

伝 熱

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 49, No. 208
2010.7

HTSJ

◆特集：冷凍空調でのノンフロン化

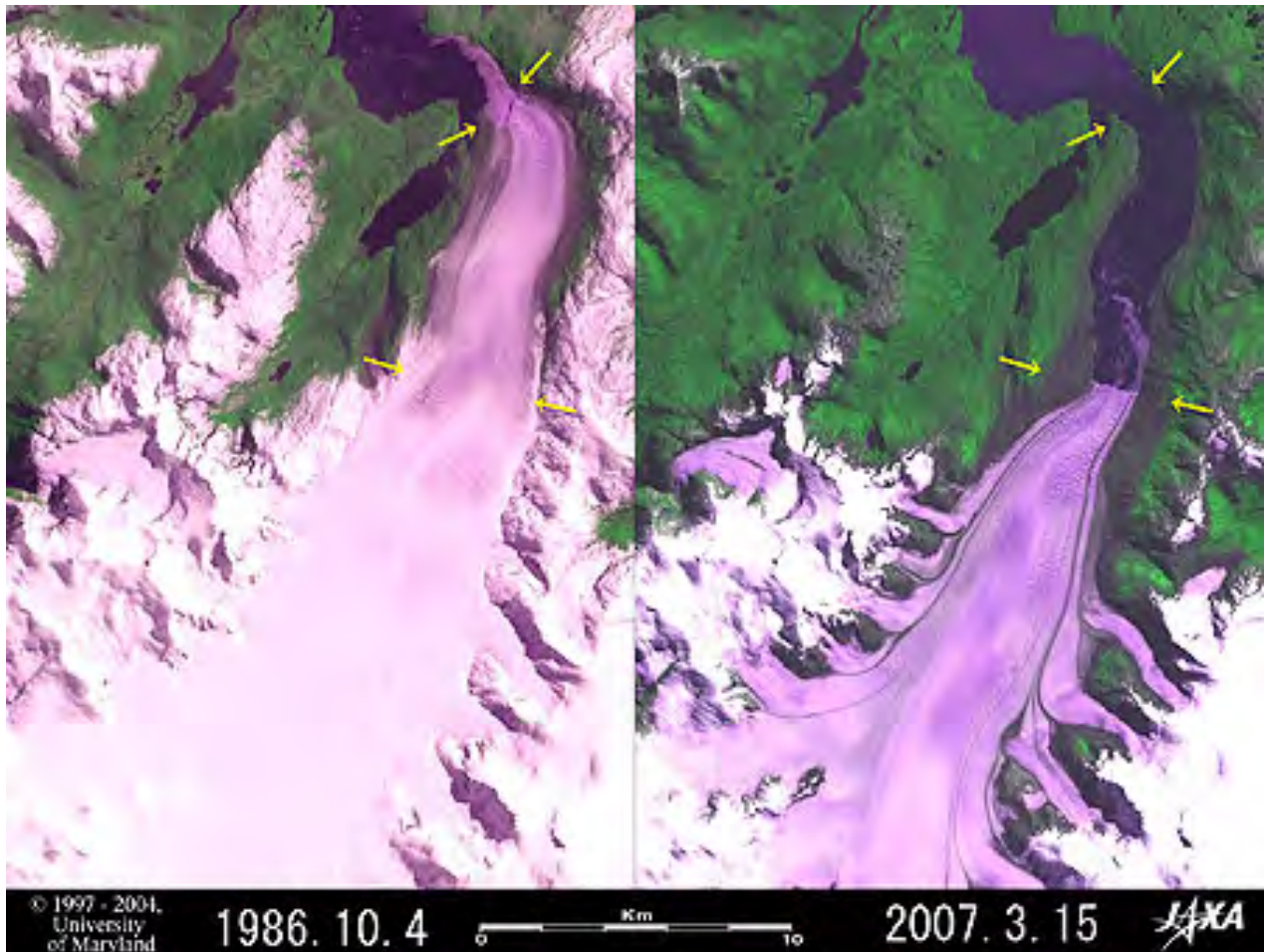


図1 ホルヘ・モン氷河の後退

南米、パタゴニアの巨大氷河が大きく後退^[1]

Large glacier in Patagonia, South America, melting faster

図1は南パタゴニア氷原から流れ出てペーカー水道に注ぐホルヘ・モン氷河を示しています。左は1986年に米国のランドサット5号が観測した画像で、右は2007年に日本の陸域観測技術衛星「だいち」が捉えた画像です。左右の画像を比べると、氷河の末端がこの21年間に8.5～10.6 kmも後退し、水面が奥深くまで進行したことが分かります。また、支流も含めて、氷河全体が痩せ細り、下側の矢印のところの氷河の幅は4.5 kmから1.5 kmに大きく減ったことが見て取れます。右側の図では、痩せた氷河の下流の両側に灰色の部分がありますが、かつて氷河に覆われていたものの、氷河が後退して、岩肌が露出し、まだ植生に覆われていない状態であると考えられます。(JAXA 地球観測研究センターHPより)

謝辞

図1とその説明文は文献[1]のホームページから転載したものです。転載を許可してくださいましたJAXA関係者の皆様に感謝いたします。(編集出版部会)

文献

[1] <http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2010/tp100324.html>

伝 熱

目 次

〈新旧会長挨拶〉

会長就任にあたって	林 勇二郎 ((独) 国立高等専門学校機構)	1
第 48 期を振り返って	第 48 期会長 長野 靖尚 (名古屋工業大学)	2

〈第 22 回日本伝熱学会賞〉

平成 21 年度日本伝熱学会賞選考の報告	表彰選考委員会委員長 山田 幸生 (電気通信大学)	3
日本伝熱学会学術賞を受賞して	伊藤 衝平, 李 相根 (九州大学), 古賀 達郎 ((株) デンソー)	
	佐々木 一成 (九州大学)	4
日本伝熱学会学術賞を受賞して	畠山 友行 (富山県立大学), 伏信 一慶, 岡崎 健 (東京工業大学)	5
日本伝熱学会学術賞を受賞して	赤松 正人 (山形大学), 日向野 三雄 (秋田県立大学)	6
日本伝熱学会技術賞を受賞して	大曾根 靖夫, 中里 典生, 河野 賢哉, 依田 智子 ((株) 日立製作所)	
	白井 優之 (ルネサスエレクトロニクス (株))	7
日本伝熱学会奨励賞を受賞して	横内 康夫 (慶應義塾大学)	8
日本伝熱学会奨励賞を受賞して	菊川 豪太 (東北大学)	9
日本伝熱学会奨励賞を受賞して	植村 豪 (東京工業大学)	10
優秀プレゼンテーション賞受賞者紹介		11

〈平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰〉

表彰選考委員会委員長 山田 幸生 (電気通信大学)	12
---------------------------	----

〈追悼 Wen-Jei Yang 先生〉

Yang 先生を偲んで	望月 貞成 (東京農工大学)	14
追悼 Yang 教授の日本伝熱学会へのご貢献	第 48 期会長 長野 靖尚 (名古屋工業大学)	17
Wen-Jei Yang 先生を偲んで	鳥居 修一 (熊本大学)	18

〈第 47 回日本伝熱シンポジウム〉

第 47 回日本伝熱シンポジウムの報告	19
---------------------	----

〈特集：冷凍空調でのノンフロン化〉

フロン分野における地球温暖化防止対策

- ……………菅原 和繁 (NEDO：新エネルギー・産業技術総合開発機構) …… 29
- 低 GWP 冷媒 HFO-1234yf ……飛原 英治 (東京大学) …… 36
- 低 GWP 次世代冷媒候補物質 HFO-1234ze(E)の基本特性
- ……小山 繁 (九州大学), 高田 信夫 (九州大学), 日比野 泰雄 (セントラル硝子) …… 40
- 革新的断熱材開発と高分子発泡成形加工 ……大嶋 正裕 (京都大学) …… 47

〈エデュケーション Q〉

- ルイ・ド・ブロイ (1892~1987) の功績 ……村上 陽一 (東京工業大学) …… 52

〈ネイチャーQ〉

- 日本における温暖化と気温の正確な観測 ……近藤 純正 (東北大学名誉教授) …… 58

〈プロジェクト Q〉

普及を目指した GLOBAL ハイブリッドカーの開発

- ……………藤木 有司・竹本 英知 ((株) 本田技術研究所) …… 68

〈特別寄稿〉

- 熱流計で表面熱流は測れない……………中村 泰人 (元京都大学) …… 81

〈国際活動・会議報告〉

- マイクロ／ナノ国際会議 [ISMNT-3 & MECT-2010] 報告 ……小原 拓 (東北大学) …… 85

〈巻頭グラビア:heat-page〉

- 南米, パタゴニアの巨大氷河が大きく後退 ……JAXA 地球観測研究センターHP より ……表紙裏

〈行事カレンダー〉

- …………… 87

〈お知らせ〉

- 社団法人日本伝熱学会第 48 期 (平成 21 年度) 総会議事録 …… 89
- 会員情報システムの案内 …… 92
- 編集出版部からのお知らせ …… 94
- 編集部会ノート …… 99

Vol. 49, No. 208, July 2010

CONTENTS

<New and Former president's Address>

Address as the New President

Yujiro HAYASHI (Institute of National College of Technology Japan) 1

Address as the ex-President

Yasutaka NAGANO (Nagoya Institute of Technology) 2

<The 22nd Heat Transfer Society Awards>

On Selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2009

Yukio YAMADA (University of Electro-Communications) 3

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Shohei ITOU, Sangkun LEE (Kyushu University),
Tatsuro KOGA (Denso Co.,Ltd.), Kazunari SASAKI (Kyushu University) 4

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Tomoyuki HATAKEYAMA¹, Kazuyoshi FISHINOBU², Ken OKAZAKI²
(1 Toyama Prefectural University, 2 Tokyo Institute of Technology) 5

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

Masato AKAMATSU(Yamagata University),
Mitsuo HIGANO(Akita Prefectural University) 6

Technical Achievement Award of the Heat Transfer Society of Japan

Yasuo OSONE¹, Norio NAKAZATO¹, Kenya KAWANO¹, Chiko YORITA¹,
Yuji SHIRAI² (1 Hitachi, Ltd., 2 Renesas Electronics Corporation) 7

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

Yasuo YOKOUCHI (Keio University) 8

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

Gota KIKUGAWA (Tohoku University) 9

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

Suguru UEMURA(Tokyo Institute of Technology) 10

Best Presentation Awards 11

<The Commendation for Science and Technology by the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2010>

Yukio YAMADA (University of Electro-Communications) 12

<Memorial>

To the Memory of Prof. Yang

Sadanari MOCHIZUKI (Tokyo University of A&T) 14

In Memoriam Professor Yang's Significant Contribution to HTSJ

Yasutaka NAGANO (ex-President) (Nagoya Institute of Technology) 17

In Memory of Professor Wen-Jei Yang Shuichi TORII (Kumamoto University)	18
< The 47th National Heat Transfer Symposium of Japan >	
Report on the 47th National Heat Transfer Symposium of Japan	19
< Special Issue >	
Climate Change Prevention Measures in the Fluorinated Gases Industry Kazushige SUGAHARA (New Energy and Industrial Technology Development Organization)	29
Low -GWP refrigerant HFO-1234yf Eiji HIHARA (University of Tokyo)	36
Basic Characteristics of HFO-1234ze(E) as a Next-generation Low-GWP Refrigerant Candidate Shigeru KOYAMA, Nobuo TAKADA (Kyushu University) Yasuo HIBINO (Central Glass Co.,Ltd.)	40
Polymer Forming for Innovative Heat Insulator Masahiro OHSHIMA (Kyoto University)	47
< Education Q >	
A meritorious deed of Louis de Broglie (1892-1987) Yoichi MURAKAMI (Tokyo Institute of Technology)	52
< Nature Q >	
Long-term warming in Japan and accurate measurement of air temperature Junsei KONDO (Professor Emeritus of Tohoku University)	58
< Project Q >	
Development of GLOBAL Hybrid Car which aimed at Popularization Yuji FUJIKI, Hideharu TAKEMOTO (Honda Motor Co.,Ltd.)	68
< Contribution >	
The Surface Heat Flux cannot be measured by a Heat Flow Meter Yasuto NAKAMURA (Former Kyoto University)	81
< Report on International Conference >	
Report on Joint International Symposia on 3rd Micro & Nano Technology and Micro/nanoscale Energy Conversion & Transport-2010 Taku OHARA (Tohoku University)	85
< Opening-page Gravure:heat-page >	
Large glacier in Patagonia, South America, melting faster (from JAXA Earth Observation Research Center HP)	Opening Page
< Calendar >	87
< Announcements >	89

会長就任にあたって
Address as the New President



林 勇二郎 ((独) 国立高等専門学校機構)

Yujiro HAYASHI (Institute of National College of Technology Japan)

前会長の長野靖尚先生のあとを受けて、第 49 期の会長を務めることになりました。どうぞよろしくお願い申し上げます。

日本伝熱学会は、昭和 40 年に伝熱研究会としてスタートし、昭和 60 年には社団法人日本伝熱学会となり、今日に至るまで伝熱学の進歩普及と我が国の学術の発展に貢献してまいりました。第 49 期はこのような来し方を引継ぎ、さらなる発展を目指すこととなりますが、社会が急激に変化する今、科学技術にあっても学会にあっても、それが社会のためにどのような存在であるかが問われています。

本会はこれまで、新公益法人への制度改革のもとで、一般社団法人への移行を検討してきました。今期は、こうした計画を着実に進めるとともに、来年に迎える創立 50 周年を確かな節目としなければなりません。

21 世紀の学術研究は、ボーア型の純粋基礎科学に加えて、科学技術創造立国に向けた先端科学や、人類の持続可能な発展のための科学技術の研究が潮流となりつつあります。本会が進める学術研究はどちらかと言えば後二者であり、それらは伝熱に関する知識を獲得しそれを体系化する認識の科学と、得られた知識を技術に応用する設計の科学に大別されます。

研究の対象は、これまでのエネルギーを中心としたものから、材料、生体、情報、環境等へと拡大しています。そこでの視点は「熱を如何に伝達移動させるか」だけではなく、「熱が移動したあとに何を残すか」、「熱が移動しているなかで何が起きているか」など多様です。「何を残し、何が起き

ているか」という論点は、新素材の製造や生態系の究明につながる複雑性を引き出し、マクロ伝熱をミクロ伝熱へと発展させています。他方、環境やエネルギーについては、エコロジーや循環の議論とともに、長期にわたる大規模現象をテーマとすることとなりましょう。

以上のような、認識の科学と設計の科学の接近は、本会の会誌 *Thermal Science and Engineering* が目指していることにほかなりません。熱工学・熱科学が、伝熱学と熱力学を守備するエンジニアリングサイエンスであるからこそ、このことが可能であり、そして責務であると言えます。分析の科学とそれを統合する科学にまたがり、両者をつないでいるのが伝熱学であり、熱や物質の移動による状態変化に対して、開放系の議論を展開しているのが熱力学です。

札幌での第 47 回伝熱シンポジウムには、大学、産業界、国の研究機関などから多くの研究者、技術者、そして学生が集まり、精力的な発表がなされました。伝熱学や熱学という学のもとに人が出会い、基礎から実践に至る幅広いテーマについて意見を交換し、学術と技術を継承発展させる。すなわち、これが社会のための学会であり、その確かな科学技術は、次世代の若手人材を育成し、健全な生活・文化を発展させることになりましょう。

本会の運営にあたっては、49 年という歴史の重みを受け止め、執行部及び事務局の総力をもって、鋭意努力する所存です。会員の皆様には一層のご協力とご支援をいただきますようお願い申し上げます。会長就任の挨拶といたします。

第 48 期を振り返って
Address as the Ex-President



長野 靖尚 (名古屋工業大学)
Yasutaka NAGANO (Nagoya Institute of Technology)
E-mail: naganoy2@asme.org

退任に当たり、例年と幾分異なる第 48 期の会務を振り返ってみます。就任の時に述べましたが、公益社団法人の日本伝熱学会は、2008 年 12 月 1 日から従来の主務官庁が監督する「特例民法法人」としての社団法人となっています。そして、2013 年 11 月 30 日までに「公益社団法人」にするか「一般社団法人」にするかを決め申請をしなければなりません。先の日本伝熱シンポジウム（札幌）での総会でご報告致しましたように、新制度の公益社団法人では、適正な運営を確保するため毎年行政庁の厳しい監督（チェック）が入り、利益を出さない「収支相償」の公益目的事業が求められています。このような諸々の制約を勘案すると、公益性のある（非営利型）一般社団法人への移行が日本伝熱学会には相応しいと判断しました。公益社団法人の方が好ましいとなったときに、一般社団法人から公益社団法人へ移行することは可能です。しかしその逆は認められていません。第 48 期総会でご承認いただきました定款は、公益社団法人としても通用するものとなっています。ただ、この定款は、総会でご了承いただきましたように、内閣府の指導により部分修正があるかも知れません。会長の任を終えますが、無事に移行ができるよう、新法人移行申請が完了するまで新法人移行検討委員会委員に留まります。本会誌が皆様のお手元に届く頃に、内閣府へ行く予定になっています。

ご承知のように、日本伝熱学会の前身の伝熱研究会は、1961 年（昭和 36 年）11 月 22 日に創設されました。明年、丁度 50 周年を迎えます。伝統ある学会ですから、相応しい 50 周年記念行事を執り行う準備を第 48 期から開始しました。本年 4 月に笠木伸英理事（第 49 期）を委員長とする「日本伝熱学会創立 50 周年記念事業実行委員会」を立ち上げさせていただきました。事業の概略は、札幌で開催されました総会で笠木委員長からご説明のあった通りです。基本的スケジュールは、第 50 期が

始まります。明年の岡山での伝熱シンポジウムから再来年の富山での伝熱シンポジウムまでを 50 周年記念事業実施期間としました。詳細は、今後会誌等でご説明があると思います。記念事業には日本伝熱学会創立 50 周年記念ロゴを付けていただくことになっています。創立 50 周年記念ロゴは、札幌の伝熱シンポジウム参加者のアンケート結果に基づき決めました。複数の案をご呈示いただきました小林副会長、藤岡理事に紙面を借りて御礼申し上げます。

本年 8 月にワシントンで第 14 回国際伝熱会議（IHTC-14）が開催されます。2014 年の第 15 回国際伝熱会議（IHTC-15）は、京都で開催されることが決まっています。過去に日本での国際伝熱会議は、1974 年に東京で開催されました第 5 回会議のみで、実に 40 年ぶりの国際伝熱会議となります。IHTC-15 は、実質的には日本伝熱学会が関連する他学会と協力して開催することになると思います。組織委員会および実行委員会も近々発足の予定です。これに加えて、グリーン・イノベーションで環境・エネルギー大国を目指す我が国において、日本伝熱学会の使命は益々大きくなると思います。会長就任のご挨拶でも述べましたが、関連する学会はもっと融合または強い連携を目指すべきと思います。企業同様、国際的競争力を高めるにはマスの大きさとポテンシャルの高さが求められます。この課題は、伝熱学会だけで解決するものではないと思います。幸い第 49 期は、金沢大学学長を長く務められました林勇二郎新会長を始めとする強固な体制が組まれています。安心してバトンタッチができることを喜んでいます。

最後になりましたが、これまで支えて下さいました小林、山田、宇高副会長、理事の各位、各委員会の皆様、支部の役員各位、伝熱学会会員の諸氏および事務局の石塚、倉水、大澤様に心より御礼を申し上げます。

平成 21 年度日本伝熱学会賞選考の報告

On selection of Awards of the Heat Transfer Society of Japan, 2009

表彰選考委員会委員長

山田 幸生 (電気通信大学)

Yukio YAMADA (University of Electro-Communications)

e-mail: yamada@mce.uec.ac.jp

平成 21 年度日本伝熱学会賞学術賞, 技術賞および奨励賞について公募を行い, 所定の手続きにより慎重に審査した結果, 各賞の授賞者を下記のように決定した (授賞対象の記載は順不同). 表彰式は, 平成 22 年 5 月 27 日に札幌市 (札幌コンベンションセンター) で開催された学会総会において行われた.

1. 学術賞

Scientific Contribution Award of the Heat Transfer Society of Japan

- 1) 代表研究者: 伊藤 衡平 (九州大学)
共同研究者: 李 相根 (九州大学)
古賀 達郎 ((株)デンソー)
佐々木 一成 (九州大学)
「固体高分子形燃料電池の膜厚方向温度分布の計測手法の開発」
Electrochemical and Solid-State Letters, Vol. 12, No. 9, pp. B126-B130, 2009.
第 44 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 第 II 巻, 355-356 頁, 2007 年.
- 2) 代表研究者: 畠山 友行 (富山県立大学)
共同研究者: 伏信 一慶 (東京工業大学)
岡崎 健 (東京工業大学)
「Si ナノトランジスタにおける熱・電気連成現象を考慮した支配長の提案」
Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 101-112, 2006.
第 44 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 第 II 巻, 417-418 頁, 2007 年.
- 3) 代表研究者: 赤松 正人 (山形大学)
共同研究者: 日向野 三雄 (秋田県立大学)
「磁気力による非磁性流体の熱対流制御に関する研究」
Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1077, pp. 613-628, 2006.

第 45 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 第 III 巻, 767-768 頁, 2008 年.

2. 技術賞

Technical Achievement Award of the Heat Transfer Society of Japan

- 1) 代表研究者: 大曾根 靖夫 ((株)日立製作所)
共同研究者: 中里 典生 ((株)日立製作所)
河野 賢哉 ((株)日立製作所)
依田 智子 ((株)日立製作所)
白井 優之 (ルネサスエレクトロニクス(株))
「携帯電話用高周波パワーモジュールの非定常熱設計技術」

3. 奨励賞

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

- 1) 研究者: 横内 康夫 (慶應義塾大学大学院)
「NMR センサーによる燃料電池の発電電流と PEM 内含水量の空間分布と時間変化の計測」
第 46 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. II, pp. 395-396, 2009.
- 2) 研究者: 菊川 豪太 (東北大学)
「自己組織化単分子膜における熱輸送特性の分子動力的研究」
第 45 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. II, pp. 513-514, 2008.
- 3) 研究者: 植村 豪 (東京工業大学)
「界面張力活用によるマイクロ熱流体現象の制御」
第 45 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. I, pp. 119-120, 2008.

日本伝熱学会学術賞を受賞して
*Scientific Contribution Award
 of the Heat Transfer Society of Japan*



伊藤 衡平, 李 相根, 古賀 達郎, 佐々木一成 (九州大学)
Kohei ITO, Sangkun LEE, Tatsuro KOGA, Kazunari SASAKI (Kyushu University)
e-mail: kohei@mech.kyushu-u.ac.jp

受賞対象となった「固体高分子形燃料電池の膜厚方向温度分布の計測手法の開発」の研究を評価して頂いた本会関係各位に先ずお礼を申し上げます。以下には簡単に研究の背景、経緯を説明します。

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は一定の技術実証を終え、普及段階フェーズに入っています。今後はコスト低減が最大の課題です。コスト低減には、出力密度を上げながら、システムコストの約半分をしめる水・熱管理に関する補機、制御を簡単にすることが効果的です。現在この視点から研究開発が続いています。

今言った水・熱管理の適正化が重要となるのは、PEFC の性能が水の状態、挙動に左右されることに起因します。電池反応により生成した蒸気が水滴となり、酸素の触媒層への供給が阻害されると出力が低下します。一方この水滴発生を抑制するために乾燥した空気を供給しますと、高分子電解質膜が乾燥し、ここを移動するプロトン抵抗が増加し、結果出力が低下します。従って水管理が重要となります。更には、水の相状態、高分子電解質膜の含水状態は、飽和水蒸気圧の温度依存性等を介して温度と強く関係します。

このような背景から、PEFC 内部の温度分布を把握したいニーズが潜在的にあります。このことが我々の研究動機となりました。加えて、研究を始めた当初、温度分布計測として面方向には一定の手法が確立していましたが、より重要な膜厚方向には皆無で、このため特に膜厚方向の計測に注力しました。

温度を計測する以上、先ず計測手段を選定し、空間分解能のターゲットを設定する必要があります。PEFC の内部の温度を計測することから、手段として熱電対を選択しました。また、PEFC は約 1mm の厚さで、微細流路とともに厚さ 10~100 μ m の複数の膜から構成されるため、100 μ m 以

下の空間分解能を目指しました。

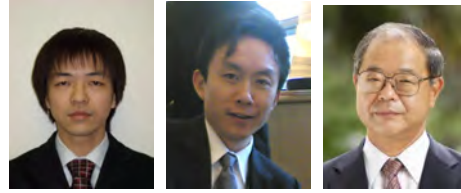
このように大枠を設定した上で、数 10 μ m 程度外径で、PEFC 環境下で使用できる熱電対を共同研究者の古賀君 (当時大学院生、現在デンソー) が調査しました。市販品には条件を満足するものが無いが、PEFC 構成部材のガス拡散層が熱電対寸法を吸収すること、外径 150 μ m の市販シース熱電対をアレイ状に並べることを提言してくれました。実際にこの方法で運転中の温度分布を計測し、定性的には正しい結果が得られました。同時に実施した電荷、熱、物質の一次元数値解析とともに、第 44 回日本伝熱シンポジウムにて発表することができました。

研究を引き継いだ大学院生の李君は、卓越した根気と工学的センスをもって熱電対の極細化、計測位置の高精度化を進めてくれました。25 μ m の熱電対素線を基にこれを溶接し、高分子被膜により電気絶縁し、通常の片持ち梁でなくインライン型熱電対とし、更に両端をフレームで支えることを提案してくれました。これらの提案を実現すべく熱電対、及び熱電対を支えるジグを試行錯誤しながら製作しました。共同した佐々木先生からのアイデアも組み込み、高分子電解質膜内の温度計測にも挑戦しました。

失敗を重ね、少しずつ作りこみを進める中で、電解質膜内の温度も合わせて膜厚方向に 6 点、0.1K の精度で温度分布を得ることに成功しました。電極触媒層を最大とした温度分布、電流遮断直後の相変化に伴う急激な温度低下など、実環境下で発芽する反応、生成水、温度の関係も得ることができ、*Electrochemical and Solid-State Lett.* 2009 等に報告することができました。

最後にこの場をかりて、複雑なジグ製作を担当して頂いたエムファイン (有) 殿、本研究の一部を支援して頂いた福岡水素エネルギー戦略会議殿にお礼を申し上げます。

日本伝熱学会学術賞を受賞して
*Scientific Contribution Award
 of the Heat Transfer Society of Japan*



畠山 友行 (富山県立大学), 伏信 一慶, 岡崎 健 (東京工業大学)
*Tomoyuki HATAKEYAMA (Toyama Prefectural University),
 Kazuyoshi FUSHINOBU, Ken OKAZAKI (Tokyo Institute of Technology)*

このたび、北海道札幌市で開催されました日本伝熱学会第 48 期総会において、日本伝熱学会学術賞をいただきました。受賞研究課題は「Si ナノトランジスタにおける熱・電気連成現象を考慮した支配長の提案」です。本研究は、2004 年より検討を重ね、伝熱シンポジウムや熱工学コンファレンスにて途中経過を発表してまいりました。Journal of Thermal Science Technology (JTST) が刊行された 2006 年に、まとまった内容として論文投稿できる形に仕上がり、2006 年の JTST に成果の詳細が掲載されました。その後、更なる検証を重ね、第 44 回日本伝熱シンポジウムにて、検証を重ねた詳細を発表しました。

我々は、熱・電気連成解析という手法を用いて、サブミクロンサイズの半導体トランジスタの発熱現象の解析を行ってきました。本手法は、固体内部を流れる電子を希薄気体とみなし、連続の式・運動量保存式・エネルギー保存式を用いて電子の流れを解析するものです。通常の流体解析と非常に似ておりますが、電荷を持っている流体が流れる現象を扱うため、電気的中性が乱されないようポアソンの式を併用する点が、通常の流体解析と異なります。また、電子に対するエネルギー保存式を解くため、電子のエネルギーである電子温度を解析にて求めることが可能です。この電子温度と結晶格子のエネルギーのやり取りを解析してやると、結晶格子温度を求めることが可能であり、電子と結晶のエネルギーの非平衡性を考慮した解析を行うことができます。この電子温度と結晶格子温度の非平衡性を考慮する点が、本解析手法の特徴です。

本研究は、半導体物理と伝熱工学の中間点にある研究です。そのため、半導体物理の教科書を読む機会が必然的に多くなります。半導体物理の教科書には、デバイ長という支配長が出てきます。この支配長は、古典的な半導体物理理論から導き

出されるものです。古典的な半導体物理と我々の行ってきた解析の違いは、電子温度が結晶格子温度と平衡状態にある、つまり電子温度と結晶格子温度が等しいと仮定するか、電子温度と結晶格子温度の非平衡性を考慮するかという点です。現在の半導体デバイスは、サブミクロンスケールのもので多数登場し、電子温度と結晶格子温度の非平衡性を考慮する必要があります。となると、電子温度と結晶格子温度の非平衡性を考慮した場合、デバイ長とは異なる支配長が存在するのではないかと思いついたことが、本研究の発端でした。

古典的な半導体物理で用いられる電子の流れを解析するための方程式と、我々の用いている熱・電気連成解析の方程式を見比べました。そして、デバイ長を導き出す手順と同様な手順を踏んで、熱・電気連成解析で用いる方程式を、微分方程式の形で解くことを試みました。しかし、熱・電気連成解析では電子温度と結晶格子温度の非平衡性を考慮しているため、微分方程式の項の数が多く、解ける形になっておりませんでした。何とかして解ける形にできないものかと考えた結果、コンピュータにて熱・電気連成解析を走らせ、解析結果を用いて項のオーダー比較を行うことを思いつきました。項のオーダー比較を行った結果、ある項が他の項に比較して非常に小さいという結果を得ることができ、その小さな項を無視することにより、微分方程式は解ける形になりました。最後に、微分方程式を解いた結果、デバイ長と似て非なる支配長を導き出すことに成功しました。

本研究では、微分方程式を解ける形にするためにコンピュータでの解析結果を用いるという、数学の専門家に怒られそうなことをやっています。ただ、これを行ったことにより、これからの研究の大きなヒントを得たような気がします。

今回の受賞を励みに、今後とも研究に打ち込んで行きたいと思えます。(畠山記)

日本伝熱学会学術賞を受賞して
*On Receiving the Heat Transfer Society Award
 for Scientific Contribution*



赤松 正人 (山形大学), 日向野 三雄 (秋田県立大学)
Masato AKAMATSU (Yamagata University), Mitsuo HIGANO (Akita Prefectural University)

札幌コンベンションセンターで平成 22 年 5 月 27 日 (木) に開催された日本伝熱学会第 48 期総会の席上におきまして、日本伝熱学会学術賞を賜り大変光栄に存じております。対象となりました論文は、*Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol.1077, pp. 613-628 (2006) と第 45 回日本伝熱シンポジウム (2008) で発表いたしました「磁気力による非磁性流体の熱対流制御に関する研究」であります。本研究を評価して頂いた表彰選考委員会の皆様、ご推薦戴いた関係各位に厚く御礼を申し上げます。

本研究の取り組みは、今を溯ること 10 年、秋田県立大学に異動した直後、恩師である九州大学先端物質化学研究所元教授の尾添紘之先生 (九州大学名誉教授) に若山信子氏の論文[1]をお送りいただいたことに端を発します。この論文の中には、磁気力下における様々な新現象が報告されていました。例えば、磁気力による微少重力環境下での拡散燃焼炎の持続、タンパク質の結晶成長制御、そして若山ジェットと名付けられた窒素ガス噴流など、これらは工学的な観点からも大変興味深い研究結果でした。

さて、これまで磁場を利用した熱流動制御に関する研究は、導電性流体、磁性流体、そして MR 流体を対象に行われていました。おもに電磁石が使用され、磁束密度は精々 10^{-1} T オーダーです。一方、高温超伝導材料の発見により、1990 年代には液体ヘリウムを必要としない超伝導磁石が市販されるようになりました。これにより、大学の研究室レベルでも、磁束密度が 10T にも及ぶ強磁場環境が以前に比べ比較的容易に利用できるようになりました。このため、若山氏の研究報告にもあるように磁場制御の対象となる作動流体の範囲が広がり、水や空気といった、これまで電磁流体力学や磁性流体力学の学問分野では研究対象外と考えられてきた非磁性流体への新たな活用が期

待されるようになりました。

そこで我々は、磁気力下における非磁性流体中の熱や運動量の移動現象を定量的に解明するための数値解析的研究に着手しました。具体的には、古典的研究である Benard 問題や逆 Benard 問題に対する磁気力の効果を検討し、密閉空間内における磁気熱対流の機構を明らかにしました。その後、北澤研究グループ[2]が発見した部分加熱開放円管からの磁気熱風の解析にのめり込みました。そして、これらの解析から得られた知見をもとに、現在は単結晶成長プロセスや熱 CVD プロセスへの応用、あるいは地上での微少重力場の再現による新材料創成プロセスのための研究分野に着手しております。このように、強磁場と多数の既存研究領域との融合が生じ、従来全く考えられなかったようなプロセスが創成されていくものと期待されます。なお、これまでの成果をもとに、磁気力下における伝熱現象を体系的にまとめてみようとも考えております。

本受賞は、諸物性値の温度および濃度依存性を考慮に入れ、磁気力下におけるモデル方程式を導出された尾添紘之先生[3]、現在、首都大学東京の田川俊夫准教授、そして御指導賜りました諸先生方のお陰であり、ここに深く感謝の意を表します。また、本受賞は渡米した直後、電子メールで知るところとなりました。在外研究残り 9 ヶ月、この受賞をバネにして、新しい知識の習得と新領域の開拓に邁進したいと存じます。

参考文献

- [1] 若山信子, 物質工学工業技術研究所報告, **6** (1998) 219-233.
- [2] Uetake, H. et al., *J. Appl. Phys.*, **85** (1999) 5735-5737.
- [3] Ozoe, H., *Magnetic Convection*, Imperial College Press, London (2005).

日本伝熱学会技術賞を受賞して
On Receiving Heat Transfer Society Award for
Technical Achievement



大曾根靖夫, 中里典生, 河野賢哉, 依田智子 ((株) 日立製作所)
白井優之 (ルネサスエレクトロニクス (株))
Yasuo Osone, Norio Nakazato, Kenya Kawano, Chiko Yorita (Hitachi, Ltd.)
Yuji Shirai (Renesas Electronics Corporation)

このたび、札幌で開催されました第 48 期日本伝熱学会総会におきまして、平成 21 年度日本伝熱学会技術賞をいただきました。関係者一同、大変光栄に存じております。ご推薦、ご選考くださいました諸先生方、ならびに日本伝熱学会の皆さま方に心より御礼を申し上げます。

さて、今回受賞いたしましたのは「携帯電話用高周波パワーモジュールの非定常熱設計技術」プラットフォームの構築を目指して行っていました研究開発に対してであります。携帯電話からの信号を増幅し、アンテナから基地局へ送信するためのパワーアンプモジュールは、消費電力こそ非常に小さいながら、発熱密度が高く、放熱経路が限定されること、さらに過渡的・周期的発熱動作をするという特徴があり、熱設計がなかなか難しい製品です。今回の受賞にいたった一連の研究開発は、1998 年頃から、既存製品の一層の小型化・高効率化のために着手したもので、当初はモジュール単体、かつ、定常状態での熱伝導解析とその実験的検証から始め、計算機環境の増強と市場ニーズの変化に合わせ、モジュール単体から筐体全体、定常問題から過渡応答問題へと検証範囲を広げてきました。

素子内部の電極構造から筐体全体とその放熱条件までを考慮した非定常熱伝導解析は超大規模になりますので、携帯電話に搭載される半導体製品のようなコモディティ製品においては、これまでなかなか試みられてきませんでした。しかしながら、後述するジャンクション温度計測の標準規格や製品における実装条件に対応した解析プラットフォームを構築することで、熱回路網解析や、定常熱伝導解析を行っているだけではわからない、筐体の熱容量に支配される現象が理解できるようになり、小型化・高密度実装化が進む量産製品の開発に寄与できるようになったと思っております。

開発着手当初は、計測可能な、発熱領域の平均的な温度と、解析格子の節点温度の関連付けの説明に苦勞し、なかなか関係者の信頼を得ることができませんでした。そこで、分解能が数ミクロンの放射温度計による表面温度分布計測の結果と、数値解析の結果を突き合わせて提示することで、開発陣のトップに「本当に解析の通りの温度分布になることを初めて納得した」と言っていたいただいたことが、研究継続の原動力となりました。数値だけでなく、視覚に訴えることの重要性を認識したエピソードです。

一方、半導体素子の熱設計においては、半導体製品の分野で規格の標準化を行っている業界団体、例えば JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) などの定義する半導体パッケージの熱的な測定手法に準拠する必要があります。PN ジャンクションを用いた順方向立ち上がり電圧 $[V_F]$ を用いて素子内部の温度を算出する方法が一般的ですが、かつては過渡温度応答のサンプリング周波数がせいぜいミリ秒のオーダーであり、指数関数的に変化するジャンクション部分の温度を再現することは困難でした。最近では、市販装置のサンプリング周波数も向上しており、より現実に近いジャンクション温度の再現ができるようになってきました。

これら、標準規格に基づいた計測技術、表面温度分布計測と解析結果の突き合わせ、さらに、界面の熱抵抗を含む樹脂の熱抵抗測定装置の開発による界面情報の境界条件への反映などを通じ、徐々に熱設計技術プラットフォームの構築が進んでまいりました。

最後になりますが、熱設計という実装技術だけでなく、回路設計、プロセス設計など、製品開発に従事されました関係各位に感謝するとともに、伝熱学会のますますのご発展を祈念いたします。

日本伝熱学会奨励賞を受賞して

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan



横内 康夫 (慶應義塾大学)

Yasuo YOKOUCHI (Keio University)

e-mail: yokouchi@2010.jukuin.keio.ac.jp

この度、日本伝熱学会奨励賞をいただきました。ご推薦およびご選考いただきました諸先生方ならびに、日本伝熱学会の皆様方に深く御礼を申し上げます。

今回受賞の対象となった研究テーマは、核磁気共鳴 (NMR) の原理を利用した極小のセンサーを固体高分子形燃料電池内に埋め込んで静磁場中に置き、発電を行いながら高分子膜の含水量と発電電流密度の空間分布を計測するという試みです。この手法では、燃料電池内に配置したセンサーで受信した NMR 信号の信号強度から含水量を換算して得るとともに、信号周波数のずれ量から電流密度が計測できます。この手法のメリットは燃料電池の発電電流密度と高分子膜含水量を数秒間の時間分解能でセンサー近傍の局所値で得られ、複数のセンサーで信号を取得することにより空間分布もわかるということでありました。

しかしこのセンサーは、何しろ線径数 10 μm のワイヤーを直径 1 mm に満たない平面コイル状に巻いたものであって、最近では欲が出てきてセンサーの数を増やして実験をすることもあり、米粒より小さいものをいくつも手作業で燃料電池に埋め込んでいくのは、気が遠くなる作業でした。しかも、このコイルが非常に繊細でとにかく切れやすく、順調に進んでいた実験が、コイル1つが切れたために計測ができなくなって再度実験をやり直す必要に迫られ、学会発表直前まで実験を行っていたという追いつめられた状況が多々ありました。

また、計測に用いた燃料電池セルは自身で設計して図面を引いて製作したのですが、研究開始当初はノウハウがなく、燃料電池のはずがまったく発電ができなかったり、燃料の水素ガスが漏れてしまったりと、実験が思うように進みませんでした。そのため、学会発表タイトルは決まっているけれども原稿に掲載できる結果がまったく得られずに、途方に暮れたこともありました。

さて、おそらく私が奨励賞を受賞させていただけることになったひとつの要因は、私がこの分野では珍しく”社会人博士課程”であるということと勝手ながら思っており、そのことについて少し触れたいと思います。私はパナソニックモバイルコミュニケーションズ株式会社という通信機器の製造を行う会社で勤務をさせていただいており、本研究とはまったく別の本業を持っています。

平日は会社勤務で土日休日は研究と大変充実した？日々をおくっています。しかし学会直前などは土日だけでは研究日数をまかなえず、会社をお休みさせていただいて大学で実験ということもしばしばありました。しかし、会社での業務にももちろん締め切りがあり、学会を言い訳に業務に支障をきたすようなことはできません。大変理解のある会社同僚に仕事を引き受けてもらうこともありました。会社業務の納期と学会発表が重なった時には逃げ出そうと思ったことも多々ありました。

また、思い出深い出来事として、2008年10月に北海道で開催された日韓熱流体工学会議で研究発表させていただいた際に、その発表当日の早朝に息子が生まれたということもありました。予定日も後だったのでまさか学会当日に重なることはあるまいと、相当悩みましたが参加を決めました。会社業務を終えて飛行機に乗り込む時にはまだ予兆はなかったのですが、宿泊先で発表の準備をやっと終えて就寝の後に朝起きたら“生まれた”という連絡が入っており、驚きとともに安堵したのをよく覚えています。彼には発表資料冒頭に写真で登場してもらい、生まれて一日たらずして国際会議にデビューを果たしてもらいました。

