2004)

[4] Festinger, L., A theory of cognitive dissonance, Row, Peterson (1957)

[5] 土田昭司, パブリックアクセプタンスと公的規制・情報公開, 日本リスク研究学会誌, **8-1** (1997) 96-104

[6] 辛島恵美子, 社会安全学構築のための安全関連概念の再検討, 社会安全学研究, **1** (2011) 153-177

[7] 土田昭司, 福島第一原発事故におけるクライシス・コミュニケーション, 火力原子力発電, **63-12** (2012) 38-43

[8] 土田昭司, 事故の社会心理, 関西大学社会安全学部 (編) 事故防止のための社会安全学, (2013) 182-198

Appendix 1

原子力発電・放射能汚染への態度	東北文化圏	東京都	大阪府	九州七県	F(df)
	mean	mean	mean	mean	
原子力発電には賛成である	2.42	2.59	2.52	2.64	5.1(3/2496)**
今後も原子力発電は必要だ	2.77	2.89	2.89	2.98	ns
原子力発電は不安である	4.03	3.87	3.99	3.98	4.1(3/2496)**
電力会社は原子力発電の安全運転に十分管理している	2.20	2.27	2.28	2.38	3.3(3/2496)*
電力会社は原子力発電に関して国民の立場を尊重している	2.11	2.28	2.19	2.29	4.8(3/2496)*
電力会社が公開する原子力発電情報は信用できない	3.97	3.97	3.93	3.83	ns
政府は原子力発電の安全運転に十分監視している	1.97	2.04	1.95	2.06	ns
政府は原子力発電に関して国民の立場を尊重している	1.96	2.06	1.95	2.08	3.1(3/2496)*
政府が公開する原子力発電情報は信用できない	3.98	3.92	4.05	3.93	ns
政治的な理由で原子力発電に対する対応が遅れている	4.12	3.97	4.15	3.99	4.6(3/2496)**
放射能汚染を極端に怖がり過ぎている人が多い	3.44	3.32	3.25	3.17	5.8(3/2496)**
放射能汚染度が基準値以下なら食べても大丈夫だ	3.17	3.20	3.02	3.05	3.0(3/2496)*
科学的に安全性が確認されていれば，福島第一原子力発電所周辺の瓦礫やゴミを，自分の自治体で受け入れても良い	3.03	3.03	2.84	2.84	4.9(3/2496)**

**：p<.01, *：p<.05

Appendix 2

福島事故で放射能汚染が大規模化した原因	東北文化圏	東京都	大阪府	九州七県	χ 2 (df)
	% of "yes"	% of "yes"	% of "yes"	% of "yes"	
政府や電力会社の対応の仕方 (人災)	51.8	52.0	53.8	45.8	ns
地震や津波の影響 (天災)	26.3	25.2	26.0	32.4	
原子力を利用した発電の仕組みそのもの (原発由来)	13.2	14.0	12.6	13.0	
福島第一原子力発電所が旧型であったため (福島原発由来)	5.8	5.0	4.4	3.8	
その他	2.9	3.8	3.2	5.0	

日本伝熱学会特定推進研究課題について

*On the Subjects of Specific Promotion Researches
in Heat Transfer Society of Japan*

宇高 義郎 (特定推進研究企画委員会委員長, 横浜国立大学)

*Yoshio UTAKA (Chairperson of Specific Promotion Research Planning
Committee, Yokohama National University)*

e-mail: utaka@ynu.ac.jp

1. はじめに

日本伝熱学会は 2011 年に創立 50 周年を迎え、第 48 回 (岡山) から第 49 回日本伝熱シンポジウム (富山) までの 1 年間にわたり、創立 50 周年事業が実施されました。50 年を総括するための特別行事あるいは新事業の立ち上げなどが企画され、伝熱シンポジウム、記念式典、国際賞 The Nukiyama Memorial Award の新設、記念出版、国際会議、伝熱セミナーなど様々な記念事業が遂行され大きな成果を挙げたことは、記憶に新しいところです。同時に、第 50 期笠木伸英会長から、本学会の節目として、次の 50 年に向けた本会の将来構想が諮問され、将来検討委員会から答申が提出されました[1]。答申の提言に基づき、今第 51 期に設置された本特定推進研究企画委員会 (表 1) が現在活動を行っています。ここでは特定推進研究課題の企画に関する途中経過を報告いたします。

2. 特定推進研究課題について

特定推進研究課題の目的を表 2 に示しました。各課題はその特性に基づき、(1) - (7) の項目のうちからいくつかの項目を目的として選択することが可能ですが、特に(5)項を共通的な基本事項としています。本学会から公的なファンディング機関・組織へ研究シーズを発信し、社会的に重要な研究課題を成立させてゆくことが、本学会から外部へのつながりを強め、また伝熱研究による社会への貢献を進めていくために重要と考えています。

昨年 8 月と 11 月に公募しましたが、現在のところ検討を進めてきた本委員会委員からの提案を主体とする 4 つの特定推進研究課題が決定されました。本委員会では、さらに研究課題について検討を進めておりますが、会員の皆様の積極的な参加が不可欠です。要項および申請書は学会ウェブに掲載されていますので、皆様の提案をお待ちしております。

表 1 特定推進研究企画委員会構成

委員長	宇高義郎	(横浜国立大学)
幹事	宗像鉄雄	(産業技術総合研究所)
委員	飯山明裕	(日産自動車)
	小澤 守	(関西大学)
	黒坂俊雄	(神鋼リサーチ)
	鹿園直毅	(東京大学)
	高松 洋	(九州大学)
	中別府 修	(明治大学)
	花村克悟	(東京工業大学)
	円山重直	(東北大学)
	吉田英生	(京都大学)
オブザーバー	笠木伸英	(科学技術振興機構)
	門出政則	(佐賀大学)

表 2 特定推進研究課題の目的

- | |
|---|
| (1) 新規研究領域 (学術体系) の開拓・構築 |
| (2) 研究領域の深化・拡大・応用展開 |
| (3) 学際的研究開発: 他の学術分野 (多様な学協会) との研究交流・協力 (他分野委員の参加) の開拓 |
| (4) 産業界との連携: 産業界からの委員の参加を得て、産業界における課題から進むべき研究開発の方向性探求 (先進的技術課題に係る学術展開), あるいは新規学術等を基盤とする技術の産業界や民生器機への応用展開 (産学共同研究) |
| (5) 研究シーズの発信: 外部組織 (省庁, JST, JSPS, NEDO など) への学術的方向性 (国策) あるいは提案型大規模予算などの立案・提言 |
| (6) 研究による社会貢献: 社会への積極的な研究プロセス, 成果等の発信 |
| (7) 研究プロジェクトによる本会の活性化, 特に若手研究者の研究動機付け・育成 |

3. 特定推進研究課題の概要

特定推進研究の 4 課題の概要を以下に紹介します。

「波長選択ふく射輸送とエネルギー変換」

主査	花村克悟	(東京工業大学)
幹事	森本賢一	(東京大学)
委員	牧野俊郎	(京都大学)
	宮崎康次	(九州工業大学)
	高原淳一	(大阪大学)
	鈴木雄二	(東京大学)
	若林英信	(京都大学)
	戸谷 剛	(北海道大学)
	鈴木基史	(京都大学)
	芹澤良洋	(新日本製鐵)
	若林 勉	(大阪ガス)
	黒坂俊雄	(神鋼リサーチ)
	桑原正史	(産業総合研究所)

概要：従来、ふく射の分光学的アプローチとしては、反射率などふく射性質を明確にすることに力が注がれてきた。本研究では、この物質の本質的なふく射性質に、人為的な周期的微細構造を表面に施すことにより、特定の波長域におけるふく射エネルギー輸送量を増大させ、その波長域に対応する光起電力電池を用いた発電システムあるいは選択波長フィラメント光照明など、遠方まで輸送される伝播成分ならびに放射体表面近傍にのみ存在する近接場光（エバネッセント波）成分について、その波長制御を機軸とした質の高い画期的なふく射輸送あるいはエネルギー変換を目指すことを目的とする。

「エネルギー極限利用のための大フラックス輸送ダイナミクス」

主査	鹿園直毅	(東京大学)
幹事	津島将司	(東京工業大学)
	田渕雄一郎	(日産自動車)
委員	飯山明裕	(日産自動車)
	長谷川洋介	(東京大学)
	荒木拓人	(横浜国立大学)
	井上 元	(京都大学)
	岩井 裕	(京都大学)
	篠原和彦	(FC-Cubic)

概要：電池等の新規エネルギーデバイスの低コスト化を実現する上での最大の鍵は出力密度の向上であり、これからのエネルギーデバイスは高出力密度・高エネルギー密度・大ダイナミックレンジに向かうと予想される。しかしながら、物質とエ

ネルギーの輸送過程における不可逆損失も、熱、物質、イオン、電子の輸送フラックス（流束）の増大とともに増加する。従って、輸送フラックスが従来よりも極端に大きい“大フラックス”場における輸送現象の不可逆損失を低減させることが、エネルギー極限利用のための最重要課題となる。そこで本研究課題では、大フラックス場を含む広い運転条件での輸送ダイナミクス現象を解明し、物質とエネルギー輸送促進のための理工学を構築することを目標とする。新たな計測技術、シミュレーション技術の研究開発が不可欠であり、挑戦的課題に満ちた研究領域が広がっていることから、本学会が先導的役割を担い、牽引していくべき研究課題であると考えらる。

「気候モデルにおける重要要素に関する基礎的検討と非専門家への翻訳、さらにその予測精度の評価に向けた検討会」

主査・幹事	吉田英生	(京都大学)
副主査	草野完也	(名古屋大学)
委員	江守正多	(国立環境研究所)
	大西 領	(海洋研究開発機構)
	桑原不二朗	(静岡大学)
	富村寿夫	(熊本大学)
	村田 章	(東京農工大学)
	吉田篤正	(大阪府立大学)

概要：20世紀末から現在にかけて、大気中の二酸化炭素濃度増加を原因とする地球温暖化説の下に、その抑制をスローガンに挙げて世界およびわが国の大勢が動いている。この二酸化炭素による地球温暖化説は The Intergovernmental Panel on Climate Change のレポートを主な論拠にするものであり、その中心は気候モデルによる将来予測である。

気候モデルは、太陽からのふく射をエネルギー源として、地球の海洋・大陸・大気中におけるさまざまな熱物質輸送過程をモデル化して総合した極めて複雑な数値シミュレーションコードである。機械系に軸足を置く本会の大部分の会員の研究対象と比較すると、そのスケールと複雑さの相違は著しいが、現象の各要素や素過程はまさに本会会員の専門とするところでもある。そこで、気象学者にその検討を全面的に任せるのではなく、本会会員の視点から中立的な第三者としてメスを入れ、

非専門家への橋渡しをするとともに、その予測精度の評価を試みることは極めて重要であると考えられる。

とはいつても、専門家自身にとっても困難な検討を本会員がいきなり試みることが容易でないのは明白である。さらに、そもそも気候モデルの研究を本業としていない本会会員の中で、本研究に相当な労力を割いて貢献いただける方は極めて限定されると思われる。そこで、まず学会外部の専門家にも参画いただき、また学会内部では事前にプロパーと思える方に打診して前記のような少数精鋭で進めさせていただくこととした。

「伝熱工学が作る医療機器の新展開」

主 査 谷下一夫 (早稲田大学)
 副主査 円山重直 (東北大学)
 幹 事 小宮敦樹 (東北大学)
 委 員 山田幸生 (電気通信大学)
 山田 純 (芝浦工業大学)
 白樫 了 (東京大学)
 高松 洋 (九州大学)
 石黒 博 (九州工業大学)
 多田幸生 (金沢大学)
 山家智之 (東北大学)
 関 隆志 (東北大学)
 岡島淳之介 (東北大学)
 大山健太郎 (アイリスオーヤマ)
 小林弘祐 (北里大学)

桑名克之 (泉工医科工業)
 小島正之 (国際医療福祉大学)
 森尾康二 (医工連携推進機構)
 柏野聡彦 (三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング)
 藤江正克 (早稲田大学)

概要：低侵襲診断治療の実用化や再生医療の実現化を目指す医療イノベーションが加速的に進んでおり、医学と工学の融合が益々強まり、先端工学的医療現場への導入が益々盛んになってきている。特に伝熱現象を基盤とする先端的な診断治療技術が進んでいるが、国内での伝熱工学に関わる医療ニーズと技術シーズのマッチングは必ずしも進んでいない。そこで、伝熱研究者と医療関係者・医療機器メーカーとの橋渡しを可能にする場を創生して、医療ニーズと先端的な伝熱工学のシーズとのマッチングを実現させ、伝熱工学を軸とする革新的医療機器開発の基盤を構築する事を目的とする。さらに、この基盤を基に将来の伝熱医療機器産業を創成させて、我が国独自のものづくり技術を医療分野に活用させる。

なお、これらの課題に関心をお持ちの方は、学会事務局へお問い合わせください。

参考文献

[1] 笠木伸英, 将来検討委員会からの答申を受けて, 伝熱, **51-216** (2012), 3-11

IFHT2012 開催報告

International Forum on Heat Transfer 2012

宮崎 康次 (九州工業大学)

Koji MIYAZAKI(Kyushu Institute of Technology)

e-mail: miyazaki@mech.kyutech.ac.jp

1. フォーラム概要

日本伝熱学会が主催で 2004 年に京都で第一回 [1, 2], 2008 年に東京で第二回が開催され [3], 第三回目となる IFHT2012 が 2012 年 11 月 13 日から 15 日まで (レセプション 12 日), 長崎ブリックホール (長崎市) で開催されました. 年々重要さを増しているエネルギー技術をメインテーマとして, キーノート招待講演, セッションを計画しました. 本会主催, ICHMT (International Centre for Heat and Mass Transfer) 協賛, 他国内のエネルギーに関連する学協会, 海外は ASME 日本支部, フランス伝熱学会, 韓国機械学会など多くの学協会の協力を頂くことができ, 結果としてフォーラム参加者数は 229 名と過去 2 回の国際会議よりも大幅に増え, 全参加者の 25%にあたる 58 名が海外からの参加者 (表 1) と盛況な国際フォーラムとなりました. 特に国際情勢上難しい時期だったにも関わらず, 遠いところから足を運んで下さった各国先生方には非常に感謝しております. これは本会が今回新たに国際賞として設立した抜山記念賞の受賞式と受賞者記念講演を本フォーラム中に設定して頂いたことも大きかったと思っております.

フォーラムの構成は, 前日の午後をレセプションとし, 3 日間でキーノート招待講演 6 件 (表 2), 7 つの一般セッションとしました. 発表形式はこれまで通り, ショットガン発表 (90 秒) とポスターセッション (60 分) の組み合わせとしました. 発表数が多くなってもパラレルセッションとならないこの方式は, 参加者が伝熱研究の幅広い現状を把握する意味で良い機会になっているかと思えます. 抜山国際賞の授賞式と記念講演を 2 日目の午後とし, その後稲佐山のガーデンテラス長崎ホテルへ会場を移し, バンケットを行いました. さらに最終日には, 三菱重工のご協力を得て, 三菱重工長崎造船所史料館の見学ツアーを企画しました. 当初, 先着 40 名で募集したツアーでした

表 1 IFHT2012 参加者国別内訳

国	参加者数
韓国	25
中国	16
ドイツ	5
アメリカ	4
南アフリカ	2
台湾	2
オーストリア, チェコ, アルジェリア, シンガポール	各 1
日本	171

が, 募集人員をオーバーしての参加希望があり, 非常に盛況でした.

2. キーノート講演

キーノート招待講演については, 本フォーラムのメインテーマであるエネルギー技術を念頭におきながら, 欧米アジアの地域バランスと年齢のバランスを考慮しながら, 特に若手に講演していただけるよう実行委員会で慎重に議論致しました

表 2 キーノート招待講演

“Nanoscale Heat Transfer for Energy Applications” Gang Chen (Massachusetts Institute of Technology)
“Recent Advances in Impinging Jets” Sung Jin Kim (Korea Institute of Technology)
“Entropy and Entansy” Zeng-Yuan Guo (Tsinghua University)
“Multi-Dimentional/Multi-Variable Laser Diagnostics and DNS in Turbulent Combustion Research” Mamoru Tanahashi (Tokyo Institute of Technology)
“Microscopic Observation of Water Transport Phenomena in PEM Fuel Cell using Freezing Method” Takemi Chikahisa (Hokkaido University)
“Thermofluidic Phenomena in the Heat Transfer of Supercritical Fluid: Thermoacoustic Wave, Piston Effect and Thermal Convection” Peng Zhang (Shanghai Jiao Tong University)

表3 ベストプレゼンテーション賞

Session 1	“Effects of Amplitude-modulated Ultrasonic Vibration on Supercooling of Water” Yukio Tada, Yohei Yoshida, Akira Takimoto, Hajime Onishi (Kanazawa University)
Session 2	“Measurement of Critical Heat Flux and Heat Transfer Parameters in Pool Boiling Using Infrared Thermometry” Jaehoon Jung (KAIST), Jungho Kim(University of Meryland), Sung Jin Kim (KAIST)
Session 3	“Development of Oblique Wavy Fin Heat Exchanger” Naoki Shikazono, Mitsuru Inoue (The University of Tokyo), Tsunehito Wake, Yasuhito Wake, Shiro Ikuta(Wake Factory, Inc.)
Session 4	“Study the Thermoelectric Properties of the Ultralong Double-walled Carbon Nanotube Bundles by Using a Novel T-type Method” Tingting Miao, Weigang Ma, Xing Zhang, Jialin Sun(Tsinghua University)
Session 5	“About the Cooling of Power Components in Automotive Electric Drive Trains” Marcus Schmidt, Helmut Eichert, Sebastian Hauschwitz, Peter Stütcke (West Saxon University of Applied Science of Zwickau)
Session 6	“Molecular Dynamics Study on Liquid-Vapor Interface of Carbon Chain Molecules” Gyoko Nagayama, Masaki Takematsu, Takaharu Tsuruta(Kyushu Institute of Technology)
Session 7	“An Analysis of Quantum Effect on the Thermodynamic Properties of Cryogenic Hydrogen” Hiroki Nagashima(Tohoku University), Shin-ichi Tsuda(Shinshu University), Nobuyuki Tsuboi(Kyushu Institute of Technology), Mitsuo Koshi(The University of Tokyo), Koichi Hayashi(Aoyama Gakuin University), Takashi Tokumasu(Tohoku University)



図1 レセプション (フォーラム前日)



図2 オープニング (高田組織委員長)

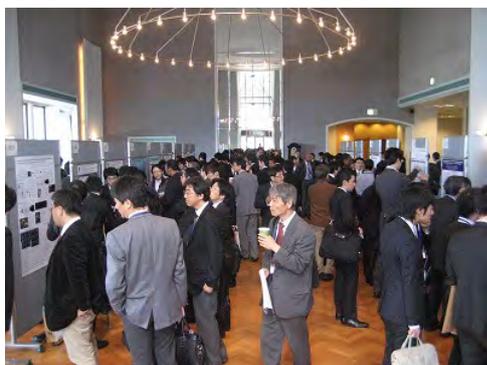


図3 ポスターセッションの様子



図4 キーノート講演でのディスカッション



図5 Peter Stephan 教授 受賞記念講演



図6 バンケットの様子



図7 プレゼンテーション賞表彰式



図8 IFHT を歓迎する路面電車広告

(表2). 結果として, それぞれの研究主体も理論, 解析, 数値計算, 実験と多岐にわたり, 現象もナノ, マイクロから連続体までマルチスケールとなっており, 伝熱研究がいろいろな場面で重要となっていることを実感できました.

3. ベストプレゼンテーション賞

国内外問わずベストプレゼンテーション賞となると学生表彰のための制度のようなところもありますが, 今回はそのような学生, 教員, 研究者といったような区切りをつけず, 1セッションにつき1テーマとして厳正に審査いたしました(表3). 当然ですが平均 20 テーマ程度発表があるセッションで受賞を1件に絞る作業はかなり無理があることを感じたとともに, それだけに1番(ベスト)ということの重みを実行委員側として改めて認識させられる結果となりました. 表彰は発表者に成果を実感していただくため, セッション最後にその場で行い, 賞状と副賞として長崎の地酒を贈呈致しました. 学生を含め, 時の運なく賞を逃した方々には, 次回も果敢にプレゼンテーション賞を目指していただきたいと思っております.

おわりに

今回の実行委員メンバーは九州地区を中心に構成されており, 特に開催地となった長崎地区の委員方々には, バイトの動員, 会場手配, 見学ツアーの計画など大変お世話になりました. さらに長崎コンベンション協会からは, 会議運営費の助成もいただくなど財政面からも地元の支援を受けることができました. 多くの皆様方にご参加いただき, 無事, 本フォーラムを終えることができましたこと, 実行委員を代表し, この紙面をお借りして厚く御礼申し上げます. 次回は東北で行うことが決まっており, 是非, 本会員の方々には, 次回も積極的に参加していただきたいと存じます.

参考文献

- [1] 円山重直, 第1回国際伝熱フォーラムの経緯, 伝熱, **44-184** (2005) 1.
- [2] 中部主敬, 第1回国際伝熱フォーラム(IFHT2004)実行委員からのご報告, 伝熱, **44-184** (2005) 3.
- [3] 中別府修, 第2回国際伝熱フォーラム(IFHT2008)(東京), 伝熱, **47-201** (2008) 38

九州伝熱セミナー in 由布院 報告
 Report of Kyushu Heat Transfer Seminar in Yufuin

長山 暁子 (九州工業大学)

Gyoko Nagayama (Kyushu Institute of Technology)

e-mail: nagayama@mech.kyutech.ac.jp

初冬のみぎり、九州支部の主催の「2012年九州伝熱セミナー in 由布院」が12月7日(金)、8日(土)の二日にかけて大分県由布院温泉で開催されました。

昨年度は、日本伝熱学会50周年記念にあたり「九州の伝熱研究—過去と未来の50年」と題しました。今年度は「これからの伝熱研究」と題して講演会を企画しました。初日は3名の先生方、二日目は4名の先生方による計7件の講演会を行いました。図1にセミナーのプログラムを示します。1時間の招待講演では、ベテランの先生方から長年磨き上げた研究内容をそれぞれの職場経験や異なる分野の角度から分かりやすくお話をいただきました。どれも普段ではなかなか聞けない貴重なお話ばかりで参加者にとって非常に充実した時間となりました。30分の若手講演では、3名の若手先生から現在携わっている研究内容をご紹介いただきました。在外研究の経験談や写真などを交えながら、参加者達、特に若い学生達にはよい刺激

となったのではないかと思います。講演会以外にも九州伝熱セミナーならではの楽しい時間が設けられました。露天風呂で湯布院の山々を眺めながら温泉に浸かり、四方山話で花が咲くひと時も、「これからの伝熱研究」のヒントを得られるのに役に立ったのではないかと思います。夕食会では、おいしいビールと地元大分の新鮮な食材をふんだんに使った料理のおかげで、議論がより奥深く展開されまして、夜が更けても引き続きの懇親会で熱く語りあっていました。

最後に、ご多忙の中、遠方よりご講演いただきました講師の先生方々、当日の会場運営を支えていただいた教職員と学生の方々、そしてセミナー参加者の皆様に、事務局一同心よりお礼申し上げます。また、西部ガスの社員用保養施設の利用を快くお引き受けいただきました「ゆふトピア」の皆様にも厚くお礼申し上げます。

*講演資料や写真につきましては、九州支部 HP (http://heat.mech.kumamoto-u.ac.jp/htsj_kyushu/) をご覧ください。

12月7日(金) 13:00-17:00	講演会
「原子力技術とこれからの伝熱研究」	
信州大学	小泉 安郎 先生
「インクジェット薄膜形成の輸送現象—マランゴニー対流を中心に—」	
九州大学	深井 潤 先生
「鉄鋼業における冷却技術」	
新日鐵住金株式会社	芹澤 良洋 先生
18:30—	夕食・懇親会
12月8日(土) 9:00-11:40	講演会
「高圧水素急速充填中の高圧容器内の水素温度上昇と熱的特性について」	
佐賀大学	門出 政則 先生
「エンジンバラ大学における微小液滴内部の熱流動に関する研究」	
九州大学	濱本 芳徳 先生
「低GWP冷媒の凝縮および蒸発熱伝達特性」	
九州大学	近藤 智恵子 先生
「熱音響現象と往復振動流中の熱伝達に関する研究」	
北九州工業高等専門学校	小清水 孝夫 先生
12:00	閉会



図1 セミナーのスケジュール

図2 セミナー参加者

行事カレンダー

本会主催行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2013年					
5月 29(水) ～ 31(金)	第50回日本伝熱シンポジウム (開催場所: ウェスティンホテル仙台お よび仙台トラストシティ)	2013.1.18	2013.3.15	実行委員会委員長 圓山重直(東北大学流体科 学研究所) Tel: 022-217-5244 Fax: 022-217-5244 E-mail: nhts50@pixy.ifs.tohoku.ac.jp URL: http://web.tohoku.ac.jp/nhts2013/index.html	Vol.51, No.217 2012.10

本会共催、協賛、後援行事

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2013年					
4月 16(火) ～ 18(木)	第47回空気調和・冷凍連合講演会 (開催場所: 東京海洋大学海洋工学部 85周年記念会館)	2013.1.11	2013.2.22	日本機械学会 第47回空気調和・冷凍連合講 演会係(〒160-0016 東京都新宿区信濃町 信 濃町煉瓦館5階) Tel: 03-5360-3506 Fax: 03-5360-3509 E-mail: murayama@jsme.or.jp URL: http://www.env-jsme.com/	
6月 19(水) ～ 21(金)	(一社)日本計算工学会 第18回計算工 学講演会 (開催場所: 東京大学生産技術研究所)	2013.1.23	2013.3.29	一般社団法人 日本計算工学会 事務局 石 塚弥生, 講演会担当者 岡田裕 Tel/Fax: 03-3868-8957 E-mail: office@jsces.org , hokada@rs.noda.tus.ac.jp URL: http://www.jsces.org/koenkai/18/	
6月 20(木) ～ 21(金)	日本機械学会 第18回動力・エネルギー 技術シンポジウム (開催場所: 千葉大学西千葉キャンパ ス けやき会館)	2013.1.31	2013.4.30	幹事 太田匡則(〒263-8522 千葉市稲毛区弥 生町1-33 千葉大学大学院 工学研究科 人工シ ステム科学専攻) Tel/Fax: 043-290-3219 E-mail: ota@faculty.chiba-u.jp URL: http://www.jsme.or.jp/pes/Event/symposium.html	
6月 7月 30(日) ～ 4(木)	第32回熱電変換国際会議(ICT2013) (開催場所: 神戸国際会議場)	事前登録 2013.5.1	Abstract 2013.2.28	ICT2013 実行委員会委員長 舟橋良次(産総 研), 事務担当: 八野裕介((株)インターグループ) 〒531-0072 大阪市北区豊崎3-20-1 インタ ーグループビル Tel: 06-6372-3053 Fax: 06-6376-2362 E-mail: ict2013@intergroup.co.jp URL: http://ict2013.its.org	
7月 17(水) ～ 19(金)	(一社)日本能率協会 TECHNO-FRONTIER 2013 (開催場所: 東京ビッグサイト東展示 棟1-3ホール)			TECHNO-FRONTIER 事務局 担当 田部, 中 野, 前田 〒105-8522 東京都港区芝公園3-1-22 ((一 社)日本能率協会 産業振興第2ユニット内) Tel: 03-3434-0587(直通) Fax: 03-3434-3593 E-mail: tf@convention.jma.or.jp URL: http://www.jma.or.jp/tf	
11月 3(日) ～ 6(水)	The 8th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (8th ISEM'13-Sendai) (開催場所: 仙台市戦災復興記念館)	事前登録 2013.9.24	Abstract 2013.5.10 Full Paper 2013.8.1	日本実験力学会事務局担当 林 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1 (岡山理 科大学 工学部 機械システム工学科内) Tel: 086-256-9615 Fax: 086-255-3611 E-mail: office-jsem@mech.ous.ac.jp URL: http://jsem.jp/ISEM8/	

第 50 回日本伝熱シンポジウムのご案内

第 50 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

委員長 円山 重直

幹事 小宮 敦樹

開催日：平成 25 年 5 月 29 日（水）～5 月 31 日（金）

会場：ウェスティンホテル仙台 および 仙台トラストシティ

所在地 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 1-9-1 電話 022-722-1234（代表）

アクセス JR 仙台駅西口より徒歩約 9 分

仙台空港より JR 仙台駅まで「仙台空港アクセス鉄道」で最速 17 分

特別講演：

平成 25 年 5 月 30 日（木） 15 時 10 分～16 時（A 室）

講演者：東北大学加齢医学研究所 川島隆太 教授（予定）

題目：「スマート・エイジング ～脳科学の研究成果を社会実装する～」

総会：平成 25 年 5 月 30 日（木） 16 時 10 分～17 時 40 分（A 室）

事前参加申込締切：平成 25 年 4 月 12 日（金）

ホームページ URL：<http://web.tohoku.ac.jp/nhts2013/index.html>

【シンポジウムの形式】

- ・ 講演発表形式として
 - a) 通常的一般セッション（口頭発表）
 - b) オーガナイズドセッション（口頭発表）
 - c) 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッションを実施します。
- ・ 1 講演あたりの割当時間は、一般セッションでは 15 分（発表 10 分、個別討論 5 分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5 分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。オーガナイズドセッションについては、オーガナイザーの指示に従ってください。
- ・ 優秀プレゼンテーション賞セッションについては、本号掲載のお知らせ「優秀プレゼンテーション賞（第 50 回日本伝熱シンポジウム）について」をご参照ください。

【参加費等】

- ・ シンポジウム参加費
 - 一般（事前申込：12,000 円、会場申込：14,000 円）
 - 学生（事前申込：5,000 円、会場申込：6,000 円）
- ・ 講演論文集
 - 日本伝熱学会会員：無料（電子版はウェブ上で事前に公開します。参加者には当日印刷版・電子版を配布します。参加されない会員のうち希望者には電子版を事後にお送りします。）
 - 非会員：8,000 円（印刷版） 会場受付にて日本伝熱学会に入会を申し込まれる場合は無料となります。（年会費：正会員 8,000 円、学生会員 4,000 円、賛助会員 30,000 円）

【懇親会】

- ・ 開催日：平成 25 年 5 月 30 日（木）
- ・ 会場：ウェスティンホテル仙台
- ・ 参加費：一般（事前申込：8,000 円、会場申込：10,000 円 同伴配偶者無料）
学生（事前申込：4,000 円、会場申込：5,000 円）

【参加費等の支払い方法】

- ・シンポジウムのホームページから事前参加登録を行った後に、学会誌 2013 年 1 月号に挟み込まれた「払込取扱票」を用い、以下の記入例を参考にしてお支払い下さい。なお、郵便局にある一般の「払込取扱票」でもお支払いいただけます。その際は、記入例に準じた内容（参加登録 ID、参加者氏名、支払い内容、金額、代表者名、連絡先など）を記入してください。
- ・払込みをもって「事前申込完了」とします。ホームページからの登録だけでは「完了」ではありません。払込みが平成 25 年 4 月 13 日以降になった場合は当日登録扱いとし、会場受付にて差額をお支払いいただきます。
- ・4 月 13 日以降も 5 月 17 日までは、当日申込の扱いでウェブからの参加登録及び払込みを受け付けます。当日に受付でお渡しすべきものを予め準備しておく等の作業を行いますので、できるかぎりウェブからの登録および事前の払込みを行っていただけますようご協力をお願いいたします。なお、例年のように、シンポジウム当日の参加申込みもできます。
- ・銀行より振込まれる場合は、下記のゆうちょ銀行口座にお振込み下さい。その際、必ず 1 件ずつとし、氏名の前に参加登録 ID 番号を付けて下さい。