苦労話は尽きませんが、奨励賞をいただくことができ、苦労が報われた気持ちがいたします。

最後にこの場をお借りして、本業とは別の研究を行うことに理解を示し、精神的な支えとなってくれた妻と、二人の息子に深く感謝をいたします。

日本伝熱学会奨励賞を受賞して

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

菊川 豪太 (東北大学)

*Gota KIKUGAWA (Tohoku University)**e-mail: kikugawa@microheat.ifs.tohoku.ac.jp*

この度は、映えある「日本伝熱学会奨励賞」をいただき、誠にありがとうございました。本奨励賞を賜りましたのも、これまでご指導いただいた諸先生方や受賞に際し推薦いただいた先生、全ての関係者の方々のお陰であると思っております。この場を借りまして、厚く御礼申し上げます。また、日本伝熱シンポジウムにおきまして、受賞の対象となりました研究成果の発表の機会を頂き、様々な方々に貴重なご意見やご助言を頂きました。議論を通じ、研究の指針や新たな方向性を示していただきありがとうございました。これまで関わってきた全ての方々に謝意を表しつつ、受賞のご挨拶とさせていただきます。

本受賞対象となりました「自己組織化単分子膜における熱輸送特性の分子動力学的研究」は、自己組織化単分子膜 (SAM) 界面の熱輸送特性を、分子動力学 (MD) シミュレーションを用いて明らかにしたものです。SAM は、分子スケールの固体表面修飾に用いられており、一般には有機分子の自己組織化能により表面上に形成される秩序性の高い分子薄膜材料です。種々の界面 (金属、シリカ等) に幅広い表面特性を付与できるという適用性の広さから、現在でも表面物理化学の分野において極めて活発な研究の対象となっています。特に最近では、生体高分子を用いた新たなバイオセンサ、電気的特性の制御を目指したナノデバイスなどが次々と創出されており、潜在的に大きな可能性を持つ表面修飾技術として益々注目を集めています。

上記のように、種々の応用展開が進む一方で、SAM および SAM 界面が持つ熱・物質に関する輸送特性に関しては明らかになっていない部分が多く、分子論的な視点からの解析が可能な分子シ

ミュレーションを用いた研究は、これら応用分野への基礎的知見を与えるという重要な役割を果たすものと考えます。また、有機分子が極めて高い秩序性を持つ単分子膜を形成するという点で、構造的な特異性を有しており、有機分子薄膜の熱物性研究にも一石を投じる研究になると考えています。

本研究では、アルカンチオールによって構成される典型的な SAM とトルエン有機溶媒間の熱輸送特性を解析しました。界面垂直方向に温度勾配を課し、1 次元的な熱流束を与える非平衡分子動力学 (NEMD) シミュレーションを行い、SAM 修飾を行った界面と SAM 修飾を行わない金基板-溶媒界面の界面熱抵抗を評価しました。その結果、SAM 修飾を行った系の界面熱抵抗は、SAM 修飾を行わない系の約 5 分の 1 程度となっていることがわかりました。このことは、SAM 修飾が熱抵抗の低減に有効に作用することを示します。この効果の主な要因については、より詳細に分析すると、SAM とトルエン溶媒の界面での局所的な界面熱抵抗が小さいこと、有機分子薄膜である SAM 層内部の熱伝導率が極めて大きいことが挙げられます。特に後者の特性については、SAM が持つ構造的な特性、すなわち SAM 分子の高い規則性と輸送特性に強い相関関係があることを示す結果であると考えられ、有機分子を用いた分子レベルでの輸送特性制御の可能性を示唆しています。現在これらの要因については更なる解析を行っており、徐々に詳細を明らかにしていく所存です。

今後も工学応用を指向しながら、SAM をはじめとしたナノスケールの微視的構造を有する固液界面における輸送特性の解明に尽力し、微力ながら伝熱工学の発展に貢献したいと考えておりますので、ご指導の程よろしくお願い致します。

日本伝熱学会奨励賞を受賞して

Young Researcher Award of the Heat Transfer Society of Japan

植村 豪 (東京工業大学)

*Suguru UEMURA (Tokyo Institute of Technology)**e-mail: uemura@mech.titech.ac.jp*

札幌コンベンションセンターで開催されました日本伝熱学会第 48 期総会において、「界面張力活用によるマイクロ熱流体现象の制御」に対し、日本伝熱学会奨励賞を賜りましたこと、大変光栄に存じます。ご推挙、ご選考下さいました諸先生方、選考委員の皆様は心より御礼申し上げます。

今回、受賞の対象となった研究は、私が東京理科大学（現・諏訪東京理科大学長）河村洋教授のもとで行いました研究から、現職の東京工業大学、平井・津島研究室の助教に着任し、現在取り組んでいる研究への橋渡しとなっています。東京理科大学在学時は界面張力差に起因するマランゴニ対流の制御や、微細ピンを用いた微小液滴のハンドリングに関する研究で学位を取得しましたが、現職では CO₂ 地中隔離における CO₂ 挙動の可視化解析に取り組み始めました。このため、マイクロ分析化学や微細加工を背景とする研究から、エネルギー環境問題直結の研究へと大幅に変化しました。

CO₂ 地中隔離とは、火力発電所などの定置型大規模排出源から回収した CO₂ を、地下 1000 m 程度に分布する塩水で満たされた砂岩多孔質（帯水層）に圧入し、大気放出による温室効果を防ぐ手法です。地下の温度圧力条件では CO₂ は超臨界または液体状態となり、水とは混合せず、また密度が水よりも小さいために、浮力によって砂岩内を少しずつ浮上することが示唆されています。従って CO₂ の浮上を防ぐため、帯水層の上を粘土層のような不透水層が覆う地質構造が必要であり、貯留サイトが限定されてしまいます。また社会的受容性向上の観点からも、安定性の高い CO₂ 地中隔離技術の開発が課題となっています。

初めて研究背景を聞いた時、CO₂ 地中隔離は私にとって全く未知の領域でした。しかし私が着任した際、所属した研究グループで取り組み始めた、帯水層内での CO₂ 貯留安定性を高める新しい手法の提案と研究が、大きな助けとなりました。新手法では従来のように CO₂ を単純に圧入せず、砂岩

内の空隙とほぼ同スケールに微粒化し、エマルション状態での圧入を想定しています。連続相の CO₂ では浮力効果が大きくなってしましますが、微粒化によって浮力は微小液滴ごとに分散して作用し、さらにそれぞれの液滴が界面張力によって空隙部分にトラップされると考えられます。地質構造に依存せず、貯留安定性も向上する CO₂ 地中隔離が実現できる可能性を有しているのです。

これはまさに私が以前に行っていた微小液滴に関する研究と、本質的に同じ現象でした。この新しい貯留手法に関する研究から CO₂ 貯留隔離に取り組んだ結果、研究内容が大幅に変わりながらも CO₂ 地中隔離における界面張力の重要性、現象制御への有効性を直ちに理解し、研究を進めることができました。全く異なる研究背景、実験スケールでありながら、いずれも界面張力によって熱流体现象を制御する大変面白い研究に巡り合えたことは、非常に幸運でした。

現在は帯水層と同様の温度圧力条件下で砂岩内の CO₂ 挙動を X 線 CT で可視化解析し、さらに数値シミュレーションからも微粒化 CO₂ の貯留安定性の評価も進めています。今後も CO₂ 地中隔離に関する研究を通じ、微力ながらも伝熱工学の発展に寄与できるよう、精進する所存です。

最後になりますが、今回の受賞は、私が学生の時にご指導いただきました諸先生方、CO₂ 地中隔離の研究着想と基盤を作られた現職の研究室スタッフ、そしてこれまで共に研究を進めてきた大勢のメンバーからの多大なるご支援のおかげによるものと思っております。心から感謝の意を表させていただきます。また、伝熱学会、そして伝熱シンポジウムを通じた伝熱学会員の皆様との議論がなければ、現在のように研究を展開することはできませんでした。深く感謝の意を表させていただきますと共に、今後とも引き続き皆様からのご指導ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。

優秀プレゼンテーション賞受賞者
Best Presentation Awards

今年の総会において、優秀プレゼンテーション賞受賞者の表彰式がありましたので、ご紹介させていただきます。

2010 年度

1. 鈴木 崇弘（東京工業大学大学院）
「湿度非平衡環境下における電解質膜水分輸送に及ぼす触媒層の影響」
2. 栗山 怜子（慶應義塾大学大学院理工学研究科）
「非侵襲細胞状態判別を実現するエバネッセント波照射屈折率差計測法の開発」
3. 岡島淳之介（東北大学 工学研究科）
「極細クライオプローブ内における冷媒の沸騰伝熱過程の解析」
4. 藤井 拓郎（慶應義塾大学大学院理工学研究科）
「近接場蛍光を用いたナノスケール温度センシング技術の開発
—融着型近接場ファイバプローブによる蛍光寿命測定の高感度化—」



平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
*The Commendation for Science and Technology by the Minister of
Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2010*

表彰選考委員会委員長
山田 幸生 (電気通信大学)
Yukio YAMADA (University of Electro-Communications)
e-mail: yamada@mce.uec.ac.jp

平成 21 年 5 月に表記の大臣表彰候補者の公募があり、本学会は表彰選考委員会での選考を経て候補を推薦した。その結果、下記の科学技術賞と若手科学者賞の各 1 件について授賞が決定され、平成 22 年 4 月 13 日に授賞式が行われた。以下に業績概要を紹介する。

【科学技術賞 (研究部門)】

Prizes for Science and Technology (Research Category)

排熱回収型高昇温吸収ヒートポンプの研究

中尾一成 (三菱電機(株)) (現、福井工業大学)
池内正毅 (元三菱電機冷熱プラント(株))
弓倉恒雄 (三菱電機冷熱プラント(株))
尾崎永一 (三菱電機(株))
平田雄志 (大阪大学 名誉教授)



(左より、平田雄志氏、尾崎永一氏、中尾一成氏、池内正毅氏、弓倉恒雄氏)

【業績概要】

地球環境問題、省エネルギー分野で国際的に先導的な役割を果たすことが国家的な要請となっている。

本研究では、排熱を有効利用して化石燃料をほとんど消費せず、排熱温度より 60°C も高い約 150°C の高温蒸気が得られる吸収ヒートポンプの原理検証とシステム検討を行った。このヒートポンプは臭化リチウム/水を作動媒体とし、2 段吸収サイクルと高性能伝熱管の採用により、画期的に高い温度上昇と高い出力を実現した。伝熱管として針状らせんフィン付き管を考案し、これにより発生する周期的な液膜変動によって、臭化リチウム水溶液とフィンとの濡れ性を良好にすると共に熱物質移動を大幅に促進できた。

本研究では、伝熱管表面における複雑な液膜流動を伴う熱物質移動現象に関する伝熱学の新しいモデルを提案しており、技術的かつ学術的に吸収器の最適化・高性能化、ひいては排熱回収を目的とした吸収ヒートポンプの性能向上に大きく貢献している。

本成果は、高昇温幅の実現により産業プロセス用の熱源として利用するのに十分な高温レベルの達成と低温熱源の利用範囲拡大を可能にするものであり、革新的な省エネルギー機器としてエネルギー構造の転換や地球環境保全に寄与することが期待される。

主要論文: "Design and Performance of a High-Temperature-Boost Absorption Heat Pump," *ASHRAE Transactions*, Pt. 2B, Vol. 91, pp. 3271-3279 (1985).

主要論文: 「針状らせんフィン付き垂直流下液膜式吸収器におけるフィン形状因子の熱物質移動特性に及ぼす影響」化学工学論文集, Vol. 32, pp. 484-493 (2006).

【若手科学者賞】

The Young Scientists' Prize

単層カーボンナノチューブの光吸収および発光特性の研究

村上陽一（東京工業大学）



単層カーボンナノチューブ（SWNT）は直径 1 ナノメートル程度の極微細な円筒状炭素材料であり，現在様々な応用が期待されている．SWNT は従来材料とは大きく異なる物性を有する事が予想されているが，従来は光電変換デバイス応用等に向けた光物性の理解が著しく不足していた．

氏は，この解決に向け研究を行った．まず，従

来光物性解明の研究が困難であった主な原因が測定試料の質（配向性，純度，構造の単一性等）にあった事に注目し，新規性の高い試料を独自に開発，その測定を通じて幾つかの光吸収・発光特性を明らかにした．また，様々な応用で重要となる SWNT に励起子が高密度に生成された場合の発光特性を先駆けて解明した．

本研究成果は，今後の SWNT を用いた光電変換デバイス等の応用開発において重要な指針となると期待される．

主要論文："Polarization dependence of the optical absorption of single-walled carbon nanotubes," *Physical Review Letters*, Vol. 94, pp. 087402-1 ~ 087402-4 (2005).

主要論文："Nonlinear photoluminescence excitation spectroscopy of carbon nanotubes: Exploring the upper density limit of one-dimensional excitation," *Physical Review Letters*, Vol. 102, pp. 037401-1 ~ 037401-4 (2009).

Yang 先生を偲んで
To the Memory of Prof. Yang

望月 貞成 (東京農工大学)

Sadanari MOCHIZUKI (Tokyo University of A&T)

e-mail: motizuki@cc.tuat.ac.jp

去る4月15日、Michigan大学のWen-Jei Yang先生があまりにも突然に、しかも日本でお亡くなりになり、誰もが驚きと悲しみで大きな衝撃を受けました。日本の事情一般に通じ、日本の良き理解者であるYang先生を失ったことは、日本伝熱学会にとりまして大きな損失と言わざるを得ません。

Yang先生ご夫妻は、御奥様の母上の病氣見舞いで来日され、奥様のご実家がある東京都国立市に滞在されておられました。4月12日(月)に、昼食をとりながら話をしようということになり、12時に国立市のレストランで会う約束をし、筆者はそこで待っておりました。しかし、そこへは奥様のみがお見えになり、Yang先生の具合があまり良くないので滞在先の家に来てそこで話をしてほしいとのことでした。そのお宅へ伺うと、先生は、ダイニングルームでテーブルを前にして椅子にお座りになっておられました。お目にかかると同時にいつものように挨拶を交わしましたが、やや呂律が回らない話し方をされたので、少々気になりました。しかし、その時にはまさかあのように事態が思わぬ方向に急展開するとは想像もしませんでした。ご本人もご自身の状態が通常と違うことにはお気づきのようではありましたが、奥様とその妹様が救急車を呼ぶ相談をしたところ、先生は、「その必要は無い」と大きな声で仰っておられました。救急車が来るまで10分くらいあったでしょうか、その間、奥様と妹様は、救急車を迎えるために屋外に出ておられ、Yang先生と筆者の二人だけがテーブルを挟んで話をしました。言葉をうまく出せないのにややもどかしさをお感じになっておられたようでしたが、それ以外はいつもと同じで、特にどこかが苦しそうなご様子はありませんでした。相談したいことが二つあると仰っておりましたが、そのうちの一つは、ご自身がEditor-in-Chiefを務めておられるジャーナルに載

せる論文に関するものでした。しかし、その話が終わらないうちに救急車が到着し、話は中断されました。救急隊員がいくつかの検査を行いました。そのうちにYang先生は、あくびをされるようになり、救急隊員の「眠いですか?」の問いかけに首をたてに振って頷いておられましたが、そのうちにそのまま眠りに就かれた様子でした。担架で救急車に運ばれ、奥様と妹様が同乗し、府中にある多摩総合病院救急センターへ搬送されました。当日は、小雨が降り、季節外れの寒い日でした。

応急手当により回復し、またすぐお戻りになれるものとばかり思っておりましたのに、その後Yang先生は眠りから覚めることなく、3日後の4月15日午前11時05分にご逝去されました。原因は脳幹出血で、医師も手の施しようが無かったとのことでした。享年78才でした。

4月17日奥様の実家で通夜が営まれ、18日に立川の斎場にて荼毘に付されました。遺骨は、奥様とお嬢様に伴われ4月22日に帰国されました。クリスチャンであったYang先生の memorial serviceは、ご自宅がある Cincinnati の教会で5月15日に執り行われました。御遺骨は40年以上にわたり住んでおられた Michigan 大学の地、Ann Arbor の墓地に埋葬される予定です。

ことはあまりにも突然に発生し、しかも短期間のうちに進行し、誰もが事態を飲み込めないうちにあっという間にYang先生は逝ってしまわれました。急遽米国から駆けつけた二人のお嬢様も先生と言葉を交すことはできませんでした。お元気だったYang先生がかくもあっけなくこの世を去ってしまわれるとは、無常としか言いようがありません。

Yang先生は、1931年10月14日に台湾の高雄(Kaohsiung)でお生まれになりました。小・中学校時代には高雄で日本の教育を受けておられます。

その後、台湾大学に進学し、1954年に同大学の機械工学科を極めて優秀な成績で卒業し、さらに Michigan 大学大学院に進まれ、1956年に M.S.E., 1960年に Ph.D.を取得されています。短い間ですが東大の生産技術研究所および三井造船（岡山）に勤務された後に渡米し、1961年より2001年の退職まで40年の長きにわたり、講師、准教授、教授として Michigan 大学の機械工学科にお勤めになり（1970年からは、機械工学だけではなく、Biomedical Engineering の教授も兼任）、熱力学、流体力学、伝熱学、Biomedical 等に関連した教育と研究に携わられました。2002年以降は Michigan 大学の名誉教授でいらっしゃいました。

その間、直接指導された Ph.D.学生は42名、世界中から受け入れた客員研究者や Post Doctoral Fellows は60名に及んでいます。日本からも多くの研究者が Yang 研究室に長期滞在しています。ちなみに、最初の日本人滞在者は棚沢一郎先生、次は越後亮三先生でした。

先生の研究活動は極めて活発でかつ広領域に及び、これまでに860編の論文を著され、23冊の専門書を執筆されています。860編もの論文を書くなどということは、常人がなせる業ではありません。先生は、高い研究能力をお持ちというだけではなく、実は、大変な hard worker でした。例えば、学会等の出張でホテルにいるときでさえも時間があれば机に向かって論文を書いておられました。

これら多くの業績に関連して、先生は米国内・外から多くの賞を受けておられます。あまりにも多く、限られた紙面ではとても紹介しきれません。それらの中には、伝熱関係では最も権威があるとされている Max Jacob 賞も含まれています。

先生は研究だけではなく、国際的な学会活動に関しても高い見識をお持ちでした。例えば、世界中の研究者・技術者が親しく和やかな雰囲気のもとに集い専門知識を交換する場を設けるために、1985年に Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering (PCTFE) なる Non-Profit Organization を創設されました。これまで、この PCTFE 主催の下に5つの国際会議シリーズ：ISTP (Transport Phenomena), ISROMAC (Rotating Machinery), PSFVIP (Flow Visualization), ICMMB (Mechanics in Medicine and Biology) および ISMNT (Micro and Nano Technology) が定期的に世界中の色々な場所



2001年日本伝熱シンポジウム（さいたま）にて特別講演される Yang 先生。

を巡って開催されてきており、それらはそれぞれの分野の国際会議として定着しています。さらに、先生は、四つの国際学術雑誌を創刊し、自ら初代の Editor-in-Chief を務められました。

Yang 先生の業績リストの最初に記載されている論文は、「熱交換器」に関するもので、それは日本機械学会論文集（1961年5月）に掲載されています。すなわち、先生の最初の仕事は、日本でなされ、日本で発表され、日本の学会論文集に日本語で収録されています。先生は、その後 Michigan 大学に移られ、およそ半世紀にわたり米国を主な舞台として活躍されたのですが、上記のことは、先生の原点は日本にあったことを示す一つの例と言えましょう。

先にも書きましたが、Yang 先生は中学校までは日本の教育を受けておられます。昨年、先生の故郷である台湾の高雄市で開催された学会 (PSFVIP-7) にご一緒させていただいた折に、市の西側にある山を指さして、戦争中には、米国の侵攻に備えるためにあの山で陣地作りの手伝いをしたものだと言っておられ、日本時代を懐かしく思っておられるようでした。このように、先生は日本に対しては大変な親しみをお持ちでした。先生の日本に対する親愛の情は、例えば、日本伝熱学会への多額の寄付金に現れていると思います。日本伝熱学会では、この寄付金をもとに若手研究者を奨励するための賞（奨励賞）を設けています。

Yang 先生のメンタリティはほとんど日本人（昔の？）と同じと言ってもよいかと思われます。先生の言わば口癖の一つに「日本の教育を受けて損をした」というのがあります。その理由は、「米国でやってゆくためには、日本的な遠慮・控え目・奥ゆかしさなどは却って邪魔になることがある。以心伝心は機能しない。はっきり強く主張しない限り、相手はわかってくれない。」というようなことにあるようです。確かに、先生はいつも穏やかで、他人がどう思うかを考え、何かを他人に強制するようなことは決してなさらない、人への思いやりのある方でした。しかし、それゆえにこそ、先生には自ずと徳が備わり、人々は先生に親しみを感じ、親しい真の友人が世界中に沢山いたのだと思います。

先生が仕事に没頭できたのは、何と言っても奥様の支えがあったからに他なりません。Michigan 大学を退職後もまだまだお元気で論文をお書きになり、世界中を駆け巡っておられました。どこへ行かれるときもいつも奥様がお一緒に、様々な面で先生のお世話をなさっておられました。

先生と奥様には、3 人のお子様および 6 人のお孫さんがいます。Cincinnati の Yang 先生宅の近くには 2 番目のお嬢さん一家の家があり、先生は、遊びに来るお孫さんたちにとって限りなく良いお爺様でした。

先生は、人並み外れた食通（食いしん坊）でした。特に台湾料理や中国料理はお好きで、またそれゆえに詳しく、先生とご一緒させていただき中国料理店などに入った時には、料理の注文はもっぱら先生にお願いしたものでした。筆者には理解不能なメニューを閲覧になり、人数とメンバーを勘案し、しばし考えられた後、どのような料理を何品注文すべきかを極めて的確に判断なさいました。その結果は、同席した誰もが満足行くもので、これまでに外れたことがありません。また、先生は、いわゆる変わった食材に興味をお持ちで、筆者などは到底箸が進まない物に好物が多いようで



Yang 先生ご夫妻。2008 年 11 月。台湾高雄圓山大飯店にて。

した。しかし、一方において、Yang 先生にとってチーズは大の苦手なもので、少しでもチーズが入っている料理には手をお付けになりませんでした。

4 月 12 日、Yang 先生は、救急車で病院に搬送されて以来意識を回復されませんでした。先生と話をした最後の人は筆者ということになります。これは全く思いもよらないことでした。当日、筆者もいくつかの件について Yang 先生のご意見をお伺いしたいと思っておりました。しかし、先生はあまりにも急に逝ってしまわれ、もはやそれは永遠に叶わぬことになってしまいました。今はただ、本当に残念でたまらない気持ちと、文字通り最後まで親しくさせていただき、色々とお教え下さったことに対する心底よりの感謝の気持ちで一杯です。

先生の残された業績は偉大です。また、そのお人柄から世界中に親しい友人が大勢います。Yang 先生は、先生を知る多くの人々の心に末永く残るであろうことは間違いありません。

未だ遣り残したことがたくさんおありと思いますが、仕事のことは後進に任せ、安らかにお眠りください。そして、残された御家族をどうぞ天国よりお見守りください。

追悼
Yang 教授の日本伝熱学会へのご貢献
In Memoriam
Professor Yang's Significant Contribution to HTSJ

第 48 期会長 長野 靖尚 (名古屋工業大学)
Yasutaka NAGANO (Nagoya Institute of Technology)
E-mail: naganoy2@asme.org

日本伝熱学会は、その前身の伝熱研究会の時代から諸外国の伝熱研究の先駆者から数多くの助言、援助を頂いております。以前より、これらの方々に何らかの感謝状をお贈りしようと言う意見がございました。その第 1 号として、米国カリフォルニア大学バークレー校の元学長 Chang-Lin Tien 先生に、2002 年 6 月 22 日の Tien 教授退職記念シンポジウム場で、感謝状を贈呈しました。残念なことに、Tien 教授はこの感謝状を受賞された後、2002 年 10 月 29 日にご他界されました。

感謝状の第 2 号は、若手研究者に授与されています伝熱学会「奨励賞」が、ミシガン大学の Wen-Jei Yang 教授からのご寄付に始まり、また更に追加のご寄付を頂いたことに感謝するために、Yang 先生に贈呈することになりました。手配は第 41 期の表彰委員会担当副会長の長野がすることになり、塩冶震太郎会長の日本語のサインをいれ、クリスマスプレゼントにかけて日付を 2002 年 12 月 24 日にし、図のような装丁（楯）で贈呈しました。文章は、THE HEAT TRANSFER SOCIETY OF JAPAN awards this Certificate of Appreciation to Professor Wen-Jei Yang for his outstanding contributions to the activities of young engineers in the field of heat transfer with his large endowment, for his constant efforts to promote international collaboration and for his remarkable contribution to the field of heat transfer となっています。

その Wen-Jei Yang 先生が急逝されたとの訃報を Yang 先生とご親交の厚かった望月貞成先生（日本伝熱学会第 45 期会長）からいただきました。たまたまご来日中の Yang 先生は、去る 4 月 12 日に急に体調を崩され入院されましたが、4 月 15 日に他界されました。18 日に日本で茶毘に付され、帰米後に、米国にて葬儀を執り行う予定とのこと、日本伝熱学会のメールにて、皆様にお知らせいたしました。

Yang 先生は、日本伝熱学会の発展に、学問的見地に留まらず、人材育成においても多大の貢献をされました。日本伝熱学会の奨励賞は、全面的に Yang 先生のご寄付によるものであることは上述の通りです。

因みに日本伝熱学会奨励賞の第 1 号は、第 33 期（1994 年度）に、鹿園直毅（日立、現東大）、武谷健吾（日本製鋼）、伏信一慶（東工大）、松本壮平（機械技研）の各氏に授与されています。既に 16 年も歳月が過ぎていきますから、第 1 号受賞者（当時の若手研究者）の中には、大学の教授になっていられる方もあります。今期も、山田幸生副会長のご報告にありますように、3 名の若手研究者に奨励賞が授与されています。奨励賞受賞者名を、Yang 先生にご報告するのが慣例となっています。今期の受賞者のお名前は、Yang 先生のご遺族（奥様）にご報告いたしました。

突然の悲報に言葉を失いましたが、今は、皆様と共に Yang 先生のご冥福をお祈りいたしたいと思っております。



Wen-Jei Yang 教授への感謝状

Wen-Jei Yang 先生を偲んで
In Memory of Professor Wen-Jei Yang

鳥居 修一 (熊本大学)
Shuichi TORII (Kumamoto University)

Yang 先生が急逝されたことを知ったのは東京農工大学の望月貞成先生からのメールでした。突然に舞いこんできた訃報に驚きを隠せませんでした。毎年のように海外で開催される国際会議で Yang 先生に会うたびに、新しい研究テーマに着手されておられ、常にノートを持ち歩かれながら、論文を執筆されたり新しいアイデアを記されておられましたので、Yang 先生が突然体調を崩されるなど考えられませんでした。

先生に初めてお会いしたのは、筆者が研究成果を初めて海外で発表するために、ご指導を受けていた長谷川修先生（九州大学名誉教授）と清水昭比古先生（九州大学教授）とご一緒に 1988 年 8 月に北京で開催された The Second International Symposium on Heat Transfer に参加した時でした。滞在先のホテルの長谷川ご夫妻のお部屋で雑談していた時に、先生がスイカを持って訪ねられました。先生は日本人ではないのですが、あまりに日本語がお上手であり、スイカを食べながらお話されているときの表情があまりに朗らかで、その時の様子は今でも鮮明に記憶に残っています。この時に先生の研究室で海外生活を体験することになるとは予想できませんでした。

1990 年 9 月に、Yang 先生と長谷川先生のお力添えで、ミシガン大学の Yang 研究室で NSF (National Science Foundation) の予算を受けて研究する機会を与えて頂きました。滞在期間中に、実験をして纏めた原稿を先生に渡すと翌日の朝には、研究成果についてのコメントと英文の修正が示された原稿が渡されました。あまりの対応の速さに驚くと同時に、筆者の能力のなさを嘆いたものでした。また新たな実験を進めながら成果を纏めた原稿を提出しても、翌日にはかなりの部分に修正が加えられた原稿が渡されました。殆どの部分が修正されていたことから、成果とその考察が不十分であり且つ下手な文章であったことは否定

できませんが、渡される際は常に朗らかな笑顔で「御苦労さま」と言われ、先生の懐の深さを感じましたし、「学問とは」、「研究とは」という本質的なものをじっくりと考える機会を与えて頂いたと思っています。

帰国後も先生との交流は続き、先生から国際会議の情報を毎年たくさん頂き、様々な国で開催される国際会議に出席する機会を得ることができました。先生の紹介で多くの海外の研究者と面識を持つことができ、それが御縁となり現在も研究交流が続いています。更に、色々な国際会議の実行委員として手伝うようになったのも先生の紹介によるものが多く、大変貴重な経験をすることができました。

先生が海外出張される際、奥様とご一緒の場合が多く、その光景を目にされた方も多いのではないかと思います。海外の学会でご夫妻とご一緒した際、奥様は主人の秘書ですと言われたことがありました。色々な場面で先生を支えられ、その光景がほのぼのとしていたことを覚えています。

今振り返ってみたとき、九州大学時代に長谷川先生、清水先生のご指導のもとで研究の魅了を学び、先生と出会って海外活動の魅了を学び、海外との接点が多くなりました。先生と出会わなかったら、今のような活動はなかったと思います。筆者にとって、先生との出会いは人生のターニングポイントであったことは確かです。常に、一筋の光明があり、それに向って歩んできましたが、先生を失って、光明がない闇に放り出されたようなものを感じています。

Yang 先生、これまでほんとうにありがとうございました。先生は私にとって研究者としての目標でした。これからもずっと、これまでと同様、見守ってください。これからも色々な場面で壁に直面した時、是非お導きください。心より先生のご冥福をお祈りいたします。

第 47 回日本伝熱シンポジウムの報告

Report on the 47th National Heat Transfer Symposium of Japan

近久武美¹, 大曾根靖夫², 黒田明慈¹, 桑原不二朗³, 坂下弘人¹,
戸谷 剛¹, 中村祐二¹, 山田雅彦¹, 田部 豊¹
(1 北海道大学, 2 日立製作所, 3 静岡大学)

*Takemi CHIKAHISA¹, Yasuo OSONE², Akiyoshi KURODA¹,
Fujio KUWAHARA³, Hiroto SAKASHITA¹, Tsuyoshi TOTANI¹,
Yuji NAKAMURA¹, Masahiko YAMADA¹, Yutaka TABE¹*
(1 Hokkaido University, 2 Hitachi Ltd., 3 Shizuoka University)

Organizing Committee: nhts47@eng.hokudai.ac.jp

1. シンポジウム概要

本年の日本伝熱シンポジウムは、5月26日(水)～28日(金)に札幌コンベンションセンターで開催された。5月初めの桜の季節が終わり、新緑が鮮やかとなる頃であるが、あいにく小雨交じりの曇天が続き、札幌のすがすがしい春を味わって貰うことができなかった。しかし、会場は広くゆったりとしており、随所に無線 LAN 利用可能な休憩スペースがあったので、その点は好評であった。

札幌コンベンションセンターは 2003 年に設立され、2,500 人を収容できる大ホールや 700 名収容の円形特別会議場のほか、中ホール、小ホールおよび 15 の会議室を持つ、延べ床面積 20,000m²の大会議場である。1・2 日目は大ホールを借り切っていたので、正面ロビーの広い空間を受付として利用することができた。地下鉄駅から 10 分ほど歩かなければならないのが少々不便である以外、会議場としては十分満足できるものであった。

過去の伝熱シンポジウム参加者統計によると、

東京や京都での開催と比べて地方で開催した場合には参加者が 20%程度減少しており、今回も参加者の減少を見込んで予算を立てた。しかし、結果としては 363 件の講演発表と約 700 名の参加があり、昨年の京都とほぼ同規模で開催することができたのは幸いであった。

初日の後半に優秀プレゼンテーションを対象とするポスターセッションならびに産学連携フォーラムを 2 つの大ホールで前後して開催し、借用した大ホールを有効に活用することができた。2 日目にはこの大ホールで特別講演会、総会、および懇親会を連続して行い、会場の移動が不要な分、参加者にも便利であったものと思う。

厳し目の予算を補うものとして、不況の折にもかかわらず、8 件の機器展示と 12 件の広告を頂いた。御協力いただいた企業に感謝いたしたい。機器展示に対する参加者の関心を向けるために、展示室の奥側に休憩スペースを設け、機器展示を入り口に配置した。また、北海道コカ・コーラボトリングから 3,000 本のペットボトル飲料を無償提供いただいた。これらを休憩室に配置し、自由に持ち出し頂く形としたのは、大変好評であった。

また、懇親会では料理の量を十分に確保するように配慮したほか、多数の地酒を用意した。最後まである程度の料理が残っており、少なくとも量の点では御満足いただけたものと思う。

以上、全体としてシンポジウムを無事開催することができた。以下には、シンポジウムのために汗を流して下さった実行委員会委員の生の声を、学会の事業記録として残す。実行委員会の皆さん



のご努力に、心より御礼申し上げます。

(委員長 近久武美)

2. ホームページ・参加登録・J-Stage

伝熱シンポジウムにおけるホームページの役割は、日本伝熱学会発行の「伝熱」に掲載された会告の情報を補うことと講演申込、論文投稿、参加登録を承ることであります。

講演申込と論文投稿については昨年と同様に J-Stage のシステムを利用させていただきました。一方、参加登録と電子版の講演原稿と印刷版の講演原稿が異なる方の論文投稿については、自前で作成してあったシステムを使用しました。

J-Stage のシステムについて今回のシンポジウムでは、原稿投稿時には変更することができなかった論文名・著者名・所属を変更できるようにさせていただきました。これは、前回のシンポジウムにて、講演申込時の論文名・著者名・所属と投稿された論文の論文名・著者名・所属が異なるケースが多数発生し、修正するのが大変だったとお聞きしたためです。論文名・著者名・所属などの情報入力、申込者が責任を持って行うものであり、システムを変更して対応するのは筋違いだと思っておりますが、実作業を行う実行委員の負担軽減を優先し、システムを変更していただきました。

参加登録について、前回のシンポジウムで使用されたシステムを使わずに、自前で作成してあったシステムを使ったのは、予算をなるべく圧縮してほしいという実行委員会の要望と前回のシンポジウムで使用されたシステムを学ぶ時間的余裕がなかったためです。前回までのシステムは、UNIX 系のレンタルサーバーを用いていました。一方、自前で作成してあったシステムは、Windows 系のサーバーソフトの上で動くものです。今回、Windows 系のサーバーソフトの上で動くシステムもできましたので、来年からの伝熱シンポジウム実行委員は、UNIX 系、Windows 系のどちらのシステムも使うことができます。

J-Stage のシステムは、JST が仕分け対象になり、来年は使えないと聞いております。J-Stage は講演の申込から原稿の投稿、公開まで一手に引き受けてくれる便利なシステムであり、科学技術論文情報を提供する JST の事業とも合致するので、なぜ仕分けられ、廃止になるのか疑問でなりません。

来年は、講演申込も実行委員会側で作る必要があり、負担が増えることが予想されます。年 1 回使うものですので、その時々の実行委員が開発するのではなく、伝熱学会自身でシステムを持っていただければ、実行委員会としてはとても助かるのではないかと感じました。

実行委員のメンバーがデータベースファイルおよび投稿された論文(電子版と印刷版が異なる方)にアクセスできるようにセキュリティを変えたところ、参加登録の情報がデータベースに記録できないという不具合が発生しました。システムを再起動したところ、不具合は解消されましたが、システムが復旧するまでに 10 名弱の方々に参加登録をしていただきました。この方々には、情報を再度入力していただきました。この場を借りまして、御礼申し上げます。

最後に、今回のホームページは、情報がどこにあるのか分かり難かったり、使いづらかったりしたのではないかと思います。この場をお借りしまして、お詫びいたします。(戸谷 剛)

3. プログラム

今回の総講演件数は 363 件であった。前々回(つくば)の 412 件、前回(京都) 378 件と比べると減少しているが、これまでも北海道開催年はいつも前年(通常は関東)よりも減少していた。今年もその範囲内の落ち込みであったといえる。以下にセッションごとの講演件数を示す。一般セッションは研究対象によってグループ化を試みた。グループ分けは著者の勝手な判断によるものである。個々の講演の中にはそのグループに相応しくないものも含まれるかと思うがご容赦願いたい。なお、「その他」は他のセッションとまとめることが難しいと判断したもので研究の重要性とは全く関係がない。また「物質輸送」6 件のうち 5 件は燃料電池関係の研究であったことを申し添えておく。

セッションごとの講演件数(「」内はセッション名)

- ・優秀プレゼンテーション賞セッション(計 43 件)
 - 「反応・燃焼」11 件、「マイクロ・ナノスケール現象」11 件、「沸騰・混相流」11 件、「計測技術・熱機器」10 件
- ・オーガナイズドセッション(計 45 件)
 - 「電子機器の信頼性を支える熱設計と冷却技

術」13 件, 「非線形熱対流現象と伝熱」9 件, 「水素エネルギー技術」23 件

・一般セッション

対流伝熱系 (計 41 件)

「強制対流」11 件, 「噴流」4 件, 「乱流」10 件, 「自然対流・複合対流」16 件

沸騰・凝縮系 (計 83 件)

「沸騰」26 件, 「混相流」18 件, 「ヒートパイプ」20 件, 「相変化を伴う伝熱」19 件

熱機器・冷却技術系 (計 33 件)

「生産加工技術」3 件, 「熱機器・熱交換器」10 件, 電子機器冷却 10 件, ヒートポンプ・空調 10 件

マイクロ伝熱系 (計 32 件)

「マイクロ伝熱」16 件, 「分子動力学」16 件

その他 (計 76 件)

「ふく射伝熱」10 件, 「反応・燃焼」15 件, 「自然エネルギー」10 件, 「多孔質体の伝熱」10 件, 「バイオ伝熱」8 件, 「熱物性」16 件, 「計測技術」11 件, 「物質移動」6 件

(黒田明慈)

4. 講演論文集・CD-ROM・プログラム冊子

論文集・CD-ROM の担当として, 皆様にはまずお詫びをさせて頂きたいと思えます。今回, ホームページに掲載した原稿のテンプレートに誤りがあり, 申込者の皆様には大変ご迷惑と御手数をお掛けしましたことをお詫び申し上げます。

講演論文集やプログラム冊子の構成は従来のものを踏襲する(つまりは, 前回の京都に倣う)こととしましたので, 講演論文集やプログラム冊子に関しては, 特記することはありません。

講演論文集の表紙が現在のような, 左下約四分の 1 を白ぬきの色ベタにして, ワンポイントのデザインをあしらう様式になったのは, 第 26 回(平成元年, 仙台)からですが, 以来, 毎年, 論文集の表紙の色とデザインにはご担当の方々も悩まされているのではないかと思います。今年の講演論文集の色は, 実は北海道大学のオフィシャルカラーとして制定されたものを採用しました。デザインは, 皆様良くご存知の札幌時計台です。

数年ぶりに論文集の担当をして, PDF 変換ソフトの種類が多いことと, ソフトごとに PDF の仕上がりが異なることに驚きました。PDF が薄いなど

と修正を求められたのは, 皆様もきっと不本意であったかと存じますが, 結果として多くの方々にご協力を頂きましたことをお礼申し上げます。

CD-ROM に関しては, 今回, 各論文の講演番号の張り込みをしませんでした。従来は, アクロバットのタッチアップ機能を利用して PDF ファイルに講演番号を張り込んできましたが, 今回は PDF ファイルのフォーマットが崩れてしまうものが多数有ったためです。講演論文集には講演番号が記載されていることもあり, 張り込みを断念した次第です。技術的には, PDF ファイルを DTP ファイルに変換して... など可能ではありますが, 作業量と時間を考えると, 今後は原稿受付開始までに講演番号を確定し, 講演番号を書き込んで PDF を提出してもらい以外に無いと思われま

す。J-STAGE を利用した申込と投稿のシステムに関しては, 昨年と同様の問題があり, 一長一短の感が否めません。今回, 最終プログラムや目次, 著者総索引は, すべて J-STAGE に登録されているデータに基づいて作成しましたので, 論文題目や著者の不一致をはじめ, 索引にお名前が載らない方もあったと思います。これらは, 手作業で修正することをあえて行いませんでした。このことは, CD-ROM にも記載しましたが, 皆様のご理解をお願い申し上げる次第です。

次年度以降, どのようなシステムを導入しても, 問題はやはり利用する側にあります。利用者側の協力と利用時の確認は不可欠であることは申し上げるまでも無いと思えます。一方, 今回 363 件のうち, 私どものミスで 1 件でも不備があれば, それは 1/363 ではなく, 1/1 であることを思い, シンポジウムが終了した今も, 落丁や CD-ROM の不備などが無いことをひたすら祈るばかりです。

(山田雅彦)

5. 会場・受付

今回の伝熱シンポジウムでは, 受付の事前業務および会場係を担当した。会場となった札幌コンベンションセンターは, 2500 名を収容できる大ホール, 定員 600 名の中ホールをはじめ大小 20 余りの会議室を有しており, シンポジウムを開催するには十分な広さがあったため, 講演会場の割り当てでは取り立てて苦勞することはなかった。むしろ大ホールを 2 分割して割り当てた, ポスターセ