店名（店番）：二二九（ニニキュウ）店（229）

預金種目：当座

口座番号：0112438

口座名称（漢字）：第 50 回日本伝熱シンポジウム実行委員会

口座名称（カナ）：ダイゴジッカイニホンデンネツシンポジウムジッコウイインカイ

－ 記入例 －

登録IDは参加申込時に発行される「4桁の数字(予定)」です。

お支払いいただく項目を○で囲んでください。

振込手数料はご負担ください。

「通信欄」の合計金額をこちらにご記入ください。

一枚の用紙で複数の参加者の登録が可能です。本登録の代表者の方のご所属の連絡先・お名前・電話番号を「ご依頼人」の欄にご記入ください。

代表者のお名前をご記入ください。

この受領証は、大切に保管してください。

【講演論文集（電子版）】

- ・ 講演論文集（電子版）は、日本伝熱学会会員（2013 年度会員）の皆様に対し、ホームページにリンクされたウェブサイトを通じて公開します。公開日は 2013 年 5 月 22 日（水）を予定しています。特許に係わる公知日もこの日になります。
- ・ 電子版は、ホームページのトップページ（日本伝熱学会のホームページからもリンクが張られています。この場合には、日本伝熱シンポジウム） → 講演論文集（電子版）と辿っていただき、当該ページに入り、以下の閲覧 ID とパスワードを用いてログインの後、閲覧・ダウンロードすることができます。なお、このサイト上での講演論文公開は、従来から行ってきました日本伝熱学会会員への郵送による講演論文集 CD-ROM 事前配布に代わるものです。
- ・ 講演論文集（電子版）閲覧 ID : nhsts50sendai, パスワード : 2013sendai
- ・ シンポジウムで座長をご担当下さる皆様におかれましては、この電子版を当日のセッションの参考資料として下さい。

【講演論文の公開日】

- ・ 講演論文は、会員を対象に、シンポジウム開催日の 1 週間程前からウェブ上で公開します。
- ・ したがって、特許に関わる公知日は、シンポジウム開催日よりも早くなりますので、ご注意下さい。

【交通と宿泊】

- ・ 交通と宿泊につきましては、本シンポジウムのホームページをご参照ください。

【ご注意】

- ・ 口頭発表用として実行委員会事務局が準備する機器は、原則としてプロジェクタのみとさせていただきます。パーソナルコンピュータは各自ご持参ください。
- ・ 参加費、懇親会費等は参加取消の場合でも返金いたしません。
- ・ 本シンポジウムに関する変更事項については、随時ホームページ上に掲載しますので、ホームページをご参照下さい。
- ・ その他、ご不明な点がありましたら、実行委員会事務局まで e-mail または FAX でお問い合わせください。

【お問い合わせ先】

第 50 回日本伝熱シンポジウム実行委員会事務局
東北大学 流体科学研究所内
e-mail : nhsts50@pixy.ifs.tohoku.ac.jp
FAX : 022-217-5244

第50回日本伝熱シンポジウム[仙台] タイムテーブル[第1日: 5月29日(水)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室
A11 OS 水素・燃料電池1 9:00-10:20	B11 空調・熱機器1 9:20-10:20	C11 自然エネルギー1 9:20-10:20	D11 マイクロ伝熱1 9:00-10:20	E11 沸騰1 9:00-10:20	F11 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動1 9:00-10:20	G11 ふく射1 9:20-10:20	H11 自然対流・複合対流1 9:00-10:20	I11 多孔質体の伝熱1 9:20-10:20
A12 OS 水素・燃料電池2 10:30-11:50	B12 空調・熱機器2 10:30-11:50	C12 自然エネルギー2 10:30-11:50	D12 マイクロ伝熱2 10:30-11:50	E12 沸騰2 10:30-11:50	F12 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動2 10:30-11:50	G12 ふく射2 10:30-11:50	H12 自然対流・複合対流2 10:30-11:50	I12 多孔質体の伝熱2 10:30-11:50
A13 OS 水素・燃料電池3 13:10-14:50	B13 空調・熱機器3 13:30-14:50	C13 物質移動 13:10-14:50	D13 マイクロ伝熱3 13:30-14:50	E13 沸騰3 13:30-14:50	F13 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動3 13:10-14:50	G13 ふく射3 13:30-14:30	H13 自然対流・複合対流3 13:30-14:50	I13 凝縮 13:30-14:50
				SP1 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション 15:00-15:30	SP2 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション 15:00-15:30	SP3 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション 15:00-15:30	SP4 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション 15:00-15:30	
15:40-17:00		優秀プレゼンテーション賞 ポスターセッション (A室)						

第50回日本伝熱シンポジウム[仙台] タイムテーブル[第2日: 5月30日(木)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室
A21 特別セッション 9:30-11:30	B21 空調・熱機器4 9:00-10:20	C21 反応・燃焼 9:00-10:20	D21 マイクロ伝熱4 9:00-10:20	E21 沸騰4 9:00-10:20	F21 OS 非線形熱流体現象と伝熱1 9:00-10:20	G21 ヒートパイプ1 9:00-10:20	H21 バイオ伝熱1 9:00-10:20	I21 強制対流・噴流1 9:00-10:20
	B22 分子動力学1 10:30-11:50	C22 OS 燃焼研究の最前線1 10:30-12:10	D22 マイクロ伝熱5 10:30-11:50	E22 沸騰5 10:30-11:50	F22 OS 非線形熱流体現象と伝熱2 10:30-11:50	G22 ヒートパイプ2 10:30-12:10	H22 バイオ伝熱2 10:30-11:50	I22 強制対流・噴流2 10:30-11:50
A23 OS 水素・燃料電池4 13:10-14:50	B23 分子動力学2 13:30-14:50	C23 OS 燃焼研究の最前線2 13:10-14:50	D23 マイクロ伝熱6 13:30-14:50	E23 沸騰6 13:10-14:50	F23 OS 非線形熱流体現象と伝熱3 13:30-14:30	G23 ヒートパイプ3 13:10-14:50	H23 バイオ伝熱3 13:30-14:50	I23 強制対流・噴流3 13:30-14:50
15:10-16:00		特別講演 (A室)						
16:10-17:40		総会 (A室)						
18:00-20:00		懇親会 (A室)						

第50回日本伝熱シンポジウム[仙台]

タイムテーブル[第3日: 5月31日(金)]

A室	B室	C室	D室	E室	F室	G室	H室	I室
	B31 分子動力学3 9:00-10:20	C31 OS 燃焼研究の最 前線3 9:00-10:20	D31 マイクロ伝熱7 9:00-10:20	E31 沸騰7 9:00-10:20	F31 電子機器の冷 却1 9:00-10:20	G31 ヒートパイプ4 9:00-10:20	H31 OS 水素・燃料電 池5 9:00-10:20	I31 強制対流・噴 流4 9:00-10:20
	B32 分子動力学4 10:30-12:10	C32 OS 燃焼研究の最 前線4 10:30-12:10	D32 マイクロ伝熱8 10:30-11:50	E32 計測技術1 10:30-12:10	F32 電子機器の冷 却2 10:30-11:50	G32 凝固1 10:30-11:50	H32 OS 水素・燃料電 池6 10:30-12:10	I32 強制対流・噴 流5 10:30-11:30
			D33 マイクロ伝熱9 13:10-14:50	E33 計測技術2 13:10-14:50	F33 電子機器の冷 却3 13:10-14:30	G33 凝固2 13:10-14:30	H33 熱物性1 13:10-14:30	I33 混相流1 13:10-14:30
					F34 電子機器の冷 却4 14:40-15:40	G34 凝固3 14:40-16:00	H34 熱物性2 14:40-16:00	I34 混相流2 14:40-15:40

第 50 回日本伝熱シンポジウムプログラム（暫定版）

このプログラムは 2 月 26 日現在の暫定版です。修正・変更する場合があります。必ず、最新版を本シンポジウムホームページでご確認ください。著者として登録された方が同一時間帯のセッションで重複しないようにしておりますが、それ以外の個別のご要望には応じられないことをご了承ください。

第 1 日 5 月 29 日（水）

<A 室>

A11 9:00 - 10:20 OS 水素・燃料電池 1

- A111 PEFC 触媒層内の物質輸送特性の測定
*グエン フタン(東工大), 小野義隆(日産自動車総研, 東工大), 伏信一慶(東工大)
- A112 PEFC における傾斜マイクログループを用いた微細多孔体からガスチャネルへの排水性向上
*岡部晃(横国大院), 宇高義郎(横国大工)
- A113 PEFC 用 GDL 内液水分布モードの可視化および拡散抵抗の数値解析
*西田洋介(横国大工), 吉原圭亮, 荒木拓人
- A114 MPL および相変化を考慮した非等温球状アグロメレートモデルによる性能解析
*樋口勝(横国大工), 荒木拓人, 堀内悠平

A12 10:30 - 10:50 OS 水素・燃料電池 2

- A121 固体高分子形燃料電池内における MPL による水輸送現象への影響
*北村信樹(神戸大学), 宮田広大, 村川英樹, 杉本勝美, 浅野等, 竹中信幸, 齊藤泰司(京都大学)
- A122 積層板伝熱の考えを応用した PEFC 単セル内伝熱モデルの構築
*西村顕(三重大院), 飯尾和寛, 馬場雅, 山内泰介, 廣田真史
- A123 限界電流法と数値計算を用いた PEFC 内酸素輸送抵抗の分離解析
*山西真嗣(早大院), 三木雄太, 西島英昭, 中垣隆雄(早大), 草鹿仁, 勝田正文
- A124 PEFC カソード側白金触媒上 ionomer における酸素分子透過に関する分子論的研究
*菅谷悠太(東北大院), 徳増崇(東北大)

A13 13:10 - 14:50 OS 水素・燃料電池 3

- A131 固体高分子電解質膜上の白金触媒層の水の移動抵抗の算出
*小川邦康(慶大), 拝師智之(MRTechnology), 伊藤衡平(九大)
- A132 液中プラズマによる水素自動車用燃料の製造
野村信福(愛媛大), *伊藤篤史(愛大院), 向笠忍(愛媛大), 豊田洋通
- A133 可変ガス流路を有する固体高分子形燃料電池の水分子挙動
谷川洋文(九工大), *犬丸健太, 鶴田隆治
- A134 高分子電解質膜内におけるプロトン・水分子輸送特性に関する分子動学的解析
*馬淵拓哉(東北大), 徳増崇

A135 固体高分子形燃料電池のマイクロポーラスレイヤー内の物質輸送解析
*田淵雄一郎(日産自動車株), 小高敏和

<B 室>

B11 9:20 - 10:20 空調・熱機器 1

- B111 数値解析を利用した大学講義室内の温熱環境評価
*須知成光(秋県大), 小野田悠
- B112 温湿度の違う湿り空気が混合した際のミスト発生に関する実験
*安原薫(山形大), 岡崎啓太
- B113 微細結晶スラリー化による LiBr/H₂O 系吸収式ヒートポンプ性能に関する研究
*板谷義紀(岐阜大院), 永谷貢一, 増井龍也(森松工業(株)), 丸毛謙次, 高野智史(岐阜大院)

B12 10:30 - 11:50 空調・熱機器 2

- B121 エアコンの冷房 COP に及ぼす洗浄剤の影響
*斎藤亮輔(日大工), 佐藤恭輔, 星裕貴, 井上行雄(シヨーワ), 佐々木直栄(日大工)
- B122 有機系収着剤ロータの除湿性能に及ぼす収着剤塗布量の効果
堀部明彦(岡山大), 春木直人, *宮内裕昭, 田中峻
- B123 細管化によるガス給湯器 2 次熱交換器の小型・高性能化
*山下隼平(横国大院), 野田達也, 宇高義郎(横国大工), 小林正和(パロマ), 佐野泰洋
- B124 マイクロチャネル往復流を利用する磁気冷凍特性
陳志豪(横国大), *金澤孝, 宇高義郎, 田崎豊(日産自動車株)

B13 13:30 - 14:50 空調・熱機器 3

- B131 水平円筒容器内に生じる固液混相媒体の音響流（円形平板型振動子の場合）往復振動流場における熱交換器内の作動ガスの温度分布
*小清水孝夫(北九州高専), 琵琶哲志(東北大), 高田保之(九州大)
- B132 エンタルピー流計測による振動流場の熱伝達の観測
琵琶哲志(東北大), *河村憲一, 小清水孝夫(北九州高専)
- B133 着霜を伴う熱移動に及ぼす冷却面表面性状の影響
大久保英敏(玉川大), *松下将
- B134 ソーラーヒートポンプでのシリカゲル内水分吸着の MRI 計測
*佐々木崇史(東工大), 入口紀男, 中野義夫, 津島将司(東工大院), 平井秀一郎

<C室>

C11 9:20 - 10:20 自然エネルギー 1

- C111 螺旋管型地中熱交換器方式の熱抽出特性
*伊勢仙(秋田大), 田子真, 小松喜美, 赤田拓丈
- C112 実用フリーピストン型スターリングエンジンを用いた家庭向け熱電併給システム
*星朗(一関高専), 小野寺泰生, 畠山雄気
- C113 潜熱蓄熱融合型 ORC システムによる薪ストーブ煙突からの熱回収・発電の数値解析
*若嶋振一郎(一関高専), 星朗, 山田昇(長岡技科大)

C12 10:30 - 11:50 自然エネルギー 2

- C121 融雪屋根一体型太陽光発電
*佐藤康裕(山形大), 横山孝男, 武田和樹, 越本充裕(マキテック)
- C122 融雪浸透水の熱交換を加味した排水性舗装の加温状況解析
*山口正敏(日本地下水開発), 横山孝男(山形大), 沼澤喜一(日本地下水開発), 堀野義人, 安原薫(山形大)
- C123 微粒子を利用した高温型ソーラー空気集熱器の研究
*松原幸治(新潟大学), 酒井相向, 櫻井篤, 鈴木翔, イ スンジェ, 児玉竜也, 郷右近展之, 吉田一雄
- C124 北方圏に設置された高度断熱温室における床断熱の効果
*三木康臣(北見工業大学)

C13 13:10 - 14:50 物質移動

- C131 シャワークリーニングによる環境汚染物質除去に関する実験的研究(シャワー密度の影響に関する詳細な検討)
姫野修廣(信州大), *平尾悠貴(信州大院), 平岩雄一
- C132 高温水から冷空気流への蒸発伝熱共存対流熱伝達に関する研究(第2報)
*廣田竜也(信州大学), 小泉安郎, 村瀬道雄(原子力安全システム研究所), 山路達也(信州大学)
- C133 ナノ粒子/高分子コンポジット薄膜の溶媒蒸発現象およびこれに伴う構造形成過程
佐々木優大(東北大), 坂井慎次, *久保正樹, 杉岡健一, 塚田隆夫, 高見誠一, 阿尻雅文
- C134 亜硫酸水電解に用いる MEA 内の輸送現象と電気化学反応の数値解析
*大原溪介(東工大), 鈴木祐二, 井上剛良
- C135 ミニチャンネルを用いたソーレ効果ガス分離器の試作と評価
*若生貴裕(芝浦工大), 清水雅恵(芝浦工大), 松本壮平(産総研), 小野直樹(芝浦工大)

<D室>

D11 9:00 - 10:20 マイクロ伝熱 1

- D111 USB メモリサイズの超小型粘性センサーの開発
*山本泰之(産総研), 松本壮平, 藪野浩司(慶大), 黒田雅治(産総研), 山本智子, チェスン Chol

- D112 二波長ラマンイメージングによるチャンネル流非定常温度場非侵襲計測法の開発
*栗山怜子(慶大院), 伊藤篤志(慶大理工), 佐藤洋平

- D113 交番電場付与下における微小水滴の変形挙動
*望月高昭(学芸大)

- D114 時間領域サーモリフレクタンス法を用いた固体の熱伝導率のサイズ効果測定
*小宅教文(東大院), 坂田昌則, 岩佐優太郎, 塩見淳一郎

D12 10:30 - 11:50 マイクロ伝熱 2

- D121 光化学過程を利用した光アップコンバージョンの機構研究: 増感分子から発光分子へのスピン三重項エネルギー移動効率の決定
*村上陽一(東工大), 菊池仁美, 河合明雄