セッション会場や産学連携フォーラムの会場は、広すぎて参加者に閑散とした感じを持たれてしまうのではと危惧していたほどである。ただ、蓋を開けてみると両会場とも広さを感じさせないほどの大勢の参加者で埋まり、当方の心配は杞憂であった。両行事に積極的に参加していただいた方々、および行事の立案から実施までを取り仕切って頂いた産学連携委員会、学生委員会の皆様に御礼を申し上げる次第である。

講演室、休憩室、クロークには総勢15名のアルバイトを配置し、シンポジウムの運営に当たってもらった。講演室のアルバイトは、いずれも学会参加経験のある修士2年生以上を割り当てたことや、全講演室分のブザー付タイマーを確保できたためタイムキーパーの仕事が軽減されたこともあり、定員の多い3会場を除き1名配置とした。突発的なトラブル対応にやや不安な面はあったが、2会場で講演室内の照明が点灯したままになるというハプニングがあった以外は、大きなトラブルもなく終了したとの報告を受けている。もし、当方で把握していない不手際により不便をおかけした場合には、紙面にてお詫び申し上げます。なお、今回のシンポジウムでは、北海道コカ・コーラボトリング株式会社のご好意により、ペットボトルや缶入り飲料を多数提供いただけたため、休憩室にて無料で提供するとともに、懇親会終了時にも多くの方に持ち帰っていただいた。このサービスについては感想を聞く機会がなかったが、皆様の評価は如何だったであろう。

受付は、総勢7名のアルバイトを配置したが、腐心した点は初日午前中に予想される混雑の緩和であり、このため前回の京都でのシンポジウムの方法を踏襲させていただいた。すなわち、事前登録者の名札と領収書をクリップ留めして並べておき、受付での本人確認と領収書受け渡しにかかる手間を省略するというものである。この方法が功を奏し受付では目立った混雑もなく、多くの方はスムーズに受付を済ませられたのではないかと考えている。事前の準備は大変ではあるが、京都方式は受付での混雑緩和に大きな威力を発揮することを実感した次第である。もちろん、多くの方に事前のweb登録をして頂いたことが混雑緩和の一番の要因であったことは言うまでもない。ここに感謝申し上げます。

最後に、シンポジウム運営に携わっていただいた実行委員の諸先生、総勢22名のアルバイト学生諸君、ならびに当方からの急な変更要請にも素早く的確に対処していただいた札幌コンベンションセンターの山崎氏に深謝申し上げます。

(坂下弘人)

6. 優秀プレゼンテーション賞セッション

当該セッションは、本学会会員である学生や若手研究者をエンカレッジする場として、毎年、伝熱シンポの場を借り、学生会委員会（現委員長：宮良明男）が企画・運営を行っているものである。本年は、従来的一般セッションへの参加を妨げない形の単独セッションとして、初日午後、43件の発表が4室に分れたショートプレゼンテーション（各講演3分）とそれに続き大ホールで一斉に行われたポスターセッション（80分間）の形で開催された。審査対象件数は昨年の47件よりわずかに減少したものの、いずれの発表もレベル・意欲ともに高く、学生プレゼン賞に向けた十分な準備がなされたものであった。特にポスターセッションにおいては、昨年の2倍の広さの会場の各所で熱い質疑討論がなされ、発表者は80分休みなく真摯かつ熱心に対応し、大盛況であった。

セッション終了後、審査員スコアおよびポスター会場における投票数を学生会委員会により慎重かつ厳正に検討した結果、鈴木崇弘（東京工業大学）、栗山怜子（慶應義塾大学）、岡島淳之介（東北大学）、藤井 拓郎（慶應義塾大学）、（敬称略/順不同）以上の4名が優秀プレゼンテーション賞を受賞することになり、セッションに引き続き開催された産学連携フォーラムを兼ねた交流会の場においてその結果を報告、シンポジウムにおける総会の場において、近久シンポジウム実行委員長より表彰を受けた。惜しくも受賞に至らなかった皆さんも全体的に非常に良い発表をしているとの感想を多くの関係者から頂いたことを報告させていただくとともに、今後もより多くの方々が本セッションに参加されることを期待している。最後となってしまったが、いずれも甲乙付けがたい困難を極める審査をこなしていただいた審査員の皆さまに、この場を借りて厚く御礼申し上げたい。

(学生会委員会 桑原不二朗)

7. 産学連携フォーラム

このフォーラムは、産学官の交流活性化と、特に若手研究者に対する産業界からの情報発信を目的として、企画部会（産学交流委員会・学生会委員会）が企画したものである。優秀プレゼンテーション賞セッションに続いて識者によるパネルディスカッションを行い、さらに合同交流会と参加企業によるポスター展示説明会を開催した。

パネルディスカッションでは、まず、若手伝熱研究者への期待と題し、伊藤正彦（デンソー）、山田幸生（電気通信大学）、横野泰之（東京大学）（以下敬称略）の各氏に、続いて、企業現役エンジニアの問題意識と題し、芹澤良洋（新日本製鐵）、小泉雄大（コーセル）、新隆之（日立製作所）の各氏に講演をいただき、全体でフリーディスカッションを行った。伝熱研究者に対する産業界のニーズや、製品開発に必須な技術的背景などの情報に溢れ、約 180 名の参加者から積極的な質疑応答がなされる大盛況であった。

19 社が出展した後半の合同交流会・企業ポスターセッションでは、フリードリンクと軽食を手に、企業での伝熱技術の活用状況に関し活発な議論が行われた。学術講演ではわからない企業の活動が見える、参加者にとって有意義な催しであったと思う。

最後に、優秀プレゼンテーション賞の受賞者発表と挨拶、ならびに、本学会 50 周年記念ロゴマークコンテストの結果発表を行った。ロゴマークコンテストでは、円山企画部会長による結果発表を行い、最人気デザイン選択者から抽選で 1 名に特注の iPod Nano を贈呈した。創立 50 周年に向け、幸先のよいスタートを切る、盛り上がった企画となった。

本フォーラムは、優秀プレゼンテーション賞交流会に合わせ、今回は第 49 回シンポジウム（富山）で開催する計画である。最後になるが、開催にご尽力いただいた伝熱シンポ事務局、企画部会・理事会の先生方と、ご講演・ご出展いただいた関係者に深く感謝して、報告とさせていただきます。

（産学交流委員会 大曾根靖夫）

8. 特別講演

シンポジウムの特別講演は、植松電機専務取締役の植松努氏にお願いし、「思うは招く一夢があ

ればなんでもできる—CAMUI ロケット打上げ—」というお話をいただいた。植松氏は本業の傍ら、夢を実現する活動の一つとして、北海道大学の永田教授と協力して CAMUI ロケットの開発を行っているほか、米国企業と共同して宇宙開発プロジェクトを行っている方である。植松電機は赤平市にあり、かつて炭坑用機器類の修理・補修を行っていたが、植松氏が産業廃棄物分別用の特殊電磁石を開発して、現在その業界の 7 割のシェアを持つ企業となっている。氏は子供の頃から航空・宇宙にあこがれ、現在、その夢を実現するプロジェクトを各種実施している経験から、夢に向かおうとする心構えと意義を述べられた講演であった。その要旨は以下のようである：

現在は失敗が許されない社会であり、そのためはじめから「どうせ無理」と決めてつけて、あきらめてしまう傾向がある。しかし、夢に向けて挑戦しようとするのは人間の最も尊い基本的な生き方であり、理想を追い求める過程に意義がある。特別なものを目指して挑戦すべきである。特別でなければ単に値切られしてしまうだけである。夢を実現するには努力しなければならないし、必要であれば勉強しなければならない。現在は努力する姿勢をあざ笑う風潮があるが、そのようなことは撥ね返し、精一杯の努力をしなければならない。

以上の要旨から推察されるように、強い熱意と実践に裏打ちされた教育的信条に関する講演であり、特に若い人に聞かせたい内容であった。私たちは初めから手の届く範囲の目標を置き、それを実現することで満足していることが多いのかもしれない。大きなチャレンジが要求されるわれわれ研究者にとっても、反省と同時に改めて勇気を与えられたお話であった。現場からそのまま来られたような作業用のつなぎ姿で語り、映像やグラフの無い文字だけのパワーポイントによる講演であったにもかかわらず、これだけ人を引き付ける講演は見事であった。植松氏のお話は企業や学校から要請があり、年間 200 回近い講演を行っているようである。今回も講演終了後、直ちに千歳空港に向かい、次のお仕事をされるとのことであった。

（近久武美）

9. 懇親会

「懇親会はシンポジウムにおける最重要イベン

トとして心に刻むべし」との厳命を受け、「懇親会の印象が悪いとシンポジウム全体の印象に大きく響くので、懇親会担当は大役である」と重ねて念押しされての準備であったが、総じて今年の懇親会は上々であったと判断したい。これも参加者の皆様ならびに関係各位によるご協力・ご尽力のお陰である。改めて感謝したい。

本年度のシンポジウム懇親会は、発表会場施設内部の大ホールにて行われた。総会会場の隣であったため、総会終了後の時間をさほどもてあますことなく開始することができた。参加人数は 291 名。「懇親会で皆様の気分と胃袋を徹底して満足させるように」という実行委員長からの再三の厳命を実現すべく、金縮財政の中でも懇親会は出来る限り豪華に振舞うよう準備させていただいた。参加者の皆様には北海道を代表する料理と、地酒各種 20 本を存分にご堪能いただけたことであろう。何よりである。台所事情を白状すると、懇親会へは「300 名の参加を予定し、300 名分の料理を発注していた」ため、実際は「人数よりも多い料理が用意されていた」ことになる。学会懇親会担当をされたご経験のある方なら、これが何を意味するかおわかりであろう。通常、数百名参加者レベルの懇親会では、実参加人数の 8 掛け程度の料理を用意すれば十分とされている。担当者自身、これまでずっとその方針で実施してきた。しかし、「伝熱学会員は特別な胃袋を持っている」という伝説に対応するため、上記の方針をとったのである。初めから参加予定人数分の料理を発注するのはこれが最初で最後であろう。幸いにしてこの目論見は合っていた。何よりである。今回の地酒を振舞うにあたり、地元の有力酒屋であるマルミ北栄の若井店主には多大なご協力をいただいた。全国広しといえども、学会懇親会にて、自ら取り寄せた各種地酒を自ら店頭にたって振舞うという個人酒屋は極めて珍しい。若井店主の明朗な説明と熱い語りに、北海道の美酒をお土産にされた方も多いのではないだろうか。店主の心意気と人徳のなせる業である。プロフェッショナルの仕事ぶりに脱帽である。

実行委員長の挨拶に続き、新会長である林勇二郎先生の挨拶、前会長である長野靖尚先生よりロゴマーク投票結果に関する報告、北大名誉教授であり元会長の福迫尚一郎先生の乾杯により宴会が

開始された。途中、恒例の受賞報告（学術賞 3 件、技術賞 1 件）がなされ、特別ゲストとして参加いただいた ASME の Heat Transfer Division の現 Vice Chair であるクラウスナー教授から激励のご挨拶をいただいた。会の終わりには次回シンポジウムの実行委員長である稲葉英男先生からのご挨拶、東京理科大の川口先生、九州大の高田先生から伝熱に関する直近の国際会議の案内があった後、慶応義塾大学名誉教授、現中部大学教授の長島昭先生により締めのご挨拶をいただき、賑々しい中で散会を迎えた。料理は最後まで尽きることがなく、参加者の方々から相次いで「こんなに料理がふんだんに用意されたのは歴史的だ」とのお褒めの言葉をいただいた。本当は全て平らげていただきたいかったのだが、残念である。とはいえ、皆様にご満足いただける料理提供を実現できたのは、一重に実行委員会の運営を仕切っていたいただいた幹事の田部先生、出費を抑えるために特にご尽力された本シンポジウム実行委員である山田（雅）先生、坂下先生、戸谷先生、黒田先生のご努力あつてのものである。慣れない司会であった担当者に影ながらアドバイスをいただき、会の進行が滞りなくできたのも、この先生方のご支援があったからである。今回の懇親会の成功は、決して懇親会担当幹事の力量ではなく、上記の実行委員の先生方が真の功労者であることを強調しておきたい。

（中村祐二）

10. おわりに

近久委員長のもと、無事にシンポジウムを終了することができた。これも偏に、不慣れた幹事にいろいろご教授いただいた京都、筑波の実行委員の皆様、学会事務局の皆様、理事会、企画部会の皆様、ご発表、ご参加いただいた全ての皆様のお陰であり、はじめに心より感謝申し上げます。

「札幌開催は例年平均よりも参加者数が 2 割強減少する」、札幌は比較的安い会場費であることから余裕のある予算を組めると期待していたところで衝撃の事実であった。このことより、参加費等は昨年同様に維持させていただいた。結果として、シンポジウム参加者総数 713 名、懇親会参加者総数 291 名と予想を上回る盛会となり、本当に嬉しいかぎりであった。また、厳しい社会情勢の中、機器展示のご出展 8 件、広告のご掲載 12

件をいただき、シンポジウムを盛り上げていただいた。さらに、北海道コカ・コーラボトリング様からは、3,000 本強の飲料をご提供いただいた。感謝してもしきれないほどである。

今回のシンポジウムでは、初日に産学連携フォーラム（学生会委員会と共催）、日本伝熱学会 50 周年ロゴマークコンテストと初めての試みを行なった。関係者の方々には並々ならぬご尽力をいただき、初日から大盛況であった。これらは、参加者の皆様に今回のシンポジウムを印象付けることができた一要因であったのではと思います、私にとっても楽しい企画であった。

遅ればせながら、本シンポジウムの運営にご協力いただいた実行委員を表に示す。北海道支部で一丸となっていたいただき、特に本誌で記事を書いている準備委員の先生方には、少数精鋭の中、多大なるご尽力をいただいた。一人の準備委員が欠けても、シンポジウムの運営が立ち行かなかったことは言うまでもなく、ここに改めて感謝申し上げたい。

シンポジウム当日のいくつかの写真をこの記事の末尾に示した。これらの写真は、実行委員の麓耕二先生、山田雅彦先生に会期中のお忙しい中で撮影いただいたものである。また、シンポジウムのホームページ

<http://hermes-me.eng.hokudai.ac.jp/nhts2010/index.htm>

には、より多くの写真を掲載した。北海道でのシンポジウムが、皆様方の良き思い出として蘇ってくれば、本シンポジウムも大成功と言えるのではないかと。（幹事 田部 豊）

シンポジウム実行委員会

委員長	近久 武美	北海道大学
幹事	田部 豊	北海道大学
委員	秋山 友宏	北海道大学
	江頭 竜	旭川工業高等専門学校
	大島 伸行	北海道大学
	大竹 秀雄	北海道工業大学
	小原 伸哉	北見工業大学
	河合 洋明	北海道工業大学
	菊田 和重	苫小牧工業高等専門学校
	黒田 明慈	北海道大学
	坂下 弘人	北海道大学
	首藤登志夫	首都大学東京
	杉山憲一郎	北海道大学
	戸倉 郁夫	室蘭工業大学
	戸谷 剛	北海道大学
	長野 克則	北海道大学
	中村 祐二	北海道大学
	奈良林 直	北海道大学
	早坂 洋史	北海道大学
	麓 耕二	釧路工業高等専門学校
	山田 貴延	北見工業大学
	山田 雅彦	北海道大学



会場が広く、ゆったりしていたので、
受付もさしたる混雑も無く
(とっていますが...)



会場の札幌コンベンションセンター。シンポの
次週に APEC を控え、周辺は嚴重な警備
が... 居心地悪いし、交通の便も良くなかつ
たですね。



ひたすら広い会場。随所に休憩場所があっ
て。セッション開始前のひと時。



看板、名札、論文集等々、今回の色は北海道
大学のオフィシャルカラーを使わせて頂きました。



講演室の風景。会場が広いので参加者数
が少なく見えるのが難点。



学生のショートプレゼンテーションの会場は、いっぱい。入れなかった方、申し訳ありません。



産学連携フォーラム。遅い時間にもかかわらず熱心な参加者も多数。



ポスターセッション也大盛況でした。
あんなに広い会場が狭く感じるほど...



特別講演会。株式会社植松電機 植松努専務。
非常に興味深いお話で、感銘を受けたというかたも多数おられました。



産学連携フォーラム。パネリストの方々。



(社)日本伝熱学会第 48 期総会で
ご挨拶される、長野靖尚 第 48 期会長



懇親会で乾杯のご発声をされる, 福迫尚一郎北海道大学名誉教授



懇親会. 料理もお酒も十分にあります. どうぞご堪能下さい.



懇親会でご挨拶をされる, 林勇二郎第 49 期会長



地酒コーナーを前に, 真剣な表情で討論? どれがいい? 全部飲んでみないとわかりませんね...

フロン分野における地球温暖化防止対策 Climate Change Prevention Measures in the Fluorinated Gases Industry

菅原 和繁 (NEDO：新エネルギー・産業技術総合開発機構)
Kazushige SUGAHARA (New Energy and Industrial Technology Development Organization)
e-mail:sugaharakzs@nedo.go.jp

1. はじめに

NEDO は 1980 年に発足して以来、一貫して環境問題に取り組んできた。特に 2005 年 2 月の京都議定書発効を受けてから、環境技術開発部では我が国の産業技術力の強化をはかりつつ、持続可能な社会の構築を目指して、フロン対策、3R・水循環対策、化学物質管理、リスク削減に関する技術開発を実施している。

我が国の 2008 年度温室効果ガス総排出量は、金融危機の影響による急激な景気後退のため 12 億 8,200 万トン-CO₂(環境省：2010 年 4 月発表[1])と前年度に比べ総排出量は 6.4%減少したが、基準年の総排出量と比べると依然として 1.6%上回っており、2012 年までの第 1 約束期間における 6%削減に向けた即効性のある具体的対策が必要とされている。このような中で NEDO は、代替フロン等 3 ガスの排出削減目標 (1995 年比：▲1.6%) の達成に向けて、フロン破壊技術開発等において大きな削減成果を出すとともに、海外展開 (CDM 事業や代替フロン等 3 ガス) の排出削減設備の開発・実用化支援事業による排出削減技術の普及・拡大を図っている。

さらに、現在 NEDO では、ポスト京都に向けた日本発の抜本的フロン排出削減対策となることを目指して、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」と「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」の 2 プロジェクトを推進しているところである。

の排出抑制が義務付けされた。フロン類の略号と対応する議定書を表 1 に、フロン類を巡る規制と対策の流れ[2]を図 1 に示す。

表 1 フロン類が対応する議定書

略号	正式名称	対応する議定書
CFCs (約3,800~14,500)	<u>C</u> hloro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbons	モントリオール議定書 対象物質 (特定フロン類)
HCFCs (約90~2,300)	<u>H</u> ydro <u>c</u> hloro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbons	
HFCs (約140~11,700)	<u>H</u> ydro <u>f</u> luoro <u>c</u> arbons	京都議定書 対象物質 (代替フロン等 3 ガス)
PFCs (約6,500~12,000)	<u>P</u> er <u>f</u> luoro <u>c</u> arbons	
SF ₆ (23,900)	<u>S</u> ulphur <u>h</u> exa <u>f</u> luoride	

()内は地球温暖化係数・GWP

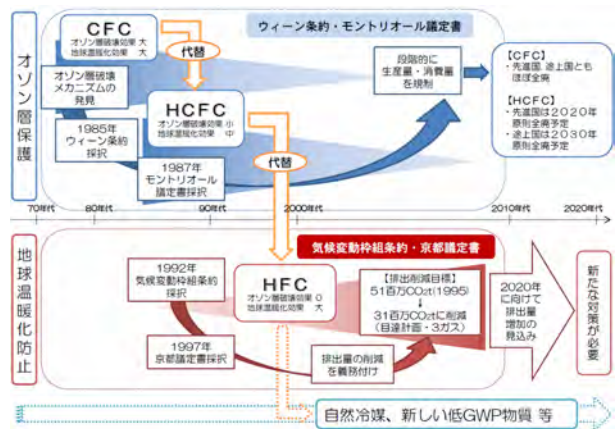


図 1 フロン類を巡る規制と対策の流れ

2. 京都議定書とフロン対策

2.1 京都議定書目標達成計画

フロン物質の環境問題に関する国際的取り決めとして、モントリオール議定書 (1987 年採択) と京都議定書 (1997 年採択) がある。「モントリオール議定書」ではオゾン層保護のため特定フロン類 (CFC・HCFC) 等の生産と消費が規制され、「京都議定書」では地球温暖化防止の観点から主要国の温室効果ガス (代替フロン類 (HFC・PFC・SF₆), CO₂ 等)

我が国は温室効果ガス排出抑制に向けた定量計画として 1998 年に地球温暖化対策推進大綱を作成した。その後、2005 年の京都議定書発効により京都議定書目標達成計画へと改め、第 1 約束期間がスタートした 2008 年には全面的改定を行った。我が国の目標達成計画によるガス別目標値の推移を表 2 に示す。

京都議定書目標達成計画では代替フロン等 3 ガス

の目標値は 31 百万トン-CO₂ に設定されている。これは、3つの具体的対策によって達成されるもので、特に産業界の自主行動計画によるところが大きい。

- ① 産業界による計画的な取組の促進
- ② 代替物質の開発と代替製品の利用促進
- ③ 法律に基づくフロン等の回収促進

NEDOは、代替フロン類を使用しない技術や回収・破壊技術等の開発により、これら産業界の取組を後押ししている。

表2 我が国のガス別目標値の推移

	計画年度	基準年 百万t-CO ₂	2010年 百万t-CO ₂	増減比
エネルギー起源 CO ₂	2008	1059	1089	+2.3%
	2005	1048	1056	+0.6%
	1998	1048	1024	▲2.0%
非エネルギー起源 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	2008	151	132	▲1.5%
	2005	139	124	▲1.2%
	1998	139	133	▲0.5%
代替フロン等3ガス HFC、PFC、SF ₆	2008	5.1	3.1	▲1.6%
	2005	5.0	5.2	0.1%
	1998	5.0	7.3	2.0%
森林吸収・CDM等	2008	---	(▲6.8)	吸収源 ▲3.8%
	2005	---	(▲6.8)	CDM等 ▲1.6%
	1998	---	---	---
温室効果ガス排出量 合計	2008	1261	1186	▲6.0%
	2005	1237	1163	▲6.0%
	1998	1237	1163	---

※：代替フロン等3ガス分野は1995年を基準年としたCO₂換算排出量比

2.2 我が国のフロン排出状況

一般的にフロンは、毒性がなく熱特性に優れる安全・安心な物質として現代社会を支えるあらゆる産業において必要不可欠なものとして利用されている。(図2参照)

我が国の 2008 年度における京都議定書に定める

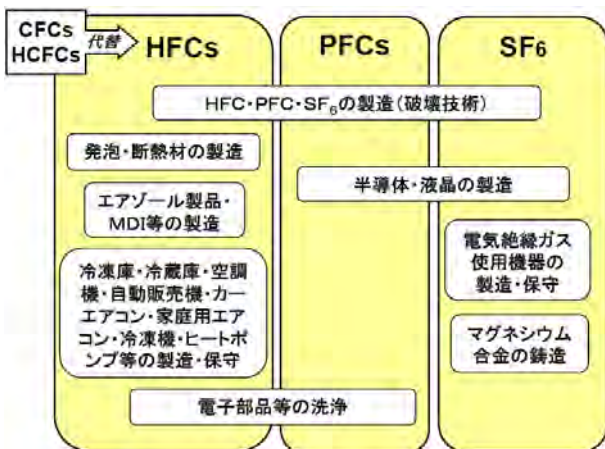


図2 代替フロン類の利用分野

温室効果ガス排出量(12億8,200万トン-CO₂)に占める代替フロン等3ガスの排出量は、2%以下の2,360万トン-CO₂であった。(図3参照)

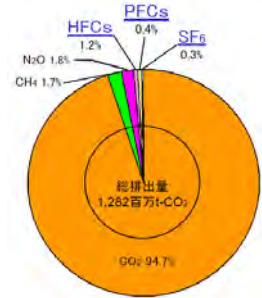


図3 GHG排出割合(2008)

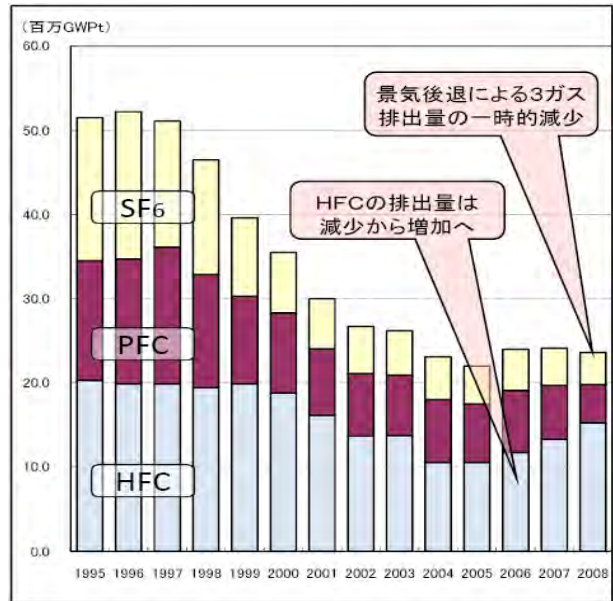


図4 代替フロン類のガス別排出量推移

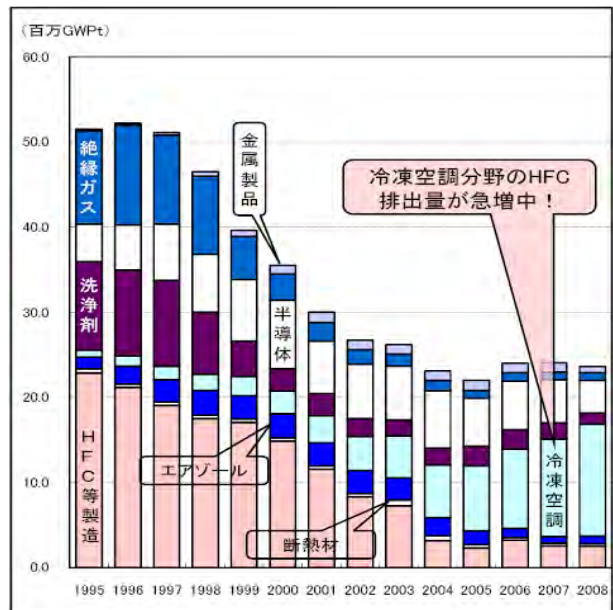


図5 代替フロン類の分野別排出量推移

この代替フロン等 3 ガスの排出量推移[3]を 1995 年からガス別 (図 4 参照), 分野毎 (図 5 参照) に見てみると, PFC と SF₆ は順調に削減されてきているが, HFC は 2005 年までは減少していたものの, 2006 年以降は増加傾向に転じている. この主な要因としては, 冷凍空調機器分野における HFC 冷媒の使用量急増によるところが大きい.

3. フロン対策と技術戦略マップ

3.1 産学官によるロードマップ

経済産業省と NEDO では, 5 年から 20 年後に実用化可能と思われる技術課題について, 中長期的な技術戦略マップとして毎年発表している. この技術戦略マップは, 産業化への道は遠いものの科学技術のイノベーションに大きなインパクトを与える大学・国研等を中心とするアカデミアロードマップと, 企業や業界を中心とする現状の技術水準で産業化が可能な技術を取りまとめているロードマップの中間に位置し, 産業化の可能性が極めて高く産学官協力によって生まれる革新的技術領域の展望を示したものである. (図 6 参照)

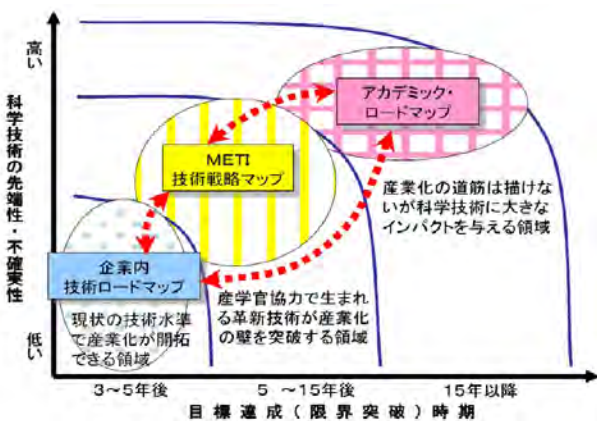


図 6 技術戦略マップの位置付け

経済産業省の技術戦略マップは, a) 我が国の研究開発投資への考え方, 内容, 成果等について国民に説明し, 理解を求めること. b) 技術開発および市場の動向を把握し, 取り組むべき重要技術を絞り込む. c) 異分野, 異業種の連携, 技術の融合, 関連施策の一体的実施促進を目的としている.

技術戦略マップの構成は, ①導入シナリオ, ②技術マップ, ③技術ロードマップの 3 つの要素で構成されている. ①の導入シナリオでは, 研究開発成果が製品・サービス等として, 社会, 国民に提供されて

いく道筋と, そのために取り組むべき関連施策を記載している. ②の技術マップは, 技術の体系図である. 技術課題, 要素技術を俯瞰するとともに, その中で重要技術を選定して記載している. ③の技術ロードマップは, 研究開発として取り組むべき要素技術, 求められる機能の向上, 目標性能, 技術的な進展を時間軸上にマイルストーンとして記載したものである.

3.2 フロン対策分野の導入シナリオ

導入シナリオでは, 国内外の規制動向, 技術動向と国の研究開発, 関連施策と市場の動向について時系列的に取りまとめている. 国内外の規制動向では, モントリオール議定書とオゾン層保護法で, CFC・HCFC 等オゾン層破壊物質の段階的規制を取り扱っている. また, 京都議定書と地球温暖化対策推進大綱・目標達成計画等による代替フロン等の排出削減量の見直し強化や改正フロン回収・破壊法等について記載している. 技術動向と国の研究開発では, 国内外の各種規制にリンクした重要技術の開発動向, ポスト京都議定書を見据えた重要技術の開発見通し, 関連する NEDO の研究開発プロジェクトを取り扱っている. 関連施策・市場の動向では, 各種規制にリンクした製品の上市期待時期などについて記載したものである. (図 7[4]参照)

3.3 フロン対策分野の技術マップ

フロン対策分野の技術は, ①冷凍空調, ②発泡・断熱材, ③電気絶縁ガス使用機器, ④エアゾール, ⑤半導体等製造, ⑥金属製品の 6 つの産業分野毎に重要な技術や製品の開発等について, いくつかのカテゴリーに分類・整理し, その詳細技術, 技術開発が対象とする排出量の大きさ, その推計の考え方を記載[4]したものである. ここで詳しい内容の紹介については省くが, 経済産業省や NEDO のホームページ等にて公開されているので確認いただきたい.

3.4 フロン対策分野の技術ロードマップ

フロン対策分野の技術マップに記載している産業分野, 機器別の技術課題に対して, 技術開発課題毎に, 開発時期, 製品の実用化時期, これらの期間設定が難しい技術開発課題を 2030 年までの時系列に記載[4]したものである. 技術マップ同様, ホームページ等を参照いただきたい.

脱フロン対策分野の導入シナリオ

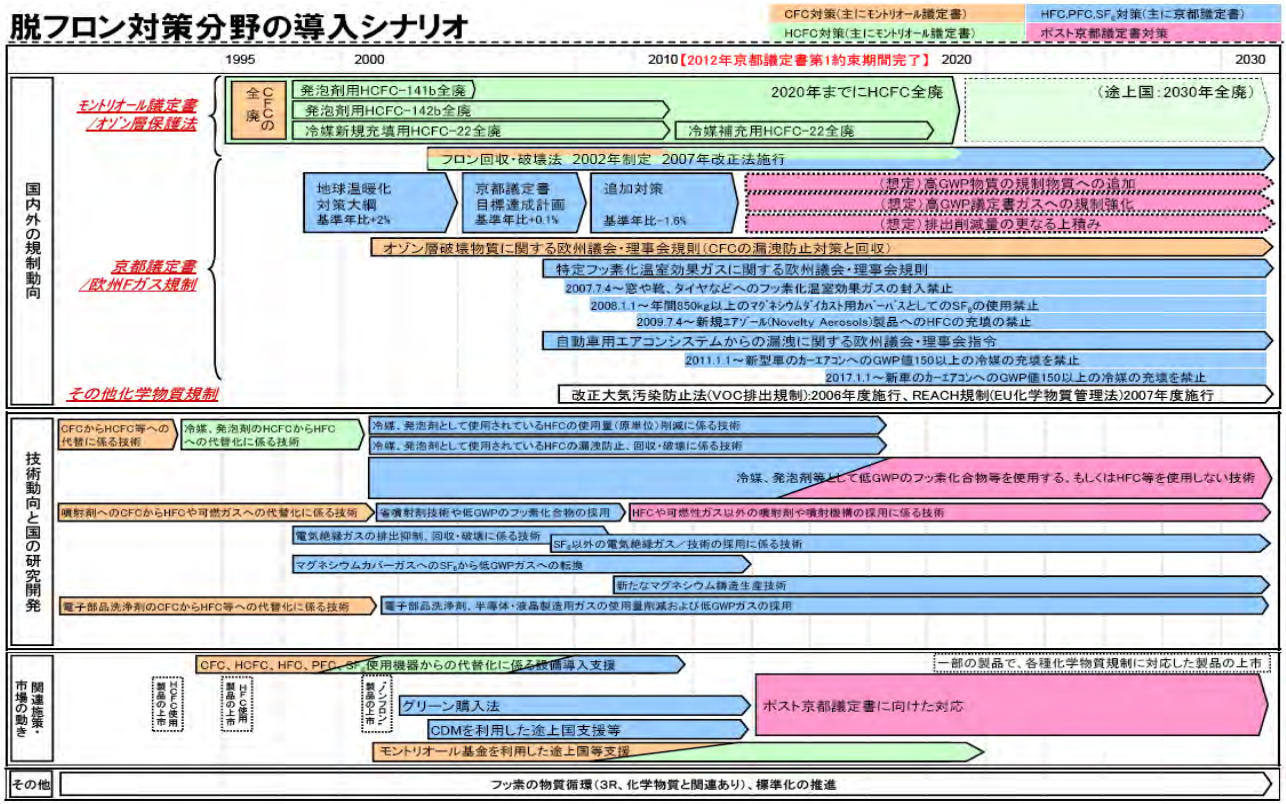


図7 フロン対策分野の導入シナリオ

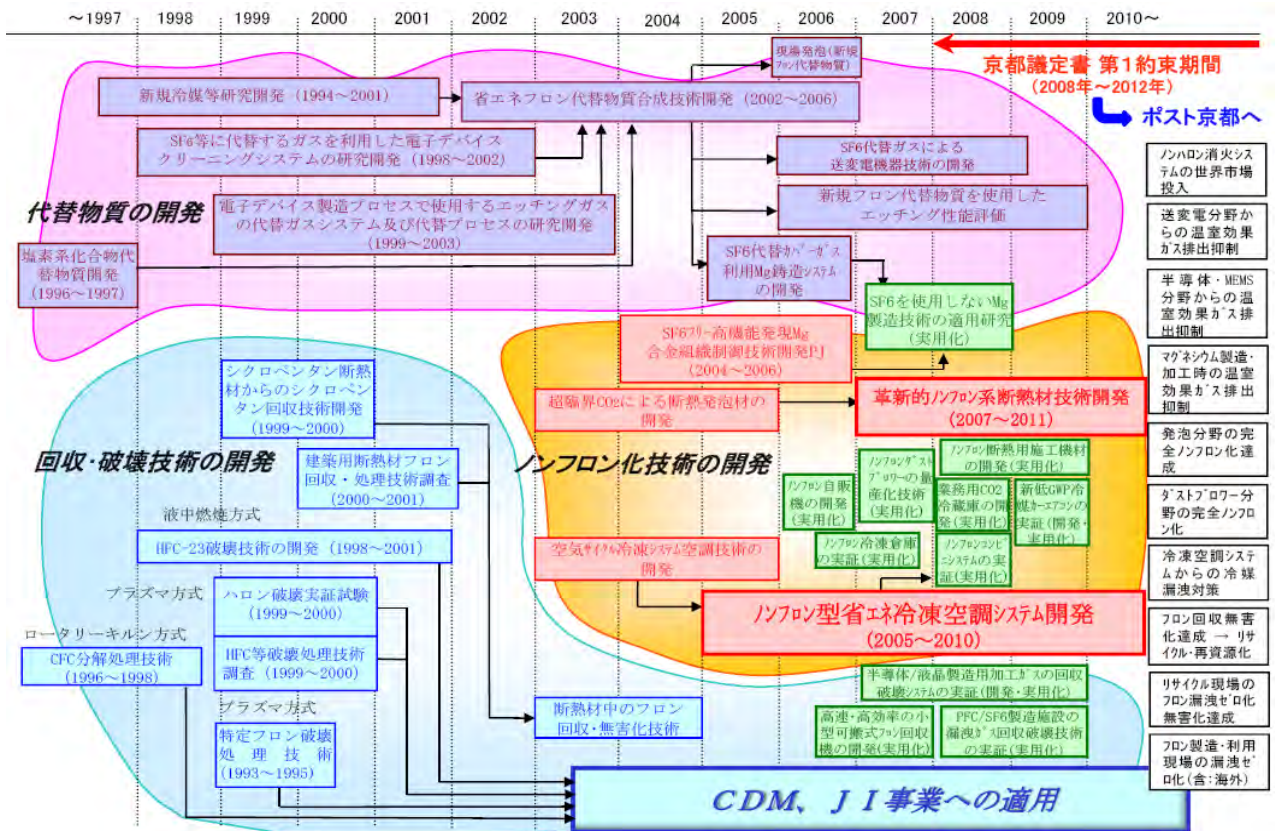


図8 NEDOのフロン対策プロジェクト

4. NEDO のフロン排出削減への取組

4.1 フロン排出削減への取組

NEDO では、代替フロン等 3 ガスの排出削減への取り組みとして、①代替物質の開発、②回収・破壊技術の開発、③ノンフロン化・フロン代替技術の開発を 3 本柱として技術開発を推進している。(図 8[7]参照)

これまでの NEDO プロジェクトにおけるフロン類の削減実績は、フロン (HFC-23) 破壊技術の成果として、2008 年度の国内 3 ガス削減量 (1995 年から 2,750 万トン-CO₂ を削減) の内の 29.4% (約 808 万トン-CO₂ を削減) に貢献した。また、CDM 事業として海外の排出量削減 (1,011 万トン-CO₂/年：登録済) でも貢献している。

この他にも、2006 年～09 年度に採択した「代替フロン等 3 ガスの排出削減技術の開発・実用化支援事業」では、京都議定書第 1 約束期間の 5 年間で累積 1,567 万トン-CO₂ (年平均：約 313 万トン-CO₂/年) が削減可能となる見込みである。この支援事業は 2010 年度以降も実施されることから、排出削減量の更なる上積みが期待されている。

代替フロン等 3 ガス分野では、基準年の排出量 (1995 年：51 百万トン-CO₂) から京都議定書目標達成計画の 31 百万トン-CO₂ へと約 20 百万トン-CO₂ (基準年比：1.6%) 相当の排出量を下げる必要があるが、2010 年度の国内 3 ガス排出削減見込み量に占める NEDO プロジェクトの成果による貢献分としては、前述のとおり約 10 百万トン-CO₂ (基準年比：0.8%) 以上を削減できる見込みである。これは代替フロン等 3 ガス排出削減量の 50%以上に相当する。(図 9 参照)

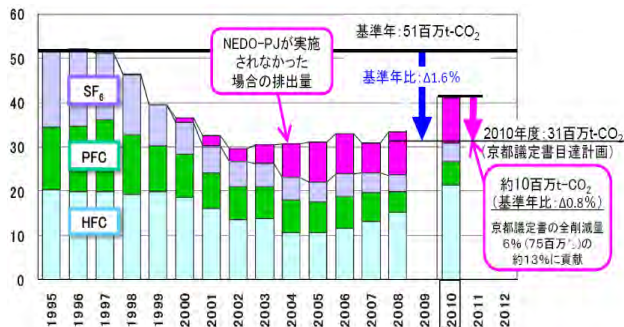


図 9 NEDO-PJ の成果と見通し

しかし、現状のままでは HFC 排出量の更なる増加が見込まれており、今後のポスト京都へ向けた対策として、冷凍空調機器の使用時・廃棄時等の冷媒漏洩

対策、ノンフロン化を目指した自然冷媒や次世代冷媒技術の研究開発等、HFC 排出量の増大を防止する技術開発や対策がますます重要となっている。

4.2 ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発

現在、冷凍空調分野では、「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」(2005～2010 年度) のプロジェクトで、自然冷媒や新規低 GWP 冷媒 (総称して「ノンフロン型冷媒」) の開発・評価ならびに家庭用エアコン等への適応研究を進めている。プロジェクト参加者と研究開発テーマ、対象冷媒等を表 3 に示す。

表 3 ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発 研究開発テーマ等一覧

対象分野	研究開発テーマ / 委託先・助成先 / 研究期間	冷媒
住宅 (6テーマ)	住宅用コンパクト再生方式省エネ型換気空調システムの開発 / 新日本空調 / 2005-2009	(デシカント)
	住宅用ノンフロン型省エネ調湿システムの開発 / 新晃工業 / 2008-2009	(デシカント)
	住宅用マルチ空調機の研究開発 / ダイキン工業 / 2005-2007	CO ₂
	低GWP冷媒を使用した省エネ空調機の研究 / ダイキン工業 / 2008-2010	低GWP冷媒
	低GWP冷媒を適用した省エネ空調機の研究 / 三菱電機 / 2008-2010	低GWP冷媒
	低GWP冷媒ルームエアコンの研究 / パナソニック / 2008-2010	低GWP冷媒
業務 (10テーマ)	室温磁気冷凍システムの開発 / 中部電力 / 2005-2007	(固体磁性体)
	コンビニエンスストア向けノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発 / サンデン / 2005-2007	NH ₃ / CO ₂
	CO ₂ ・HC混合冷媒使用のノンフロン型冷凍装置の開発 / マック / 2005-2007	HC / CO ₂
	ノンフロンカスケード式省エネ冷凍・冷蔵・低温空調システム開発 / 三菱重工空調システム・他 / 2005-2007	HC / CO ₂
	超臨界CO ₂ 熱搬送二次冷媒式ヒートポンプ空調機の研究 / 三菱重工 / 2005-2007	HC / CO ₂
	HC系冷媒業務用空調・給湯ヒートポンプの開発 / 前川製作所 / 2005-2007	HC
	HC冷媒を使用した高効率ヒートポンプチラーの開発 / ゼネラルヒートポンプ工業 / 2005-2006	HC
	冷暖同時運転ビル用マルチ空調機の研究 / 三菱電機 / 2005-2007	CO ₂
	CO ₂ 冷凍サイクルの高効率化技術の開発 / 三洋電機 / 2005-2007	CO ₂
	過冷却回路によるCO ₂ 冷凍システムの高効率化技術の開発 / 三洋電機 / 2008-2009	CO ₂
運輸 (2テーマ)	カーエアコン用空気サイクル・デシカントシステムの開発 / アースシップ / 2005-2007	空気
	CO ₂ を冷媒とする廃熱利用冷凍空調システムの開発 / 本田技術研究所 / 2005-2007	CO ₂
評価 (3テーマ)	実用的な性能評価、安全基準の構築 / 日本冷凍空調工業会 / 2005-2007	自然冷媒
	冷凍空調システムの環境影響及び安全性の評価に関する研究 / 産業技術総合研究所 / 2005-2010	自然冷媒 低GWP冷媒
	エアコン用低GWP混合冷媒の物性とLCPP評価 / 東京大学・九州大学 / 2009-2010	低GWP冷媒

ノンフロン型冷媒を使用する冷凍空調機器の実用化範囲を図 10[5] に示した。産業用超低温冷凍機では、アンモニア、プロパン、二酸化炭素、空気を冷媒として利用し、2 段またはカスケード方式の機器が導入・普及段階にある。冷凍庫では、二酸化炭素、空気、アンモニアを冷媒として利用する機器が

導入・普及段階になっている。自動販売機では、プロパン、二酸化炭素を、家庭用冷凍冷蔵庫では、イソブタン、プロパンを、給湯機では二酸化炭素を冷媒として利用する機器（いわゆる「エコキュート」）が普及段階にある。

カーエアコンでは、欧州の HFC 規制を背景に、2011 年より新冷媒の HFO-1234yf の導入が検討されている。

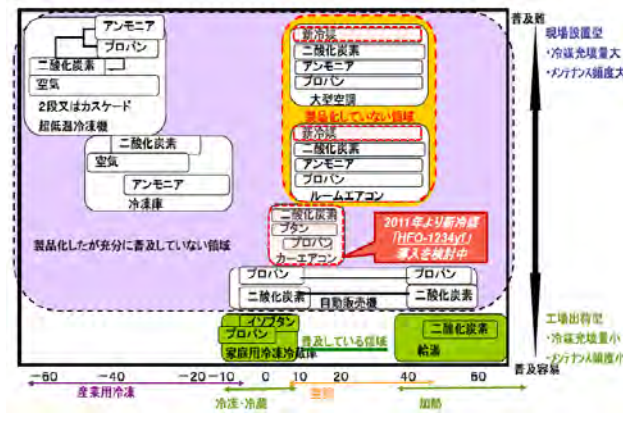


図 10 ノンフロン型冷媒の実用化範囲

HFC 冷媒からの転換が難しい分野としては、業務用空調機、家庭用エアコン等があり、自然冷媒や新冷媒の探索・評価研究、ならびに機器システムの開発が期待されており、現在「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」プロジェクトのテーマとして取り組んでいる。本プロジェクトの成果（研究開発途中の成果を含む）については、本年 2 月に東京で開催した「次世代冷凍空調技術国際会議 2010」（図 11 参照）にて公表しているもので、詳細については予稿集[6,7]（NEDO ホームページ上に公開）に掲載されているので確認いただきたい。



図 11 次世代冷凍空調技術国際会議 2010

4.3 革新的ノンフロン系断熱材技術開発

NEDO では冷凍空調分野の「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」の他に、発泡・断熱材分野を対象とした「革新的ノンフロン系断熱材技術開発」

(2007～2011 年度) のプロジェクトを推進している。本プロジェクトでは、建築用断熱材として用いられる硬質ウレタンフォーム等の断熱材用フロン系発泡剤を、二酸化炭素、シクロペンタン等の自然系発泡剤や新規低 GWP 発泡剤（総称して「ノンフロン系発泡剤」）へと転換するための研究開発・評価を進めている。プロジェクト参加者と研究開発テーマ、対象発泡剤等を表 4 に示す。

表 4 革新的ノンフロン系断熱材技術開発 研究開発テーマ等一覧

対象分野	研究開発テーマ / 委託先・助成先 / 研究期間	発泡剤	
断熱材技術 (11テーマ)	基礎技術 超低熱伝導率構造部材に必要な物性と構造の同定とその創製のための基礎研究 / 京都大学 / 2007-2011	CO ₂ 、N ₂ 、他	
	発泡ガス 次世代断熱発泡剤の研究開発 / 産業技術総合研究所 / 2007-2011	低GWP発泡剤	
	硬質ウレタン	ノンフロンウレタン断熱技術の研究開発 / アキレス / 2007-2009	超臨界CO ₂
		熱伝導率経時低下を抑制したノンフロン断熱材の研究開発 / 日清紡ケミカル / 2007-2009	CO ₂ /CP等
		水発泡(もしくは超臨界CO ₂ 発泡)による新規現場発泡高断熱ウレタン発泡材の技術開発 / 旭硝子 / 2007-2011	水(CO ₂) 超臨界CO ₂
		発泡剤の気相/液相制御技術等による現場発泡高断熱ウレタンフォームの技術開発 / BASF INOAC ポリウレタン / 2007-2009	CO ₂ /HC等
	複合断熱材	発泡ポリマー-シリカナノコンボジット断熱材および連続製造プロセスの開発 / 産業技術総合研究所・東京理科大学・シーアイ化成 / 2007-2011(シーアイ化成は2009終了)	超臨界CO ₂ (シリカ)
		先進的高機能無機系断熱材の研究開発 / 旭ファイバークラス / 2007-2009	(シリカ)
		ナノゲル断熱材の研究開発 / アキレス / 2007-2011	(シリカ)
	発泡断熱ボード	新規断熱性向上シートの研究開発 / 東レ / 2007-2011	超臨界CO ₂
		高断熱性ノンフロン押出発泡体の研究開発 / カネカ / 2007-2011	HC、DME
計測評価技術 (2テーマ)	計画 交流温度波の減衰を利用した断熱材熱伝導測定システムの研究開発 / 東京工業大学 / 2007-2009	—	
	評価 革新的ノンフロン系断熱材及び断熱性能測定技術の実用性評価 / 建材試験センター / 2007-2011	—	

本プロジェクトでは、高分子素材の発泡等の微細化・多孔化技術や各種断熱材の複合化技術、新規断熱材料の合成技術等を確立することによって、建材を中心とする断熱材分野において、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有する革新的なノンフロン系断熱材の開発を行うことを目的として、①革新的断熱材開発、②断熱性能等の計測・評価技術の 2 項目について研究を実施している。

これにより、民生部門での省エネルギー効果による CO₂ 削減と同時に、フロン系発泡剤の使用量削減

に貢献することができる。また、この技術開発は建築分野のみならず、冷凍空調、運輸等、種々の断熱材使用分野への波及効果を有するため、ポスト京都を見据えた地球温暖化防止に対してさらに大きな効果が期待できる。

本プロジェクトは、2009年にプロジェクト途中での中間評価が外部有識者により実施されており、評価時の研究開発成果と評価結果が、中間評価報告書[8]としてNEDOホームページで公開されている。詳しくは報告書を参照いただきたい。

5. まとめ

我が国の産業界は、京都議定書を受けて長期計画に基づいたフロンの排出抑制対策を自主的に推進しており、その成果は国際的にも誇れるものといえる。(図12[2,9]参照)

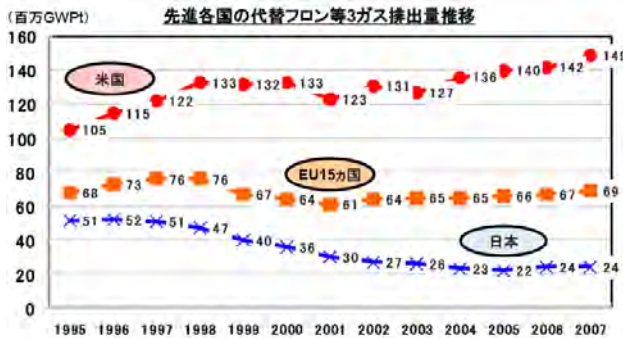


図12 3 ガス排出量の国際比較

本稿では、我が国の代替フロン等3ガスの排出抑制対策について、京都議定書目標達成計画と技術戦略マップ、および、それらに基づいてNEDOが推進している最近の技術開発プロジェクトを中心に紹介させて頂いた。ポスト京都対策を巡る国際的議論の中で、フロンは生産・使用・廃棄等それぞれの段階で排出規制の強化が図られようとしている。その対策

として、フロン代替物質の開発、回収・破壊技術の開発、ノンフロン化・フロン代替技術の開発は、ますます重要性を増している。

これからもNEDOは、国際的な技術動向や規制動向等を注視しつつ、我が国の産業技術とエネルギー・環境技術の研究開発およびその普及を、産学官の連携により推進していく所存である。

参考文献

- [1] (独)国立環境研究所, 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (2010)
- [2] 経済産業省, 産業構造審議会 化学・バイオ部会 第23回地球温暖化対策小委員会 資料 (2010)
- [3] 経済産業省, 産業構造審議会 化学・バイオ部会 第22回地球温暖化対策小委員会 資料 (2009)
- [4] 経済産業省, 技術戦略マップ2010 脱フロン対策分野 (2010)
- [5] 経済産業省, 産業構造審議会 化学・バイオ部会 第20回地球温暖化対策小委員会 資料 (2008)
- [6] NEDO, Proceedings of 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology (2010)
- [7] Idemoto, M., Matsubara, T., Sugahara, K., PREVENTION OF FLUORINATED GAS AND FLUORINATED GAS SUBSTITUTE EMISSIONS TECHNOLOGY STRATEGY ROADMAP, Proceedings of 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology (2010) NS03
- [8] NEDO 研究評価委員会, 革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト 中間評価報告書 (2009)
- [9] UNFCCC 2009 Annex I Party GHG Inventory Submissions (2009)

低 GWP 冷媒 HFO-1234yf
Low-GWP refrigerant HFO-1234yf

飛原 英治 (東京大学)
Eiji HIHARA (University of Tokyo)
e-mail: hihara@k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

冷凍空調機器の作動媒体として用いられるフロンに関しては、環境問題から多くの規制が行われている。成層圏オゾン層の保護問題は、地球環境問題の中で最も早くから検討され、1985年のウィーン条約、1987年のモントリオール議定書により、オゾン層破壊物質の生産量および消費量の削減が進んでいる。表1に示すように、CFC（クロロフルオロカーボン）を中心とする特定フロンは、先進国にあっては1996年1月をもって全廃された。HCFC類（ハイドロクロロフルオロカーボン、指定フロンと呼ばれる）はオゾン破壊係数がCFC類に比べて小さいため、規制は2004年1月から消費量および生産量の削減が始まり、2020年には実質的な全廃が行われる予定である。オゾン層破壊元素である塩素を含まない冷媒であるHFC類（ハイドロフルオロカーボン、代替フロンと呼ばれる）の開発が進み、先進国においてはカーエアコンの冷媒はHFC134aに転換され、エアコンにはHFC類の混合冷媒であるR410AやR407Cが使用されている。しかし、発展途上国においては、CFC類の規制が進んでいるところで、まだ南極のオゾンホールは縮小していない。

成層圏オゾン層保護のために導入されたHFC類は二酸化炭素に比べて数百～数千倍の温暖化能を有することから、1997年12月の気候変動枠組み条約第3回締約国会議において、PFC（パーフルオロカーボン）やSF₆（六フッ化硫黄）と共に、排出削減対象ガスに加えられた。この結果、HFC類の将来に対して不透明な状況となっている。

EUにおいては日本より厳しい規制に着手している。自動車用エアコンに対する規制と家庭用、商業用冷蔵設備およびエアコンディショナーなど定置機器に対する規制を分離し、自動車用エアコン用の冷媒については段階的禁止を決定している。2011年1月より地球温暖化係数（GWP）150以上

の温室効果をもつ冷媒の新型車への使用が禁止される。これはGWP1300のHFC134aの実質的禁止を意味する。2017年1月よりGWPが150以上の冷媒の全ての新車への使用が禁止される。

HFC134aに代わる次世代のカーエアコン用冷媒としては、自然冷媒である二酸化炭素と低GWP冷媒であるHFO-1234yfが期待されている。本稿ではHFO-1234yfの特性などについて解説する。

表1 モントリオール議定書による冷媒規制

種類	先進国消費量	
CFC	1996年	全廃
HCFC	1996年	100%以下 (基準年 1989年)
	2004年	65%以下
	2010年	25%以下
	2015年	10%以下
	2020年	全廃

種類	発展途上国消費量	
CFC	1999年	100%以下
	2005年	50%以下
	2007年	15%以下
	2010年	全廃
HCFC	2013年	100%以下 (基準年 2009～2010年の平均)
	2030年	全廃

2. HFO-1234yfの物性

ハイドロフルオロオレフィン HFO-1234yfの化学式はCF₃CF=CH₂で図1のような分子構造をしている。

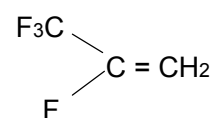


図1 HFO-1234yfの分子構造

化学式を見ると HFC の仲間であるが、従来の代替冷媒と区別するために、HFO をつける習慣となっている。炭素の二重結合があるため、化学的安定性が弱く、大気寿命は 11 日である。基本物性を現在のカーエアコン冷媒 HFC134a と比較して、表 2 に示す。蒸気圧は図 2 のように HFC134a と酷似しており、従来のカーエアコンにもドロップインできる性質を有している。

表 2 基本物性の比較

	HFO-1234yf	HFC134a
化学式	CF ₃ CF=CH ₂	CH ₂ FCF ₃
沸点	-29°C	-26°C
臨界温度	95°C	102°C
GWP (100 年)	4	1300
毒性	クラス A	クラス A
燃焼性 (可燃範囲)	微燃 (6.2~12.3%)	不燃
大気寿命	11 日	13.8 年

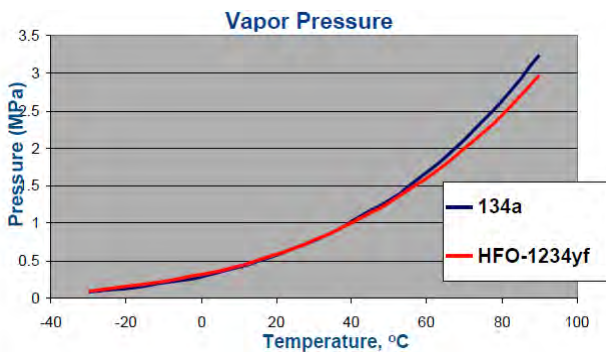


図 2 HFO-1234yf の蒸気圧

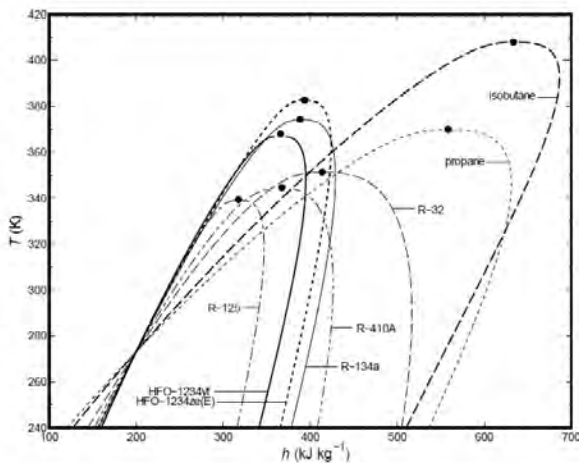


図 3 HFO-1234yf の潜熱[1]

図 3 は各種冷媒の T-h 線図を示している[1]。蒸

発器あるいは凝縮器における潜熱の大きさを知ることができる。これによると、R410A に比べて、かなり潜熱が小さいことがわかる。

3. カーエアコンの特性

3.1 サイクルの特性

日本自動車工業会と日本自動車部品工業会では共同して、HFO-1234yf をカーエアコンに適用するときの性能、信頼性、安全性などを評価している [2]。6 社 7 車種のカーエアコンに HFO-1234yf を充填し、HFC134a の性能と比較している。図 4 が冷房能力比、図 5 が COP 比である。試験条件は

- ・ 凝縮器入口空気：45°C
- ・ 蒸発器入口空気：35°C、湿度 40%

であり、圧縮機回転数をパラメータとして示している。

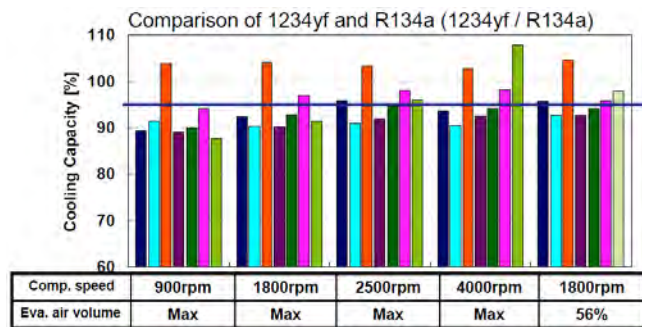


図 4 冷房能力比[2]

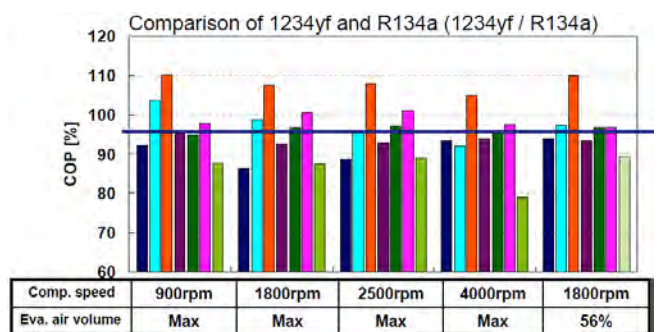


図 5 COP 比[2]

冷房能力比の平均値は 95%，COP 比の平均値は 95.9%であった。ドロップイン試験でこのように同等に近い結果が出れば、機器の改良によって十分適用できると判断される。

3.2 ライフサイクル (LCCP) 評価

ヒートポンプの環境評価は、機器のライフサイクルにわたっての環境負荷を定量評価することによって行われる。代表的な手法が LCCP (Life Cycle Climate Performance) で、冷媒生産時の温暖化影響、冷媒の大气排出による温暖化影響（直接影響という）、機器のエネルギー消費にともなう CO₂ 排出（間接影響という）等を合算して算出する。わが国においては、運転時の冷媒の大气漏洩量や廃車時の冷媒の大气漏洩量は詳しく調査されているが、他国については米国や EU などの先進国でも詳細なデータはなく、推定の域をでない。間接影響については、季候によって自動車の冷房負荷が異なり、COP は外気温度などにも影響され、地域によって年間の走行距離も異なるので、地域別に算定されるのが普通である。

カーエアコンについて日本自動車工業会によって算定された LCCP 結果を紹介する[2]。対象車種はコンパクトカーである日産ティーダ（エンジン排気量 1.5 リットル）で、冷媒として HFC134a, HFO-1234yf, CO₂ を比較している。エアコン機器は HFC134a と HFO-1234yf は全く同じで、CO₂ は

熱交換器サイズは同じであるが、圧縮機を交換し、内部熱交換器を装備している。図 6 は外気温度を変えて、圧縮仕事を比較したものである。HFC134a と HFO-1234yf はほぼ同じで、CO₂ は圧縮仕事が多くなる。

図 7 は東京、フェニックス（米国）、フランクフルト（ドイツ）における LCCP 評価結果である。間接影響は HFC134a が最も優れているが、直接影響を加えると、HFO-1234yf が最も等価 CO₂ 排出量は少なくなる。CO₂ 冷媒の等価 CO₂ 排出量は HFC134a と同等である。

以上の結果などから、日本や米国の自動車工業会は次世代冷媒として HFO-1234yf を推奨している。ドイツの自動車工業会や環境庁は自然冷媒である二酸化炭素を推奨している。HFO-1234yf は LCCP の点では優れているが、微燃性であることと冷媒が高価なことが欠点である。CO₂ は安価であるが、事故時に車室内に放出したときの危険性は存在し、機器コストが高く、高温環境での能力不足という欠点もある。新規冷媒が選択されるのは間近である。

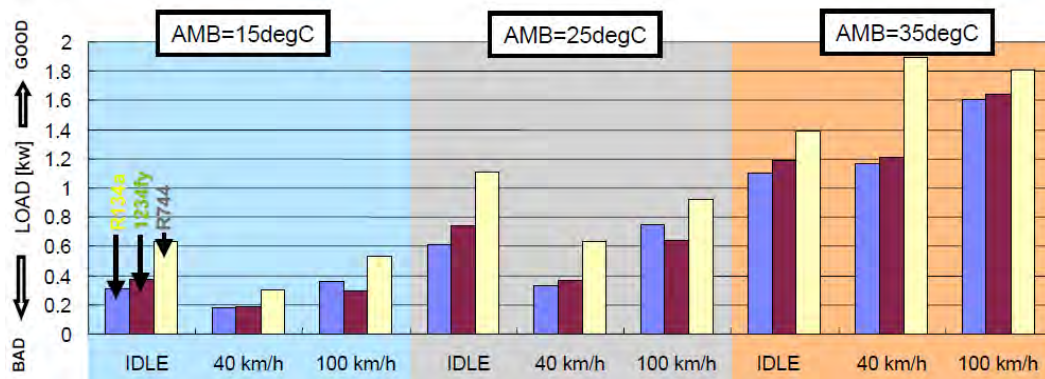


図 6 圧縮機動力の比較[2]

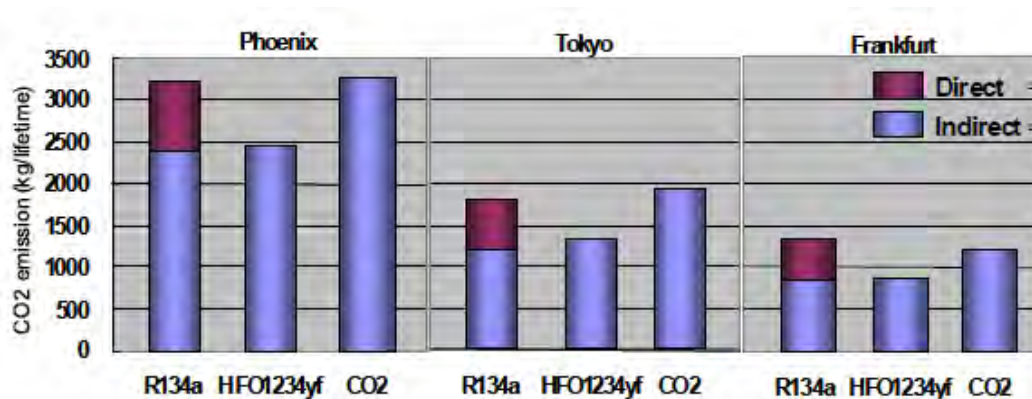


図 7 LCCP 結果[2]

4. ルームエアコンの特性

4.1 熱力学的サイクルの特性

ルームエアコン用に HFO-1234yf を使用したときの性能を、以下の仮定で計算してみる。

- ・ 冷房時凝縮／蒸発温度：45℃／9℃
- ・ 暖房時凝縮／蒸発温度：45℃／-3℃
- ・ 圧縮機効率：0.75
- ・ 配管，熱交換器内圧力損失：なし
- ・ 過冷却，過熱度：それぞれ 5℃

図8は各種冷媒のCOPを比較したものである。現在使用されている R410A と比較すると、HFO-1234yf, HFC134a, HFC32 の COP はそれぞれ、3%、7%、2%程度高い。図9は圧縮機入口の体積流量あたりの冷房能力、暖房能力を比較したもので、R410A を1として表示したものである。これを見ると、図3に示したように潜熱の小さい HFO-1234yf と HFC134a の冷暖房能力は 40%程度しかなく、R410A と同一能力を出すためには冷媒流量を 2.5 倍にしなければならないことが分かる。これが HFO-1234yf をルームエアコンに適用するときの問題なのである。

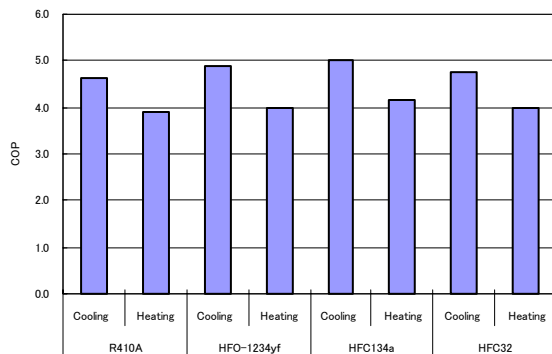


図8 ルームエアコンの COP 比較

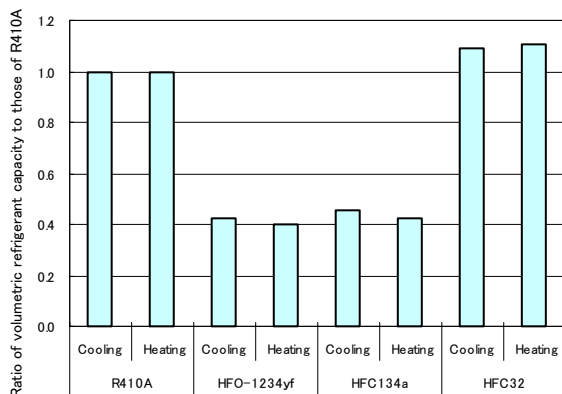


図9 ルームエアコンの能力比較

4.2 ドロップイン試験結果

図10は市販の R410A 用ルームエアコン（接続配管長 5m）に HFO-1234yf を封入して性能試験を行った結果である[3]。冷房、暖房の中間能力試験では R410A と同等能力を出すことはできるが、定格能力試験では圧縮機回転数の範囲では能力が出せない。また、COP は特に定格試験での低下が顕著で、これは冷媒流量の増加に伴う圧力損失の増大が原因である。この改善のためには、接続配管の直径を大きくし、熱交換器のパス構成の変更や大型化などの低圧損化をしなければならない。機器体積が 40%程度大きくなると試算されている。このため、HFO-1234yf は適用できないと考えられ、潜熱の大きい HFC32 など混ざった混合冷媒の探索が行われている。HFC32 (GWP650) を混合させると、COP は改善するが、GWP が大きくなる。

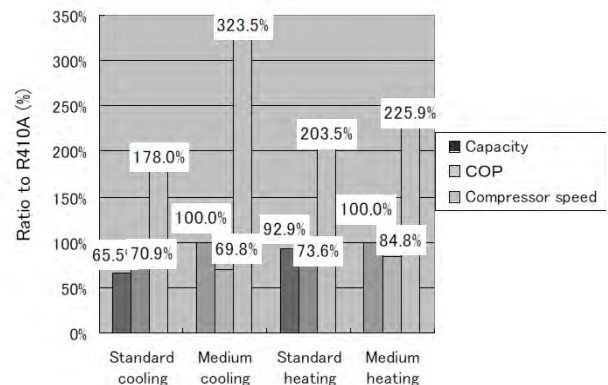


図10 HFO-1234yf のドロップイン試験結果[3]

5. おわりに

次世代冷媒として期待されている HFO-1234yf の性能を解説した。カーエアコンへの適用は問題が少ないが、ルームエアコンへの適用は問題が多い。

参考文献

- [1] Higashi, Y., Thermophysical Properties of HFO-1234yf and HFO-1234ze(E), 2010 Int. Sym. Next-gen. Air Con. Refrig. Tech., NEDO.
- [2] Ikegami, T., et al., New Refrigerants Evaluation Results, 2008 SAE Alternate Refrig. Systems Sym.
- [3] Hara, H., et al., Experimental Study of Low GWP Refrigerants for Room Air-Conditioners, 2010 Int. Sym. Next-gen. Air Con. Refrig. Tech., NEDO.

低 GWP 次世代冷媒候補物質 HFO-1234ze(E)の基本特性

Basic Characteristics of HFO-1234ze(E) as a Next-generation Low-GWP Refrigerant Candidate

小山 繁 (九州大学), 高田 信夫 (九州大学), 日比野 泰雄 (セントラル硝子)
Shigeru KOYAMA (Kyushu University), Nobuo TAKADA (Kyushu University),
Yasuo HIBINO (Central Glass Co., Ltd.)
e-mail: koyama@cm.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

冷凍空調分野においては、ヒートポンプ・冷凍システムの作動媒体として CFC 系冷媒や HCFC 系冷媒が長年使用されてきた。しかしながら、1974 年にローランド教授らによる CFC 冷媒による成層圏オゾン層破壊に関する論文[1]が発表されてからオゾン層破壊防止への動きが国際的に高まり、1987 年のモントリオール議定書締結以降、CFC 系冷媒が全廃され、同時に HCFC 系冷媒の規制が進められ、オゾン層に影響しない HFC 系冷媒への転換が進められてきた。一方、1997 年の気候変動枠組条約第 3 回締約国会議 (COP3: 京都会議) においては CFC 系および HCFC 系冷媒の代替物質として開発された HFC 系冷媒も地球温暖化防止の観点から規制対象となった。

以上の国際的規制の動きを受けて、1990 年代中頃から、地球温暖化への影響が少ない自然界に存在する物質 (例えば、CO₂, NH₃, 水, *i*-C₄H₁₀ などの自然冷媒) を作動媒体として用いたヒートポンプ・冷凍システムの開発が最重要課題となり、今日、CO₂ を作動媒体としたヒートポンプ給湯機、*i*-C₄H₁₀ を作動媒体とした家庭用冷蔵庫、CO₂ あるいは *i*-C₄H₁₀ を作動媒体とした自動販売機など、一部の分野で自然冷媒を用いたヒートポンプ・冷凍機の実用化がなされた。

自動車用空調機に関しては、ヨーロッパにおいて 2011 年から GWP (Global Warming Potential) が 150 以下の冷媒を用いることが定められ、現在使用されている HFC-134a は GWP=1300 と温暖化への影響が大きいため、2011 年から段階的に削減され、2017 年に全面使用禁止となる予定である。このため、CO₂ を作動媒体とした自動車用空調機の開発が、一時期、盛んに行われていたが、その開発は、性能、漏洩などの課題のために中断されて、

現時点では、Honeywell 社が提案しているオレフィン系新規代替冷媒 HFO-1234yf (CF₃CF=CH₂: 2, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene) を用いた自動車用空調機の開発が急ピッチで進められている。また、家庭用・業務用空調機に関しては、一部、CO₂ や炭化水素を用いたシステムの開発が進められているものの、現在使用されている HFC 系混合冷媒の R410A, R407C などにとって替わるほどの性能、安全性、あるいは経済性が確保できていないようである。

以上のような状況の中で、著者らは、Mg 合金製造プロセスのカバーガスとして開発された HFO-1234ze(E) (CF₃CH=CFH: Trans-1, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene) は低 GWP で、ODP=0 (ODP: Ozone Depletion Potential) であり、冷媒として使用できる可能性があるのではと考えて、2007 年頃から HFO-1234ze(E) をヒートポンプ用作用媒体として導入することの可能性について研究を開始した。そこで、本稿では、代替冷媒候補物質 HFO-1234ze(E) に関する基本物性、熱力学的サイクル性能解析および R410A 用圧縮機を用いた水熱源ヒートポンプ試験装置によるドロップイン試験の結果について紹介する。

2. HFO-1234ze(E)の基本物性

HFO-1234ze(E) (CF₃CH=CFH: Trans-1, 3, 3, 3-Tetrafluoropropene) は、現在、自動車用空調機の作動媒体として注目されている HFO-1234yf と同様のフッ素化 Propene の一種である。我が国では、セントラル硝子が HFC-245fa 製造時の中間体から HFO-1234ze(E) の合成にいち早く成功しており、同社は HFO-1234ze(E) を Mg 合金溶湯防暴用カバーガスとして使用されている SF₆ の代替物質として実用化しつつある。

表 1 基本物性

化合物名	HFO-1234ze (E)
化学式	CF ₃ CH=CFH
CAS No.	29118-24-9
分子量	114
沸点 (昇華点)	-19°C
融点	不明
密度 気体	3.94 (25°C, 1atm)*
密度 液体	1.098 (48°C, 1.06MPa)*
蒸気圧	0.51MPa (25°C)
蒸発潜熱	165kJ/kg (25°C)*
臨界温度	109°C
臨界圧力	3.6MPa
水の溶解度	0.05wt% (25°C)
水への溶解度	0.013wt% (25°C)

*推算値

表 2 安全性・環境評価

化合物名	HFO-1234ze (E)
急性吸入毒性	>5.4mg/L (非毒物)
変異原性 (Ames)	陰性
染色体異常	陰性
吸入毒性14日	>200ppm (影響なし)
吸入毒性28日 NOAEL	5mg/L
許容濃度 (AEL:社内基準)	(500ppm)
化審法	新規 (少量新規)
労安法 No.	8-(1)-3174
発火点	不明
燃焼範囲	5.6-14.4v%*
最小着火エネルギー	>123mJ
適応法規	高压ガス
ODP	0
大気寿命	0.055年 (20日)
GWP ₁₀₀	9

*ASHRAE法 (20°C, 乾燥条件): 燃焼範囲なし

表 3 金属への影響評価

金属	水分: 23ppm HFO-1234ze (E)		水分: 207ppm HFO-1234ze (E)	
	腐食速度 [mm/y]	外観	腐食速度 [mm/y]	外観
Fe	0.000	変化なし	0.000	変化なし
Al	0.000	変化なし	0.000	変化なし
Cu	0.000	変化なし	0.000	変化なし
Zn	0.000	変化なし	0.000	変化なし
真鍮	0.000	変化なし	0.000	変化なし
SUS304	0.000	変化なし	0.000	変化なし

表 1 に HFO-1234ze(E) の基本物性を示す。HFO-1234ze(E) の標準沸点は約 -19°C、臨界温度は約 109°C、臨界圧力は約 3.6MPa、25°C における蒸発潜熱は 165kJ/kg であり、HFC-134a に比して標準沸点および臨界温度はやや高く、臨界圧力および蒸発潜熱はやや低い。なお、HFO-1234ze(E) の熱力学的性質に関する研究は、現在、東らのグループを中心として体系的に取り組まれているところであるので、その最新の情報は東らの論文[2, 3, 4] を参考すること。

表 2 に HFO-1234ze(E) の安全性・環境評価の現

表 4 樹脂への影響評価

樹脂	HFO-1234ze (Z)		
	重量 変化率 [%]	寸法 変化率 [%]	外観
ポリエチレン	0.11	0.00	変化なし
ポリ塩化ビニル(軟質)	0.86	0.00	変化なし
ポリ塩化ビニル(硬質)	0.87	0.07	変化なし
ポリカーボネート	0.05	0.00	変化なし
PMMA	-0.01	-0.26	変化なし
ABS	0.00	-0.07	変化なし
ポリプロピレン	0.20	-0.07	変化なし
ポリスチレン(HIPS)	0.03	0.00	変化なし
ポリスチレン(GPPS)	0.03	0.00	変化なし
AS樹脂	-0.02	-0.07	変化なし
ポリアセタール	0.07	0.07	変化なし
フェノール樹脂	-0.05	0.07	変化なし
ナイロン6	-0.07	-0.07	変化なし
ナイロン66	-0.05	0.00	変化なし
PBT樹脂	0.00	0.00	変化なし
ポリエステルガラス	-0.01	0.00	変化なし

表 5 エラストマーへの影響評価

エラストマー	HFO-1234ze (Z)		
	重量 変化率 [%]	寸法 変化率 [%]	外観
クロロブレン	0.53	0.26	変化なし
NBR	0.71	0.26	変化なし
SBR	0.46	0.00	変化なし
バイトン	0.86	0.32	変化なし
シリコンゴム	-0.03	0.13	変化なし
ブチルゴム	0.43	0.00	変化なし
天然ゴム	0.33	0.00	変化なし
EPDM	0.44	0.00	変化なし

状を示す。HFO-1234ze(E) は低毒性で、比較的安全に取り扱うことができる物質である。燃焼性に関しては、最小着火エネルギーが自然界で生ずる静電気エネルギーに比して高く、微燃あるいは難燃性の範疇に属する。環境への影響に関しては、塩素が含まれていないので ODP はゼロ、大気中寿命は 0.055 年で、GWP₁₀₀ は 9 程度であり、環境への影響は既存の HFC 系冷媒に比して極めて小さい。

表 3 に HFO-1234ze(E) の金属への影響の評価結果を示す。23 ppm および 207 ppm の水分混入下において、HFO-1234ze(E) は、空調機の主たる構成材料として用いられる金属への反応性・腐食性は全くないと評価されている。

表 4 に HFO-1234ze(E) の樹脂への影響の評価結果を示す。HFO-1234ze(E) の樹脂への影響は若干あるが、既存の HFC 系冷媒の場合とほぼ同程度である。

表 5 に HFO-1234ze(E) のエラストマーへの影響の評価結果を示す。HFO-1234ze(E) は大部分のエラストマーに対して若干の膨潤性を有している。

3. サイクル性能の熱力学的解析

HFO-1234ze(E)の冷媒としての可能性を評価するために家庭用空調機および大型ターボ冷凍機を想定して、熱力学的にサイクル性能の評価を試み、既存の冷媒とその性能の比較を行った[5].

図 1(a)および(b)にそれぞれ家庭用空調機および大型ターボ冷凍機の圧力-比エンタルピー線図 ($p-h$ 線図) を示す. 家庭用空調機のサイクルは、図 1(a)に示すように圧縮機、凝縮器、膨張弁および蒸発器から構成される基本的なヒートポンプサイクルである. また、大型ターボ冷凍機は、図 1(b)に示すように低段圧縮機、高段圧縮機、凝縮器、過冷却器、中間冷却器、高段側膨張弁、低段側膨張弁および蒸発器からなる二段圧縮二段膨張式冷凍サイクルである.

表 6 にサイクル性能の試算条件を示す. 家庭用空調機については、計算対象冷媒として HFC 系疑似共沸混合冷媒 R410A, 純冷媒 HFO-1234ze(E)および HFO-1234ze(E)/HFC-32 系非共沸混合冷媒を

選択した. ここに、試算対象の混合冷媒は相変化過程において温度すべりが生じるので、それらの過程における平均温度を表中の凝縮温度あるいは蒸発温度と等しいとした. 大型ターボ冷凍機については、計算対象冷媒として HFC 系純冷媒 R134a および R245fa と HFO-1234ze(E)純冷媒を選択した. なお、以上の冷媒の熱力学的性質の計算には NIST の冷媒物性計算プログラムパッケージ REFPROP Ver. 8.0 [6] および Akasaka [7] が開発した HFO-1234ze(E)の状態方程式計算方法を用いた.