- D122 マイクロバブルを用いた中空マイクロカプセルの製造
*櫻井大地(東大), モリノ ジェイ, 大宮司啓文, 竹村文男(産総研)

- D123 高温超伝導 YBCO 薄膜の熱伝導率と温度伝導率の低温における測定
池田達哉(慶大院), *村上友介(慶大), 田口良広(慶大理工), 長坂雄次

- D124 赤外反射光学系を用いたマイクロ伝熱計測手法の開発
*大徳忠史(秋田県立大学), 鶴田俊

D13 13:30 - 14:50 マイクロ伝熱 3

- D131 気相流動中において低圧タンデム DMA を用いた CNT 分級
*柴田和英(九州大), 久次達也, 高田保之, 平沢誠一(産総研), 瀬戸章文(金沢大), 河野正道(九州大)

- D132 液中原子間力顕微鏡による固液界面ナノバブルの計測
*西山貴史(九大), 高橋厚史, 高田保之

- D133 欠陥を有する MWNT の熱輸送特性の評価
*林浩之(九大), 生田竜也(九大工), 西山貴史, 高橋厚史

- D134 カーボンナノチューブ間の接触熱抵抗の温度依存性に関する研究
*津留和成(九大), 山田寛, 生田竜也(九大工), 西山貴史, 高橋厚史

<E室>

E11 9:00 - 10:20 沸騰 1

- E111 多孔性溶射皮膜における沸騰伝熱特性
*島津智寛(デンソー), 崎道哲

- E112 水平加熱細線上の限界熱流束
*庄司正弘(神奈川大学), 佐々木齊人, 岩付和浩

- E113 二種類のハニカム多孔質体を積層させることによる飽和プール沸騰の限界熱流束の向上
*森昌司(横浜国大), 丸岡成, 奥山邦人

- E114 EHD 効果を用いた液中衝突噴流飽和沸騰熱伝達の促進
*上村光宏(東京大)

- E12 10:30 - 11:50 沸騰 2
- E121 高発熱素子のプール沸騰冷却に関する研究
*三枝正裕(日大院), 小佐野佑介, 松島均(日大)
- E122 スワール円管内水の強制対流サブクール過渡沸騰限界熱流束
*畑幸一(京大エネ研)
- E123 微細三角形くぼみ付き伝熱面における液体窒素のプール沸騰熱伝達と限界熱流束
*宮田一司(東北大), 大平勝秀, 森英夫(九州大)
- E124 MEMS センサを用いたミニチャネル内の沸騰におけるマイクロ液膜の形成・蒸発特性に関する研究
*齊藤拓也(明大院), 矢吹智英, 中別府修(明大)
- E13 13:30 - 14:50 沸騰 3
- E131 高温面上への液滴の衝突時の表面温度と表面熱流束の測定と観察
*スハイミ イリヤス(佐賀大), 門頭龍, 中野僚将, 光武雄一, 門出政則
- E132 有限垂直円柱まわりの膜沸騰伝熱に及ぼす端面と側面で構成されるエッジの影響
*桃木悟(長崎大), 茂地徹, 山田たかし, 修也(長崎大院), 山口朝彦(長崎大), 豊田香(舞鶴高専)
- E133 プレート式蒸発器のアンモニア沸騰熱伝達に与える流路高さの影響
*小山幸平(佐賀大海エネ), 千代田紘享(佐賀大), 有馬博史(佐賀大海エネ), 池上康之
- E134 水およびアンモニア/水混合媒体の沸騰熱伝達の経年変化に及ぼす界面活性剤の影響
*井上利明(久留米工大), 門出政則(佐賀大)
- SP1 15:00 - 15:30 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション - 熱物性・計測 -
- SP11 位相シフト干渉計による平板周りの境界層高精度可視化計測
*庄司衛太(東北大), 小宮敦樹, 岡島淳之介, 中奥亮太, 円山重直
- SP12 ふく射機能性複雑微細構造の電磁場解析および最適化
*居城俊和(長岡技科大), 山田昇(長岡技科大)
- SP13 非線形ラマン散乱を用いた電解質溶液中多種イオン濃度非侵襲センシング法の開発
*野口健之(慶大院), 栗山怜子, 佐藤洋平(慶大理工)
- SP14 水の近赤外吸収特性を利用した水溶液の温度と水体积分率の同時測定
*川嶋大介(首都大院), 角田直人(首都大), 有本英伸(産総研), 近藤克哉(鳥取大), 山田幸生(電通大)
- SP15 近赤外レーザー誘起表面波法を用いた粘性率高速センシングに関する研究
滝口広樹(慶大院), *大屋温輝(慶大), 長坂雄次(慶大理工)
- SP16 偏光近接場光学熱顕微鏡を用いたナノスケール温度センシングに関する研究 - 近接場領域における偏光面回転の検出 -
新田淳平(慶大院), *岸本祥(慶大), 田口良広(慶大理工), 齋木敏治, 長坂雄次
- SP17 ゲスト-水分子間相互作用がクラスレート水和物の振動スペクトルに及ぼす影響の第一原理分子動力学シミュレーション
- *平塚将起(慶大), 大村亮, スム アマデウ(コロラド鉱物大), 泰岡顕治(慶大)
- SP18 窒化ホウ素を分散させた樹脂材料の温度伝播評価
*小宮山智哉(東工大), 石川和紀(日本化薬株式会社), 佐藤勲(東工大), 齊藤卓志, 川口達也
- <F 室>
- F11 9:00 - 10:20 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動 1
- F111 水噴霧式ヘキサゴン型空気熱交換器を用いた換気型加温暖房空調機の性能特性
*後藤稔(大阪大学)
- F112 CaCl₂/H₂O 水和反応を用いた昇温操作の出熱評価
*江崎丈裕(名大院), 鬼頭毅, 黄宏宇, 小林敬幸
- F113 塩化カルシウム/膨張化グラファイトコンポジット内の熱物質輸送に関する研究
*鈴木洋(神戸大院), 札幌健人, 藤岡恵子(ファンクショナルフルィッド), 日出間るり(神戸大自), 菰田悦之(神戸大院)
- F114 CO₂ 吸収セラミックスの未反応核モデルによるCO₂ 吸放出挙動の予測
*田畑瑛樹(早稲田大), 田中貴紘, 中垣隆雄, 水沼守(NTT), 丸尾容子
- F12 10:30 - 11:50 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動 2
- F121 蒸気生成吸着式ヒートポンプにおける水蒸気生成効率向上の検討
*岩間佳穂(九大), 田中佑樹, 中曾浩一, 深井潤
- F122 熱交換器を削減する2段階吸着冷凍サイクルの新設計
*秋澤淳(東京農工大), ラーマン ミザヌール
- F123 金属塩化物充填層型アンモニア吸収器における熱・物質移動特性
*窪田光宏(名古屋大), 山野内龍, 松尾慶一, 松田仁樹, 布施卓哉(デンソー)
- F124 酸化マグネシウムケミカルヒートポンプ用反応器層内の水和反応過程の温度解析
*ザメンゴ マッシミリアーノ(東工大), 劉醇一, 加藤之貴
- F13 13:10 - 14:50 OS 蓄熱・ヒートポンプ技術と熱・物質移動 3
- F131 結晶転移する蓄熱材の蓄熱特性
*戸谷剛(北大), 佐藤敏文, 脇田督司, 永田晴紀
- F132 地中熱ヒートポンプシステムの熱交換性能に関する研究
*武田哲明(山梨大), 堤顕太郎(山梨大院), 船谷俊平(山梨大), 萩原利男(萩原ボーリング)
- F133 水素吸蔵合金層の有効熱伝導率の測定と膨張収縮を考慮した推算
関孝士朗(九州大), *田上博基, 濱本芳徳, 森英夫, 江藤淳朗, 仮屋圭史
- F134 CO₂ ヒートポンプ給湯機用ガスクーラの伝熱管形状が熱交換性能に及ぼす影響
*松尾叔美(九大院), 市原雅也, 片岡慶介, 小山繁(九大)

- F135 R1234ze(E)/R32 混合冷媒のヒートポンプサイクルの性能評価 - 圧縮機特性の影響 -
*福田翔(九州大院), 山本章太郎, 近藤智恵子(九州大), 高田信夫, 小山繁
- SP2 15:00 - 15:30 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション - 熱流動 -
- SP21 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達 - 硫酸ナトリウム 10 水和物 -
*柏拓貴(茨城大), 稲垣照美, 李艶栄
- SP22 多孔質体都市乱流モデルを用いたヒートアイランドの数値予測
*板津典彦(静大院), 桑原不二朗(静大)
- SP23 透過性壁面乱流におけるスパン方向の流れ構造について
*中川侑香(阪府大), 金田昌之, 須賀一彦
- SP24 縦溝を有する鉛直平板を流れる液膜流の熱伝達促進
*佐藤翔太(秋田大), 足立高弘
- SP25 沸騰熱伝達におよぼす紫外線および放射線照射の影響
*長谷一毅(京大院), 西大樹, 伊藤大介(京大炉), 齊藤泰司
- SP26 粗面壁に沿う乱流熱伝達の空間発展型 DNS
*太田博之(新潟大院), 松原幸治(新潟大工), 風間駿介(新潟大院), 三浦貴広(東洋熱工業株式会社)
- SP27 微小・微量ミストを付加した後向きステップ流れの伝熱促進 (ミスト量の影響)
*比嘉正樹(琉球大院), 宮藤義孝(沖縄高専), 瀬名波出(琉球大), 加藤純郎, 松田昇一
- SP28 乱流促進体による衝突噴流冷却の伝熱促進に関する研究
*市川雄一(阪大), 武石賢一郎, 小田豊, 小宮山正治
- SP29 噴霧流の二次微粒化挙動に及ぼす雰囲気温度の影響
*東海林豊(東工大), 渡部弘達, 岡崎健
- <G 室>
G11 9:20 - 10:20 ふく射 1
- G111 粒子層の反射・透過光特性に及ぼす粒子性状の影響
*中村嘉恵(芝浦工大院), 大和田智弘(芝浦工大), 山田純
- G112 高日射反射率塗膜の反射特性予測に関する研究
*西村悟志(阪府大), 木下進一, 吉田篤正
- G113 光学的質感制御に向けた半透明媒質の透明感・奥行き感の評価
*山田純(芝浦工大), 石崎翔, 細貝麻里子(TOTO(株)), 兵江直生子, 庄野信浩
- G12 10:30 - 11:50 ふく射 2
- G121 放射体近傍における熱ふく射近接場成分分布の計測
平島大輔(東工大), 藤井康太, *花村克悟
- G122 熱ふく射放射波の可干渉性の機構に関する MD-like 計算と FDTD 計算
- *若林英信(京大), 春次良彦, 東條健一郎, 松本充弘, 牧野俊郎
- G123 表面微細構造を持つ波長選択性ラジエータ
*戸谷剛(北大), 脇田督司, 永田晴紀
- G124 揺動電磁気理論による半無限平板の熱輸送解析
*天野樹生(九大院), 高橋厚史(九大工)
- G13 13:30 - 14:30 ふく射 3
- G131 スタッガード配置ピラーアレイを用いた表面プラズモンポラリトン干渉による近接場熱ふく射波長制御
*芦田友祐(東工大), 平島大輔, 花村克悟
- G132 エバネッセント波による GaSb 熱光起電力発電に関する研究
*吉田純(東工大院), ウォンサオスップ ナパトソン, 花村克悟(東工大)
- G133 ナノ粒子制御による遮熱塗料開発と大気曝露実験による性能評価
*江目宏樹(東北大院), バネシ メディ(シラズ大), 岡島淳之介(東北大), 小宮敦樹, 円山重直
- SP3 15:00 - 15:30 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション - バイオ・熱機器 -
- SP31 逆問題解析によるヒトの皮膚の熱拡散率及び血液かん流率同時推定
*岡部孝裕(東北大院), 岡島淳之介(東北大), 小宮敦樹, 羅雲(上海交通大), 汪方, 高橋一郎(山形大), 円山重直(東北大)
- SP32 共焦点マイクロ LIF 法を用いた血管内皮細胞内の Ca^{2+} 濃度分布計測法の開発
*兼高紀香(慶大), 向山卓哉, 杉井康彦(東大), 菱田公一(慶大)
- SP33 衣服の熱特性計測と人体-衣服-環境系の熱輸送モデルに関する研究
*榎原健太(阪府大), 森田武志, 島崎康弘(岡県大), 山本貴則(大阪産技研), 木下進一(阪府大), 吉田篤正
- SP34 矩形細管管路内流動沸騰伝熱の可視化
*田中千歳(東京大学), 党超鋌, 松岡文雄, 飛原英治
- SP35 Self-rewetting 溶液を用いた自励振動型ヒートパイプの可視化に関する研究
*石田卓也(弘前大院), 麓耕二(弘前大), 川路正裕(ニューヨーク市大), 川南剛(神戸大), 稲村隆夫(弘前大)
- SP36 自励振動ヒートパイプにおける非凝縮ガスの影響
*大丸拓郎(東北大), 永井大樹
- SP37 凝固に伴う体積膨張を利用した保冷材の過冷却抑制に関する研究
*久保田英之(東工大), 大河誠司, 宝積勉
- SP38 メソ多孔質体への含浸処理による潜熱蓄熱材の熱安定性改善
*相良昭人(北海道大学), 能村貴宏, 沖中憲之, 秋山友宏
- <H 室>
H11 9:00 - 10:20 自然対流・複合対流 1

- H111 垂直チャンネル内のナノ流体混合対流の厳密解
*李文浩(静岡大)
- H112 非磁場下における磁性流体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達
稲垣照美(茨城大), *李艶栄, 佐藤智洋
- H113 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達 一酢酸ナトリウム3水和物一
*稲垣照美(茨城大), 一色俊洋, 李艶栄
- H114 無重力場における立方体容器内の熱振動対流
*立元恵祐(同志社大), 岡治亜希, 谷川博哉(舞鶴高専), 平田勝哉(同志社大)
- H12 10:30 - 11:50 自然対流・複合対流 2
- H121 数値解析による自然対流層列の熱伝達率相関式の検討
*姫野修廣(信州大), 松井彰良(信州大院)
- H122 水平加熱円板上自然対流境界層の乱流遷移過程
*服部康男(電中研), 須藤仁, 江口謙
- H123 等温加熱球まわりの高レイリー数自然対流の流動と伝熱
北村健三(豊橋技科大), *今別府大樹(豊橋技科大), 光石暁彦(豊橋技科大), 木村文義(兵庫県立大)
- H124 液柱マランゴニ対流の振動流遷移に対するプラントル数依存性
*松本聡(宇宙機構), 依田眞一, 大村洸平(筑波大院), 阿部豊(筑波大), 金子暁子
- H13 13:30 - 14:50 自然対流・複合対流 3
- H131 水平上向き加熱平板まわりの自然対流における乱流熱伝達に関する数値的研究
*光石暁彦(豊橋技科大), 北村健三
- H132 45° 傾斜した水平加熱正方形角柱まわりの強制一自然並行流共存対流の流動と伝熱
*木村文義(兵庫県大), 寺田卓正(兵庫県大院), 北村健三(豊橋技科大)
- H133 浮力効果を付加した管内乱流温度場助走区間に関する研究
*服部博文(名工大), 神谷健太郎(名工大院), 花井崇, 保浦知也(名工大), 田川正人
- H134 格子ボルツマン法による複雑流路内の磁化力対流数値解析
*金田昌之(大阪府大), 加納大雅, 須賀一彦
- SP4 15:00 - 15:30 優秀プレゼンテーション賞ショートプレゼンテーション ー反応・移動現象ー
- SP41 湿度操作による空気清浄の研究 (熱泳動, 拡散泳動と核凝縮による粒子除去特性)
*小野田渚(明大院), 中別府修(明大)
- SP42 凍結固定化法を用いた固体高分子燃料電池における MPL 内水輸送現象の CRYO-SEM 観察
*青山祐介(北大), 鈴木研悟, 田部豊, 近久武美
- SP43 カーボンナノ粒子製造プロセスにおける粒子核生成速度および濃度に関する反応温度の最適化
*小野公德(東北大院), 渡辺愛貴, 松川嘉也, 齋藤泰洋, 青木秀之, 福田興照(旭カーボン), 青木崇行, 山口東吾
- SP44 超臨界 CO₂ 流体を用いるフッ素化炭化水素系ナノ流体の合成
- *山村秀(宇都宮大), 佐藤正秀, 古澤毅, 鈴木昇
SP45 温度分布制御型マイクロフローリアクタを用いた合成ガスの Weak flame 特性に関する研究
*高橋裕基(東北大), 手塚卓也, 長谷川進, 中村寿, 丸田薫
- SP46 希薄予混合ガスタービンモデル燃焼器で発生する間欠的な振動燃焼の検知手法の開発 -力学系理論の導入-
*浮田遼(立命館大), 小林 将紀, 篠田雄太, 奥野佑太, 後藤田浩, 立花繁(宇宙航空研究開発機構)
- SP47 乾湿サイクルによる PEFC 触媒層・マイクロポーラス層内クラック形成と発電性能低下
*松井陽平(東工大院), ディーワンサイ ペンサイ, 鈴木崇弘, 津島将司, 平井秀一郎
- SP48 平板型 SOFC における熱流動場の非一様性がセルの発電状態に与える影響
*磯本哲志(京大), 岩井裕, 齋藤元浩, 吉田英生
- SP49 CO₂ 雰囲気中における層流逆拡散火災の燃焼特性
*岡田日貴(慶大院), 米山修平(慶應大), 植田利久, 横森剛
- <I 室>
- I11 9:20 - 10:20 多孔質体の伝熱 1
- I111 薄い粒子層が付着した伝熱面における水膜の蒸発伝熱特性
*竹内佑介(神戸大), 平澤茂樹, 川南剛, 白井克明
- I112 過冷却液体窒素と金属多孔質体を用いた冷却システムの限界熱流束評価
*丹野裕介(東北大), 伊藤悟, 橋爪秀利
- I113 インデックス・マッチング法を用いた多孔体内部流動の PIV 計測
*飯田隆徳(大阪府大), 山本龍宜, 金田昌之, 須賀一彦
- I12 10:30 - 11:50 多孔質体の伝熱 2
- I121 ペブル充填矩形流路を用いた高プラントル数流体の伝熱流動実験
渡邊篤史(東北大), *江原真司, 橋爪秀利, 相良明男(核融合科学研究所)
- I122 CCS における浮力駆動 CO₂ の X 線 CT 計測と数値解析
*植村豪(東工大院), 岩本祐樹, 鈴木雄大, 津島将司, 平井秀一郎
- I123 水分供給による蒸発・凝縮を伴う高温粒子層の冷却特性
*林良輔(長岡技科大), 青木和夫(長岡技科大), 赤堀匡俊(釧路高専)
- I124 多孔質体で被覆された固体角柱まわりの熱流動特性
*布川遼(静岡大院), 柿本益志(静岡大), 三浦拓也, 増岡隆士(九州大)
- I13 13:30 - 14:50 凝縮
- I131 車載用熱交換器の最適化検討と性能評価 ～カーエアコンシミュレーションによる設計パラメータの影響評価～
*黒岩透(早大院), 宮下敏明, 勝田正文(早大)

- I132 小管径水平平滑管内非共沸混合冷媒 R1234yf/R32
の凝縮熱伝達特性に関する研究
汪琳琳(東京大), *党超鋌, 飛原英治
- I133 不凝縮ガスを含む蒸気中に噴射される液滴群の温
度場
*古屋修(東芝), 山下勝也, 平野俊夫, 新関良樹
- I134 凝縮熱伝達に及ぼす各種表面金属薄膜(スパッタ
面)の影響
*安藤祐騎(工学院大), 大竹浩靖, 長谷川浩司, 山
崎康平

- B213 超臨界水ガス化に用いるスパイラル熱交換器の伝
熱特性
*松村幸彦(広島大), 田代一喜, 井上修平, 川井良
文(中電プラント), 野口琢史(東洋高压), 美濃輪智
朗(産総研), 和田泰孝(中国電力)
- B214 デシカントローターの動的特性について
*古谷野越弘(東京大), 中川直紀, 飛原英治, 党超
鋌, 松岡文雄

B22 10:30 - 11:50 分子動力学 1

- B221 分子動力学シミュレーションの粗視化による散逸
粒子動力学相互作用モデルの構築: 非マルコフモ
デルの評価
*吉本勇太(東大), 美馬俊喜, 福島啓悟(東北大),
杵淵郁也(東大), 徳増崇(東北大), 高木周(東大),
松本洋一郎
- B222 ナノメートルスケールの微細構造が固液界面エネ
ルギー輸送機構に及ぼす影響
*芝原正彦(大阪大), 村上翔, 小原拓(東北大)
- B223 SiO₂-水/IPA 界面近傍の輸送現象に関する分子動力
学的研究(液体分子の吸着・離脱挙動)
*小坂秀一(東北大院), 中野雄大(東京エレクトロ
ン), 菊川豪太(東北大), 小原拓
- B224 低温水素の熱・輸送物性における量子効果発現メ
カニズムの分子動力学解析
*永島浩樹(東北大), 津田伸一(信州大), 坪井伸幸
(九工大), 越光男(東大), 林光一(青学大), 徳増崇(東
北大)

B23 13:30 - 14:50 分子動力学 2

- B231 水の三態の比熱
*田中修(三木再エネ)
- B232 気液瞬時界面近傍における液体アルカンの構造
*チルコティ ハリ クリシュナ(東北大), 菊川豪太,
小原拓
- B233 アモルファスポリマー内の架橋による熱伝導特性
への影響
*菊川豪太(東北大), ケブリンスキ パウエル(レン
セラー工科大), 小原拓(東北大)
- B234 銅基盤上のアルカンチオール SAM の構造と熱輸
送特性
*成毛陽一(東北大), 菊川豪太, 別所毅(トヨタ自動
車), 高田智司(トヨタテクニカルディベロップメン
ト), 小原拓(東北大)

<C室>

C21 9:00 - 10:20 反応・燃焼

- C211 セラミックハニカムを用いた部分酸化改質器内の
伝熱特性
小亀秀行(京大), 頼泰弘, *巽和也, 中部主敬
- C212 セラミックス床いぶり燃焼による有機物熱分解の
熱供給条件の実験的検討
*酒井清吾(横浜国大), 野嶋新斗
- C213 誘電体バリア放電によるオゾン生成に及ぼす光触
媒反応と Ar ガス混合の影響
*石丸和博(岐阜高専), 川口大輔

第2日 5月30日(木)

<A室>

- A21 9:30 - 11:30 日本伝熱学会特定推進研究特別セッ
ション「エネルギー・環境戦略と特定推進研究に
よる伝熱研究の展開」
総合同会: 小澤 守(関西大)
- A23 13:10 - 14:50 OS 水素・燃料電池 4
- A231 FIB-SEM を用いた微細多孔体の三次元構造再構築
技術の開発
*寺尾剛(FC-Cubic), 横山浩司, 徳永友美, 大山淳
平, 久保則夫, 井上元(京大院工), 河瀬元明, 原由
佳(物材機構), 原徹
- A232 MPL のマイクロ構造が電子伝導特性におよぼす影響
解析
*井上元(京都大), 河瀬元明, 横山浩司(FC-Cubic),
寺尾剛, 大木真里亜, 徳永友美, 久保則夫, 原由
佳(物材機構), 原徹
- A233 MPL のマイクロ構造が酸素拡散特性におよぼす影響
解析
*横山浩司(FC-Cubic), 寺尾剛, 久保則夫, 井上元(京
都大), 河瀬元明, 杵淵郁也(東大), 徳増崇(東北大),
松本洋一郎(東大), 原由佳(物材機構), 原徹, 徳永
友美(FC-Cubic), 大山淳平
- A234 PEFC 用触媒層内における酸素輸送の律速過程解
析
*久保則夫(FC-Cubic), 徳永友美, 横山浩司, 大山
淳平, 寺尾剛, 西島英昭(早大院), 中垣隆雄(早大),
勝田正文, 井上元(京都大), 河瀬元明, 原由佳(物
材機構), 原徹
- A235 触媒層のマイクロ構造が酸素拡散特性におよぼす影
響解析
*杵淵郁也(東大), 寺尾剛(FC-Cubic), 大山淳平,
徳永友美, 横山浩司, 久保則夫, 井上元(京大), 河
瀬元明, 徳増崇(東北大), 松本洋一郎(東大)

<B室>

- B21 9:00 - 10:20 空調・熱機器 4
- B211 平行平板スタックを用いた熱音響原動機における
振動流の可視化
*芳賀大亮(明大院), 石山宗希, 小林健一(明大)
- B212 インナーフィン型プレート熱交換器の性能に及ぼ
す流れ方向の影響
*安齋孝(日大院工), 新川翔太(日大工), 折原友太,

- C214 高圧下における高周波水中プラズマの発光と気泡の同時観察
*向笠忍(愛媛大), 鎌田敦, 豊田洋通, 野村信福
- C22 10:30 - 12:10 OS 燃焼研究の最前線 1
- C221 水素・空気乱流平面噴流予混合火炎のフラクタル特性
*平岡克大(東工大), 堅田佑樹, 由川格, 福島直哉, 店橋護, 宮内敏雄
- C222 外部レーザ加熱を伴う管内下方伝播火炎の乱流挙動への遷移条件
*谷山由和(北大工), 藤田修
- C223 直接数値計算による旋回乱流予混合火炎の局所火炎構造の解明
*志村祐康(東工大), 朽木孝太郎, 福島直哉, 店橋護, 宮内敏雄
- C224 高線り返し周波数 CH/OH PLIF とステレオ PIV の同時計測による乱流噴流予混合火炎の局所火炎構造と動的特性の解明
*城地文音(東工大), 中吉嗣, 志村祐康, 店橋護, 宮内敏雄
- C225 PMMA 火炎伝播における内部二次元温度分布測定
*松本卓大(慶大院), 植田利久(慶應大), 横森剛, 中村祐二(北海道大)
- C23 13:10 - 14:50 OS 燃焼研究の最前線 2
- C231 拡散・熱的不安定性に及ぼす未燃ガス温度と熱損失の効果
*トエ トエ アウン(長岡技術科学大学), 門脇敏
- C232 希薄予混合ガスタービンモデル燃焼器で発生する振動燃焼における自発光強度の低周波振動について
*栗山卓(立命館大院), 道免昌平(立命館大), 後藤田浩, 立花繁(宇宙航空研究開発機構)
- C233 高圧環境における気流噴射の噴霧形成過程に関する研究
*加藤昂大(東北大), 石川伸一郎, 工藤琢, 加藤壮一郎(IHI), 伊藤光紀, 小林秀昭(東北大)
- C234 微細燃料液滴群の燃焼モードに及ぼす液滴直径と液滴間隔の影響
*山下宏顕(大阪府大), 岡祐輔, 多田純輝, 青木拓, 片岡秀文, 瀬川大資, 角田敏一
- C235 燃料液滴の自発点火に及ぼす雰囲気組成の影響に関する数値解析
*森上修(九州大), 橋本英樹, 村瀬英一
- <D 室>
D21 9:00 - 10:20 マイクロ伝熱 4
- D211 マイクロ構造面における熱伝達の特質
*コソイ ボリス(オデッサ州立冷凍アカデミー), 宇高義郎(横国大)
- D212 ボルツマン輸送方程式に基づく固体中のエネルギー輸送解析
*倉田博文(京大院), 今西保奈美, 正尾裕輔, 松本充弘(京都大)
- D213 ナノインプリント圧着過程における UV 硬化性樹脂の 4 次元流動計測
*海野徳幸(東理大, 学振 PD), 筒田剛史(東理大), 佐竹信一, 谷口淳
- D214 金属単層カーボンナノチューブの選択的除去に向けたナノ熱リソグラフィ
*大塚慶吾(東京大), 井ノ上泰輝, 長谷川大祐, 千足昇平, 丸山茂夫
- D22 10:30 - 11:50 マイクロ伝熱 5
- D221 フォトクロミック亜鉛シリコン酸化物ナノ結晶の合成
大友惇(広島大), *井上修平, 松村幸彦, 高田啓二(関西大), 富田健太郎(九州大), 内野喜一郎, 田中大(徳島文理大), 梶山博司
- D222 細管を通過する圧縮性流れの流動特性 一等温流れと見なし得る条件の検討一
*山口義幸(兵庫県大), 大西兼造
- D223 シリンダ型細孔構造をもつメソポーラスシリカの水蒸気吸着脱着の動特性
*柳原英樹(東大), 大宮司啓文, 遠藤明(産総研)
- D224 色素増感太陽電池における単層カーボンナノチューブ対極のモフォロジー制御とその評価
*千葉孝昭(東京大), 木下英典, 崔可航, エイナルソン エリック, 千足昇平, 丸山茂夫
- D23 13:30 - 14:50 マイクロ伝熱 6
- D231 ナノ構造化された熱電変換材料におけるフォノン輸送のモンテカルロ解析
*堀琢磨(東大), 塩見淳一郎
- D232 中温領域用の熱電変換材料の第一原理熱伝導解析
*志賀拓磨(東大院), エスファルジャーニー ケーワン(ラトガース大), 堀琢磨(東大院), 村上拓, 陳剛(マサチューセッツ工大), 塩見淳一郎(東大院)
- D233 交流電流に対する熱電素子の高速熱応答特性の評価
*川井喜与人(東北大院), 岡島淳之介(東北大), 小宮敦樹, 円山重直
- D234 ナノ構造化シリコンバルク熱電材料の作成及び性能評価
*三浦飛鳥(東京大), 塩見淳一郎
- <E 室>
E21 9:00 - 10:20 沸騰 4
- E211 プール沸騰高圧域における垂直面上の沸騰挙動
*坂下弘人(北大)
- E212 赤外画像による液滴蒸発過程の解析
*深谷佑輝(九大院), 涌井敬明(九大), フセイン スハイラ(九大院), 河野正道(九大), 高田保之, セフィアン ケーリル(エディンバラ大), キム ジュンホ(メリーランド大)
- E213 二成分不溶性混合冷媒の沸騰熱伝達 (フィン付き面) に関する研究
寺西恒宣(富山高専), *濱谷和樹, 瀧本昭(金沢大)
- E214 MEMS センサによる核沸騰熱伝達機構の研究 (水のプール飽和沸騰におけるマイクロ液膜蒸発の気泡成長に対する寄与)