表 7 に家庭用空調機を想定した場合の HFC 系疑似共沸混合冷媒 R410A, 純冷媒 HFO-1234ze(E)および HFO-1234ze(E)/HFC-32 系非共沸混合冷媒のサイクル性能の計算結果 (暖房モード) を示す. HFO-1234ze(E)の暖房成績係数 COP_h は R410A に比して約 7% 高い値となる. しかしながら、HFO-1234ze(E)の体積能力は R410A の約 32% と極めて低い値となる. これは、HFO-1234ze(E)が R410A に比して低圧冷媒であることおよび HFO-1234ze(E)の蒸発潜熱が R410A に比して小さ

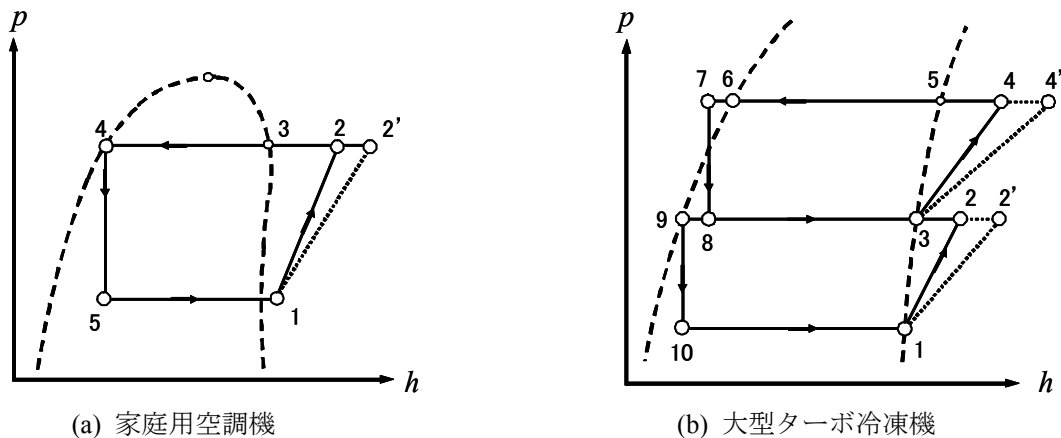


図 1 圧力-比エンタルピー線図

表 6 サイクル性能の試算条件

Applications	Domestic Air-conditioning System	Turbo Refrieration System
Refrigerants	R410A HFO-1234ze(E) HFO-1234ze(E)/HFC-32	HFC-134a HFC-245fa HFO-1234ze(E)
Condensation Temp. [K]	300.15	311.15
Degree of Subcool [K]	0	5
Evaporation Temp. [K]	270.15	279.15
Degree of Superheat [K]	3	0
Efficiency of Compressor [-]	0.85	0.85

表7 家庭用空調機のサイクル性能の試算結果（暖房モードの場合）

	R410A	HFO-1234ze(E)/HFC-32		
		100 mass% HFO	80 mass% HFO	50 mass% HFO
Evaporating pressure [MPa]	0.725	0.193	0.341	0.521
Condensing pressure [MPa]	1.886	0.583	0.994	1.428
Refrigeration effect [kJ/kg]	174.12	144.65	172.35	201.81
Volumetric refrig. effect [kJ/m ³]	4736.0	1509.3	2577.7	3698.4
Compression work [kJ/kg]	31.98	24.65	29.65	35.46
COP _h [-]	6.45	6.87	6.81	6.69
COP _h ratio (v.s. R410A) [-]	1.00	1.07	1.06	1.04
Volumetric refrig. capacity [USRt/(m ³ /s)]	1346.6	429.1	732.9	1051.6
Vol. refrig. capacity ratio (v.s. R410A) [-]	1.00	0.32	0.54	0.78
GWP [-]	1730	9	137	330

表8 ターボ冷凍機のサイクル性能の試算結果

Refrigerants		HFC-134a	HFC-245fa	HFO-1234ze(E)
Refrigeration effect [kJ/kg]		173.12	181.97	157.65
Volumetric refrig. effect [kJ/m ³]		3067.2	760.1	2304.8
Ratio of flow rate (High press. side v.s. low press. side) [-]		1.13	1.10	1.12
Compression work	Low press. side [kJ/kg]	11.89	12.14	10.80
	High press. side [kJ/kg]	13.39	13.71	12.14
	Total [kJ/kg]	25.28	25.85	22.94
COP _r [-]		6.85	7.04	6.87
COP _r ratio (v.s. HFC-134a) [-]		1.00	1.03	1.00
Vol. refrig. capacity [USRt/(m ³ /s)]		872.1	216.1	655.3
Vol. refrig. capacity ratio (v.s. HFC-134a) [-]		1.00	0.25	0.75
GWP [-]		1300	950	9

いことによるものである。そこで、HFO-1234ze(E)を純冷媒として用いると R410A に比して能力不足となる欠点を補うために、第2成分冷媒として高圧冷媒 HFC-32 を HFO-1234ze(E)に添加した場合の計算を試みた。表より、HFC-32 を HFO-1234ze(E)に 50%（質量分率）添加することによって、COP_hは R410A よりも若干高い値を維持して、体積能力を R410A 比 78%まで回復することができる（ただし、この場合、GWP は 330 となることに注意を要する）。以上の結果は、HFO-1234ze(E)/HFC-32 系混合冷媒は R410A の代替冷媒の候補物質として有望であることを示唆している。なお、この混合冷媒を用いる場合には、非共沸性による凝縮器および蒸発器の冷媒側熱交換性能の低下に対する対策が必須となる。

表8にターボ冷凍機を想定した場合のHFC系純冷媒 R134a および R245fa と HFO-1234ze(E)純冷媒のサイクル性能の計算結果を示す。HFO-1234ze(E)の冷凍成績係数 COP_rは R134a に比して若干高く、R245fa に比して若干低いことが分かる。また、HFO-1234ze(E)の体積能力は、R134a よりも 25% 低い、R245fa の約 3 倍であることも分かる。以上の結果は、HFO-1234ze(E)は既存の HFC 系冷媒 R134a および R245fa の代替冷媒候補物質として極めて有望であることを示唆している。

4. ドロップイン試験

R410A を作動媒体とした家庭用空調機の圧縮機を用いて、水熱源ヒートポンプ試験装置による HFO-1234ze(E)/HFC-32 系非共沸混合冷媒のドロップイン試験を試みた[5]。

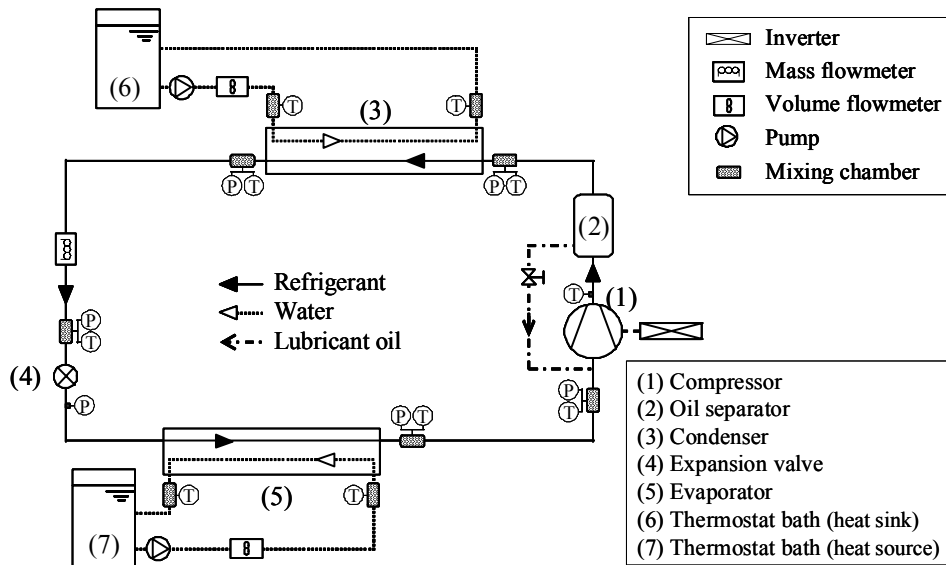


図2 ドロップイン試験装置の系統図

表9 ドロップイン試験の条件（暖房モード）

Refrigerants		R410A	HFO-1234ze(E)/HFC-32	
			100 mass% HFO	50 mass% HFO
Capacity	[kW]	2.8	from 1.0 to 2.2	from 1.9 to 2.8
Superheat at evaporator outlet [K]			3	
Heat sink water for condenser	Inlet temp. [°C]		20	
	Outlet temp. [°C]		45	
Heat source water for evaporator	Inlet temp. [°C]		15	
	Outlet temp. [°C]		9	

図2にドロップイン試験装置の系統図を示す。本試験装置は、インバータ制御圧縮機、油分離器、二重管式凝縮器（内管の外径は9.52 mm、長さは5.0 mで、外管の内径は11.1 mm）、電子膨張弁および二重管式蒸発器（内管の外径は9.52 mm、長さは5.0 mで、外管の内径は11.1 mm）から構成されている。二重管式の凝縮器および蒸発器の内管内には冷媒が流れ、環状部にはそれぞれ一定の温度に保たれた冷却水および冷水が一定流量で供給される。ドロップイン試験では、①インバータの入力および出力電力、②ヒートポンプサイクルの各要素機器間の冷媒の圧力と温度、圧縮機吐出冷媒温度および冷媒質量流量、③冷却水および冷水の流量と熱交換器出入口温度を測定した。

表9に試験条件（暖房モード）を示す。試験条件として、家庭用空調機の空気側温度変化を模擬するように冷却水および冷水の温度変化を定めた。

図3にドロップイン試験によって得られた暖房COPと凝縮器出口冷媒過冷度 ΔT_{sub} の関係を示す。●印は暖房能力2.8 kWのR410Aの結果、■印は暖房能力2.8 kWの50mass%HFO-1234ze(E)/50mass%HFC-32の結果、▲印は暖房能力1.6 kWの100mass% HFO-1234ze(E)の結果を示す。ここに、100mass% HFO-1234ze(E)の場合、前章のサイクル性能の熱力学的解析で示したように、能力不足で、暖房能力2.8 kWの結果を得ることができなかった。暖房能力2.8 kWにおける50mass% HFO-1234ze(E)の混合冷媒の最大COPはR410Aの場合に比して約7.5%程度の低下に止まったが、100mass% HFO-1234ze(E)の場合は暖房能力不足に加えて、最大COPは暖房能力2.8 kWのR410Aの場合に比して約20%低い結果となった。以上のことは、HFO-1234ze(E)純冷媒としてはR410Aの代替冷媒候補物質としての可能性は低いこと、並

びに HFO-1234ze(E)に第2成分冷媒として高压冷媒 HFC-32 を添加することによって R410A の代替冷媒候補物質として有望となることを示唆している。前章のサイクル性能解析では 50mass% HFO-1234ze(E)混合冷媒の COP は R410A に比して若干高い値を示したのに対してドロップイン試験では逆の結果が得られたが、それは、R410A が疑似共沸混合冷媒であるのに対して、50mass% HFO-1234ze(E)混合冷媒は非共沸性の強い混合冷媒(温度すべりは 8 K~9 K 程度)であることによるものである。従って、50mass% HFO-1234ze(E)混合冷媒の COP を R410A と同等程度にするためには、より高性能な熱交換器の使用、ないしは、より大型の熱交換器の使用が必要となる。

図 4(a)および(b)にそれぞれ蒸発器側および凝縮器側の冷媒の圧力損失 ΔP を冷媒流量 W_r に対してプロットした結果を示す。図中の丸印(○, ●)は暖房能力 2.8 kW の R410A の結果、四角印(□, ■)は暖房能力 2.8 kW の 50mass% HFO-1234ze(E) / 50mass% HFC-32 の結果、三角印(△, ▲)は暖房能力 1.6 kW の 100mass% HFO-1234ze(E)の結果を示し、それぞれ、白抜き印は連絡配管および熱交換器を含む低压側あるいは高压側の全圧力損失、黒塗り印は蒸発器あるいは凝縮器内の圧力損失を示す。蒸発器側および凝縮器側のいずれにおいても、50mass% HFO-1234ze(E)混合冷媒の圧力損失は、冷媒流量が R410A に比して低いにも関わらず、R410A よりも若干高い値を示している。また、100mass% HFO-1234ze(E)の圧力損失は、冷媒流量が能力不足のために R410A に比して相当低下しているにも関わらず、R410A と同等程度である。

以上のドロップイン試験の結果は、HFO-1234ze(E) / HFC-32 系混合冷媒を R410A の代替冷媒として実用化するには熱交換器における伝熱促進と熱交換器内および連絡配管における圧力損失の低減が極めて重要となることを示している。

5. まとめ

次世代の低 GWP 代替冷媒の候補物質として注目されている HFO-1234ze(E)に関して、その基礎物性、サイクル性能の熱力学的解析およびドロップイン試験に関する最新の情報を紹介した。HFO-1234ze(E)を次世代代替冷媒として実用化するためには、毒性や安全性に関するより詳細な評

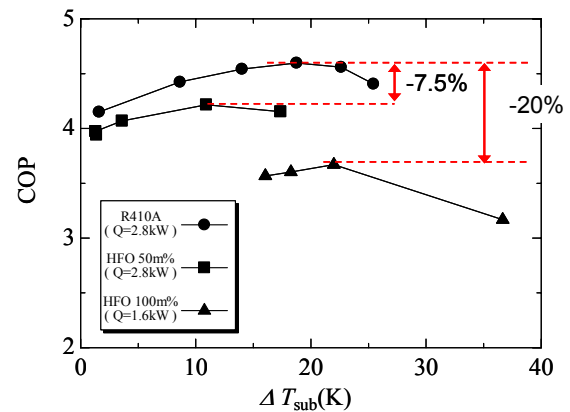
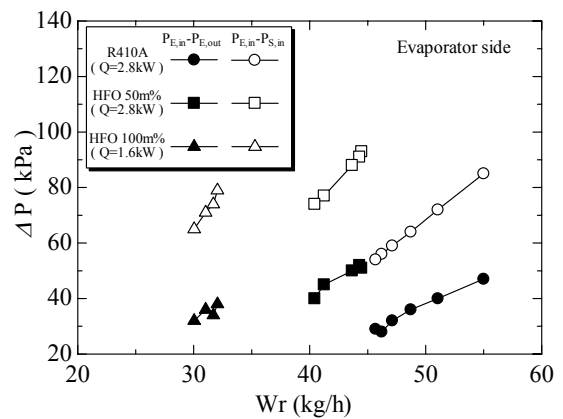
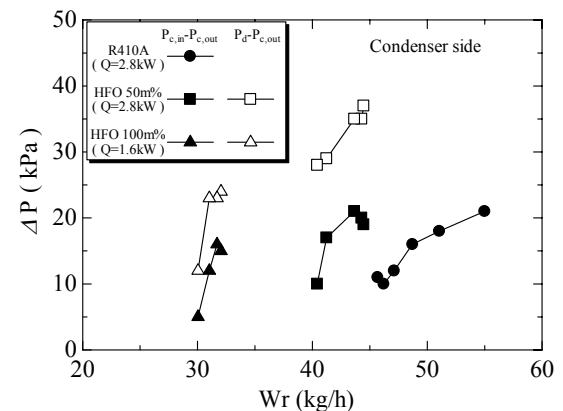


図3 暖房 COP と凝縮器出口冷媒過冷度の関係



(a) 蒸発器側



(b) 凝縮器側

図4 冷媒の圧力損失と流量の関係

価試験を行い、問題のないことを確認することがまず第1優先事項であるが、著者らのサイクル性能の熱力学的解析およびドロップイン試験によれば、100mass% HFO-1234ze(E)は大型ターボ冷凍機の冷媒として極めて有望な代替冷媒候補物質であ

ることおよび HFO-1234ze(E)に HFC-32 などの高圧冷媒を添加した混合冷媒は家庭用空調機の有望な代替冷媒候補物質となることが確認できた。

本稿で紹介したドロップイン試験は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」プロジェクトの研究課題のひとつとして実施したものである。ここに、記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Molina, M.J. and Roland, F.S. *Nature*, 249, 810-812(1974).
 - [2] 高橋元, 田中勝之, 東之弘, 2009 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, (2009).
 - [3] 石川智英, 田中勝之, 東之弘, 第 30 界日本熱物性シンポジウム講演論文集, (2009).
 - [4] 高橋紘平, 田中勝之, 東之弘, 第 30 界日本熱物性シンポジウム講演論文集, (2009).
 - [5] Koyama, S., Takata, N., Matsuo, Y., Yoshitake, D. and Fukuda, S., 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan, (2010).
 - [6] Lemmon, E.W., Huber, M.L. and McLinden, M.O., NIST Standard Reference Database 23: REFPROP Ver. 8.0, (2007).
 - [7] Akasaka R., *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, In Press (2010).
-

革新的断熱材開発と高分子発泡成形加工 Polymer Foaming for Innovative Heat Insulator

大嶋正裕 (京都大学)

Masahiro OHSHIMA (Kyoto University)

e-mail: oshima@cheme.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

高分子発泡体は高分子素材の中に多量の気泡を発生させて作られる多孔性材料である。内部に気泡を有するために“緩衝性、保護性、絶縁性、軽量性、衝撃吸収性、熱的あるいは電気的な環境に対する耐性”に優れた特性を持つ。その特性に応じて様々な用途に高分子発泡体は用いられている。そのなかでとりわけ広く使われている用途のひとつが建築用断熱材である。現在、オゾン層破壊や地球の温暖化の問題を解決するために、この建築用断熱材の製造技術により一層の発展・革新が求められている。

従来、高分子発泡体の製造には、フロン系発泡剤が使われていた。モントリオール議定書の採択以来、オゾン層を破壊する恐れのあるハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC) から塩素を含まずオゾン層を破壊しないハイドロフルオロカーボン (HFC) 系に発泡剤は切り替えられ、さらにノンフロン系発泡剤として温暖化係数 (GWP) のより低いシクロペンタン、イソブタンなどの炭化水素系の発泡剤へと転換が進められてきた。現在では、シクロペンタンからさらに GWP が低い二酸化炭素や窒素への転換が検討されている。昨今のエコ住宅ポイントの導入による住宅へのノンフロン系断熱材の使用推進施策などを背景に、さらなる温室効果ガスの排出削減や省エネルギー化を目指した技術発展が発泡成形の分野においても求められている。

ここでは、これらの要請のもとに進められてきた新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) のプロジェクト「ノンフロン系革新的断熱材開発プロジェクト」の成果[1]の一端を紹介し、革新的な断熱材の開発に高分子発泡成形加工の観点からどのような技術展開が可能かについて考えてみよう。

2. 熱伝導率 (度) をいかに低くするか

よく知られるように伝熱のメカニズムには、「対流」・「伝導」・「輻射」の3種類がある。通常 3mm 以下の直径の独立気泡で作られる高分子発泡体においては、対流による伝熱は無視できるとされる [2]。従って、断熱材の開発上、伝導と輻射を考えればよい。発泡体の断熱性の指標として、次式で定義される熱伝導率 (率) が慣習的に使われる [1-3]。

$$\lambda = \lambda_{\text{gas}} + \lambda_{\text{solid}} + \lambda_{\text{rad}} \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{solid}} = \lambda_{\text{poly}} \frac{\rho_{\text{foam}}}{\rho_{\text{poly}}} \frac{(2 - V_{\text{strut}})}{3} \quad (1-1)$$

$$\lambda_{\text{rad}} = \frac{16\sigma T^3 d_{\text{bubble}}}{3 \left[4.1 \sqrt{\frac{\rho_{\text{foam}} V_{\text{strut}}}{\rho_{\text{poly}}}} \right]} \quad (1-2)$$

ここで、 T は温度、 σ はボルツマン係数、 V_{strut} は気泡間の高分子の支柱の体積率、 ρ_{foam} 、 ρ_{poly} はそれぞれ発泡体と高分子の密度、 d_{bubble} は気泡直径、 λ_{poly} は高分子素材の熱伝導率である。

(1) 式の右辺第 1, 2 項は、伝導伝熱の熱伝導率であり、発泡体の気泡のなかに存在する気体の熱伝導率 λ_{gas} と母材となっている材料の熱伝導率 λ_{solid} を意味している。また、第 3 項は輻射による寄与分を表現している。輻射熱は温度 T の 4 乗に比例するが、(1-2) 式のように λ_{rad} を T の 3 乗の関数として表し、輻射による熱流束を伝導伝熱による熱流速と同様に温度 T に比例する形で表し、輻射による熱伝導率なるものを定義している。

(1) 式は科学的な厳密さに欠ける表現であるように感じるが、建築家や断熱材の製造者の多くが (1) 式を基本として断熱材の開発・評価に携わっ

ている。このためここでも (1) 式を使って話を進めることにする。(1) 式からも明らかなように、断熱性を向上させることは、 λ_{gas} , λ_{solid} , λ_{rad} を小さくすることに他ならない。

伝導伝熱の熱伝導率 ($\lambda_{gas} + \lambda_{solid}$) の空隙率 (発泡率) 依存性を考えると、図 1 に示すように、空隙率を増加させるに伴い高分子の熱伝導率 λ_{poly} から気体の熱伝導率 λ_{gas} に単調減少し漸近していく。

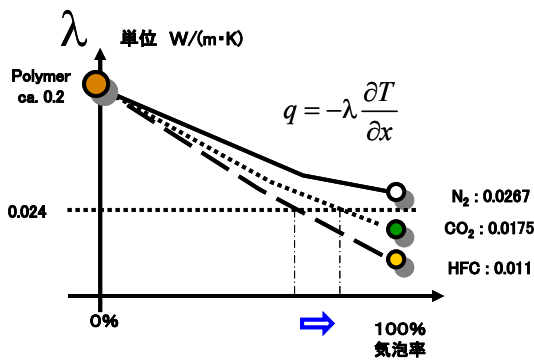


図 1 熱伝導率と空隙率

この空隙率との伝導伝熱の熱伝導率の相関関係から、熱伝導率が 0.012W/(m.K) である HFC-245fa[1,4] や 0.0106 W/(m.K)@25°C の HFC-365mf[5] を二酸化炭素で代替しようとする、二酸化炭素の熱伝導率が 0.0175 W/(m.K)@27°C [6] であるため、気泡径や空隙率や高分子素材を変えない限りは、得られる発泡体の熱伝導率は高くなってしまふことがわかる (図 1)。ましてや窒素による代替は、窒素の熱伝導率が 0.0267 W/(m.K @30°C)[6] であることからわかるように、同じ構造の発泡体を作っていたのでは、HFC で作られる従来の断熱材の伝導率 0.024 W/(m.K) は到底実現できない。すなわち、発泡構造を改善することなく、二酸化炭素や窒素に発泡剤を変え発泡体を作製したのでは、当然、断熱性は悪くなる。従って、HFC やシクロペンタンなどの発泡剤から二酸化炭素や窒素に発泡剤を転換し、従来の断熱材よりも低い熱伝導率 λ をもった断熱材を実現するためには、発泡体の構造を従来のものとは違ったものにしなければならない。その発泡体の構造設計の方向性・課題として、次の 3 つが考えられる。

1. 発泡体の空隙率をより高く、 ρ_{foam} をより小さ

くし、かつ、高分子支柱 (Strut) の体積分率 V_{strut} を減らして、発泡体の熱伝導率 λ を気体の熱伝導率 λ_{gas} により近づけると共に輻射の熱伝導率 λ_{rad} を小さくする。

2. 気泡径 d_{bubble} を微細化する。これは輻射熱の影響 λ_{rad} を小さくする効果を有する。さらに気泡径を気体の平均自由行程よりも小さくできれば、気体分子が空間に拘束され、気体分子同士の衝突頻度が下がり、熱の移動が抑制できる。すなわち、 λ_{gas} が小さく出来る。
3. 熱伝導率の低いポリマーを開発し、 λ_{poly} を小さくする。

これらの技術課題に加えて、二酸化炭素や窒素による断熱発泡体の作製では、二酸化炭素の高分子に対する透過性の高さが問題となる。二酸化炭素は、HFC やブタンと比較して、分子量が小さい分、ウレタンやスチレンに対し透過性が高い。そのため、製造当初は二酸化炭素 ($\lambda_{gas} = \lambda_{CO_2}$) による断熱性の効果があっても、すぐに二酸化炭素は発泡体から大気中に拡散してしまい、 $\lambda_{gas} = \lambda_{空気}$ となり断熱性が経時的に低下する[1]。従って、熱伝導率が低い気体が反応や脱着などにより随時発生するような高分子素材を使わない限り、透過性によって、いずれは空気と置き換わり断熱性は劣化する。従って、1) の方策をとる場合は、空気より熱伝導率の低い気体を発泡体のなかに封止し、 λ_{gas} を空気より低く保つ必要がある。言い換えると、ガスバリア性を向上し、空気と二酸化炭素が置換する時間を長期に遅延させる技術が必要となる。このように、空気の熱伝導率より低い超断熱材料をノンフロン系の発泡ガスで作ることは、単純ではなく、発泡技術に革新が必要である。このような高いハードルの技術課題(1~3)に対して、完全解決には至っていないが、解決を目指して開発されてきた技術を以下に紹介しよう。

3. ナノセルラー発泡体

1980 年代半ばに、気泡径が 10 μ m 以下、気泡密度が 1 x 10⁸ ~ 10⁹ 個/cm³ 以上の微細な発泡体 (マイクロセルラー発泡体) が CO₂ や N₂ を発泡

剤として使って作製できることが発表された[7]. この発表を契機に, CO₂やN₂による発泡体の気泡径の微細化の研究・技術開発が進められた. 我々も, 前節の課題2を解決するために微細化の研究をさらに発展させ, 気泡径が数十nmとなる発泡体(ナノセルラー発泡体)の研究を進めた. その研究の中で, ナノセルラー創製の手法として, 高分子ブレンドがつくる海島模様(モルフォロジー(混合形態))をテンプレート(鋳型)とし, 分散相と連続相へのCO₂やN₂の溶解度の違いを活かし, 気泡の核生成を分散相に局在化させるという手法を創案した.

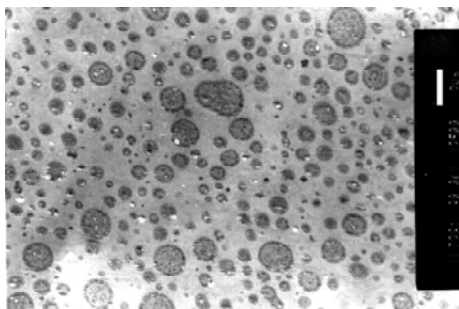


図2 PP/PERの発泡前のモルフォロジー(黒い部分: PER, スケールは100nm) [8]

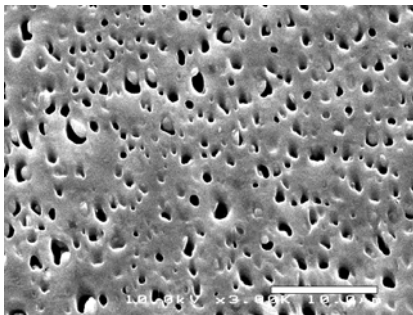


図3 PP/PERの発泡体のSEM写真(黒い部分は気泡, スケールは10um) [8]

図2, 3は, ポリプロピレン・エチレンラバー(PER)がポリプロピレン(PP)に微細に分散されているブレンドシートをCO₂で発泡して, ナノスケールの多孔を創製したときの発泡前後のブレンド体の電顕写真である[8]. この発泡では, ラバー相にCO₂がより多く解け, かつCO₂のラバー相での拡散速度が連続相のPPよりも高いという特性を活かしラバー相に気泡の発生を局在化させるとともに, PPの結晶化度を変え, 連続相であるPPの粘弾性を分散相より高く調整し, 気泡の成長を抑制することにより気泡のサイズをナノオーダー

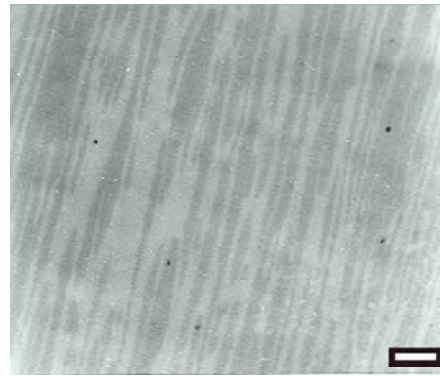


図4 PEEK/p-PEIのブレンドモルフォロジー (Scaleは500nm) 白い部分: PEI [9]

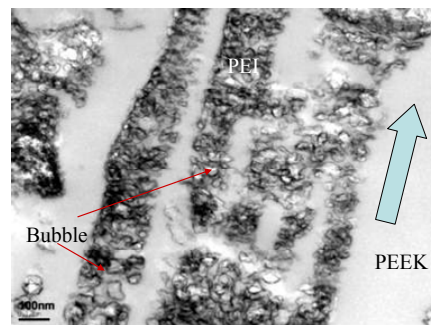


図5 PEEK/p-PEIの発泡体TEM写真 (scale bar is 100nm) 黒い部分PEIで, そこに泡が存在する. 矢印はフィルムの引張り方向[9]

にとどめている.

図4, 5は, ポリエーテルエーテルケトンとポリエーテルイミド(PEEK/PEI)のブレンド体をCO₂で発泡させて創ったナノセルラー発泡体のTEMとSEM写真を示している. ジアミンがパラ位にあるPEIは, PEEKの連続相中でフィルムの延伸方向に配向した層状な分散相を形成する(図4). このモルフォロジーを鋳型として, ナノスケールの気泡をPEI層に局在化させることにより, 層状に並んだ気泡構造を創製している(図5). PEI/PEEKブレンドでは200-400nmの気泡が形成されている[9].

このように気泡のサイズ(孔径)はナノスケールで制御できるようになってきた. しかし, 気泡サイズを小さくしていくと現状の手法では, 空隙率が低下して, 設計課題1と相反する結果を生み出してしまう. ナノセルラーでは, 気泡の数は, マイクロスケールの泡を実現したときよりも増えるのではあるが, その増加率が十分でないため, 全体の発泡率(空孔率)が下がり, その結果 λ_{gas} が

下がる以上に λ_{solid} が大きくなってしまい発泡体としての熱伝導率は大きくなってしまふ。

4. ナノ・マイクロバイモーダルセルラー発泡体

気泡径の微細化を技術的な柱として設計課題1と2の解答の妥協案として考えられたのが、マイクロスケールの気泡とナノスケールの気泡を共存させたバイモーダル（二峰）な気泡構造の実現である。マイクロスケールの気泡で発泡率を確保し、その気泡の壁となる高分子中にナノオーダーの気泡を作り出すことにより、空隙率をさらに上げるとともに、 λ_{gas} を少しでも下げようと試みた。ポリスチレン（PS）基板にメチルメタクリレート（MMA）モノマーを含浸させ、CO₂加圧下で加温してMMAを重合させポリメチルメタクリレート（PMMA）をPSの高分子鎖の共存下で合成し、ナノスケールでPMMA相が分散したPSとPMMAのブレンド体をテンプレート材として作製した。図6は、そのブレンド体を重合の終了と同時に減圧により発泡させ得られたバイモーダルな気泡構造のSEM写真である。右図が左図の気泡壁の拡大図である。ここでも、2種類の高分子をブレンドし、それぞれの高分子が作る2相（分散相と連続相）においてCO₂の溶解度・拡散速度の違いと粘弾性が異なることを積極的に活用し、気泡が生成する過飽和度を変え、大小の気泡径（80 μ mと300nm）の気泡を作り出している[10]。

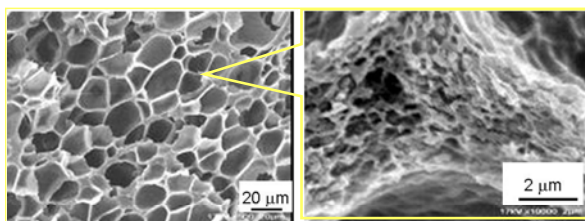


図6 PS/MMA（1/1 wt ratio）に重合開始剤（AIBN：1wt%）と架橋剤（DVB：1wt%）を加えて80℃・10MPa CO₂の下で重合し減圧により発泡させて得られた発泡体のSEM写真[10]

高分子のブレンドやアロイを利用して、高分子材料中において局所的に発泡性を変え気泡径に分布を持たせるという考え方は、NEDOプロジェクトのなかでは、東レの研究チームが発展させた。

彼らは、空隙率98%のバイモーダルなセル径分布をもつ発泡体をPLAのアロイ技術を使って実現し、低い熱伝導率（0.023 [W/(m.K)]）をもつ断熱材を試作している。

また、彼らは、二酸化炭素の抜けの問題を解決するためにナノアロイ技術と製膜技術を駆使して、従来のアルミ蒸着ポリエステルフィルム（PET）の100倍の性能をもつ、CO₂バリア性フィルム（炭酸ガス透過量0.1 cc/(m²・24hr.atm)）を開発した。そのフィルムで発泡体を包装することによりCO₂のガス抜けによる熱伝導率の劣化を防止し、20年間性能が維持できることを示している[11]。

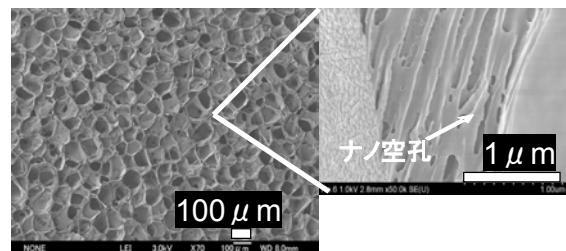


図7 東レ（株）が作製したナノ・マイクロバイモーダルセルラー発泡体[1,11]

5. エアロゲル・高分子発泡体のハイブリッド

ナノとマイクロオーダーサイズの気泡の混在による発泡体の製造は、課題2で目指したナノスケールの空間に気体分子をトラップして熱伝導率 λ_{gas} を低下させるという特性を100%活用しているとは言いがたい。バリア性の高いフィルムなしでは、マイクロサイズの気泡内の気体が空気と置換し断熱性は低下してしまう。また、包装式でのバリア性フィルムの活用は、真空断熱材の施工性の問題（釘を打つと孔が開いて真空が破れる）と同様の問題（釘を打つと孔が開いて、バリア性が破れる）を抱えている。

課題2で目指した特性を活用している無機系断熱材にエアロゲルがある。エアロゲルは、ケイ素、アルミナ、酸化クロムなどから作られ、平均2-5nmの球状の微粒子が融合したクラスター構造を呈し、100nmに満たないサイズの気孔をもつ99-99.8%の高い空隙率を示す多孔体である。なかでもシリカエアロゲルは有名で、熱伝導率が0.017W/(m.K)以下という高い断熱性を示す。シリ

カエアロゲルは、低密度で均一な架橋構造を持つ湿潤シリカゲルを作製したのち、そこに含まれる溶媒を、アルコールや二酸化炭素などの超臨界流体を用いて除去することにより作られる[12]。しかし、超臨界流体を使った溶媒除去に莫大なコストがかかることと、エアロゲルそのものの機械的強度が弱く非常に脆弱であるため工業的応用は難しいとされてきた。

プロジェクトにおいて産総研の研究グループは、このシリカゲルの脆弱性を補うため、数百 μm のスケールの連通孔をもつ高分子発泡体を基板として、その孔の中でシリカエアロゲルを合成したエアロゲルと高分子発泡体のハイブリッド断熱材を作製した[1]。高分子を骨格として機械的強度を補強したエアロゲル断熱材は、熱伝導率も $0.017 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ に近い値を実現し、ガス抜けによる断熱性の経時変化の問題も持たない。今後、常温乾燥で作製できるゲルの創製法[12]と発泡体製造技術との融合や、連続孔発泡体の成形技術のさらなる深化を図ることにより、超臨界流体による溶媒乾燥のコストの問題と施工時の発泡体からのエアロゲルの脱離の問題を解決することが出来れば工業的応用が大きく進むと考えられる。

6. おわりに

ノンフロン系発泡剤を使った革新的な断熱材の開発を目指した新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトの成果の一端と我々の研究の一部を紹介し、革新的な断熱材の開発に高分子発泡成形加工がどのように貢献できるかを述べた。まだまだ革新的な断熱材を完成させるためには越えなければならない高いハードルが存在する。

ここでは、紙面の都合上、紹介できなかったが、GWPがHFCよりも小さく、熱伝導率も低く、高分子中での拡散速度が二酸化炭素より低い、そのような発泡剤用のガスの研究開発も進められている。例えば、今開発中のHFO-1234ze(E) (trans-2,3,3,3-tetrafluoropropene) は、熱伝導率が 0.009

$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})@27^\circ\text{C}$ でGWPが6と報告されている[13]。このようなガスをノンフロン系と称することには疑問が残るが、温暖化防止を重視した場合、HFCからの移行は暫定的にも進められると考えられる。

断熱材製造は古くからある技術であるが、紹介してきたように今日の環境問題から、新たに高度な技術課題を伴って、今なお、開発が必要な重要技術として我々の前に存在する。

参考文献

- [1] NEDO 研究評価委員会, 革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト中間報告書, 10月(2009).
- [2] King, J.A., Latham D.D. and Ackley, J.C., *Journal of Cellular Plastics*, 32, (1996), 355-366.
- [3] Smith, G.F., and J.A. Thoen, *Journal of Cellular Plastics*, 29,(1993), 57-98 HFC246fa.
- [4] Wang, Y, et al *J. Chem. Eng. Data*, 51 (4), pp (2006)1424-1428.
- [5] Kalysol Homepage, http://www.kalysol.com/descargas/FICHAS/TECNICAS/solkane_365_e.pdf.
- [6] Dortmund Data Bank Software & Separation Tech. (DBST), Online Property Estimation, <http://ddbonline.ddbst.de/EE/>.
- [7] 2. J.S. Colton and N.P. Suh, *Polym. Eng. Sci.*, 27(7), (1987), 485-492.
- [8] Nemoto, T. Takagi, J. and Ohshima, M., *Macromol. Mater. Eng.*, 293(7), (2008) 574 -580.
- [9] Nemoto, T. Takagi, J. and Ohshima, M., *Polymer Engineering and Science* (in print) (2010).
- [10] Nabil, A., and Ohshima, M., *Proc. of Foams 2009*, CD, (2009) 1-10.
- [11] 末岡雅則, *高分子*, 59, 2, (2010) 98-99.
- [12] 金森主祥他, <http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/mukibutsu/kanamori/index.php?Publications>.
- [13] Miyara, A., Tsubaki, K., Sato, N., *Proc. International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology*, NS10-1-7 (2010).

ルイ・ド・ブロイ (1892~1987) の功績

A meritorious deed of Louis de Broglie (1892-1987)

村上 陽一 (東京工業大学)

Yoichi MURAKAMI (Tokyo Institute of Technology)

e-mail: murakami.y.af@m.titech.ac.jp



ルイ・ド・ブロイ (1892~1987)

1. はじめに

1900年のプランク法則の発表[1]によって幕を開けた前期量子論は、1913年に発表されたボーア理論の成功[2]を契機として加速度的な展開を見せ始めます。本稿で焦点を当てるルイ・ド・ブロイは1923年、当時の量子論の中心から離れたフランスにおいて、独自の思索に基づき物質と波動を結びつける理論の構築に成功し、その内容を幾つかの短い覚え書きとして発表します。

ド・ブロイの提案した「物質の波」という考えは当時あまりにも珍奇であり、しばらくの間真剣に捉えられることはありませんでした。しかしこの考えのもつ意味の重大さが理解されるようになると、これが後世に「量子力学の形成史において、プランクの量子とド・ブロイの物質波の二つが本質的に新しい出発点のアイデアを代表している」[3]と評される極めて重要な発見であったことが明らかになってゆきます。

2. 光の量子

2.1 アインシュタインの光量子仮説

1905年、アインシュタインはプランクの理論およびそれまでに知られていた光電効果の実験観察

と整合するものとして、光はプランクの式 $E = h\nu$ で与えられるエネルギー量子を持つ粒子であると提案します(光量子仮説)。すなわち、プランクが量子性を機械的振動子のエネルギーに留めていたのに対し、アインシュタインはこれを光にまで拡張したのでした。しかしこの考えは、その反証ともいえる波動性による解釈が数多くの実験証拠と共に確立していただけない限り、真剣に受け入れられるまでには長い時間を要しました。

2.2 コンプトンの実験

1923年、アーサー・コンプトン(1892 - 1962, 1927年ノーベル物理学賞)は単色のX線を黒鉛結晶に照射し、その散乱角の増加とともに散乱X線の波長が長波長側にシフトすることを見出します。これは光の粒子が結晶内の電子に衝突し、電子を弾き飛ばすことで光子のエネルギーが低下したと考えることにより説明可能な結果で、その波長変化は光量子仮説に基づく予測と定量性に一致しました。これにより光子が実在のものであることが明確になり、以降光は波動性と粒子性を合わせ持つという考えが受け入れられてゆきます。

3. 発見にいたるまで

3.1 生い立ち：科学への転向まで

ド・ブロイはフランスの名家であるブロイ公爵家の末子として生まれ、豊かな幼少時代を過ごします。十七歳年上の兄に実験物理学者のモーリスがおり、この兄から人生の要所で大きな影響を受けてゆきます。ド・ブロイはソルボンヌ大学の歴史科に入学後、中世史を主要科目に選択して学士課程を終えます。卒業後は暫く将来の方向について揺れ動き、法律や外国語などを勉強しつつ一年間過ごした後、科学へ進路変更し、二年間で学士課程を終えます[4]。

ド・ブロイの人生の転機となったのは、1911年

の「放射の理論と量子」と題された第一回ソルヴェー会議でした。量子論が急速な進歩を遂げつつあり、物理学を揺さぶる地震がひたすら激しくなる状況の中、第一線の学者が会して物理学の抱える諸問題を議論したのです[5]。その会議録の出版を兄のモーリスが担当していたことから、ド・ブロイは会議録が出版される前に、ほぼリアルタイムでその原稿を読む事ができました。この体験はド・ブロイに深い感動を与え、彼の心に「内面のクーデターを引き起こし」、これが契機となって「ひとが信仰の道に入るように、科学の道に入り、ほとんど修道者のように身を科学に捧げるようになった」[4]と伝えられています。

3.2 初期の着想

同じ1911年、ド・ブロイは力学と光学について熟考していた時、両者の間の類似に愕然として気付きます。すなわち、光線束の伝播を記述する幾何光学はフェルマーの原理に従いますが、この原理は光は常に最短経路（通過時間が最小となる経路）を取ることを教えます。一方、力学はモーペルテュイの原理（最小作用の原理）に従いますが、これも最短経路の原理です。ド・ブロイはただちに最短経路の原理を中心にして光学と力学を理論的に統合しなければならないと考え、それがその後の中心的な研究テーマとなってゆきます[6]。

3.3 第一次大戦による中断 ～ 研究の再開

その後、第一次世界大戦の期間も含め、1913年から6年もの間兵役に出ることになります。兄モーリスの友人に無線電信技術を専門とする将軍がいたことから、ド・ブロイはエッフェル塔の無線局に配属されます。その後1919年9月に動員解除になるまでの期間、エッフェル塔の地下無線局で暮らしながら、無線電信の性能向上に関する研究や無線機の修理などを担当したそうです。

1919年に復帰してからは、ド・ブロイは兄のX線の研究所に通いながら研究を再開します。同時に、新しい知識を吸収すべく、熱流体分野でもお馴染みのポール・ランジュヴァン（1872 - 1946）の講義とセミナーにも参加していました。この時期のド・ブロイは、後の発見の基礎となるX線に関する覚え書きや報告書を書いています。

4. ド・ブロイの理論

4.1 物質波の着想

ド・ブロイが物質が波動であるとの着想を得たのは、1922年初頭に光量子に関する論文を書いたから1923年9月に至るまで、長い熟考の時期を経た後のことでした。その理論構築の特徴は特殊相対性理論を指導原理としたことにありました[3,4,7]。彼はまず光量子に付与すべき質量を精確に求めることを目指し、プランクの式

$$E = h\nu \quad (1)$$

とアインシュタインの特殊相対論の式

$$E = mc^2 \quad (2)$$

とを関連付け、振動数をもとに質量を定義するのが妥当と考えます[8]。

思考の過程で、ド・ブロイはこの考えが質量をもつ任意の物質粒子に拡張できる可能性を認識し、そこから質量と振動数を結びつけるという天才的な着想を得ます。このような物質と光（波動）を統合するというアイデアは、式(1)と(2)を同等なものと考えてかつ信頼するという以外には、それ以前に存在したいかなる実験観察からも類推しえない突拍子のないものだったと言えます [3,4]。

4.2 理論構築の試みと困難

ド・ブロイが初めに考えた粒子は、図1(a)に示すような、その内部に振動を含むものでした。この粒子に対する静止系 K_0 から見た粒子の内部振動数を ν^* 、質量を m_0 とします。すなわち、式(1)と(2)からこの粒子は K_0 系において

$$\nu^* = \frac{m_0 c^2}{h} \quad (3)$$

というリズムで脈拍することになります。一方、この粒子が速度 V で走って見える慣性系 K から観測したときの粒子の振動数 ν^* は、相対論の求めるローレンツ変換によって

$$\nu^* = \nu^*_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \quad (4)$$

となり、 ν^*_0 より小さくなります（運動する時計の遅れ）。また、粒子のエネルギー E は

$$E = m_0 c^2 / \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \quad (5)$$

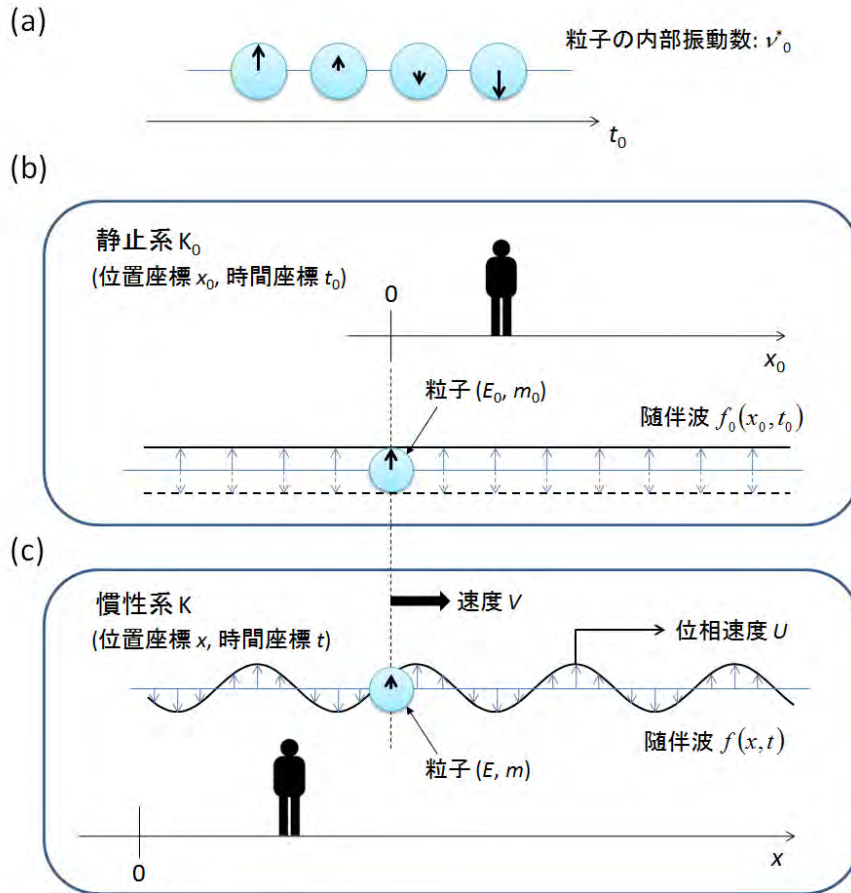


図1 (a) 粒子が内包する振動の模式図. 粒子内部の矢印は位相を表す. (b) 粒子に固定された静止系 K_0 における観測. 粒子と随伴波の位相は一致. (c) K_0 系と相対速度 V の関係にある慣性系 K における観測. 粒子の位置で粒子の位相と随伴波の位相は一致. 理想的な場合として, 随伴波は非局在化した単色の波で示している.

となり, こちらは K_0 系でのエネルギーより大きく見えることとなります(運動する粒子の質量増加). しかし, これでは振動数とエネルギーが互いに逆向きに変化することになり, 図 1(a)の描像では相対論的共変関係が満たされない(式(1)がローレンツ変換で変わってしまう)こととなります. この問題はド・ブロイを悩ませました.

4.3 物質波の導出

1923年, ド・ブロイはこの困難を回避する方法を見出します(「そのとき, 大いなる光が頭の中で突然に輝きわたった」[4]). 彼は, 問題を解決するためには, 粒子には内部の振動と同じ位相を持つ空間的に広がった波動が結びつけられている(粒子に波動が随伴する)必要があることを認めます. そして1923年9月, 理論を完成させたド・ブロイは, 科学史上重要な二本の覚え書き[9,10]

を相次いで発表します. この覚え書きでは, 電子波の考えに基づくボーアの量子条件の解釈(後述), および物質の回折と干渉の可能性について, 初めて言及がなされています.

ド・ブロイの見出した道筋は以下のようなものでした[11]. 図 1(b)に, 静止系 K_0 における観測者が見た粒子とそれに結びついて空間的に広がった随伴波を示します. 随伴波の振動数 ν_0 は粒子の内部振動数 ν_0 に等しく, 両者の位相は一致するものとし, これは位相が場所に依らない波で

$$f_0(t_0) = A \sin(2\pi\nu_0 t_0) \quad (6)$$

と表されます (A : 振幅).

一方, 相対速度が V の慣性系 K (図 1(c)) からこの波を観測するときには, その系の観測者が用いるべき時間 t はローレンツ変換によって

$$t_0 = \frac{t - Vx/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad (7)$$

となります。すなわち K 系での随伴波は

$$f(x, t) = A \sin\left(2\pi\nu_0 \frac{t - Vx/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}\right) \quad (8)$$

$$= A \sin\left\{2\pi\nu\left(t - \frac{Vx}{c^2}\right)\right\}$$

のような位相が場所により異なる波となり（同時性の崩れ）、ここで

$$\nu \equiv \frac{\nu_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = \frac{mc^2}{h} \quad (9)$$

は K 系で見た随伴波の振動数となります。（最左辺と最右辺の関係は式(1)と式(2)から。）

すなわち、式(8)はこの随伴波が x 方向に

$$U = \frac{c^2}{V} \quad (10)$$

の位相速度を持つことを示しています。この波の波長 λ は、式(9)および式(10)を用いて

$$\lambda = \frac{U}{\nu} = \frac{h}{mV} \quad (11)$$

と導かれます。式(11)はド・ブロイの物質波の関係式であり、この最も有名な式は 1924 年の学位論文の最後によく登場します。

この学位論文は、講義とセミナーを通じて知っていたランジュヴァンに提出されます。ランジュヴァンは、この内容が彼の著名な友人の興味を引くかもしれないと考え、学位論文を一部アインシュタインに送ります。アインシュタインからの返信は次のようなものでした。「ド・ブロイの仕事は私に大きな感銘を与えました。彼は巨大なベールの片端を持ち上げたです。」[4] 以降、アインシュタインはド・ブロイの強力な理解者となります。

4.4 粒子速度の物理的意味

導出過程では、粒子は速度 V で移動する点であり、それに波動（物質波）が結び付いていると示していました（図 1）。振り返って、これがどのような物理的意味に対応するのかを見てゆきます。

現実の波動は、図 1(c)に示したような無限に広がった単色の波ではなく、互いに近い振動数の波が重なり合った空間局在性（うなり）を有する波束として考えられます。式(9)と式(11)から V を消去すると、角周波数 $\omega (= 2\pi\nu)$ と波数 $k (= 2\pi/\lambda)$ を用いて物質波の分散関係

$$\omega^2 = c^2 \left(k^2 + \frac{2\pi m_0^2 c^2}{h^2} \right) \quad (12)$$

が得られます。また、レイリーの波動の式によると群速度（波束の振幅の伝播速度）は $d\omega/dk$ で与えられます。式(12)から $d\omega/dk$ を計算すると

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{kc^2}{\omega} = \frac{c^2}{v\lambda} = \frac{c^2}{U} \quad (13)$$

となり、これと式(10)から、粒子の速度 V は物質波の群速度に等しいことが判明します。すなわち物質波の速度 U が式(10)により超光速の波であるのに対し、物体の速度 V は物質波の波束の群速度に対応して光速 c を越えることはありません[12]。このことはド・ブロイの理論の物理的健全性を示す根拠となっています。

4.5 ボーアの量子条件との関連

1913 年、ボーアは原子内の n 番目の軌道（半径 r_n ）に運動する電子が満たすべき条件として

$$mV_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad (14)$$

($n = 1, 2, \dots$) を導入しました。ド・ブロイはこの

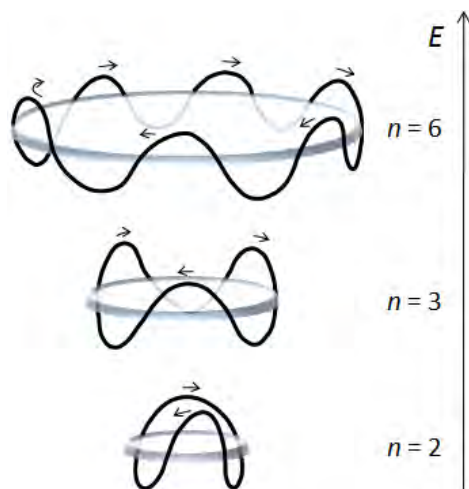


図 2 電子波で表したボーアの量子条件（量子数 $n = 2, 3, 6$ の場合）。円環はボーアの電子軌道。

量子条件を、電子の波動が定常の波となるために軌道を一周した際に位相が接続する条件（共鳴条件）と説明します[9]. これは図2のように軌道の上に電子波の波長が整数個入る条件に他ならず、すなわち式(14)は式(11)を用いて

$$2\pi r_n = n\lambda \quad (15)$$

と明快な形に書き換えられることになります.

5. 実験による確認

5.1 ラムザウアーの実験

1921年頃、ドイツの物理学者ラムザウアー（1879 - 1955）は希ガスに電子線を照射し、その透過能を調べていました. 彼は、電子の速度が低い領域では透過能が速度の低下につれて下がり、さらに速度を低下させると今度は透過能が急激に上がるという奇妙な結果を得ます. この結果は気体原子と電子の散乱断面積が速度には大きく依存しないと考えられる古典論では説明がつかず、暫くの間、人為的な結果だと思われていました.

21歳だったゲッチンゲンの学生、エルザッサー（後の地球ダイナモ理論の始祖）は、ラムザウアーの観察を含む幾つかの未解釈の実験結果が、ド・ブロイの理論によって解釈可能であると指摘します. ラムザウアーの結果は、電子の速度が低くなると電子の波長が原子の径に比べて十分長くなるために、波が殆ど散乱されることなく原子気体を透過し始めるために起きたものでした.

5.2 ダヴィソンとジャーマーの実験

アメリカのベル研究所のダヴィソンとジャーマーは1927年、電子線をニッケル結晶に照射する実験を行いました[13]. 彼らは電子を54Vで加速して結晶に照射し、角度 $\theta = 50^\circ$ の方向に散乱の極大が現れる事を見出します（図3）. この速度において、電子の波長は式(11)から 1.67 \AA と予想されず. 一方、ニッケル結晶の格子定数はX線を用いた実験から $d = 2.15 \text{ \AA}$ と知られています. すなわち、実験結果の示す波長は $d \sin\theta = 2.15 \sin(50^\circ) = 1.65 \text{ \AA}$ であり、これはド・ブロイ理論による予想 1.67 \AA と極めて良い一致を示しました. これにより物質波の実在が証明され、ド・ブロイは1929年、ノーベル物理学賞を受賞することになります.

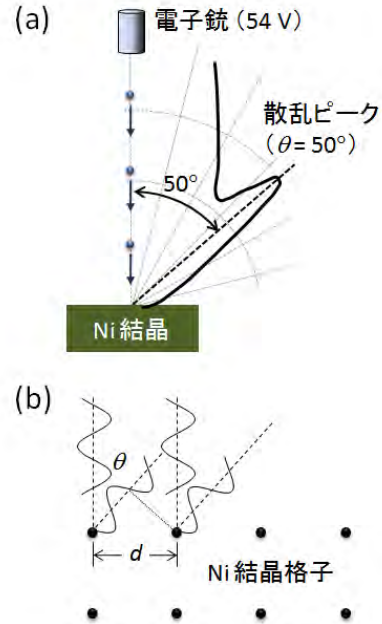


図3 (a) ダヴィソンとジャーマーの実験の模式図 (b) ニッケル結晶表面での電子回折の模式図. 特定の方向に強め合いの干渉が起こる.

6. 物質波の例

6.1 電子顕微鏡

ド・ブロイは、自身の発見が電子顕微鏡に応用され医学に貢献したことを何より誇りに思っていたそうです[4]. 1933年頃、ドイツのエルンスト・ルスカ（1906 - 1988, 1986年ノーベル物理学賞）が最初の電子顕微鏡を製作していたとき、その途上でド・ブロイ波の存在を知り、当初期待していた分解能が得られないと悟って絶望したと伝えられています. しかし分解能に制限を与えるのがド・ブロイの理論ならば、電子の加速電圧を上げれば分解能が向上する事を教えるのもド・ブロイの理論です. ルスカが当初期待した分解能は得られなかったにせよ[14], 電子顕微鏡が素晴らしい微細観測手段となっていることは確かです.

6.2 フラーレンC60の干渉

フラーレンの一種であるC60は、炭素原子60個がサッカーボール状の構造をとった直径約0.7nmの球形分子です. これは走査型プローブ顕微鏡で容易に観察できる巨大分子であり、最近では有機薄膜太陽電池のn型半導体やナノ機械システムの部品などに用いられている重要な分子です.

1999年、オーストリアのグループがC60分子の

干渉の観測に成功します[15]. 彼らは、真空容器中でC60の分子線を速度約220 m/sで幅50 nm, 周期100 nmのスリット型回折格子に入射させ、その背後で波長2.5 pmに対応する干渉縞を観測しました[16]. このような現実的な物体が波として振舞うことは未だ新鮮な驚きであるとともに、ド・ブロイの洞察の正しさを重ねて裏付けるものとなっています.

7. その後と与えた影響

ド・ブロイは1928年、設立されたばかりのアンリ・ポアンカレ研究所の理論物理学助教授となり、量子に関する様々な理論的研究に取り組みます. ド・ブロイはその名声にも関わらず、周りの人々に深い印象を与える程謙虚で質素な生活を送っていたと伝えられています[4]. 1962年に同研究所を退官後も精力的に研究を続け、穏やかな日々の後、1987年に95歳で天寿を全うします.

ド・ブロイの理論によって、プランクの式 $E = h\nu$ の適用範囲が、いまや物質にまで拡張されたことは非常に大きな進歩でした. ド・ブロイの理論はやがて量子力学の発展に直接の寄与を行い、前期量子論と量子力学を結ぶ重要な役割を担うこととなります.

参考文献

- [1] 花村克悟, マックス・プランクの功績, 伝熱, **48-205** (2009) 32.
- [2] 村上陽一, ニールス・ボーアの功績, 伝熱, **49-206** (2010) 25.
- [3] 量子力学の発展史, 高林武彦著, 中央公論社 (1977).
- [4] ルイ・ド・ブロイ — 二十世紀物理学の貴公子, ジョルジュ・ロシャク著, 宇田川博訳, 国文社 (1995).
- [5] 参加者にはプランク, ローレンツ, ポアンカレ, マリー・キュリー, ラザフォード, アインシュタインなどが含まれていました.
- [6] 実際, 1924年の学位論文においてはこの点に力点が置かれており, 「モーペルテュイの原理とフェルマーの原理」と題された第二章が最長の章となっています.
- [7] 物質と光, ルイ・ド・ブロイ著, 河野与一訳, 岩波文庫 (1972).
- [8] ド・ブロイは光子にはごく僅かではあるが質量が存在していると考えていました. つまり, 逆説的ですが, 光子はその質量のために光速 c に漸近できても達することはできない(c は単に速度の上限值を与える)と考えていました.
- [9] L. de Broglie, *Comptes rendus* **177** (1923) 507.
- [10] L. de Broglie, *Comptes rendus* **177** (1923) 548.
- [11] ド・ブロイが最初に示した導出はやや迂回的なものでした. 本稿における導出は, ノーベル賞受賞講演において示されたよりシンプルな方法(文献[7]の第四章)に基づいています.
- [12] 式(12)において, $m_0 \rightarrow 0$ の極限で光の分散関係($\omega = ck$)を再現することは重要な点です. すなわちこの極限で波動の分散はなくなり, 二つの速度 U と V は共に光速 c に一致して, 本来の目的であった光子の物理を表現することになります. このとき, 式(11)の最右辺の分母(mV)はアインシュタインによって導かれた光子の運動量 $h\nu/c$ と一致します.
- [13] C. Davisson and L. H. Germer, *Nature* **119** (1927) 558.
- [14] 現在の電子顕微鏡ではド・ブロイ波長よりもむしろ電子レンズの収差が解像度のボトルネックになります. 100万ボルト級の超高压電子顕微鏡でも解像度はド・ブロイ波長より遥かに大きい0.1 nm程度になります.
- [15] M. Arndt et al., *Nature* **401** (1999) 680.
- [16] この干渉はC60分子がどのスリットを通過したかを観測していない(原理的に判別できない)ために生じる量子的な干渉効果であり, C60分子が一度に一個ずつスリットを通過しても起こるものです.

日本における温暖化と気温の正確な観測

Long-term warming in Japan and accurate measurement of air temperature

近藤 純正 (東北大学名誉教授)

Junsei KONDO (Professor Emeritus of Tohoku University)

1. はじめに

地球温暖化が一般社会の大きな問題になってきた。地球規模の気温上昇量、いわゆる地球温暖化量は 100 年につき 0.7°C 程度のわずかな上昇量であるために、データの処理によっては過大に評価された“温暖化過剰論”があり、他方では過小に評価された“温暖化否定論、懐疑論”の 2 つが世間を賑わせている。0.7°C は野外における気温観測の誤差の桁であり、これら両論があるのは当然のことだろう。筆者は、50 年以上にわたり大気境界層の気象学を研究してきた立場から、気温や熱輸送量の観測の難しさがわかる。

日本における近代的な気象観測は 1872 (明治 5) 年に函館で、1875 (明治 8) 年に東京で始められ、明治時代後半から昭和初期にかけて全国に測候所が創設された (のちに主要都市の測候所は地方気象台、管区気象台に改称)。この 100 年余の間には、気象観測の方法、統計の方法、測器も時代とともに変更されており、観測値は均質というわけではない。世界の観測資料についても同様である。

さらに、ほとんどの気象観測所は創設当時には町外れにあったが、終戦後から観測所周辺は都市化され、さらに 1960 年代以降の経済高度成長とともに、都市には高層ビルが建つなど周辺環境が大きく変化した。観測値には都市化の影響を含むようになった。したがって、例えばインターネットで公表されている観測資料をグラフに描き、気温上昇率を計算しても、それは真の地球温暖化量にはならない。

気温の観測値は次の要素を含んでいる。

- (1) 温暖化と自然変動
- (2) 都市化の影響 (都市気候)
- (3) 観測・統計方法の変更による誤差 (ずれ)
- (4) 観測所近傍 100m 程度以内の環境変化の影響

筆者は(1)をバックグラウンド温暖化量と呼び、(1)~(4)をそれぞれ評価した。

上記(1)は二酸化炭素など温室効果ガスの人為的增加にともなう生じる気温上昇のほか、火山噴火や大気・海洋の変動や太陽放射量の変化、地球の惑星としての反射 (アルベド) の自然的・人為的变化によって生じる気温変動である。(2)は(1)とまったく異なる原因、つまり緑地の減少、ビルの高層化、人工廃熱の増加などによって起きる都市独特の気温上昇である。

第 2 章では、観測・統計方法の変更による気温値の違いと観測所のごく近傍 100m 程度以内の環境変化による気温への影響について、第 3 章では都市化を含まない日本におけるバックグラウンド温暖化量について、第 4 章では都市化による気温上昇 (熱汚染量) の経年変化について、第 5 章では野外における気温観測のうち、特に放射の影響を防ぐ方法について説明する。

2. 長期間の気温データに含まれる誤差

気象観測はいろいろな目的で行われる。そのうち、気象庁が全国に展開する気象観測網では各地域の広域を代表する気象・気候を観測することであり、観測点周辺の 100m スケール内の局所的な状態 (微気象) を観測することではない。気象庁が行う観測を大きく分けると、(1) 天気予報など短期的な防災と都市気候の観測、(2) 地球温暖化など「気候監視」の目的がある。約 1300 ヶ所のアメダスや都市に設置された気象台は(1)を主な目的とし、気温の観測精度は 1°C 程度あればよいのだが、(2)では 0.1°C の高精度を必要とする。気象庁内では、このことが十分に認識されていないようで、気候監視の観測所の管理が不十分となっている。本節では長期的な「気候監視」を目的とした気温の観測に含まれる誤差について論じる。

2.1 観測方法の変更による誤差

(1) 測器・装置の変更

観測時刻、器械、1日の区切り（日界）が時代によって変更されてきた。1970年代の半ば以前には、白塗りされた百葉箱の中に気温や湿度のセンサーが取り付けられていた。晴天微風の日中には、百葉箱の中は自然よりも高温となった空気がよどみ、かつ百葉箱自体の温度も高温になり、その放射の影響もあって、日最高気温は1℃ほども高く観測される。この欠点を除くために、1970年代から強制的に空気を吸引する通風筒（百葉箱の外に設置）が使用されるように変更された。

一方、気温センサーは水銀温度計から白金抵抗温度計に変更された。しかし気温の観測精度は、白金抵抗温度計が水銀温度計よりも向上したわけではない。その理由は、水銀温度計の時代は5～10℃間隔で0.1℃の精度で検定が行われ、観測時に器差補正が行われていたが、最近の抵抗温度計では0℃と30℃の2温度のみで検定が行われ、0.2℃以内の狂いであれば合格とされ、観測に使用されているからである。

(2) 観測時刻と観測回数の変更

現在の観測時刻は毎正時24回であり、24回平均値が日平均値とされているが、時代によって観測時刻と観測回数は変更され、1日に3回、4回、6回、8回の時代があり、観測所ごとに異なっている。たとえば3回観測（6時、14時、22時）による日平均気温は24回観測に比べて0.1～0.3℃低めに観測され、4回観測（3時、9時、15時、21時）では逆に高めに観測される。この違いを観測の誤差とすれば、いずれも太陽の南中時刻（経度）の関数となる。なお、現存する統計データは1種類ではなく、3回観測など直接観測した値で統計されたもの、自記記録紙から読み取った値も入れて統計されたものがある。

(3) 日界の変更

毎日の最低・最高気温を決める日界（1日の区切りの時刻）は現在では24時であるが、9時、10時、22時の時代もあった。9時日界と現在の24時日界（1964年以降）の最低気温の年平均値を比べると、全国平均で0.35℃ほど24時日界のほうが低温である。地点により0.2～0.7℃の幅がある。

2.2 都市化の影響

都市では緑地の減少により蒸発散量が少なくな

り昇温、降雨後の排水がよくなり土壌水分は減少し蒸発散量が少なくなり昇温、人工廃熱の増加による直接的な昇温、ビルの高層化（天空率の減少）にともなう正味放射量の増加による昇温、森林など植生地の黒さに比べて都市構造物で反射率が增加することによる低温化、地表面の構造物（積雪なども含む）の熱的性質が変化することで気温日変化の振幅の変化や、夜間の放射冷却の弱化による年平均気温の上昇が生じている。

気象台が設置されている多くの都市では、これら要因を総合した結果として気温の上昇が著しい。これを都市の熱汚染と呼ぶ。大中都市では、もはや地球温暖化の正しい観測は不可能となった。しかし、都市には多くの人々が生活しているので、生活環境（都市気候）を知る観点から気象観測は行わなければならない。各都市の熱汚染量については第4章で説明する。

2.3 日だまり効果

気象観測所の周辺に建物が建てられる、あるいは樹木が成長すると、観測露場における空気の鉛直混合が弱まり、熱の拡散が少なくなり露場には「日だまり」ができて日中の気温は上昇する。夜間は逆に放射冷却で低温になるのだが、日中の正味放射量が500Wm²の桁に対し、夜間のそれはマイナス50Wm²程度と1桁小さく、平均すると日

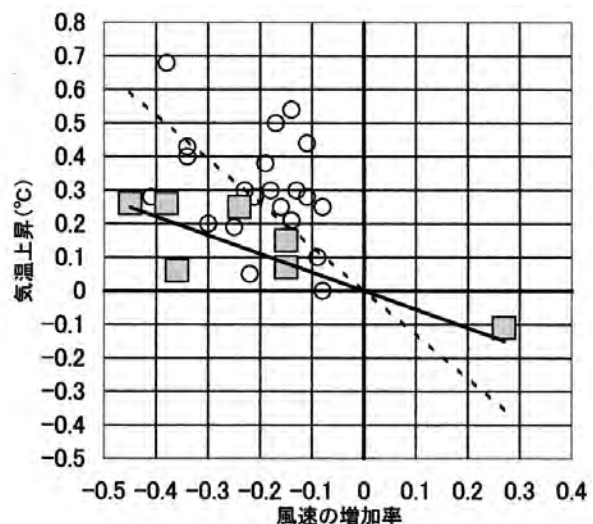


図1 風速の変化と日だまり効果による気温上昇の関係。四角印は樹木の成長により日だまり効果が生じたと考えられる地点、丸印は日だまり効果に都市化の影響も含む可能性のある地点を示す。

中の気温上昇が大きく、年平均気温は日だまり効果によって上昇する。

周辺の観測所との比較から日だまり効果による気温上昇量を見積もることができた 28 観測所の関係を図 1 に示した。図の横軸は年平均風速の増加率、縦軸は年平均気温の上昇量である。風速の増加率は大部分の観測所でマイナス（つまり、風速の減少）である。日だまり効果は気温を観測する露場面上の高度 1~2m 付近の風速と相関関係が大きいと考えられるが、露場面上での風速は観測されていないので、ここでは測風塔高度（10~20m）において観測された風速との関係を示し、プロットは大きくばらついている。全プロットを平均的に見ると、風速 10%の減少につき年平均気温は約 0.1℃の割合で上昇している。

2.4 測候所の無人化にともなう誤差

これは、前項の日だまり効果とも重複する。気象台や測候所など気象官署では（測候所は 2 か所を除き 2010 年度中にすべて無人化され、特別地域気象観測所と改称）、気温や湿度などの観測は、よく手入れされた芝生の生えた露場で行われる。露場の広さは 600 平方メートル（20m×30m）を標準とし、その周りには背の高い建物や樹木がなく、日照と風通しがよいこととされている。

測候所が無人化されると、器械の管理はできていたとしても、露場には雑草が生い茂り雨量計に被さった状態や、周辺の樹木の枝が伸びて観測の障害となっている所も見受けられる。これでは気象庁がいう「管理は十分できている」ことにはな

らない。さらに悪いことには、測候所庁舎・宿舍の跡地は余剰地として売りに出されている。それまで平屋建てであった跡地に 2~3 階建て以上の建物ができると観測露場の風通しが悪化し、年平均気温は日だまり効果によって局所的に上昇する。建物のほか樹木の成長によって日陰が多くなると年平均気温は逆に低下する。この現状を国民が知るべきだとして、筆者は、各地を巡回し、観測の重要性を訴え、住民が観測所の周辺環境に注意するよう呼びかけている。いま観測所の環境が急速に悪化しており、このまま放置すると、気候監視の観点から、取り返しのつかない事態になってしまう。

3. 日本のバックグラウンド温暖化量

前章で説明した、観測法の変更や都市化の影響、さらに日だまり効果などの補正を施すことにより、日本における正しい「バックグラウンド温暖化量」を求めることができた。

34 地点の平均のバックグラウンド温暖化量を図 2 に示した。この図では、長期的な気温上昇が見られるほか、急激に上昇する気温ジャンプが 4 回あること、約 10 年の周期的な変動があることに気づく。ジャンプからジャンプまでの期間は、気温が時代とともに下降する傾向にある。ただし 1913~1946 年の期間の気温はほぼ一定で、約 10 年周期の変動が卓越する。

3.1 100 年間当りの気温上昇率

図 2 に示した 127 年間の気温上昇傾向を直線近

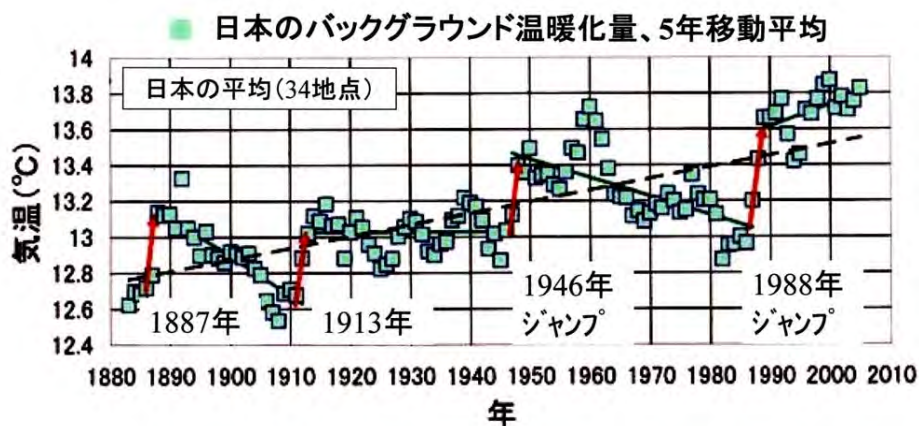


図 2 日本におけるバックグラウンド温暖化量の長期変化（補正を施した 34 地点の平均）。矢印は気温ジャンプ、破線は全期間 127 年間に最小自乗法を当てはめたときの平均の気温上昇の傾向を示す。

似すれば、100年間当たりの気温上昇率は、平均の気温上昇率=0.67°C/100y・・・1881~2007年(127年間、日本の平均)

これは気象庁の公表値の60%の上昇率である。気象庁は諸々の誤差の補正方法に無頓着で、過大評価となっている。100年間当たりの気温上昇率は、期間の選び方によって、±0.1°C程度の違いがある。現在、世界平均の気温上昇率も公表されているが、今回のような補正は施されておらず、今後見直す必要がある。

3.2 気温ジャンプ

100年余の期間に、気温ジャンプは4回あり、筆者はそれらを順番に1887年、1913年、1946年、1988年ジャンプと名づけた。最初の1887年ジャンプはその前の観測の年数が短く、当時(明治20年)の気象観測所の数も少なかったため、これ以外のジャンプについて気温上昇量と緯度の関係を求めてみた(図は省略)。ジャンプ量の緯度変化は、1946年ジャンプでは顕著ではないが、他の1913年ジャンプと1988年ジャンプでは大きく、高緯度

の北海道では1.1~1.2°Cの大きさである。

4回のジャンプのうち、1946年ジャンプを例外とするならば、ジャンプの数年前から10年余前に世界的な大規模火山噴火が頻発している。それら噴火年は1875年、1883年(1887年ジャンプ)、1902年、1907年、1912年(1913年ジャンプ)、1980年、1982年(1988年ジャンプ)である。

噴煙域の拡大による気温低下が生じたのち、気温の回復は緩やかにではなくて、「ジャンプ」という不連続的な回復の物理過程が存在するのだろう。長期的な気候変動からすると、近代的な気象観測の歴史はわずか100年余であり、統計期間が短く断言できないが、地球温暖化という緩やかな気温上昇の過程では、顕著な気温下降の「ダウン」の現象は存在せず、「ジャンプ」だけが卓越するのかも知れない。

3.3 太陽黒点数と気温の変化

図3の下図は太陽の黒点相対数(ヴォルフ黒点数)の経年変化、上図は気温の経年変化である。

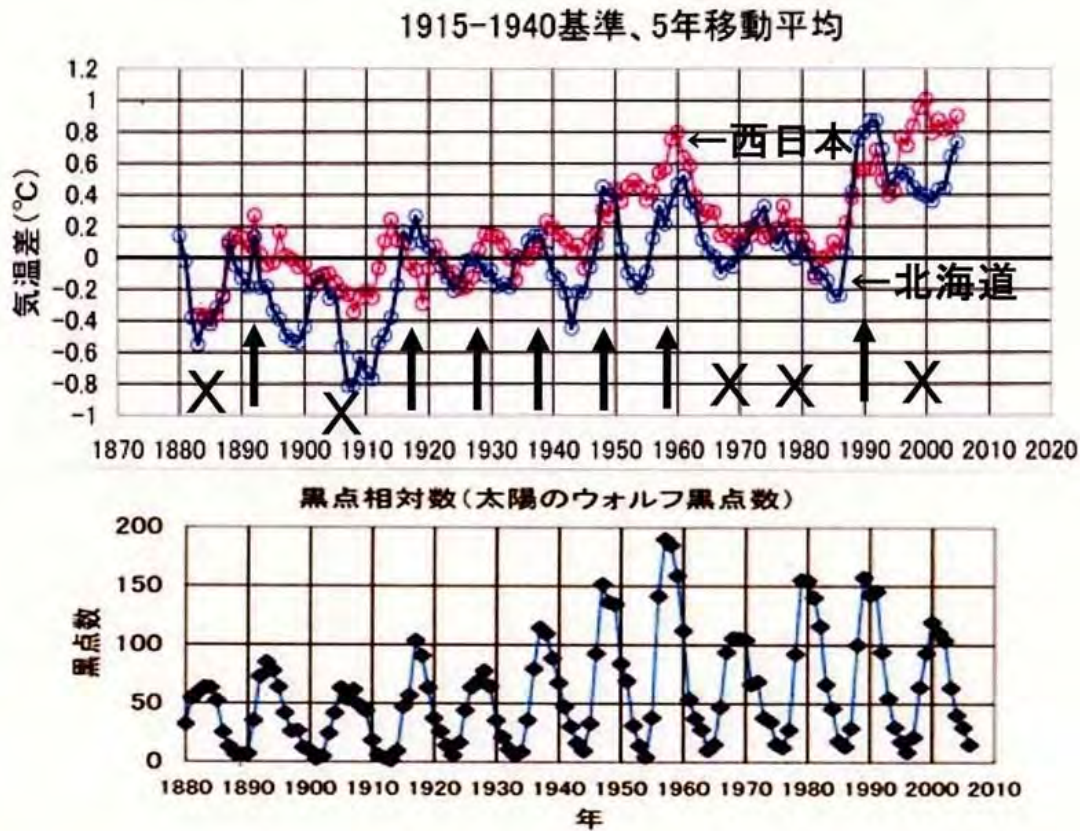


図3 太陽の相対黒点数の変動(下図)と気温変動(上図)の経年変化。気温の縦軸の基準は1915~1940年の平均をゼロとして表し、5年移動平均値、北海道6地点平均と西日本12地点平均の2グループを示す。上向き矢印は黒点周期と気温がよく対応する期間、×印は逆相関の期間を表す。

上図では北海道 6 地点平均と、西日本 12 地点平均の 2 つのグループに分けてプロットした。その他のグループ（北日本、東北、関東越後、中部近畿）における傾向は、北海道グループと西日本グループの中間に入る。

黒点数が多いときに気温上昇の傾向、つまり正の相関関係にある年代に上向き矢印を付けた。逆に、逆相関の傾向にある年代に×印を付けた。

北海道（6 地点平均）について、黒点数と気温変動がよく対応する時代（1910～1955 年）の 45 年間については、相関係数は 0.69 と高い。黒点数の極大から極小までの気温変動幅の平均は約 0.6℃（3 年または 5 年移動平均値）である。この変動幅は大きく、長期予報に活かすことができよう。ただし、3 年または 5 年移動平均の気温であり、年ごとというよりは数年程度の期間について高温期～低温期の予知に役立つであろう。

注意すべきは、約 10 年周期の太陽黒点数と気温が正の相関関係にある時代と、逆相関の時代があることである。黒点数による太陽エネルギーの変化はごく微小であり、地球大気に直接的な熱の影響を及ぼしているとは考え難い。しかし、大気現象は諸々の過程が複雑に絡み合い、微小なエネルギー変化が引き金となって複雑な大気循環場に影

響を及ぼし、それが日本における気温変動として現われているのだろう。同じように、「北極振動」や「北大西洋振動」と呼ばれる現象もこれと相互に関係していると思われる。

3.4 火山噴火との関係・その他

世界的な大規模火山噴火があると噴煙は成層圏に吹き上げられ約 3 か月で世界中に広がり、世界の気候に影響を及ぼす。特に日本で影響が大きく現れ、東北地方では大規模噴火の翌年または翌々年の夏の 3 か月平均気温が 1～3℃も低温となり、大飢饉・大凶作が 95%ほどの確率で発生している。その詳細および海洋変動との関係は「身近な気象の科学」第 9 章；「地表面に近い大気の科学」第 9 章；Kondo, 1988 に掲載されている。

4. 都市の熱汚染量

表 1 は代表的な大都市における都市化による昇温（熱汚染量）の 10 年毎の値である。ただし、都市化ゼロの基準年として東京と京都は 1910～1925 年を、他は 1915～1940 年を選び、この時代をゼロとした気温上昇量を熱汚染量（バックグラウンド温暖化量を含まない分）とした。例えば、東京では 2000 年時点における熱汚染量は 1.96℃であり、これに加えて地球温暖化量 0.67℃があり、

表 1 大都市における 10 年ごとの熱汚染量（近藤純正ホームページ→「研究の指針」→「K41. 都市の温暖化量，全国 91 都市」の表 41.2 から一部分を抜粋）。

都市名	1960年	1970年	1980年	1990年	2000年
札幌	0.31℃	0.43℃	0.67℃	0.95℃	1.02℃
仙台	0.49	0.67	0.75	0.85	0.96
東京	0.87	1.35	1.69	1.83	1.96
横浜	0.51	0.86	1.04	1.17	1.32
名古屋	0.33	0.56	0.91	1.23	1.22
京都	0.56	1.06	1.24	1.33	1.37
大阪	0.34	0.75	1.10	1.21	1.29
広島	0.23	0.38	0.58	---	---
広島	---	---	---	1.50	1.46
福岡	0.33	0.68	1.05	1.22	1.32
那覇	0.15	0.34	0.55	0.75	0.83

明治時代から2.9℃も昇温したことになる。

図4は東京の熱汚染量の経年変化である。1923年の関東大震災後の復興にしたがって、都市化が進んだ。1940年代の世界大戦前後には、ほぼ一定値の状態が続いたのち、1950年ころから都市化による気温上昇が著しい。

図5は6大都市（東京、横浜、名古屋、京都、大阪、福岡）平均の熱汚染量の経年変化であり、2000年時点の平均値は1.4℃に達している。

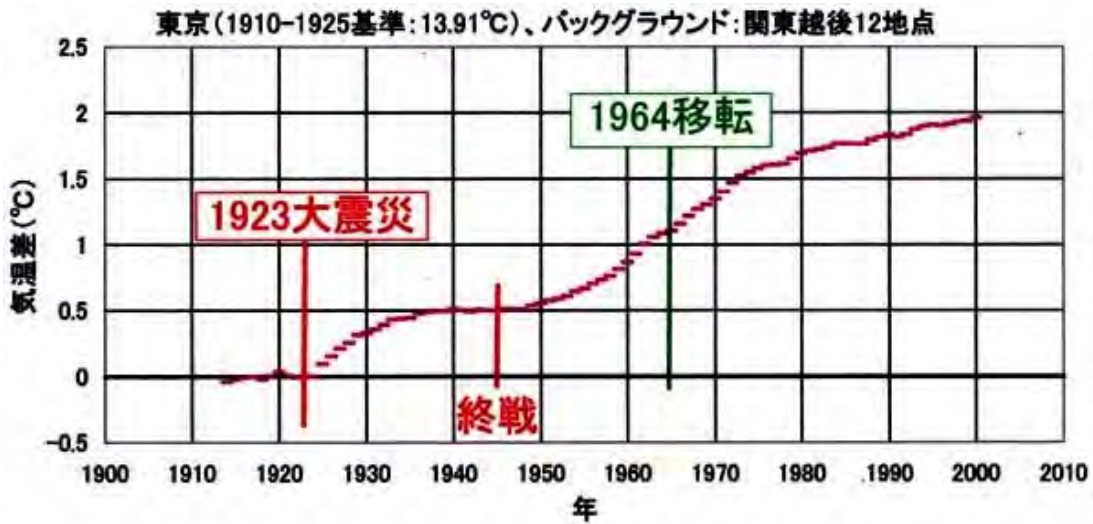


図4 東京の熱汚染量の経年変化.