- *矢吹智英(明大院), 齊藤拓也, 中別府修(明大)
- E22 10:30 - 11:50 沸騰 5**
- E221 液体の核沸騰過程におけるレーザー干渉法によるマイクロ液膜構造測定
*萩庭惇(横国大院), 宇高義郎(横国大工)
- E222 核沸騰における気泡成長と伝熱特性の数値シミュレーション
*陳志豪(横国大), 田口岳志(小松製作所), 宇高義郎(横国大)
- E223 対向気泡の合体過程におけるレーザー消光法による気泡間液膜厚さ測定
*諸隈崇幸(横国大院), 長谷川雄哉(横国大), 宇高義郎(横国大工)
- E224 伝熱面温度分布瞬時変動測定と気泡 - 流体挙動観察を通じた核沸騰素過程解明に関する研究
*林謙多(信州大学院), 小泉安郎(信州大学)
- E23 13:10 - 14:50 沸騰 6**
- E231 中性子ラジオグラフィを用いた流動脈動下におけるボイド率の定量評価
*藤吉翔太(関西大院), 網健行(関西大), 梅川尚嗣, 小澤守, 伊藤大介(京大炉), 齊藤泰司
- E232 サブクール状態における撥水斑点からの発泡挙動
*平林佐那(九大院)
- E233 沸騰熱伝達における伝熱面サイズ減少の影響
*守田嘉樹(信州大院), 小泉安郎(信州大)
- E234 線材圧延における水噴流の沸騰熱伝達
*野口幸雄(榊野口技術研究所(元東京理科大学))
- E235 液中金属粒子の磁場駆動を活用した沸騰気泡制御と伝熱特性
*猪狩慶一(芝浦工大), 國松一志, 小野直樹(芝浦工大)
- <F室>**
- F21 9:00 - 10:20 OS 非線形熱流体現象と伝熱 1**
- F211 管状液相内の表面張力対流の不安定性
*今石宣之(九大), エルマコフ ミカエル(IPM, RAS.), 石万元(重慶大)
- F212 希薄予混合ガスタービンモデル燃焼器で発生する振動燃焼と吹き消えの多時間軸構造の解明
*奥野佑太(立命館大), 栗山卓, 後藤田浩
- F213 側壁を等流束条件とした多孔質体内二重拡散問題での多重解
*増田善雄(産総研), 米谷道夫, 鈴木明, 木村繁男(金沢大)
- F214 液体金属の熱対流パターンレジームダイアグラム
*柳澤孝寿(海洋機構), 宮腰剛広, 山岸保子, 浜野洋三, 櫻庭中(東大), 田坂裕司(北大), 武田靖
- F22 10:30 - 11:50 OS 非線形熱流体現象と伝熱 2**
- F221 懸垂液滴温度差マランゴニ対流による粒子挙動と表面温度分布の関係
*渡邊拓実(東理大), 高草木智彦, 上野一郎
- F222 液体金属を用いた水平磁場下 Rayleigh-Bénard 対流における流れ場の周期的な逆転
*井垣一人(北大), 田坂裕司, 柳澤孝寿(海洋機構), エッカート スベン(HZDR), 村井祐一(北大)
- F223 内部発熱対流のセルパターン形成における回転場の影響**
*山口勝大(北大), 田坂裕司, 大石義彦, 村井祐一, 柳澤孝寿(海洋機構)
- F224 木質ペレットストーブの排熱を利用した熱発電に関する研究**
*熊谷崇史(山形大), 鹿野一郎
- F23 13:30 - 14:30 OS 非線形熱流体現象と伝熱 3**
- F231 輻射熱損失による火炎面不安定の非線形ダイナミックスの解明
*上田和弘(立命館大), 奥野佑太, 後藤田浩
- F232 国際宇宙ステーションにて実現したH₂液柱内熱対流場のカオス化過程とその定量化
*松ヶ瀬大喜(東理大), 上野一郎, 西野耕一(横国大), 河村洋(諏訪東理大), 大西充(JAXA), 松本聡, 桜井誠人
- F233 温度差マランゴニ効果によるフルズーン液柱内振動流場に関する研究
*茂木孝介(東理大), 工藤正樹(東京産技高専), 上野一郎(東理大)
- <G室>**
- G21 9:00 - 10:20 ヒートパイプ 1**
- G211 太陽熱コレクター用の傾斜ループ形ヒートパイプの日射量変化時の動特性
*平澤茂樹(神戸大), 佐藤翔太, 川南剛, 白井克明
- G212 ポリマーヒートパイプに関する基礎実験
*小糸康志(熊本大), 前原裕之, 富村寿夫
- G213 PTFE 多孔質ウィックを用いた長距離熱輸送用ループヒートパイプの研究
*三富将敏(名古屋大), 長野方星
- G214 自励振動ヒートパイプ内蔵フィンの伝熱特性に関する研究
*大西元(金沢大), 吉端達也(金沢大院), 多田幸生(金沢大), 瀧本昭
- G22 10:30 - 12:10 ヒートパイプ 2**
- G221 直線水平流路を用いた自励振動ヒートパイプに関する研究
*長崎孝夫(東工大), 加藤達哉, 伊藤優
- G222 センターファイバーウィックを用いた高性能薄型ヒートパイプの開発
*チャナカーン ペートボン((株)フジクラ)
- G223 曲がり管内振動流による熱輸送促進
白鳥康介(千葉大), *湯口成一郎, 于虹, 田中学
- G224 ヒートパイプ BACH を用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムの検討
*永井二郎(福井大), 三田村拓哉, 前川義和(ホクコン), 谷口晴紀
- G225 自然対流ヒートパイプ冷却による熱変換素子の最大熱流束の実験的研究
ダテ アシウィン ((株)フジクラ)

- G23 13:10 - 14:50 ヒートパイプ3
- G231 セカンダリウィック付ループヒートパイプの過渡特性解析
*眞籠耕平(東北大), 竹谷政彦, 永井大樹
- G232 JEST型ループヒートパイプの熱輸送特性
*佐藤郁(パナソニック エコシステムズ株式会社), 野上若菜, 村山拓也, 勝見佳正
- G233 低温度差エネルギー回収のための集熱型サーモサイフォン
*田邊晃裕(新潟大院), 松原幸治(新潟大), 櫻井篤, 小浦方格(新潟産産連機構), 松平雄策(新潟大工)
- G234 ループヒートパイプの熱輸送性能に及ぼすウィック細孔径の影響
*塩賀健司(富士通研), 尾形晋, 中西輝, 水野義博
- G235 直管型自励振動ヒートパイプにおける蒸気生成ダイナミクス
市川貴大(横浜国大), 森昌司, *奥山邦人
- <H室>
- H21 9:00 - 10:20 バイオ伝熱1
- H211 コリメートレーザー光にさらされた異質生体組織中のふく射輸送解析
*佐藤一樹(山形大学), 赤松正人
- H212 コリメート連続パルスレーザー光にさらされた不均質媒体中のふく射輸送特性
*松島竜也(山形大学), 赤松正人
- H213 骨セメントの重合熱決定に関する実験的研究(歯科用セメントの重合の場合)
*藤野淳市(福岡大), 藏田耕作(九州大), 高松洋, 本田知宏(福岡大)
- H214 魚卵への電気穿孔における電場解析
*白樫了(東大), 安井龍生, ウラジミール スコルコフ(ヴェルツブルク大学)
- H22 10:30 - 11:50 バイオ伝熱2
- H221 人体の顕熱損失特性計測
*島崎康弘(岡山大), 吉田篤正(阪府大), 山本貴則(大阪産技研), 榎原健太(阪府大)
- H222 分化型PC12細胞の凍結・融解後の形態変化と浸透圧ストレスの関連性
*植村真(九工大), 石黒博
- H223 細胞外凍結による細胞死滅の反応速度論的モデルの一般性(冷却速度の無次元変数と相似変数の提示)
*石黒博(九州工業大学), 野澤正和(秋田高専)
- H224 最低到達温度に対するSlow-freezing Injuryによる細胞死滅の反応速度論的モデルの展開
石黒博(九州工業大学), *野澤正和(秋田高専)
- H23 13:30 - 14:50 バイオ伝熱3
- H231 液体メニスカスを用いた魚卵の冷凍保存の改善効果
*木戸賢幸(九州工大院), 鶴田隆治(九州工大)
- H232 マイクロ波常温乾燥における収縮変形
谷川洋文(九工大), *佐志治樹, 川寄惇史, 鶴田隆治
- H233 ボクセル熱流体シミュレーションによる鼻腔手術アセスメント
水谷崇志(千葉大院), *荒木冬人(千葉大院), 田中学(千葉大, 理研), 世良俊博(阪大), 小野謙二(理研), 高木周(理研), D.J. Doorly(ICL), R.C. Schroter(ICL)
- H234 表在性腫瘍の治療を目指した接触式不可逆エレクトロポレーション
*上野亮(九州大), 松下将大, 藏田耕作, 福永鷹信, 高松洋
- <I室>
- I21 9:00 - 10:20 強制対流・噴流1
- I211 高発熱素子の高圧噴流空冷に関する基礎検討
*梅澤秀泰(日大院), 松島均(日大)
- I212 円形及び十字形ノズルを用いた衝突噴流群の伝熱特性と流動構造
*富山好子(東理大学), 山根喜三郎(東理大院), 市川賀康, 元祐昌廣(東理大), 本阿弥真治
- I213 微小噴流アクチュエータ群によるメタン・空気同軸噴流の能動制御
*齋木悠(名工大), 田中繁弘, 服部駿也, 石野洋二郎
- I214 高速度赤外線カメラを用いた円管内水流熱伝達の非定常測定
*椎原尚輝(防衛大), 中村元, 山田俊輔
- I22 10:30 - 11:50 強制対流・噴流2
- I221 バックステップ流れを利用した伝熱促進技術(第1報) -微細溝の伝熱性能評価-
*肥塚洋輔(日産自動車)
- I222 マッハツェンダー干渉計を用いた加熱円柱周りの強制対流場観察
*中奥亮太(東北大院), 庄司衛太, 小宮敦樹(東北大), 岡島淳之介, 円山重直
- I223 オリフィスを設置した界面活性剤水溶液流れにおける伝熱特性と機能性消失に関する実験的研究
*川田翔子(東理大院), 原峻平(東理大), 塚原隆裕, 川口靖夫
- I224 界面活性剤流れにおけるアクティブ・スカラー及び平板間隔の影響
*原峻平(東理大院), 川田翔子, 塚原隆裕(東理大), 川口靖夫
- I23 13:30 - 14:50 強制対流・噴流3
- I231 無重力場における空気の磁気熱対流の熱伝達特性
*沖津卓(山形大学), 赤松正人
- I232 多孔体内乱流LESによる体積平均レイノルズ応力輸送方程式の収支分析
*桑田祐丞(阪府大), 須賀一彦
- I233 高速赤外線カメラとPIVによる非定常熱流動場の同時計測
*山田俊輔(防衛大), 中村元
- I234 壁面近傍の縦渦に及ぼす剛体回転の影響
*飯田雄章(名工大), 柴山佳成, 田中敬士

第3日 5月31日(金)

<B室>

B31 9:00 - 10:20 分子動力学3

- B311 固液平衡条件を定量的に決定するための手法開発とナノ細孔中の水分子への適用
*金子敏宏(慶大), バイ ジェイ(ネブラスカ大), 泰岡顕治(慶大), 光武亜代理, ゼン シャオチェン(ネブラスカ大)
- B312 プロトン移動反応の分子動力学モデルとしての n-ヘプタン酸化反応における振動エネルギー移動
吉田飛雄士(富山大), *ゾロツキヒナ タチアナ
- B313 固体面上における液滴の濡れ広がり過程に関する分子動力学解析
*新垣英亮(阪大工院), 西田翔吾, スルプリス ドナタス, 山口康隆, 黒田孝二(大日本印刷), 香川勝, 中島但, 藤村秀夫
- B314 平均場運動論による温度の異なる2つの液膜間での定常蒸発・凝縮の数値計算
*今美沙紀(北大), 小林一道, 渡部正夫

B32 10:30 - 12:10 分子動力学4

- B321 沸騰初期の気泡核生成への固液界面物性の影響: 分子動力学シミュレーション
*カノン ジェームズ(東大), 塩見淳一郎
- B322 投射物に対するミクロスケール液膜の安定性
中谷俊洋(京都大), *松本充弘
- B323 水とアルコールの混合が固体壁面における速度すべりに与える影響についての分子動力学的研究
*中岡聡(阪大工院), 山口康隆, 黒田孝二(大日本印刷), 香川勝, 中島但, 藤村秀夫
- B324 ナノシリンダー内の水の気液共存に関する分子動力学シミュレーション
*美馬俊喜(東大工), 杵淵郁也, 吉本勇太, 福島啓悟(東北大流体研), 徳増崇, 高木周(東大工), 松本洋一郎
- B325 GPU を用いたレプリカ交換分子動力学シミュレーションによる Lennard-Jones 流体の固液相転移点の推定
*野村昂太郎(慶應大), 老川稔, 川井敦, 成見哲(電通大), 泰岡顕治(慶應大)

<C室>

C31 9:00 - 10:20 OS 燃焼研究の最前線3

- C311 プロパン-空気微小球状伝ば層流火炎の燃焼速度特性に関する実験的研究
*中原真也(愛媛大), 徳永修一(愛媛大院), 西原司, 阿部文明(愛媛大)
- C312 小型渦流燃焼器による小型高出力発電システムの開発
*原隆之(広島大), 栗本崇志, 下栗大右, 石塚悟
- C313 狭い平行壁面間に形成されるメタン火炎の消炎距離に与える壁面材質および壁面温度の影響に関する数値解析
*林直樹(名大院), 山下博史
- C314 マイクロチャンネル内予混合火炎の直接数値計算
河尻翔太(東工大), *福島直哉, 志村祐康, 店橋

護, 宮内敏雄

C32 10:30 - 12:10 OS 燃焼研究の最前線4

- C321 高炭酸ガス濃度下における Fuel-NOx 生成に関する管状火炎バーナを用いた基礎的研究
*下栗大右(広島大), 福場信一, 石塚悟
- C322 O₂/CO₂ 雰囲気における Fuel-NO の生成および Recycled-NO の還元メカニズム
*渡部弘達(東工大), キアトパナシャート デートウドム, 岡崎健
- C323 高温酸素燃焼に関する基礎的研究(噴流火炎の燃焼特性)
*大西孝和(東北大), 星李, 手塚卓也, 長谷川進, 中村寿, 丸田薫, 持田晋(日本ファーマ株式会社)
- C324 CO₂ 回収型石炭燃焼における揮発分の反応メカニズムの解明
*菅井俊輔(東工大), キアトパナシャート デートウドム, 渡部弘達, 岡崎健
- C325 Investigation on stretch extinction limits of CH₄/CO₂ versus high temperature O₂/CO₂ counterflow non-premixed flames
*星李(東北大), 賈力(北京交通大), 大西孝和(東北大), Grajetzki Philipp, 中村寿, 手塚卓也, 長谷川進, 丸田薫

<D室>

D31 9:00 - 10:20 マイクロ伝熱7

- D311 プレーナー光学素子を用いた微粒子からの光散乱検出デバイスの開発
*塚田拓也(東理大学), 元祐昌廣(東理大)
- D312 LD-BTE 計算によるフォノンダイナミクス・シミュレーション
*正尾裕輔(京大院), JainAnkit(カーネギーメロン大学), JarkinJason, McGaugheyAlan, 松本充弘(京大院)
- D313 時間領域サーモリフレクタンス法を用いた固体界面の熱コンダクタンス測定
*坂田昌則(東京大), 小宅教文, 塩見淳一郎
- D314 メソポーラスシリカ薄膜内部のイオン移動現象
*黄峻浩(東大), 庄司直子, 大宮司啓文, 遠藤明(産総研)

D32 10:30 - 11:50 マイクロ伝熱8

- D321 シリンダ型細孔構造をもつメソポーラスシリカ内部におけるエリスリトールの融解・凝固現象
*増田泰明(東大), 中野晃太, 大宮司啓文
- D322 ナノ粒子/高分子コンポジット薄膜内のナノ粒子空間構造に及ぼす諸因子の影響
*劉洋(東北大), 藤井岳史, 久保正樹, 杉岡健一, 塚田隆夫, 高見誠一, 阿尻雅文
- D323 メソポーラスシリカ薄膜への水蒸気吸着/脱着の分子シミュレーション
*山下恭平(東大), 大宮司啓文
- D324 バブルテンプレート法による中空ポリ乳酸マイクロカプセルの製造
*モリノジェイ(東大), 櫻井大地, 大宮司啓文, 竹村文男(産総研)

D33 13:10 - 14:50 マイクロ伝熱 9

- D331 面発光レーザーの最適熱制御における加熱位置の影響
*森本賢一(東京大), 鈴木雄二
- D332 単層カーボンナノチューブ-シリコンのヘテロ接合による太陽電池
*千足昇平(東大), 崔可航, 千葉孝昭, エイナルソニック, 丸山茂夫
- D333 安定地中隔離を目指した超臨界 CO₂ ナノスケール化
*近藤史也(東工大), 植村豪(東工大院), 津島将司, 平井秀一郎
- D334 MEMS ピラー構造を用いた超撥水面におけるピッチの影響に関する研究
*宋基永(東京大), 森本賢一, 鈴木雄二
- D335 高誘電率セラミックスを用いた静電誘導型 MEMS 非定常熱発電デバイス
*吉田洵也(東京大), 鈴木雄二