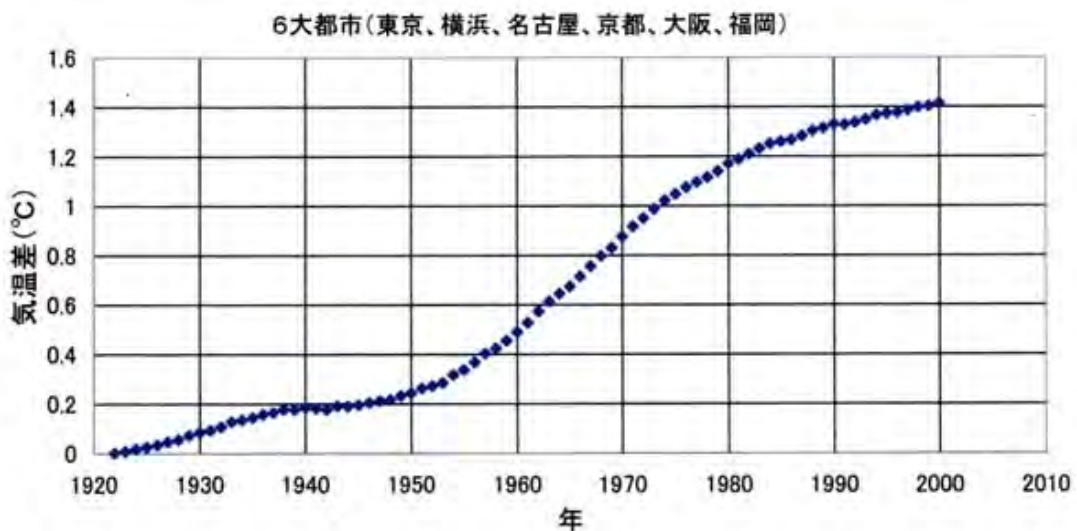


図5 6大都市（東京、横浜、名古屋、京都、大阪、福岡）の熱汚染量の経年変化

図6は都道府県庁所在の34都市平均の熱汚染量の経年変化である。これらの多くの都市では、1950年以後に都市化が進み、とくに経済の高度成長期（1960～1980年）に上昇量は急激になり、その後、緩やかな傾斜で上昇が続いている。2000年時点における熱汚染量の34都市平均値は1.0℃である。この1.0℃はバックグラウンド温暖化量よりも大きい。つまり、これらの都市では、バックグラウンド温暖化量の2倍以上の昇温が生じていることになる。

図7は測候所があった地方の31の中小都市（小樽、石巻、白河、飯田、高田、浜松、輪島、豊岡、

多度津、境、浜田、阿久根、など）における平均熱汚染量の経年変化である。2000年時点で0.5℃であり、やがて100年当たりのバックグラウンド温暖化量0.67℃を超える可能性がある。

5. 気温を正しく観測する方法

室内での測定と違って、日中の野外では強い太陽放射があり、晴天夜間は天空の有効温度（大気放射量に相当する温度）が地上付近の気温より20～30℃ほど低温であるため、特別の工夫をしないと日中は真の気温より高めに、夜間は低めに観測される。これは、半世紀前に筆者が大学院学生の

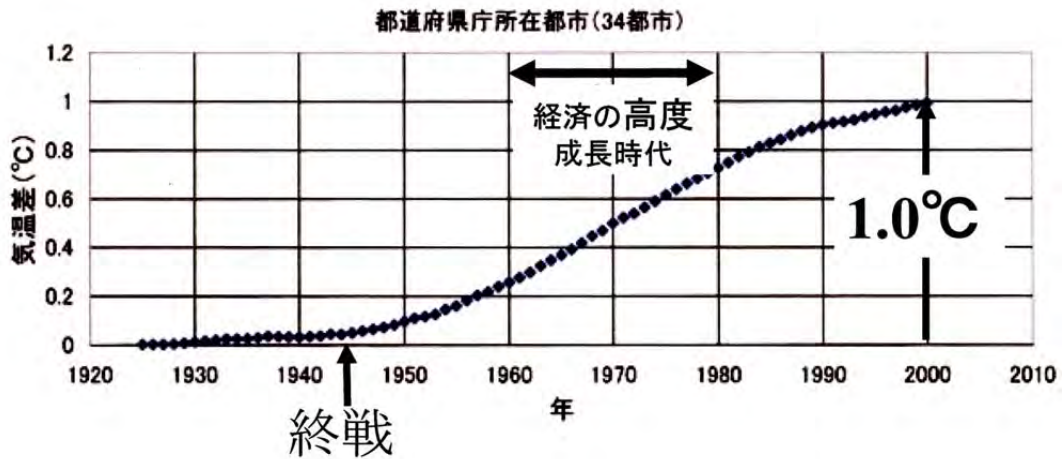


図6 都道府県庁所在都市（34都市）平均の熱汚染量，ただし、1950年頃以降に観測所が移転されて気温の不連続が大きい都市，及び観測所の創設が遅れた都市は除く。

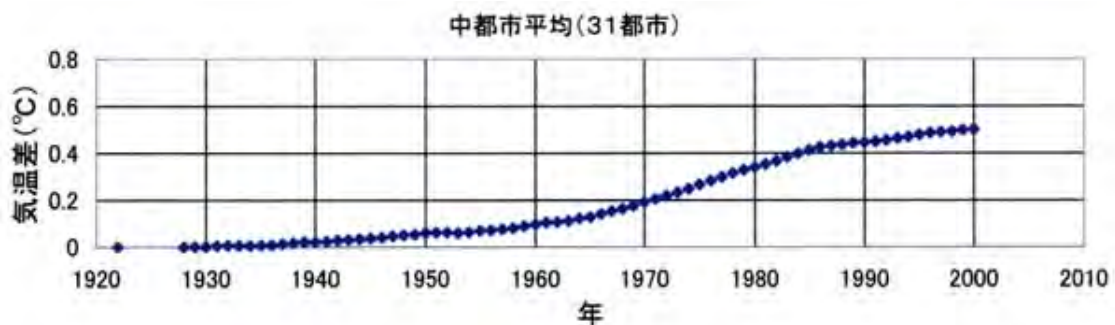


図7 地方の中小都市（31都市）平均の熱汚染量の経年変化。

とき、定量的に検討した問題である。

図8は直達光のみ防いだ場合の温度上昇と温度計周辺の風速との関係である。ただし、直射光以外の散乱光と地面からの反射光は含み、 $R - \sigma T^4 = 70 \text{ W/m}^2$ の場合とする。ここに、 R は外部から物体の単位表面積あたりに供給されるエネルギー、 σT^4 は周辺大気気温 T (絶対温度) に対する黒体放射量である。70W/m²は、日中なら直達光を防いだ場合、夜間なら温度計を露出した場合に相当する(ただし、マイナスの値)。

パラメータは受感部の大きさである。一般に多用されている温度計の大きさは 2mm~2cm 程度あり、誤差 1℃以内の精度で観測することは難しいことがわかる。そこで、温度計センサーは通風筒の中に入れ、大きい通風速度によって放射の影響を小さくしなければならない。正確な測定の場合、日中、夜間とも気温の観測誤差を 0.05℃以下にするには、センサーは細く、通風速度は大きくしなければならない。その代わりに、センサーを細く作ると、追従時間が早くなり、平均気温を求めるデータ処理が必要となってくる。

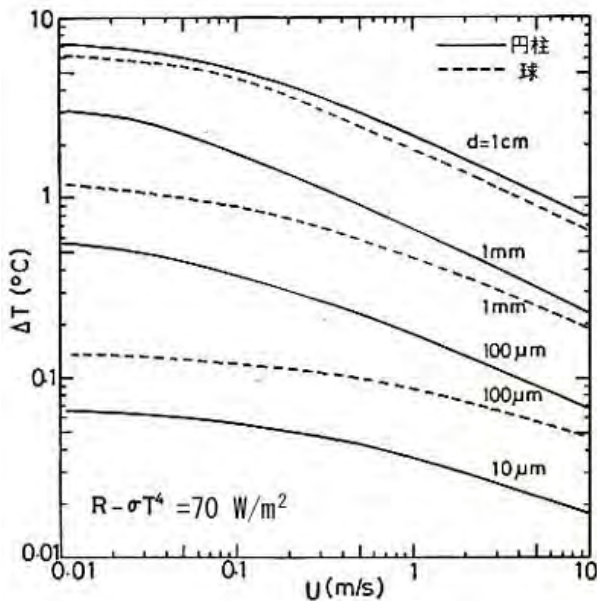


図8 温度計に及ぼす放射の影響 ΔT と風速 U の関係、ただし日中は直射光を防いだ場合。夜間の ΔT はマイナスの値となる。パラメータは温度計の直径 d 、破線は球状温度計、実線は円柱状温度計に対する関係。近藤 (1982)、図 3.4 より転載。

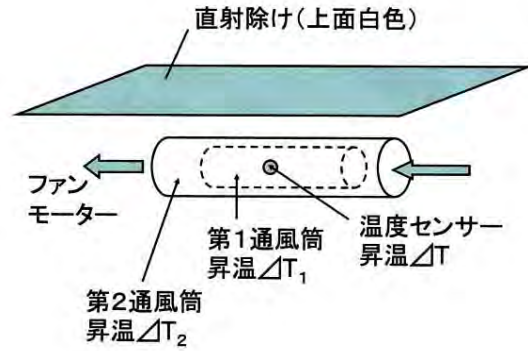


図9 直射光除けを付けた二重通風筒の模式図。近藤 (1982) の図 3.5 より転載。

理想的な通風装置の例を図9に示した。直達光を防ぎ、温度センサーを2重の通風筒内にセットする。直射光除けの温度がもっとも上昇し、これからの赤外放射が外側の第2通風筒に当たり温度上昇 ΔT_2 ($\approx 2^\circ\text{C}$ 程度、通風速度が 3m/s のとき) を生じる。そのため第2通風筒からの赤外放射によって、内側の第1通風筒も温度上昇 ΔT_1 ($\approx 0.4^\circ\text{C}$ 程度、通風速度が 3m/s のとき) が生じる。真の気温より 0.4°C 程度高温の第1通風筒からの赤外放射によって、温度センサーもわずかではあるが高めの温度となる。

表2には上記の2重通風筒の場合の温度計の昇温量を示した。この温度上昇の計算は、通風筒が金属で作られていて、外壁・内壁ともほぼ同じ温度になる場合とした。放射の影響を少なくするためには、通風筒は断熱材で加工するのがよい。ただし、放射を受ける外壁部分は熱伝導のよい薄い金属板で作り、熱放散をよくするように円筒の全周囲に熱を広げる効果をもたせる。放射除けと通風筒の外壁は白色塗装して太陽光を反射させる。

表2 太陽の直射光は防ぎ、第2通風筒の受ける放射の強さを $R - \sigma T^4 = 70 \text{ W/m}^2$ とした場合の温度計の昇温 ΔT (°C) の計算値、ただし、通風筒は熱伝導のよい金属とする、近藤 (1982) の表 3.2 より抜粋。

通風速度	1m/s	3m/s	10m/s
受感部の直径			
d=1cm	0.24℃	0.046℃	0.0079℃
d=1mm	0.068	0.014	0.0023
d=100μm	0.018	0.0038	0.00069
d=10μm	0.004	0.0009	0.00018

内壁は乱反射しないように、黒色塗装する。

2重の通風筒を造る際の注意点を図10（下図）によって説明しよう。外側通風筒の内壁で発生した内部境界層（温度境界層）は入り口からの距離とともに厚さを増していく。日中を想定するならば、内壁は高温（夜間は低温）になり、その空気が温度センサーにくると高め（夜間は低め）の気温が観測される。

その高温空気が気温センサーにくるのを防ぐために、内側通風筒を設け、その中に気温センサーを入れる。外側通風筒と内側通風筒の間隔も適当に開けておかないと、内側通風筒（半断熱材）も昇温しやすくなる。センサーが奥になるほど誤差が大きくなるので、両方の通風筒の間隔を大きくしなければならない。風を吸気するブロアの馬力との兼ね合いによって、適当な間隔が決まる。

流体力学や伝熱工学では、吸気口付近での内部境界層の厚さは薄く、近似的に、壁の曲率の影響は無視し、内壁表面に沿って x 軸、それに垂直に y 軸をとり、2次元流として取り扱うことができる。内部境界層厚さを δ 、壁面先端からの距離を X 、空気の分子動粘性係数を ν ($=1.53 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, 20°C)、風速を U とし、空気のプラントル数 (=分子動粘性係数/分子温度拡散係数 = 0.71, 20°C) が1に近いとして、次の近似的な関係が知られている（例えば、McAdams, 1954, p.224）。

$$\delta/X = 5.8(\nu/UX)^{1/2}$$

$U=5\text{m/s}$ の場合、 $X=0.01, 0.04, 0.09, 0.16\text{m}$ （すなわち $X=1, 4, 9, 16\text{cm}$ ）の位置では、

$$\delta=1\text{mm}, 2\text{mm}, 3\text{mm}, 4\text{mm}$$

となり、距離 X と共に発達していく。通風速度が大きいほど δ は薄くなる。 δ の意味は、この厚さの外では内部境界層の影響は無視できるが、内側では板に近づくほど板からの影響が大きくなるということである。

以上の考察から、気温センサーは通風筒の奥深い所に設置しないほうがよいことになるが、入り口に近いと外部の散乱光や高温地面（建物があれば高温壁面）からの赤外放射を受けることになる。気温センサーから通風筒の先端方向を見た場合、開口角から見える遠方の立体角が十分に小さくなければならない。詳しい計算は省略するとして、感部から通風筒入り口までの距離を X とし、通風筒の半径を r としたとき、 $r/X < 0.1$ 程度にしておくのが適当である（詳細は近藤純正ホームページの「研究の指針」の「K34.通風式標準温度計2号機」を参照）。

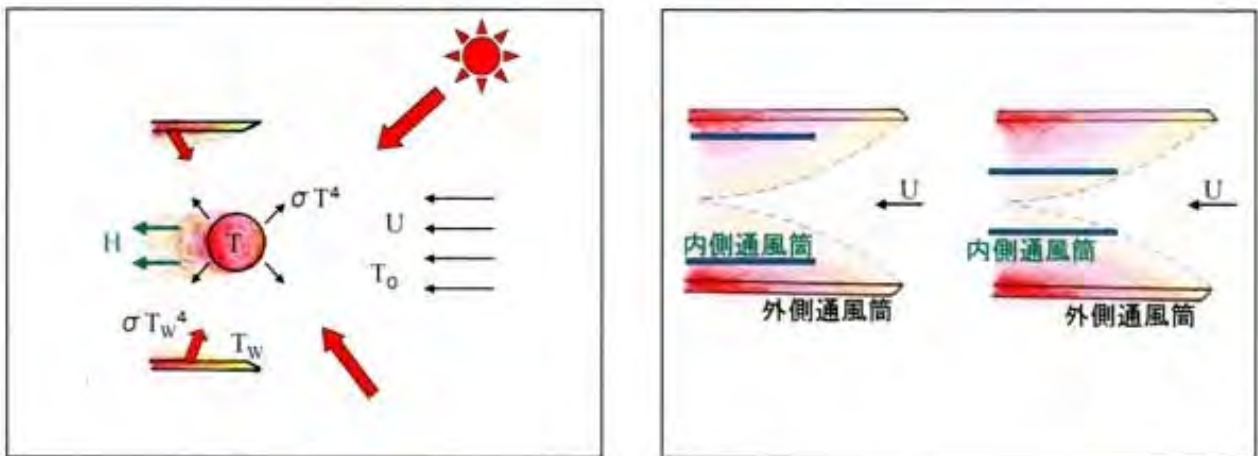


図10 温度計の昇温の原理模式図（左図）と、通風筒内部にできる内部境界層の模式図（右図）。

6. まとめ

気温観測値に含まれる様々な誤差を補正して、日本における正しい地球温暖化量と都市の熱汚染量（都市化による気温上昇）を別々に評価した。さらに、正しい気温の観測方法、特に気温センサーに及ぼす放射の影響を除く方法について説明した。

(1) 気象観測資料には、時代による観測の方法や器械の変更による誤差のほか、観測所露場における日だまり効果など、様々な誤差が含まれる。日だまり効果による年平均気温の上昇量と風速の減少率との関係を 18 地点について評価すると、平均的には風速の 10% の減少が気温 0.1℃ の上昇に相当する。

(2) 上記の様々な誤差を補正して正しい地球温暖化量（バックグラウンド温暖化量）を求め、100 年間当たり 0.67℃ の上昇率（1881～2007 年の 127 年間）を得た。地球温暖化は単調な気温上昇ではなく、約 10 年周期と数十年サイクルの気候変動が混ざっている。

(3) この 100 年余には、気温が急上昇するジャンプが 4 回あり、ジャンプ量は高緯度ほど大きく、北海道では 1℃ を超える。年平均気温の 1℃ の変化は大きな気候変化である。特に 1988 年のジャンプは大きく、それ以後の日本の気候を大きく変えた。今後の正しい気候監視が重要である。

(4) 約 10 年周期の太陽黒点数と気温変動はよく対応している。高緯度ほど相関係数が大きい。しかし、正の相関関係にある時代と、逆相関の時代がある。1915～1955 年の 45 年間は正の相関関係にあり、北海道では相関係数は 0.69 と高く、気温変動幅は 0.6℃ 前後の大きさである。それゆえ、正・逆相関の時代に注意すれば 10 年程度先の気候予測に利用できる。

(5) 本文中では詳細は省略したが、世界的な大規模火山噴火があると、その数年後には、特に東北

地方で夏の気温低下は著しく、凶作が高い確率で頻発する（近藤, 1987 ; Kondo, 1988）。

(6) 二酸化炭素の増加にともなう地球温暖化とは別に、多くの大・中都市では緑地の減少や人工廃熱の増加による、いわゆる都市化による気温上昇（熱汚染量）が大きく、100 年間当たりの地球温暖化量を上回っている。地球温暖化対策（二酸化炭素排出削減）とは別の熱汚染軽減策が必要である。

(7) 野外で正しく気温を観測する際、日中は日射があり、夜間は低温の天空からの赤外（長波）放射が存在することに注意が必要である。直射光は防ぎ、二重の通風筒内に気温センサーを入れ、風速 3m/s 以上の強い通風速度で強制的に通風する必要がある。

参考文献

本論で用いた図表は、筆者のホームページ「近藤純正ホームページ」

<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/>

からの引用であり、内容の詳細についてはそれを参照されたい。

- [1] 近藤純正, 大気境界層の科学. 東京堂出版, (1982)219.
- [2] 近藤純正, : 身近な気象の科学. 東京大学出版会, (1987)189.
- [3] 近藤純正, 地表面に近い大気の科学. 東京大学出版会(2000)324.
- [4] 近藤純正, 気温観測の補正と正しい地球温暖化量. 中部大学「アリーナ」, 第 7 号, (2009) 144-161.
- [5] Kondo, J., Volcanic eruptions, cool summers, and famines in the northeastern part of Japan. J.Climate., 1,(1988)775-788.
- [6] McAdams, W.H. Heat Transmission, McGraw-Hill Book Co, Kogakusha Co, LTD, (1954)532.

普及を目指した GLOBAL ハイブリッドカーの開発

Development of GLOBAL Hybrid Car which aimed at Popularization

藤木 有司, 竹本 英知 (株)本田技術研究所

Yuji FUJIKI, Hideharu TAKEMOTO (Honda R&D Co., Ltd.)

要 旨

世界的な環境そして省エネニーズの高まりの中、普及を目指したハイブリッド専用モデルを開発した。

新開発の実用燃費向上支援システムを搭載し、空力を考慮した先進的なエクステリアデザインに、エモーショナルなインテリアデザインとハイブリッドシステムを軽量小型化することにより得られた使い勝手の良いパッケージを特徴としている。

実用燃費の向上、日常の爽快な走行性能、全世界対応の安全性能を高いレベルで実現し、世界中のお客様に喜んでいただける車に仕上げることができた。

1. はじめに

世界的な温暖化および原油高騰の問題を抱えた現在、特に「CO₂削減」が最大の課題となっている。したがってより燃費のよい車、CO₂排出量の少ない車が求められている。しかしながら電気自動車や燃料電池車はまだ高価でインフラの問題を抱えているため、しばらくの間はハイブリッドカーの時代が続くと予測される。CO₂削減のためには、お求めやすい価格のハイブリッドカーをより多くのお客様に乗っていただくことが必要となる。

そこで地球環境「CO₂削減」に貢献できるよう、普及を目指した GLOBAL ハイブリッドカーの開発に取り組んだ。

また、少しでも燃費をよくすることができるように、新たに実用燃費向上を支援するシステムも併せて開発したので紹介する。

2. 開発のコンセプト

コンセプトを策定するにあたり、10年間はベンチマークとなる次世代ハイブリッドカーとなる思

いを込め、グランドコンセプトを「新時代スモールスタンダード (NEXT ERA TRANSPORTATION)」と定めた。

その実現のために下記4項目を柱とし開発を進めた。

- (1) 環境に優しい Clean and Green
省燃費, 低排出ガス
- (2) 使える Usable コンパクトクラスの広い室内&ラゲージスペース
- (3) FUN 日常爽快性能, ハイブリッド専用ボデー
- (4) 廉価 Affordable

3. 環境に優しい技術

3.1 実用燃費向上支援システム開発のねらい

市場における実走行時の燃費(以下実用燃費)は、走行条件および各ユーザの運転操作によって大きく影響を受ける。この走行条件およびユーザの運転操作による燃費への影響を低減し、燃費の良い運転についてユーザの理解を深めることができるよう、実用燃費向上支援システム (Ecological Drive Assist System) を開発した。

3.2 システム概要

実用燃費向上支援システムは、パワートレインおよび空調システムの制御を自動的に燃費優先とする ECON 制御と、ユーザに燃費の良い運転状態を知らせ、実用燃費を向上させる運転についての理解を深めて頂くためのコーチングシステムの2つの要素から構成されている。

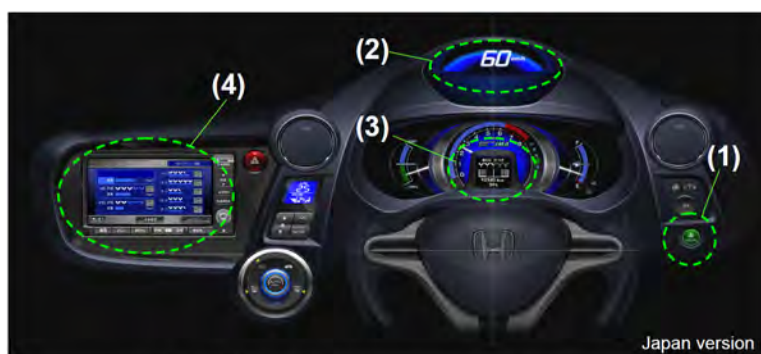


Fig.1 Overview of ecological drive assist system

Driving condition	Coaching display	
	eco GUIDE (in multi-info. display)	Ambient meter
ECO acceleration		
ECO deceleration		
Gentle acceleration		
Gentle deceleration		
Quick acceleration		
Quick deceleration		

Fig.2 Ambient meter

ハードウェア構成概要を Fig.1 に示す。

- (1) ECON スイッチ (2) アンビエントメータ
- (3) ECO ガイド (マルチインフォメーションディスプレイに表示)
- (4) ECO ガイド (NAVI 画面に表示)

3.3 ECON 制御

ECON スイッチ ON によりエンジン、モータ、CVT および空調システムの制御を燃費優先モードに切り替え、走行条件およびユーザの運転操作による燃費への影響を低減する。

ECON スイッチ ON 時の制御概要は以下のとおり。

- (1) アクセル開度—要求駆動力アクセル開度特性切り替え
- (2) スロットル制限制御
- (3) CVT 変速応答特性切り替え
- (4) 減速回生制御
- (5) エアコン制御

3.4 コーチングシステム

コーチングシステムは、ユーザに燃費状態をリアルタイムに知らせるコーチング、結果としてのエコ運転度を知らせるフィードバック、各ユーザの燃費改善のポイントをアドバイスするコーチングの3段階の構成としている。

(1) コーチング

アクセルおよびブレーキ操作のエコ運転度に応じて速度計背景色(アンビエントメータ)を3段階(青、青緑、緑)に変化させ、ユーザに対しその時点での燃費効果を直感的に伝えるとともに、マルチインフォメーションディスプレイ表示の1画面としてECOガイド画面を設け、エコドライブバーによりアクセルおよびブレーキ操作のエコ運転度を表示する (Fig.2)。

(2) フィードバック

アクセルおよびブレーキ操作を中心にユーザのエコ運転度を採点し、結果を上記ECOガイド画面中の植物の葉をモチーフとした「リーフ」の数により表示する (Fig.3).

またユーザのエコ運転習熟レベルに応じてリーフが3段階に成長するシステムとして、エコ運転に対するモチベーションの維持および向上を図っている。



Fig.3 ECO guide

(3) ティーチング

実用燃費を向上させる運転についてのユーザの理解を深めるため、工場装着オプションのNAVI画面を利用して、燃費情報詳細と上記エコ運転度採点の内訳、および燃費をさらに向上させるための運転方法アドバイス等の表示をおこなう (Fig.4)



Fig.4 NAVI display

また、HDS (Honda Diagnostic System) 端末とPCとのリンクを利用して、NAVI未装着のユーザに対しても上記と同様の情報を提供できるシステムの構築をおこなった。

さらにインターネットシステムとの連携により、ホームページ上で燃費ランキング、エコ運転度の習熟履歴、燃費向上運転のより詳細なアドバイス等の情報を提供し、楽しみながらエコ運転に取り組める環境を構築した。

3.5 モード燃費向上技術

本機種にはホンダの従来型ハイブリッド機種と同様に、シンプルでコンパクトかつ高効率のIMA (Integrated Motor Assist) システムを搭載し、通常のガソリンエンジン車に対し大幅な燃費改善を図っている。

各仕向けに対するモード燃費を Table.1 に示す。

Table.1 : Mode fuel economy

Destination		Mode FE
US	CITY	40 mpg
	HWY	43 mpg
EU		4.4 L/100km CO ₂ 101 g/km
J	10・15	30 km/L
	JC08	26 km/L

本機種に搭載する 1.3L i-DSI (Dual and Sequential Ignition) エンジンには、従来型 IMA 用エンジンに対し以下に挙げる燃焼改善、フリクション低減、ノッキング改善の各技術を投入し、単体燃費性能を 2%改善している。

<燃焼改善技術>

- ・エキゾーストバルブタイミング遅角
- ・高着火性両針プラグ

燃焼改善により安定した燃焼が得られ、大量 EGR の導入を実現し BSFC を低減した。

<フリクション低減技術>

- ・ピストンスカート MoS₂ パターンコーティング
- ・ピストンスカート形状最適化
- ・ピストンリング低張力化
- ・メインベアリング MoS₂ ショットピーニング
- ・シリンダライナプラトーホーニング
- ・カムチェーン細幅化
- ・カムジャーナル表面粗さ低減
- ・カムジャーナル接触面積縮小

これらフリクション低減技術により、従来型

IMA エンジンに対し2%のフリクション低減を達成している。

<ノッキング改善技術>

従来型 IMA エンジンに対し、冷却水主流の循環経路をまずシリンダブロックを取り巻くように一方向に流した後、シリンダヘッド内を一方向に流す方式とし、燃焼室まわりの冷却水流速を上げて熱伝達率を向上することによりノッキングの抑制を図った。

3.6 空力

環境にやさしい車(省燃費、低排出ガス)を目指して、空力性能の向上に取り組み乗用車世界トップクラスの空力性能を達成した (Fig.5).

3.6.1 エクステリアデザイン

グランドコンセプトである環境にやさしい車(省燃費、低排出ガス)を目指して、エクステリアデザインのコンセプトを「AERO ATHLETE」とした。風洞実験により生み出された空力性能と、塊感あるスポーツカー骨格とを、高次元で融合した先進感あるスタイルを目指した (Fig.6)。

フロントは、キャビンから繋がるフードの突出感を強調し、バンパからロアへの流れでホンダ独自の先進感ある顔廻りを表現した。

サイドは、フードからリヤまで一気に流れる、しなやかで張りのある MONO - FORM とソリッドでスピード感ある下半身により、力強い塊感の

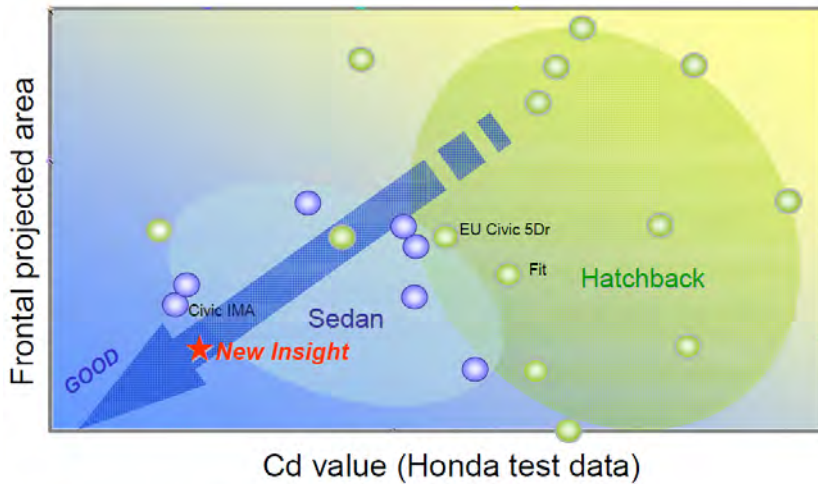


Fig.5 Aerodynamic performance



Fig.6 Exterior design concept

あるスポーツカー骨格を表現した。

リヤは、絞り込んだキャビンとワイドな下半身によりスポーツカー骨格を表現するとともに、キャビン後端，ドアミラー，バンパ下端の風洞実験での適正化により，高い空力性能をも実現している。

3.6.2 空力デバイス

空力デバイスとして車体下側の整流効果を上げるため，フロントチンスポイラ，フロント/リヤのストレーキを採用した．さらにエンジンルーム下

側から，フロア，燃料タンク下，リヤバンパまではほぼフルカバーとし，フラット化をおこなった．また，フロントバンパ開口からラジエーターへの整流効果向上のため，導風板を設定した (Fig.7)．

3.7 空調

実用燃費を向上するため，エンジンルーム内 2 重配管をホンダとしては初めて採用した．内管を螺旋溝付きの 2 重構造とし高圧/低圧間で熱交換することにより，サイクル効率を 4% 向上させた (Fig.8)．

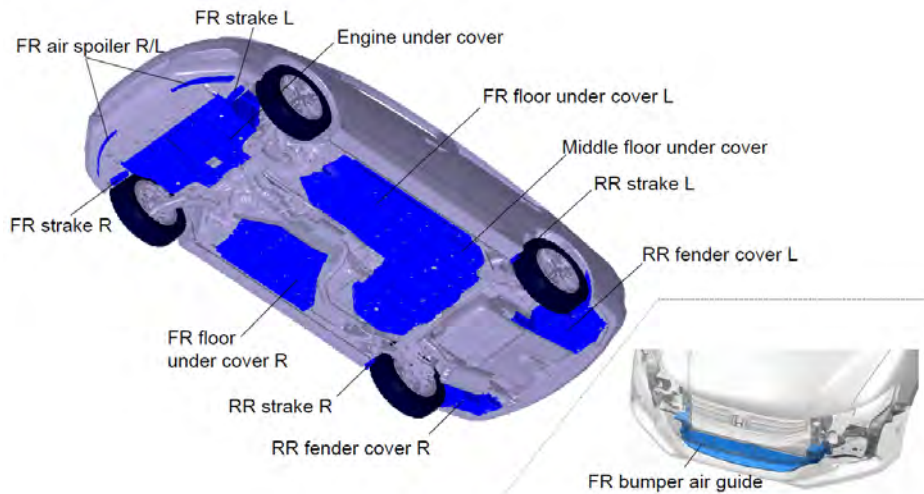


Fig.7 Aerodynamic parts

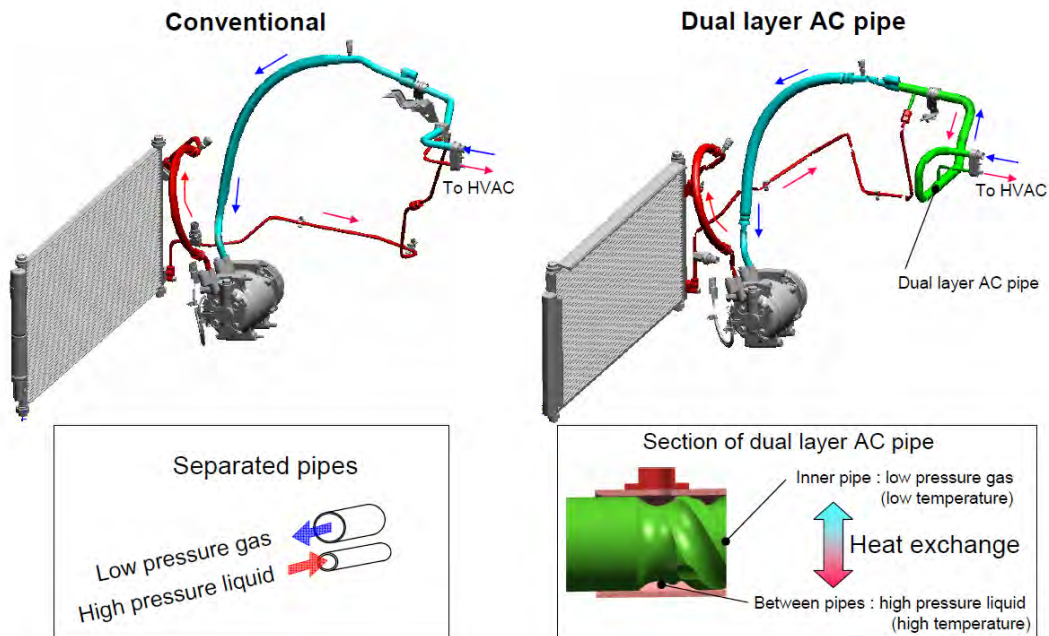


Fig.8 Dual layer AC pipe

エキゾーストマニホールド一体型シリンダヘッド、直下触媒採用による触媒早期活性化、直下触媒前に配置した UEGO (Universal Exhaust Gas Oxygen) センサと床下触媒前に配置した HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen) センサ、DBW (Drive By Wire) および AFM (Air Flow Meter) の採用による空燃比の高精度適応制御などの技術により、各仕向け最高レベルの低エミッション性能を実現した (Table.2)。

3.9 ZERO-EVAPO フューエルシステム

フューエルタンクは、形状自由度が高く軽量化にも寄与する樹脂タンクを採用し、リヤシート下に搭載することにより低全高化を実現させた。ま

た、容量は 40L を確保し、良好な燃費性能とあいまって、ハイブリット車の優位性を実現する航続距離を確保した。

特に US 仕様のフューエルシステムは AT-PZEV 対応とするため、大型キャニスタを開発し、リヤサスペンションのトーションビーム後方に配置した。これにより、タンク、キャニスタ及びフィルタを局所的にコンパクトに配置でき、AT-PZEV 対応と後突性能の両立を可能とした。また同時に IPU (Intelligent Power Unit)、サイレンサ、キャニスタを床下に平行配置させることにより、荷室のフラット化が可能となり、荷室商品性向上にも貢献することができた (Fig.9)。

Table.2 Mode emission

Destination		EM rating
US	KL	AT-PZEV
	KA	US BIN 3
EU		EURO 5
J		75% lower than 2005 standards

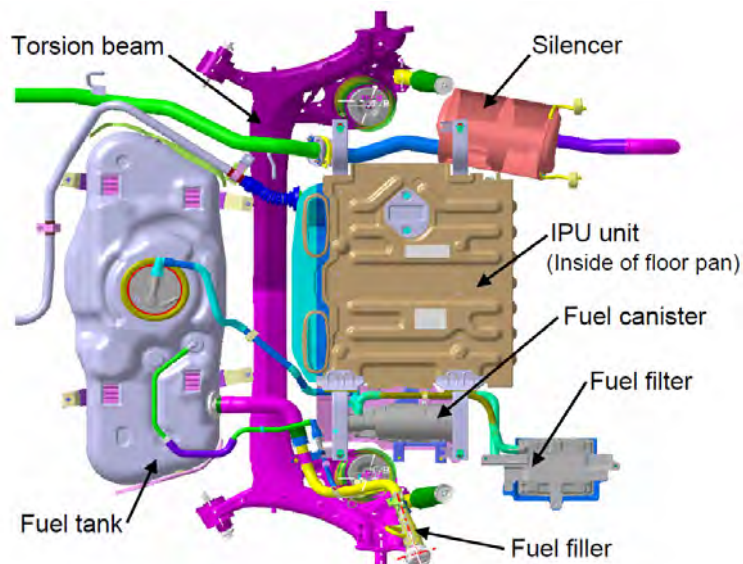


Fig.9 Layout of fuel system

4. より良い使い勝手を目指して

4.1 パッケージ

省燃費のため前面投影面積を抑える低全高としながら、大人がしっかり座れる広い室内との両立を目指した。

プラットフォームは2008年モデルFITをベースに新規設計しており FIT 同様に低床構造としたが、フューエルタンクはフロントシート下ではなくリヤシート下に配置することによりシート位置を下げ、頭上空間を確保するとともにスポーティーなドライビングポジションとした (Fig.10)。

4.2 IPUパッケージ

バッテリーと PCU (Power Control Unit) からなる IPU を、全体で従来より 19%小型化, 28%軽量化した。それにより IPU を荷室床下に搭載することができ、ハイブリッドカーでありながら一般的な乗用車と同等の荷室広さと低重心を達成した。

IPU の小型化のために、ニッケル水素バッテリーの性能向上により必要な出力を確保しつつ、バッテリー本数を削減することでバッテリーボックスを小型化した。PCU はインバータと DC-DC コンバータを直近配置とし、ECU を含めてひとつのケース内に収め小型化した (Fig.11)。

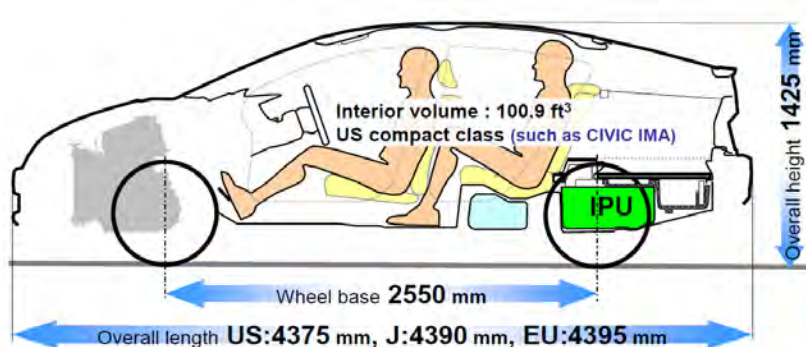


Fig.10 Package design

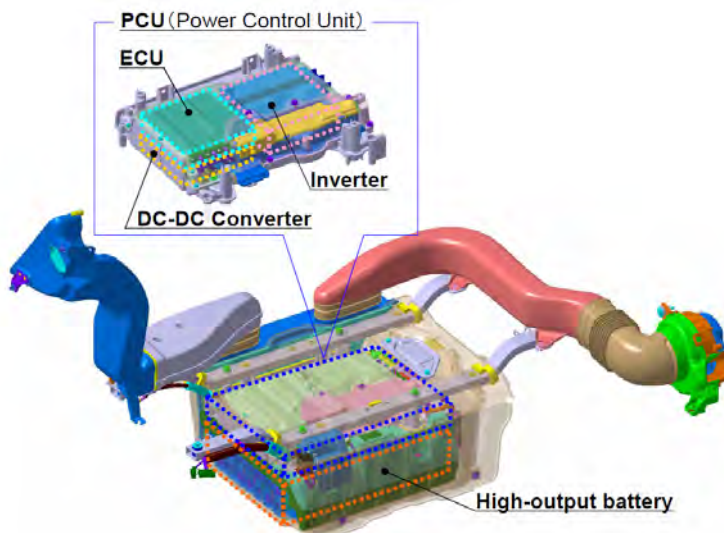


Fig.11 Overview of IPU assembly

4.3 インテリア

4.3.1 デザイン

開発コンセプトである使い勝手と新時代スモールスタンダードとしての先進感を表現するため、インテリアは、「EMOTIONAL HYBRID INTERIOR」をコンセプトとした (Fig.12)。