<E 室>

E31 9:00 - 10:20 沸騰 7

- E311 低圧低沸点水における沸騰熱伝達の機構とその促進
*小田壱(工学院大), 内山将太, 大竹浩靖, 長谷川浩司
- E312 二次元温度場計測を通じた高温加熱面の膜沸騰崩壊温度および沸騰熱伝達特性
*大堀哲矢(工学院大院), 大竹浩靖(工学院大), 長谷川浩司
- E313 プール沸騰限界熱流束点付近における熱流束の変動と分布
*原村嘉彦(神奈川大)
- E314 福島第一原子力発電所 1 号機事故の熱流動現象推定(熱力学モデルによる事故シナリオの検証)
*円山重直(東北大)

E32 10:30 - 12:10 計測技術 1

- E321 ポルフィリン自己組織化単分子膜を用いた表面圧力イメージングセンサの開発
*坂村芳孝(富山県立大), 鈴木孝典(シロキ工業(株)), 川端繁樹(富山県立大), 田中孝祐
- E322 ガルバニ電池酸素吸収体を用いた含水状態微細多孔体の有効酸素拡散係数測定の高精度化
*是澤亮(横国大院), 大徳忠史(秋県大), 宇高義郎(横国大工)
- E323 時間相関単一光子計数法を用いた近接場蛍光寿命測定によるナノスケール温度測定手法の開発
*瀬戸大地(慶大学), 田口良広(慶大理工), 斉木敏治, 長坂雄次
- E324 近赤外吸収イメージング法を応用した微小発熱体周りの水の温度分布推定
*山田健太(首都大), 角田直人, 有本英伸(産総研), 近藤克哉(鳥取大), 山田幸生(電通大)
- E325 インピーダンス変化型 MEMS ワイヤレスセンサを用いた温度測定に関する研究
*御手洗凜(東京大), 鈴木雄二

E33 13:10 - 14:50 計測技術 2

- E331 立方体内の自然対流における二次元温度場・流れ場の同時計測に関する研究
*トールレスホアン フェリペ(東北大院, ECL), 小宮敦樹(東北大), アンリー ダニエル(ECL), 円山重直(東北大)
- E332 Light Field Camera を用いた PIV 計測
*川口達也(東工大), 齊藤卓志, 佐藤勲
- E333 磁場環境下のマイクロ流路内赤血球運動の可視化と磁気特性の計測
*巽和也(京大), 小森優輝, 中部主敬
- E334 希土類酸化物蛍光体の酸素消光特性
*岡野紗耶(慶大院), 植田利久(慶應大), 横森剛
- E335 3-D 3-C PIV による三次元計測の精度検証
*二宮尚(宇都宮大)

<F 室>

F31 9:00 - 10:20 電子機器の冷却 1

- F311 熱応力と接触熱抵抗の連成問題に関する基礎研究(熱ダイオード特性について)
*富村寿夫(熊本大), 小糸康志
- F312 次世代パワーデバイス用ミニチャンネルフィンヒートシンクの伝熱性能
*結城和久(山口東京理科大学), 木内清泰, 鈴木康一
- F313 準定常直線フィン温度分布フィッティング法による平板面内方向熱伝導率測定法の研究
*大串哲朗(広国大)
- F314 熱・電気連成解析によるパワー Si MOSFET のホットスポット温度予測
*木伏理沙子(富山県立大), 畠山友行, 石塚勝

F32 10:30 - 11:50 電子機器の冷却 2

- F321 サーモサイフォン搭載ネットワーク機器の風路構造
*近藤義広(日立 日立研)
- F322 同軸回転する円板間流れの軸平行/直角断面での実験と計算
*有光政人(同志社大), 千葉哲郎, 谷川博哉(舞鶴高専), 舟木治郎(同志社大), 平田勝哉
- F323 液体過渡レンズ効果を用いたナノ秒パルスレーザーパルスシェイピングのための時分解計測と機構解明
井上涼太(東工大), *金 ビョンギ, ドアンホン ドク, 伏信一慶
- F324 高密度実装下におけるファンの動作点と圧力損失の関連性
*福江高志(岩手大), 畠山友行(富山県大), 石塚勝, 廣瀬宏一(岩手大), 小泉雄大(コーセル)

F33 13:10 - 14:30 電子機器の冷却 3

- F331 熱転写プリンタにおける紙の温度応答特性に関する熱物性値の影響
*中川文弥(岩手大院), 廣瀬宏一(岩手大), 福江高志, 伊藤里紗, 和宇慶知子(アルプス電気), 寺尾博年

- F332 圧力操作による急加熱時沸騰開始壁面過熱度の低減に関する研究
*浅野等(神戸大), 藤原慎之介, 竹中信幸
- F333 マイクロプロセッサのダイ温度予測のための簡易手法
*西剛伺(日本 AMD), 畠山友行(富山県立大), 石塚勝
- F334 スーパーコンピュータにおける伝熱: 性能と伝熱の関係に関する研究
*中山恒(サムテックインターナショナル)
- F34 14:40 - 15:40 電子機器の冷却 4
- F341 液体ビームシェイパにより整形された極短パルスレーザーを用いたチタン箔の微細加工
*ドアンホン ドク(東工大), TewoldeMahder(Stony Brook University), 岩谷直樹(東工大), HwangDavid J.(Stony Brook University), LongtinJon P., 伏信一慶(東工大)
- F342 扁平微細多孔管内における単相流伝熱特性に関する研究
李敏霞(天津大学), 代宝民, *党超鋌(東京大学), 馬一太(天津大学)
- F343 マイクロ秒パルスレーザーによる穴あけ加工における光強度分布の影響
*岩谷直樹(東工大), ドアンホン ドク, 伏信一慶(東工大)
- <G 室>
- G31 9:00 - 10:20 ヒートパイプ 4
- G311 平板型蒸発器を有するループヒートパイプのモデル解析
*尾形晋(富士通研), 助川英次, 塩賀健司
- G312 自励振動型アンモニアヒートパイプの伝熱解析と熱輸送性能評価
鈴木祐二(東工大), *井上優樹, 井上剛良
- G313 Loop Heat Pipe Development for High End Applications
*Randeep Singh(Fujikura Ltd.), Masataka Mochizuki, Yuji Saito, Thang Nguyen
- G314 Comparative Study Thermal Hydraulic Characteristics of Powders and Fiber Wick Using in Heat Pipe for Electronics Cooling Application
*Thanh-Long Phan(Fujikura Ltd.), Masataka Mochizuki, Yuji Saito, Mohammad Shahed Ahamed, Yoji Kawahara
- G32 10:30 - 11:50 融解・凝固 1
- G321 非共晶溶融塩混合物の凝固現象についての実験的研究
*橋場道太郎(IHI), 秋吉亮
- G322 過冷却と外部冷却の併用による合金の微細組織制御
*義岡秀晃(石川高専), 平野圭祐, 中村祐太郎, 多田幸生(金沢大)
- G323 界面活性剤および安定剤を添加したアンモニウムミョウバン水和物スラリーの研究
*日出間るり(神戸大自然), 田野拓也(神戸大院), 田中孝二(神戸大工), 鈴木洋(神戸大院), 菰田悦之
- G324 プラスチック充填層の融解時における熱伝導および気泡挙動に関する研究
*田之上健一郎(山口大), 長尾昌毅, 吉田篤史, 西村龍夫
- G33 13:10 - 14:30 融解・凝固 2
- G331 相変化ナノエマルジョンの基礎物性
*川南剛(神戸大), 金本孔源, 平野繁樹(道総研), 富樫憲一(神戸大), 麓耕二(弘前大), 平澤茂樹(神戸大), 白井克明
- G332 プロパンガスハイドレートの生成・分解過程における AE 計測
*東直矢(青学大), 浅岡龍徳, 熊野寛之, 松尾卓摩(明治大), 長秀雄(青学大), 岡田昌志
- G333 潜熱蓄熱パラフィンの蓄放熱挙動における金属繊維材の効果
*春木直人(岡山大), 堀部明彦, 澤真弘
- G334 エリスリトールとオイルの直接接触凝固融解特性
堀部明彦(岡山大), *ジャン ヒョン, 春木直人, 神原宏章
- G34 14:40 - 16:00 融解・凝固 3
- G341 SPM を利用したナノ/マイクロスケール場での氷の冷却面への付着力の測定 (寸法効果の検討)
*本多正人(中央大), 腰塚真(ニコン), 松本浩二(中央大), 白井大介
- G342 冷却壁面上における氷結晶成長に及ぼす塗膜の影響
*小泉公彦(金沢大), 福地将(東北大), 佐藤博紀, 寺岡喜和(金沢大)
- G343 熱物質移動を伴う塩化カルシウム水溶液による氷の融解挙動
*鎌田秀将(秋田大), 田子真, 小松喜美, 赤田拓丈
- G344 膨潤性粒子の凝固に及ぼす浸透圧の影響
青木和夫(長岡技大), 杉田康明, *市川大他
- <H 室>
- H31 9:00 - 10:20 OS 水素・燃料電池 5
- H311 核磁気共鳴法による高分子電解質膜内の水素ガスの透過性の解析
永久亮介(九州大), 小川邦康(慶大), 高田保之(九州大), *伊藤衡平
- H312 PEFC 内液水空間分布のビームステアリング軟 X 線ステレオ可視化解析
*千葉弘樹(東工大), ディーワンサイ ペンサイ, 南勝利(マース東研 X 線検査(株)), 津島将司(東工大), 平井秀一郎
- H313 マイクロプローブ法を用いた MEA におけるガス種輸送特性の計測
*加藤万裕(東工大), 大石誠人, 小野義隆(日産, 東工大), 伏信一慶(東工大)
- H314 PEFC ガス拡散層内の凝縮水挙動に及ぼす濡れ性影響に関する格子ボルツマンシミュレーション
*田部豊(北大), 上條隆治, 本庄佑次, 鈴木研悟, 近久武美
- H32 10:30 - 12:10 OS 水素・燃料電池 6

- H321 グルコース燃料を用いたパッシブ型バイオ燃料電池の発電特性評価
*西田耕介(京工織大), 末永慧
- H322 低加湿運転 PEFC の電解質膜内における水分の電気浸透及び拡散現象の分離解析
*細谷卓人(京工織大), 麻雅哉, 西田耕介, 津島将司(東工大), 平井秀一郎
- H323 フローバッテリー電流密度向上のための過電圧低減
*津島将司(東工大院), 佐々木肖, 平井秀一郎
- H324 固体高分子形燃料電池における濃度過電圧とMEA内水分挙動
*ディーワンサイ ペンサイ(東工大院), 笹部崇(東北大流体研), 津島将司(東工大院), 平井秀一郎
- H325 PEFC 多孔質積層電極の層間構造と水分滞留時の酸素輸送 LBM 解析
*鈴木崇弘(東工大院), 津島将司, 平井秀一郎
- H33 13:10 - 14:30 熱物性 1
- H331 高温パルス加熱におけるグラフェンナノリボンのフォノン伝搬特性
*奥村勇太(富山大), ゴロツキヒナ タチアナ
- H332 パルス光加熱サーモリフレクタンス法を用いた流体の熱物性測定
*久保圭祐(九大院), 馬維剛(清華大), 張興, 生田竜也(九大院), 高橋厚史, 高田保之, 河野正道
- H333 レーザー周期加熱による薄膜の膜面方向熱伝導率測定
*萩野春俊(九州工業大学), 川原庸介, 岩田尚, 宮崎康次
- H334 オリフィスを通して急速に膨張する高圧気体の状態変化と熱解析
*迫田直也(九大), 尾上清明, 高田保之
- H34 14:40 - 16:00 熱物性 2
- H341 LiF-BeF₂-LiI 熔融塩を用いた核融合炉ブランケットの熱的設計
*宍戸博紀(東北大), 遊佐訓孝, 橋爪秀利
- H342 温度調節機能付臼によるセルロース粉碎における結晶化度の変化
*小林大人(山形大), 志村良太郎, 鹿野一郎, 西岡昭博
- H343 分散型複合材料の熱物性同定における試料モデルの識別法
*加納喜代継(京都電子工業)
- H344 原油増進回収における油/CO₂系の溶解・相分離現象
竹之内啓佑(東工大院), 植村豪, 津島将司, *平井秀一郎
- 1312 三段エルボ下流流動場の可視化計測及びダイバータ冷却への適用の検討
*古舘翔一(東北大), 江原真司, 橋爪秀利
- 1313 管内流の安定温度成層化による摩擦抵抗低減
中島将太(明大院), *小林健一(明大)
- 1314 アルミニウム繊維層を利用した伝熱促進
*今井啓太(同志社大), 岡崎圭佑, 千田衛, 稲岡恭二
- 132 10:30 - 11:30 強制対流・噴流 5
- 1321 非一様磁場下における磁性流体矩形管内強制対流熱伝達と流動に関する研究
*辰野誠哉(東理大院), 本澤政明(東理大), 澤田達男(慶大理工), 川口靖夫(東理大)
- 1322 ボルテックスジェネレータを用いた伝熱促進 (翼の設置方法と熱伝達特性の関係)
*川口清司(富山大), 五十嵐隼(富山大院)
- 1323 壁噴流域に付設したリブによる衝突噴流冷却の伝熱促進に関する LES
*小田豊(阪大), 武石賢一郎
- 133 13:10 - 14:30 混相流 1
- 1331 微細液滴噴霧によるミスト冷却の熱流体解析
*吉野翔(九大), 山本剛, 深井潤
- 1332 電解質水溶液表面の巻き込み気泡の観察
*妹尾悟史(京都大), 松本充弘
- 1333 液中のマイクロバブルとアクリル粒子の挙動に及ぼす円形平面音源からの超音波の影響
*若林大翔(福井大院), 鈴木宏彰(福井大), 浮津敬之, 太田淳一(福井大院)
- 1334 冷凍サイクルの絞り弁の後流に発生する流体振動に関する研究
*赤津裕一(豊橋技術科学大学)
- 134 14:40 - 15:40 混相流 2
- 1341 炭酸ガスの二相流中に発生する斜め衝撃波に及ぼす背圧の影響
*川村洋介(豊技大院), 中川勝文(豊技大)
- 1342 液中高速気体噴流中への液滴発生と液滴挙動に関する研究
*名古宏平(信州大), 内堀昭寛(JAEA), 大島宏之中性子ラジオグラフィによる超臨界水熱合成反応器内の混合状態に及ぼす反応器幾何学形状の影響の検討
*小澤恭兵(東北大), 杉岡健一, 高見誠一, 塚田隆夫, 阿尻雅文, 杉本勝美(神戸大), 竹中信幸, 齊藤泰司(京都大)

<I 室>

- I31 9:00 - 10:20 強制対流・噴流 4
- I311 加熱条件が変化する平板上を発達する乱流境界層の速度と温度の相関特性
*保浦知也(名工大), 平光研士郎(名工大院), 田川正人(名工大), 長野靖尚(名工大, 名産研)

優秀プレゼンテーション賞（第50回日本伝熱シンポジウム）について

日本伝熱学会 学生会委員会
委員長 齊藤卓志

第50回日本伝熱シンポジウムでは、下記の要領で学生・若手研究者を対象とした優秀プレゼンテーション賞セッションを設けます。企業・大学・研究機関等の多数の皆様にご参加いただきたく、お願いいたします。

開催日：平成25年5月29日（水） シンポジウム第1日
発表形式：発表者1名あたり3分のショートプレゼンテーションとポスタープレゼンテーションを行っていただく予定です。各プレゼンテーションは、以下の内容を予定しています。

○ショートプレゼンテーション（SP）15:00～15:30

- ・1人あたりの発表時間は3分です。スケジュールがタイトなため、発表時間厳守ですので注意してください。なお、SPでは質疑応答の時間は設けません。
- ・発表資料はPDFファイル（動画不可、上限3MB/人）を事前提出していただきます。学生会委員会側でノートパソコンを用意し、その中にファイルをコピーして発表時に使用する予定です。なお、PDFファイルのページ送りは学生会委員が担当する予定です。

○ポスタープレゼンテーション（PP）15:40～17:00

- ・講演番号により、前半および後半の発表時間帯を設定します。詳細な時間スケジュールは後日連絡します。
- ・ポスターを貼るパネルのサイズは、縦1700mm×横900mmで、縦長に設置されます。A0サイズのポスターが最適サイズです。また、貼り付けには画鋏を用います。

対象：企業・大学・研究機関等の技術者・研究者で、平成25年3月31日現在で28歳以下の者、または、申込当日に学生である者（ただし、社会人大学院生を除く）。

応募資格：発表時（＝審査時）に、日本伝熱学会の会員（正員・学生会員）、または入会申込中であること（事前の入会を強く推奨）。注：本セッションで発表する方は、応募資格を必ず満たす必要があります。また、過去に本賞を受賞された方は応募できません。

審査・選考方法：複数名の審査員による評価に基づいて選考し、受賞者を決定します。

表彰：受賞者はシンポジウム第2日の学会総会で表彰します。

＜最新情報はシンポジウムのホームページに公開します＞



編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



インターネットの普及により情報発信・交換能力の比類ない進展がもたらされました。一方、ハードコピーとしての学会誌には、アーカイブ的な価値のある内容を手にとって熟読できる点や、一連のページを眺めて全貌が容易に理解できる点など、いくら電子媒体が発達してもかなわない長所があるのではないかと思います。ただし、学会誌の印刷・発送には多額の経費も伴いますので、当部会ではこのほど、密度のより高い誌面、すなわちハードコピーとしてぜひとも残すべき内容を厳選し、インターネット（HP：ホームページ、ML：メーリングリスト）で扱う情報との棲み分けをした編集方針を検討いたしました。

この結果、これまで会告ページで取り扱ってきた各種行事・広告などの掲載につき、以下のような方針で対応させていただきたく、ご理解とご協力をお願いする次第です。

対 象	対 応	具体的な手続き (電子メールでの連絡を前提としています。)
本会（支部）主催による行事	無条件で詳細を、会誌とHPに掲載、MLでも配信	申込者は、総務部会長・編集出版部会長・広報委員会委員長・総務担当副会長補佐評議員に記事を同時送信してください。
関係学会や本会会員が関係する組織による 国内外の会議・シンポジウム・セミナー	条件付き掲載 会誌：1件当たり4分の1ページ程度で掲載（無料） HP：行事カレンダーに掲載しリンク形成（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、まず内容を説明する資料を総務担当副会長補佐評議員に送信してください。審議の結果、掲載可となった場合には総務担当副会長補佐評議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）と広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
大学や公的研究機関の人事公募（伝熱に関する分野に限る）	会誌：掲載せず HP：条件付き掲載（無料） ML：条件付き配信（無料）	申込者は、公募内容を説明する資料を総務担当副会長補佐評議員に送信してください。審議の結果掲載可となった場合には総務担当副会長補佐評議員より申込者にその旨通知しますので、申込者は記事を編集出版部会長（会誌担当）広報委員会委員長（HP担当）に送信してください。
一般広告 求人広告	会誌：条件付き掲載（有料） HP：条件付き掲載（バナー広告のみ、有料）	申込者は、編集出版部会長（会誌担当）または広報委員会委員長（HPバナー広告担当）に広告内容を送信してください。掲載可となった場合には編集出版部会長又は広報委員会委員長より申込者にその旨通知しますので、申込者は原稿を編集出版部会長または広報委員会委員長に送信してください。掲載料支払い手続きについては事務局からご連絡いたします。バナー広告の取り扱いについては http://www.htsj.or.jp/banner.pdf をご参照下さい。

【連絡先】

- ・総務部会長：宗像鉄雄（産業技術総合研究所）：t.munakata@aist.go.jp
- ・編集出版部会長：高松洋（九州大学）：takamatsu@mech.kyushu-u.ac.jp
- ・広報委員会委員長：小宮敦樹（東北大学）：komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐評議員：党超鋌（東京大学）：dangcb@k.u-tokyo.ac.jp
- ・事務局：大澤毅士・倉水裕子：office@htsj.or.jp

【注意】

- ・原稿はWordファイルまたはTextファイルをお願いします。
- ・HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承ください。
- ・MLでは、原則としてテキスト文の送信となります。pdf等の添付ファイルで送信を希望される場合はご相談ください。

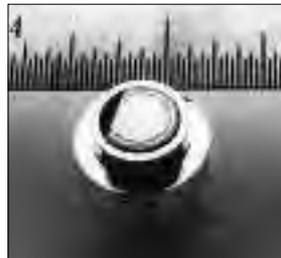
事務局からの連絡

第 51 期入会 (2012.11.1~2013.1.31) 正 7 名 学生 5 名

資	氏 名	所 属	資	氏 名	所 属
正	陳 志豪	横浜国立大学	正	佐藤 理	株式会社島津製作所
正	出口 祥啓	徳島大学	正	日出間 るり	神戸大学自然科学系先端融合研究環
正	杵淵 郁也	東京大学大学院工学系研究科	学	居城 俊和	長岡技術科学大学エネルギー環境工学専攻
学	岡部 孝裕	東北大学大学院工学研究科	正	島津 智寛	株式会社デンソー
学	芳賀 大亮	明治大学理工学部	学	太田 博之	新潟大学工学部
学	上道 茜	茨城大学システム情報工学研究科	正	二本柳 保	東北電力株式会社

熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 (W/cm^2) に比例した直流電圧を出力します。弊社の製品は米国バージニア工科大学が開発した新しい技術をVatell社で商品化したもので、大変手軽に高速・高精度で熱流量の測定をすることができます。特に応答速度の早いこと、センサーからの出力レベルが高いことが特徴で、熱流束マイクロセンサー (HFM) では、応答速度最高6マイクロ秒を達成しています。

熱流束マイクロセンサー



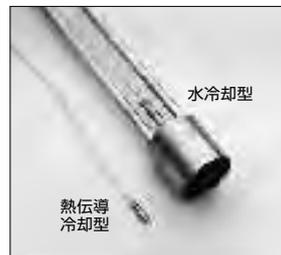
特徴

- 最高速の応答 (約 6μ 秒)
- $850^{\circ}C$ まで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 熱流束と温度を測定
- 伝導、対流、輻射に等感度

使用例

- エンジン内壁の熱伝達状態観察
- ロケットエンジンのトラバース実験
- タービンブレード熱風洞試験
- 自動車用エアバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイヤー試験

ガードン型円形フォイルセンサー

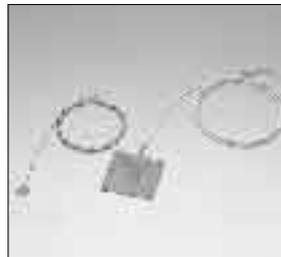


センサー本体の構造は、薄膜フォイル・ディスクの中心と周囲の温度差を測定する、差動型熱電対をとっています。フォイル・ディスクはコンスタンタンで作られており、銅製の円柱形ヒートシンクに取り付けられています。水冷式は取付け場所の自由度が高く長時間の測定が可能です。

使用例

- 焼却炉・溶鉱炉の熱量測定
- 火災実験の際の輻射熱ゲージ
- バーナーなど熱源の校正用基準器
- 着火性・燃焼性試験 (ISO5657, 5658, 5660)
- 米国連邦航空局のファイヤー・スモークテスト

シート状熱流束センサー



センサーは銅とニッケルのサーモパイルから構成されており、測定対象物に貼付けて使います。センサーは厚さが0.2mmと薄いため、柔軟性に富んでおり、直径1インチの円筒形に湾曲させる事が出来ますので、パイプなどに貼り付けてお使いになるには最適です。

使用例

- 電気・電子機器内の発熱・放熱状態測定
- 熱交換器の効率測定
- パイプの放熱状況測定

熱流束センサー 校正サービス

熱流束センサーの校正作業をお引き受けいたします。校正証明書は米国基準局NISTにトレーサブルです。校正設備の物理的な制約で、お引き受けできない場合もあります。ご相談ください。

センサテクノ株式会社

〒106-0031 東京都港区西麻布3-24-17 霞ビル4F
TEL: 03-5785-2424 FAX: 03-5785-2323

URL

www.senstech.jp

E-mail

senstech@td6.so-net.ne.jp

熱流束センサー



■ CAPTEC 社日本総代理店 ■ MEDTHERM 社輸入販売店 ■ ITI 社輸入販売店

当社は、独自の高度技術を持つ、海外メーカーの熱計測機器をご提供致しております。

CAPTEC 社(フランス)

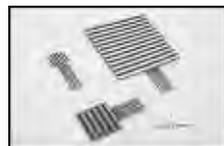
CAPTEC(キャプテック)社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。
輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5mm～300×300mm
厚み: 0.4mm (平面用・曲面用)
温度範囲: -200～200°C
応答速度: 約 200ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
特注品: 高温用・高圧用・防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5mm～50×50mm
厚み: 0.25mm
温度範囲: -200～250°C
応答速度: 約 50ms
オプション: 温度計測用熱電対内蔵
形状: 正方形・長方形・円形
波長領域: 赤外/可視+赤外

MEDTHERM 社(アメリカ)

MEDTHERM(メドサーム)社は、これまで30年以上にわたり、高品質の熱流計及び超高速応答の熱電対を提供してまいりました。航空宇宙・火災・燃焼分野における豊富な実績を有しています。用途に応じ、様々な形状・仕様の製品を製造可能です。

熱流計/輻射計



熱流束範囲: 0.2-4000Btu/ft²sec(フルスケール)
サイズ: 1/16インチ(約1.6mm)～1インチ(約25.4mm)
最高温度: 200°C(水冷なし)/1500°C(水冷)
出力信号: 0-10mV(DC・線形出力)
直線性: ±2%(フルスケールに対して)

応答速度: 50ms以下*
再現性: ±0.5%
較正精度: ±2%
オプション: 輻射窓・視野角指定等

*応答速度は、熱流束レンジによって異なります。

超高速応答同軸熱電対

本同軸型熱電対は、第1熱電対のチューブの中に第2熱電対ワイヤーが挿入された同軸構造になっています。第2熱電対ワイヤーは、厚み0.0005インチ(約0.013mm)の特殊なセラミックで絶縁コーティングされています。プローブ先端の熱電対接点は、厚み1～2ミクロンの金属皮膜で真空蒸着されており、最高1マイクロ秒の応答速度を実現しています。



【主な用途】
表面温度及び表面熱流束計測
風洞試験・エンジンシリンダー・エアコンプレッサー等
【最小プローブ径】
0.015インチ(約0.39mm)

【熱電対タイプ】
T型(銅/コンスタンタン) -270°C～+400°C
J型(鉄/コンスタンタン) -210°C～+1200°C
E型(クロメル/コンスタンタン) -270°C～+1000°C
K型(クロメル/アルメル) -270°C～+1372°C
S型(白金10%ロジウム/白金) +200°C～+1700°C

ITI 社(アメリカ)

ITI(International Thermal Instrument Company)社は、1969年の設立以来、高温用熱流板や火災強度熱流計など、特殊な用途に対応した製品を提供しています。特注品の設計・製造も承っております。

高温用熱流板



最高温度: 980°C
応答速度: 0.1s
直径: 8mm～25.5mm 厚み: 2.5mm

水冷式 火災強度熱流計



最高温度: 1900°C
応答速度: 0.1s
最大熱流束レンジ: 0～3000W/cm²

当社取扱製品の適用分野

- 伝熱一般
- 温熱環境
- 炉・ボイラー
- 航空宇宙
- 火災
- 燃焼
- 各種エンジン

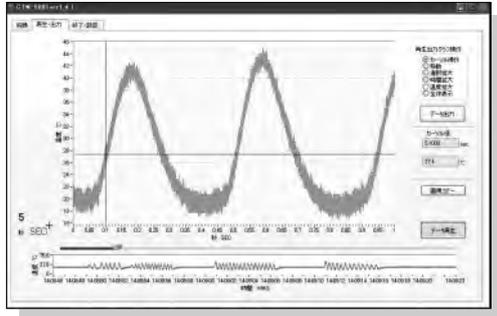
有限会社 テクノオフィス

〒225-0011 神奈川県横浜市青葉区あざみ野 3-20-8-B
TEL. 045-901-9861 FAX. 045-901-9522
URL: <http://www.techno-office.com>

高速温度測定装置 CTM-5001K

冷接点補償を確実にする熱電対と同じ素材で製作された
脱着容易なコネクタを採用。

測定データはUSB接続されたPCに保存されます。



<主な仕様>

- サンプルレート 0.1msec~1min
- -200~1250℃測定
- 温度測定数 1 ch
- K型熱電対接続
- USBにて電源供給
- 温度分解能 約0.5℃
- 寸法：82(W)×130(D)×24(H)mm

<主な用途>

- 内燃機関測定
- 射出成型、鑄造温度測定
- 急冷、急加熱想定

国内総販売元



株式会社

新興精機

〒812-0054 福岡市東区馬出一丁目18番3号

TEL : 092-641-8451 FAX : 092-641-8786

Email: info@shinkouseiki.co.jp <http://www.shinkouseiki.co.jp>

編集出版部会ノート Note from the Editorial Board

技術に関する70年前の話を少し。1937年8月海上公試運転中の新鋭駆逐艦のタービン翼が破損、その後同形艦でも問題が顕在化した。当時は艦政本部で開発された純国産化蒸気タービン搭載開始から10年ほど経緯した時期で、別対策の一環として設計見直しをした直後でもあった。この責任を問われた渋谷少将（以下全て当時）はじめタービン開発関係者は被告の立場となり、海軍省内に設置された臨時機関調査会（山本五十六委員長）から排除されたうえ、委員と個人的に接触することも禁じられた。1年程度の調査の結果、原因は翼車振動とされ、主力艦、航空母艦、巡洋艦、駆逐艦及び水雷艇の大部分を改造することとなった。この結論に異を唱えたのが海軍軍務局第三課長の久保田大佐であった。氏は海軍機関中尉～大尉の海外赴任時にMITで学び設計基準を設定した人物でもあり、排除対象には入らなかった専門家であった。もちろん大佐は決定を覆す権限を有さないが、改造計画の大臣決裁要求段階で実艦実用試験の必要性を主張・実施させ全艦無事故で終了させた。その後、世界的にも把握されていなかった翼の二節振動によると原因を特定、委員会結論・対策を撤回、懲罰も回避させた。陸上試験で最終決着するまでの間、実に6年かけている。

一方で、スペースシャトルチャレンジャー事故のように、技術的判断と経営的判断をはかりにかけて判断を誤った事例もある。「理アルイハ顛倒スベシ、物ナンゾ誣ウベキ（山脇東洋）」、技術における専門家の責任の大きさを考えさせられる。

餅は餅屋、専門家が主導しなければ話にならない。またその考え方は世間も含めて広く精査・理解されなければ成立しなくなっている。原子力推進・廃止いずれの立場でも、技術的な議論は同じプロセスを踏むはずである。本特集で考える機会を提供できたとすれば幸いである。

梅川 尚嗣（関西大学）

Hisashi Umekawa (Kansai University)

e-mail: umekawa@kansai-u.ac.jp

副会長 石塚 勝（富山県立大学）

部会長 高松 洋（九州大学）

委員

（理事）小原 拓（東北大学）

田川正人（名古屋工業大学）

堀部明彦（岡山大学）

安田俊彦（日立造船）

（協議員）上野一郎（東京理科大学）

梅川尚嗣（関西大学）

奥山正明（山形大学）

佐々木直栄（日本大学）

佐藤恒之（秋田工業高専）

芝原 正彦（大阪大学）

瀬名波 出（琉球大学）

野村信福（愛媛大学）

森 昌司（横浜国立大学）

TSE チーフエディター 花村克悟（東京工業大学）

編集幹事 伏信一慶（東京工業大学）

編集出版事務局：

九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門 高松 洋

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

Tel&Fax: 092-802-3123, takamatsu@mech.kyushu-u.ac.jp