運転する楽しさを演出するためヒーターコントロール等の操作系をドライバー中心に配置した。

先進感を表現するため、メータは2008年モデルCIVICと同様に2層分けの構成とした。運転中に特に優先する情報(スピード)とそれ以外をエリア分けすることにより視認性を良くしている。CIVICでは2個に分けていたメータ基板/ケースを一体化することにより大幅なコスト削減を実現した。

インストルメントパネルはセンターが手前に膨らんだ逆ラウンド形状とし、先進感に加え広さと爽快感を持たせている。

インテリアカラーは環境をイメージし、明るくクリーンな2トーンとした。

4.3.2 シート

フロントシートは形状と異硬度パッドにより高いホールド性を持たせながら、伸びのよい表皮と深い吊り込み位置によりソフトな座り心地を両立させた。

リヤシートはシートバックを倒すだけの簡単な操作で荷室と段差の無いフロアとすることが出来る。またヘッドレストを埋め込みとし、センター3点ベルトを内蔵としたことにより、スッキリとした後方視界を実現した (Fig.13)。



Fig.12 Interior design concept

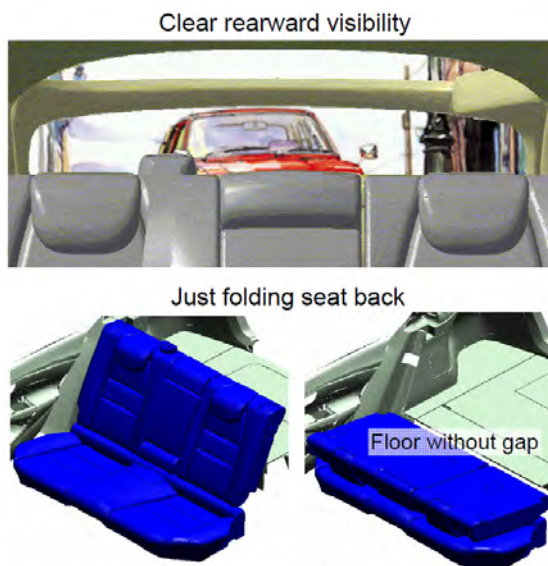


Fig.13 Rear seat

4.3.3 内装

開発コンセプトである「使える」広い荷室をさらに際立たせるため、Instant mobility flat tire repair system (IMS) 仕様には可変性を持たせた。ヨーロッパシビックで好評の上下2段に動かせるトラックフロアとし、高さを広げることを可能とした。さらに小窓を付け、小さい物が転がらない様に工夫を加えた (Fig.14)。

スペアタイヤ有り仕様は、床下を小物収納場所とした (Fig.15)。

5. FUN

5.1 パワートレンドライバビリティ

本機種のパワートレインはIMAシステムの特

徴である高レスポンスと発進クラッチ式 CVT のダイレクト感を活かし、さらにエンジン、IMA モーター、CVT の協調による発進クラッチコンタクトタイミング制御のリファインをおこない、燃費ときびきびした加速性能の両立を実現している。

5.2 シャシー

5.2.1 乗り心地

フロントサスペンション形式はストラット、リヤサスペンション形式はH型トーションビームとし、フロント/リヤともスタビライザーを採用。スプリング、ダンパ特性の専用セッティングを施しステアリングは高効率EPSを採用し専用セッティングとした。

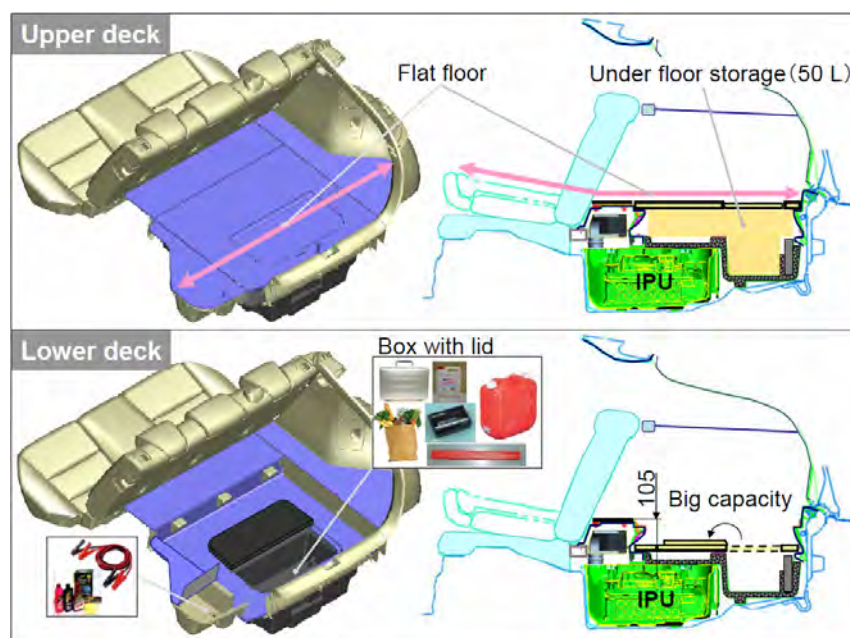


Fig.14 Trunk with IMS

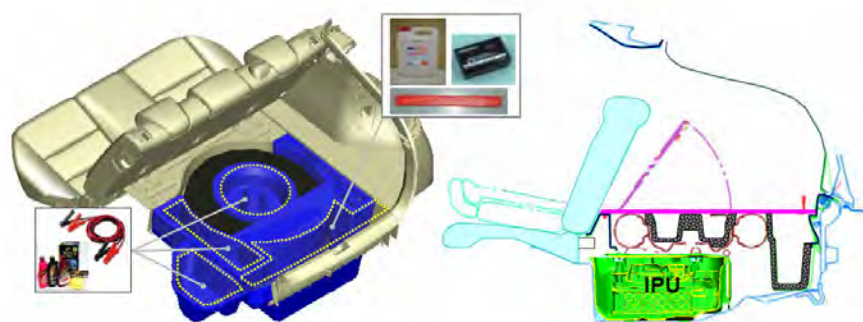


Fig.15 Trunk with spare tire

これらにより軽快かつ安定感の高いハンドリングとしなやかな乗り心地，すっきりとしたステアリングフィールを高次元でバランスさせ，日常走行での爽快な気持ちの良い乗り味を実現した。

パートレインを支えるマウントシステムはトルクロッドを配した3点慣性主軸方式を採用. IMA化による搭載バランスを最適化するため，エンジンマウントおよびトルクロッド特性を専用化した. 特にトランスマウントは液封タイプを開発し，乗り心地向上に貢献している。

5.2.2 ブレーキ

ブレーキは負圧式ブースタを採用し，ペダルストロークおよび踏力を最適化し，気持ちの良いリニアな制動フィールを実現させた. また CAS システムは従来の別体 CAS ユニットから，VSA にソフトを追加することにより CAS 機能を付加し，コストとウェイトの低減を図った (Fig.16)。

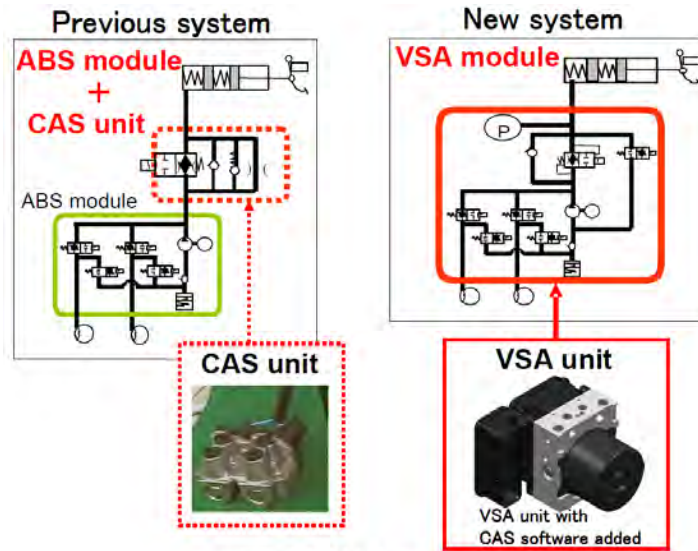


Fig.16 CAS system

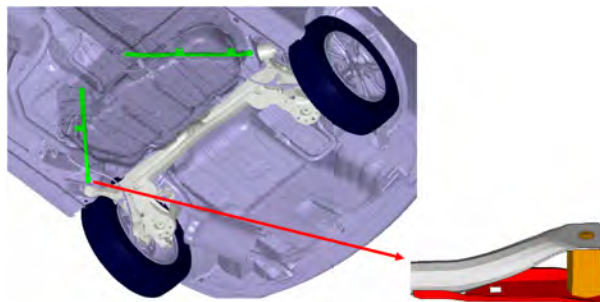


Fig.17 Reinforcement of rear compliance

5.3 ボデー

5.3.1 ボデー剛性

FUN な走りを支える重要ファクターであるボデー剛性については，計算シミュレーションを活用し，結合剛性を高めることで，軽量かつ高剛性構造を実現した. この中で，大断面テールゲート開口部に関しては，リヤパネルを拡大した上で，フレームエンドと結合し，前倒しテールゲート開口デザインと振り剛性の両立を図った. リヤダンパ取付部に関しては，リヤピラーダンパスティフナとリヤエンドガセット大型化により，開口断面とリヤフレームの結合効率のアップを図った. また，リヤコンプラブッシュ取付部に関しては，V 字ブレースを適用し，コンプラブッシュ取付点横剛性とタンクレイアウトの両立を図った (Fig.17)。

以上、主要な項目を記したが、これらの結果、Fig.18 に示す取付点剛性を実現した。

5.3.2 遮音+IRカット

コンパクト車としては、組み合わせが世界初となる遮音+IR カットガラスを採用した (Fig.19)。フロントウインドシールド合わせガラスの中間膜に、遮音と遮熱の機能を付加する事により、遮音効果としては 1kHz 以上の高周波音を約 3.0dB 低減している。また、遮熱効果としては昼間のエア

コン使用時 約 0.3km/L 燃費向上 (10・15MODE 走行, 外気温 40℃, 日射条件 930W/m²) の効果を得た。

5.3.3 軽量防音パッケージ

従来の遮音材から材料の層構造を見直し、吸音性能に優れた材料を適用することにより、軽量化しつつ車体の静粛性を向上させた。車体下部各ピラー根元に発泡充填材入りのセパレータを設け、

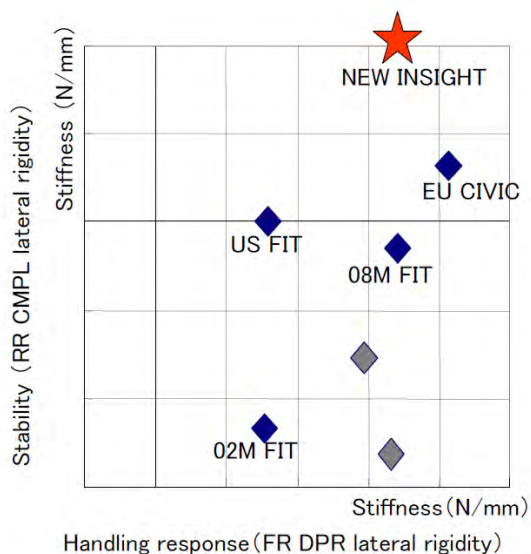


Fig.18 Body rigidity for rear suspension

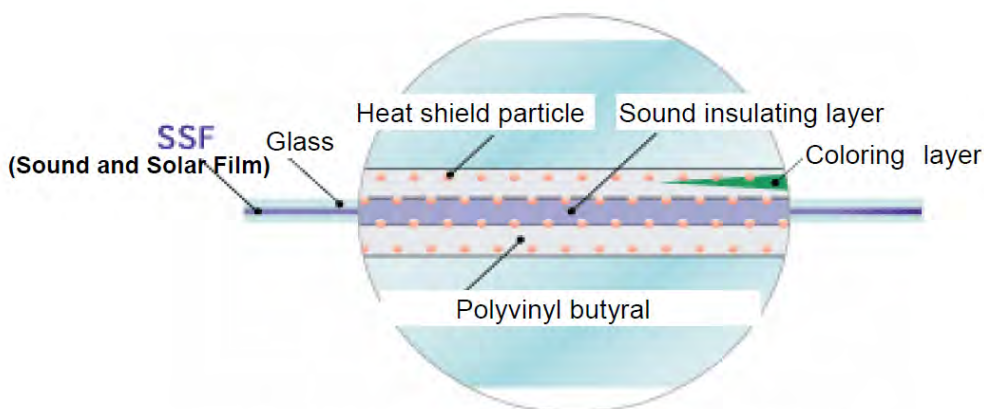


Fig.19 Sound insulation and IR cut glass

音の漏洩を防いだ (Fig.20).

5.3.4 衝突安全性能

J-NCAP を代表とする各国の衝突アセスメント評価に対し、前面オフセットバリア衝突 64km/h、フラットバリア衝突 55km/h、側面衝突 55km/h において、クラストップの衝突安全性能を達成した。

フロント廻りには、コンパチビリティ対応ボデーを採用し、車対車衝突でのすれ違い防止を図った。

後面衝突においては、燃料系の保護に加え IPU 保護のために、リヤフレームの大断面化、リヤパネルの断面構造化等により、短いクラッシュストロークで効率的に衝突エネルギーを吸収させる構造を採用している。

また、アクティブヘッドレストをフロント席に標準設定し、後面衝突時の頭部の後方への動きを最小限に抑え、頸部への衝撃を緩和した。

6. 廉価

6.1 ハイブリッドシステム

6.1.1 IPU コストダウン

IPU については上述の小型化技術に加え、インバータパワーモジュールのビームリードボンディング化、DC-DC コンバータ回路の保護構造最適化によるフューズの削減、三相線と DC-DC コンバータ出力線の通線一体化等によりコスト削減をおこない、従来機種に対し約 42%のコストダウンを達成した。

6.1.2 薄型モータ

モータは従来型 IMA 用モータと同様の基本構造としながら、車体重量に対する出力の最適化により電磁部の厚さを 21%低減、重量を 15%軽量化し、製造プロセスの合理化と併せて従来機種に対し約 35%のコストダウンを達成した。

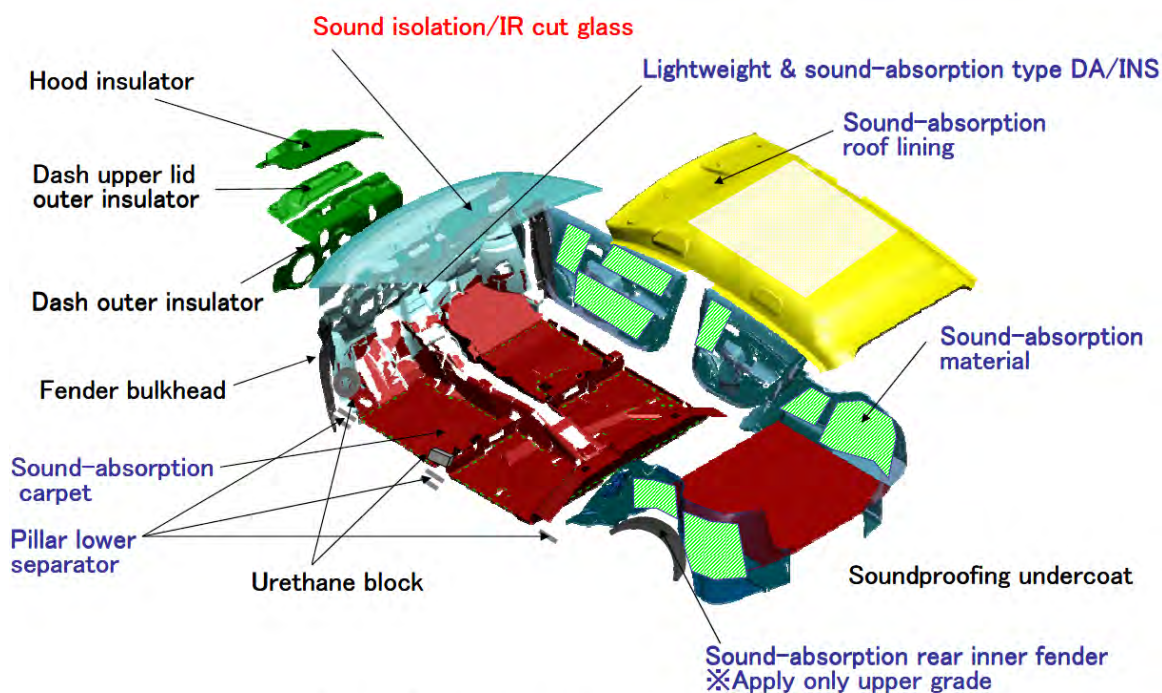


Fig.20 Sound insulation materials

6.2 シャシーコモナリティ

市場で好評を博している 2008 年モデル FIT のシャシプラットフォームを最大限に活用し、コモナリティを図りながらも、低全高化を実現するため、フューエルタンクとエキゾーストを専用設計とした (Fig.21)。

7. むすび

ネーミングは、欧米におけるハイブリッド技術の開拓車であり、新しい時代の到来を洞察するク

ルマという意味が込められていた初代インサイトの名を受け継ぎ「インサイト」と定めた。

新型インサイトはより多くのお客様に乗っていただけるお求め易い普及型というコンセプトの基に、ハイブリッドカーの本格的な普及という新しい時代の到来を洞察するクルマという意味を込めた。

「普及を目指した GLOBAL ハイブリッドカー」としての自信作であり、より多くのお客様に乗っていただけると確信している。

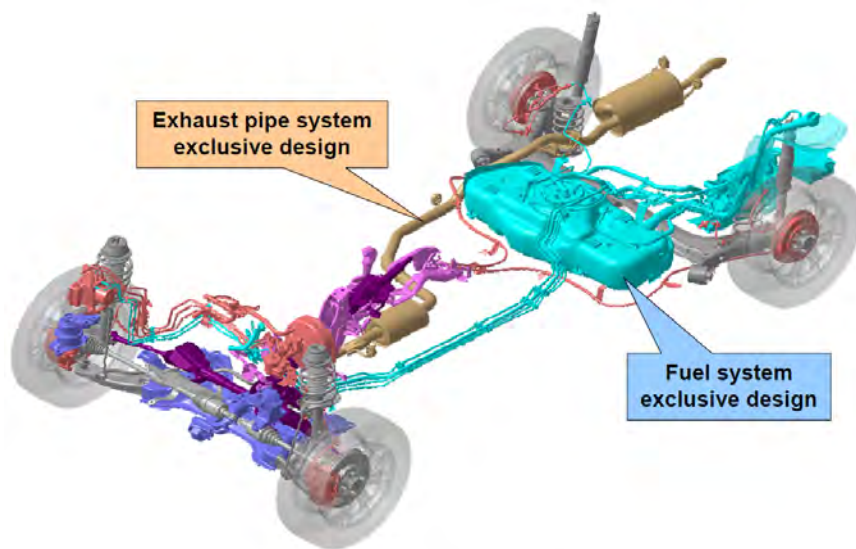


Fig.21 Chassis platform

熱流計で表面熱流は測れない

The Surface Heat Flux cannot be measured by a Heat Flow Meter

中村 泰人 (元京都大学)

Yasuto NAKAMURA (Former Kyoto University)

e-mail: yasuto-n@nifty.com

1. はじめに

「伝熱」(Vol.49, No.207, 2010.4, p.45) に濱本芳徳氏による記事「九州伝熱セミナー in 由布院報告」があり、文面に従って講演者の平方宏治氏の提出資料「熱流計概論」を参照すると、注目すべき表現に出会った。資料の最後「熱流計の検定誤差」のところで、「検定装置の違いにより、25%も検定値が異なる」というのである。

検定値とは熱流計の感度のことで、メーカーによって熱流計ごとに固有の値が指定されている。感度の検定すなわち校正は、JIS 規格にもなっている保護熱板法[1]などを用いて行われるであろうから、検定装置が異なっても同一品なら感度に違いはなく、値は信用できるものとみなしてきたが、必ずしもそうではないらしい。

熱流計の感度の違いについては、観点が違うが筆者も、場合によってはメーカー提供の熱流計は使えない、という事実を把握している。これを機会にその話を紹介して大方の注意を喚起したいと思う。題して「熱流計で表面熱流は測れない」である。説明は便宜上、床冷房室内の床表面熱流を対象に進めるが、壁や天井の表面熱流でも同様の説明が適用できることを確かめている。

記号

Q	: 伝導熱流束	[Wm ⁻²]
R	: ふく射熱流束	[Wm ⁻²]
C	: 対流熱流束	[Wm ⁻²]
ε	: 放射率 (=0.95)	[N.D.]
σ	: ステファン・ボルツマン定数	[Wm ⁻² K ⁻⁴]
	= 5.67×10 ⁻⁸	
T_s	: 熱流計表面の温度	[K]
T_r	: 熱流計表面の面ふく射温度	[K]
T_{w_j}	: 周壁第j面の表面温度 (j=1,2,⋯,6)	[K]
ϕ_j	: 床に貼った熱流計から周壁第j面を見る形態係数 (j=1,2,⋯,6)	[N.D.]

F_{ij}	: 立方体の第i面から周壁の第j面を見る形態係数 (i,j=1,2,⋯,6)	[N.D.]
E	: 起電力	[mV]
S	: 感度	[mV/(Wm ⁻²)]
λ	: 標準板の熱伝導率	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]
t_1	: 標準板の上面の温度	[°C]
t_2	: 標準板の下面の温度	[°C]
l	: 標準板の厚さ	[m]

2. 問題の所在

表面における伝導・ふく射・対流の熱収支式(1)に関して実験を行い、各項の合理性を精細に検討することによって問題の所在を明確にする。

$$Q = R + C \quad (1)$$

図1が実験対象とした室の平面図である。4.5m×6.0mの平面、2.45mの天井高で、床の点線部分3.0m×5.4mに給水パネルが置かれ、パネルの中のチューブに冷水が送られて室を冷房するようになっている。■印3箇所がパネル上で熱流計を貼った位置、□印15箇所はいずれも床上1.2mの室内空気温度の測定位置を示す。室の南面には窓がありカーテンが二重にかけられていて、室内で日射の透過した熱流束(0.3μmより短い波長域)は測定の結果、無視できた。

熱収支は、伝導熱を熱流計で得る必要から、床パネルに貼った熱流計の上面、露出した表面で考えることとした。熱流計表面の放射率には0.95をあてたが、参考のために標準黒色塗料であるパーソンズ・ブラックを表面に塗布した場合も、結果に違いが生じなかったため、0.95の推定は妥当であったと思われる。後述では、周壁表面の放射率は計算の便宜上1.0の黒体を仮定しているが、この仮定はほぼ満たされると考えられる。

実験において伝導熱流束 Q は式(2)のように、貼り付けた熱流計の起電力 E をメーカー指定の感度 S で除して得られる。

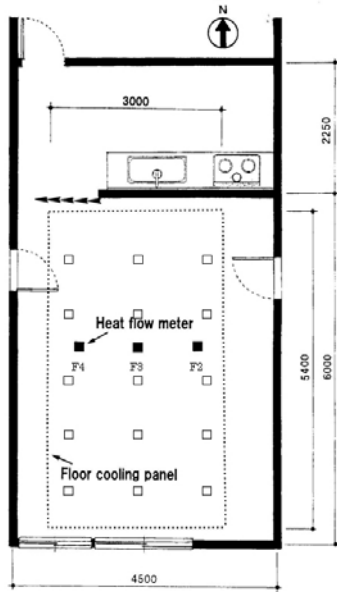


Fig.1 Plan of a room with floor cooling panel and arrangement of heat flow meter.

$$Q = E / S \quad (2)$$

ふく射熱流束 R は式(3)で得られる.

$$R = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_r^4) \quad (3)$$

ここで、 T_s は測定値、 T_r は面ふく射温度で、測定に基づく計算値である。面ふく射温度 PRT (Plane Radiant Temperature) とは、ある面が周囲から受ける長波長ふく射 ($0.3 \mu\text{m}$ より長い波長域) の熱流束をそれと等価な黒体放射能 σT_r^4 で置き換えたときの温度 T_r をいう。したがって、周壁が黒体で温度の違いが大きくないとみなすと、 T_r は式(4)で表せる。

$$T_r = \phi_1 T_{w1} + \phi_2 T_{w2} + \dots + \phi_6 T_{w6} \quad (4)$$

$\phi_j (j=1,2,\dots,6)$ は熱流計表面から周壁 j (6面構成とする) を見る形態係数で、幾何学的関係を基に計算される。 T_{wj} は周壁 j の表面温度である。

T_{wj} を知るには立方体正味ふく射計[2,3]を用いるのが有効である。すなわち、最初に室内のほぼ中央の熱流計 F3 の位置で、床上 1.0m に中心が位置するように立方体正味ふく射計をセットする。測定を始めると、立方体の各表面に対する面ふく射温度が得られる。次に、室内の周壁が面内で表面温度一様で、温度の異なる6面の黒体からなっているという「面内一様、黒体6面」を仮定すると(これは概ね満たされる)、ふく射の Enclosure Theory [4]に従って、立方体6表面の面ふく射温度から周壁6面の表面温度 T_{wj} が計算される(付録参照)。このとき、立方体各面から周壁各面を見る

形態係数 $F_{ij} (i,j=1,2,\dots,6)$ が必要になるが、これには正射影型魚眼レンズを装着したカメラを使用する。撮影画面上の面積が形態係数を表すので、立方体正味ふく射計が置かれていた位置でそのカメラに置き換え、撮影して得た現像画面上でプランメーターなどを用い、形態係数 F_{ij} を求めることができる。

図2に、このようにして求めた夏の日中7時間の温度の推移を示す。室内平均空気温度は天井・西壁・北壁・東壁の表面温度とほぼ同じ、 30°C 前後で推移している。日射量(下部に図示)は天気状態を知るために測ったもので、南壁の温度推移(上部に図示)と変動が同期しているのがわかる。南面にかかるカーテンが日射熱を吸収して表面温度が上昇したと解される。表面温度が最も低いのは冷水チューブが通っている床パネルで、 24°C 前後である。室内空気温度には垂直分布が形成され、最上層(天井下 15 cm)で 32°C 前後、最下層(床上 15cm)でも 28°C 前後であった。したがって、各温度の相互関係から、実測の空気温度と算定した周壁表面温度はいずれも矛盾のない妥当な値とみなされた[6]。

目視によると、 R と C はともに負となるから、床表面の熱流はすべて下向きであったことがわかる。しかし、得られた熱流束の Q と R を用いて式(1)から C を求めると、 C は正になった。熱流上向きである。これは実際と矛盾する。 Q の絶対値が小さすぎるのである。もっと大きな数値でなければならぬ。ここで Q と R のうち、 R は関係する温度が妥当な値であるから、 R の値が大きく変わることはあり得ない。したがって Q が問題にな

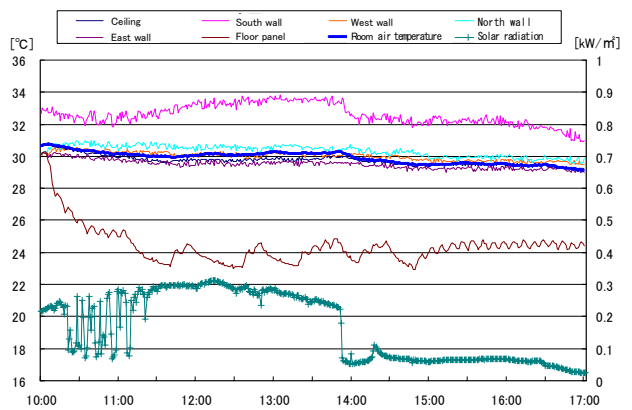


Fig.2 Six surrounding wall surface temperatures estimated on the measurement using a cubic net radiometer.

るが、 Q は式(2)の形から、起電力 E と感度 S の値が校正条件によっては変わることが疑われる。なかでも感度は、熱流計を露出使用した場合にメーカー指定値で結果が説明できなかったのも、熱流計の感度に問題があることは明白である。メーカー指定の感度をもった熱流計では表面熱流は測れない、と言わざるを得ない。

3. 露出使用熱流計の感度校正

一般に熱流計の感度校正は、加熱板と冷却熱板の間に感度を定める熱流計と熱伝導率既知の標準板または標準熱流計を挟んで行われる[1]が、本実験では熱流計の片面を露出して使用し、感度が挟み込み使用と異なることを想定しているの、露出使用に対応した特別の感度校正を試みた。

図3が用いた露出使用熱流計の感度校正装置の断面図である。熱流計は、大きさが50mm×50mm×0.7mmで、床表面熱流への使用を想定して水平に置き、熱流計の上面は露出したままで室空気に接し、装置ごと温湿度一定の人工気候室に置き、一般の定温度熱源に代わって室内温度を熱流計上方の熱源とした。熱流計の下方には標準板として厚さ20mmのシリコンゴム($\lambda=0.236\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)、その下に温度分布をなくすための厚さ8mmのアルミ板を置き、その下を電気ヒーターで加熱または電子冷却で冷却して、上下方向に熱流が生じるようにした。周囲の断熱材には発泡スチロールを用いた。

熱流計の感度 S は式(5)に基づいて算定される。

$$E/S = \lambda(t_1 - t_2) / l \quad (5)$$

表1に市販の熱流計2枚、HFM1とHFM2について、校正で得た感度を示す。片面露出使用ではメーカー指定の挟み込み使用の6割から7割にまで

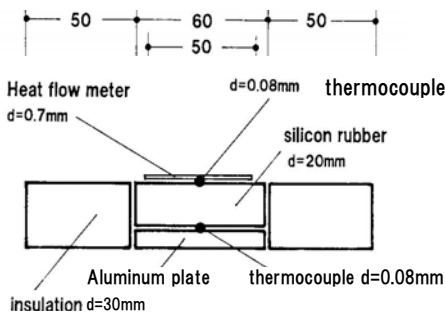


Fig.3 Apparatus for sensitivity calibration of a heat flow meter in which one side surface is exposed to the room air.

Table 1 Result of sensitivity calibration for the heat flow meter in which one side surface is exposed to the room air.

Name	HFM1	HFM2
Specified by the maker	0.00583	0.00591
Upward heat flow	0.00358	0.00419
Downward heat flow	0.00338	0.00401

感度が低下している。これはもはや実験の不備や誤差などではなく、明らかに物理現象としての特性の違いである。一般的な挟み込み使用で校正された感度をもつ熱流計は、片面露出使用では著しく感度が低下するという特性を示す。

4. 結果と考察

図4は、上記で得た露出使用の感度を用い、床冷房作動中の床パネル表面F3における熱流束を求めたもので、10分間平均値で表示してある。熱流束は伝導・ふく射・対流すべて下向きとなっていて矛盾はない。対流について、室中央高さの平均空気温度と床表面温度から対流熱伝達率を求めてみると、例えば13時には $0.9\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ となった。この値は、室内気流静穏状態の室内表面平均熱伝達率が、水平面の下向き熱流で $0.5\sim 1.5\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ との指摘と同等である[5]。このように、得られた熱流束は対流に限らず、三者ともに合理的な正しい関係を示した。露出使用の感度を壁面および天井面に適用した場合でも、得られた熱流束は同様に矛盾のない正しい関係を示した[6]。

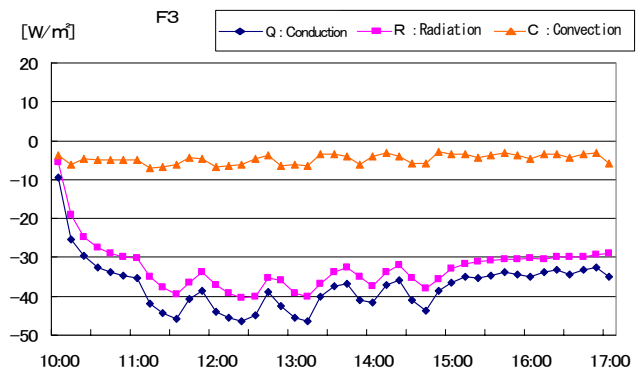


Fig.4 Balance of the heat flux of conduction, radiation and convection at the point F3 on the floor panel.

さて、熱流計の露出使用で感度が低下する現象であるが、感度が低下するのは結果であって、原因は露出面における電氣的出力(起電力)の低下

と考えられる。図3において、標準板（シリコンゴム）を通過する一次元熱流（式(5)の右辺）に対して、露出面側では接する空気が流体であるために三次元熱流となり、熱流計を構成するサーモパイル（熱電対の直列結合体）の起電力（式(5)の左辺）が低下する。しかし、一次元熱流は原則として不変なため、感度も低下することになる。

起電力が低下する理由には、次の説明が考えられる。空気は大小さまざまな渦が生起してランダムに動いているが、渦が露出面で局所的に接触すると、表面での一次元熱流の温度場が乱れて三次元熱流となる。それによって二次元、三次元方向にも起電力が発生する。違った場所では別の局所的作用がはたらい、露出面全体では起電力が時間的に大小に散らばりながら、二三次元方向の起電力は相殺して、全体では平均した起電力が低下することになる。熱流計断面内の熱流は標準板の一次元熱流と同一で、一次元熱流は基本的に変わることがないが、起電力は低下する。

図5では、感度校正の際の露出使用熱流計の起電力と、露出面に布テープを2枚（厚さ0.44mm）貼って表面の伝導熱抵抗を付加した場合の起電力とを、1分ごと30分間にわたって示した。露出の場合は起電力にばらつきが大きく、平均値が低い（ $0.478 \pm 0.039 \text{mV}$ ）が、表面に熱抵抗を付加した場合は、起電力のばらつきは小さく、平均値は高く（ $0.555 \pm 0.012 \text{mV}$ ）なっている。付加した伝導熱抵抗（約 $0.004 \text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$ ）が比較的小さいために、空気流動の影響が弱まるけれども、まだ残っていることがわかる。伝導熱抵抗が十分に大きくなれば起電力のばらつきはなくなり、平均値も上がる

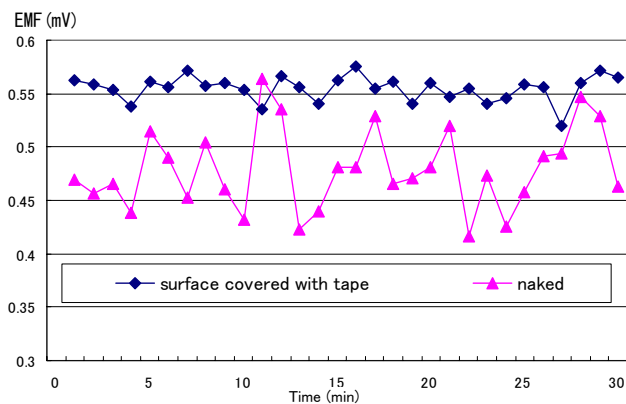


Fig.5 Difference of time variation of the electric motive force of heat flow meters with a naked surface and a surface covered with cloth tape.

はずである（これは挟み込み使用に相当する）。

ここに述べた変動の説明は先の起電力の低下の説明と整合する。したがって、起電力低下の説明は信頼性が高いと思われる。

5. まとめ

(1) メーカー指定の感度をもつ熱流計では表面熱流が測れないことを実験に基づいて示した。

(2) 熱流計を露出使用する場合の感度校正装置を試作して使用し、得られた感度を用いて表面熱流が正しく測れることを確かめた。

(3) 一般の挟み込み使用の熱流計を露出して使用する場合は、メーカー指定の感度が著しく低下するという特性がある。

(4) 露出使用の場合に熱流計の起電力と感度が低下する現象の成因について説明した。

付録：Enclosure Theory の適用

室内が「面内一様、黒体6面」の仮定を満たすとき、 $i, j=1, 2, \dots, 6$ として、

\mathbf{p} : 面ふく射温度の列ベクトル, p_i = 立方体 i 面の面ふく射温度 [$^{\circ}\text{C}$]

\mathbf{F} : 形態係数行列, F_{ij} = 立方体 i 面から周壁 j 面を見る形態係数 [N.D.]

\mathbf{w} : 周壁表面温度の列ベクトル, w_j = 周壁 j 面の表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]

と置くと、

$$\mathbf{p} = \mathbf{F} \mathbf{w} \quad (\text{A1})$$

であるから、 w_j は次式から求まる。

$$\mathbf{w} = \mathbf{F}^{-1} \mathbf{p} \quad (\text{A2})$$

参考文献

- [1] JIS A 1412-1, および JIS A 1412-2.
- [2] 中村泰人, 辻原万規彦, 西村浩一, 香川治美, 日本建築学会環境系論文集, **580** (2004) 15-21.
- [3] 中村泰人, 第41回日本伝熱シンポジウム講演論文集, III (2004) 739-740.
- [4] 日本機械学会, ふく射伝熱に関する最近の発展, (1966) 77.
- [5] 日本建築学会, 建築設計資料集成 1 環境, 丸善(1978)99.
- [6] 堀内隆弘, 佐方 亮, 中村泰人, 岡本孝美, 百家裕季, 天川章史, 日本建築学会研究報告九州支部, **45**・2 [環境系] (2006) 189-192.

マイクロ／ナノ国際会議 [ISMNT-3 & MECT-2010] 報告

*Report on Joint International Symposia on 3rd Micro & Nano Technology and
Micro/nanoscale Energy Conversion & Transport-2010*

小原 拓 (東北大学)

Taku OHARA (Tohoku University)

e-mail: ohara@ifs.tohoku.ac.jp

2010年3月21日から24日の4日間、韓国・ソウルにおいて、Joint International Symposia on 3rd Micro & Nano Technology and Micro/nanoscale Energy Conversion & Transport-2010が開催された。

この会議は、PCTFE (Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering) が開催する International Symposium on Micro and Nanotechnology (ISMNT, 2004年Honolulu, USA, 2006年Hsunchu, Taiwan) と ICHMT (International Center for Heat and Mass Transfer) が開催する International Symposium on Micro/Nanoscale Energy Conversion and Transport (MECT, 2002年Antalya, Turkey, 2004年Seoul, Korea) が今回合体したものである。会場となった Seoul National University (SNU) は、Seoulの中心街から少し離れた場所に広大なキャンパスと近代的な建物を有し、極めて活動的な印象を与える。今回の会議は、ChairのJ. S. Lee教授のもと、SNU始め韓国諸機関の手厚い後援を受けて開催された。

双方の会議とも、従前から「熱流体／伝熱に関連したマイクロ・ナノ」という広いスコープをもつものである。「マイクロ・ナノ伝熱」における国際的取り組みは、日米セミナーの第1回 (1994年、金沢) から数えても15年以上が経過しているのであるが、その対象範囲はあまり集束することなく広がっている。これをポジティブに「拡大」と捉えるのか、ややネガティブに「発散」と考えるのか、あるいは、そもそも「マイクロ・ナノ」が熱流体工学の中で一つのまとまった研究領域として他の領域に肩を並べるものであるのかという問題については、「マイクロ・ナノ」の中だけでなく熱流体工学全体の中で、その価値や位置付けが議論されるべきであろうが、現状では「何でもOK」というスタンスはまだ十分に有効で、「マイクロ・ナノ」の中のごく狭い範囲しか理解できていない私のような参加者でも、全講演の大部分を興味深く拝聴し、楽しく過ごすことができた。約60件の一般講演を概観すると、そのテー

マは、(C)NT (構造や輸送特性よりは、光励起・イオンの選択輸送・熱伝導のRectificationなどの新しい機能を実現しようとするもの)、燃料電池 (性能向上など)、ナノ／マイクロフルイディクス (イオン選択輸送、攪拌・混合、Electrowettingなど)、薄膜生成 (CVD, ウェットなコーティング, ナノ粒子吹き付けなど)、表面・界面 (超親水面・超疎水面, 修飾, 熱抵抗, 凝縮係数, 複合面など)、熱物性・界面特性 (ナノワイヤ, ナノコンポジット, 界面熱抵抗, 熱電現象など)、気泡・液滴 (沸騰, フルイディクス), ナノフルイド (熱伝導率ではなく対流熱伝達特性) など多岐にわたるが、現象の分子論的メカニズムなど原理や解釈に主眼を置くものや新しい現象を報告するものは多くなく、既知の現象を巧みに利用した応用を志向しているものが目立つ。また、7件のキーノートでは、滑り流領域の熱伝達 (S. Kakaç) など従来からの問題に並んで、燃料電池・CCS (S. Hirai) や大スケール環境問題に関連したナノスケールふく射伝熱 (S. Maruyama) など今日的な意義をもつ問題や、そろそろ決着がつきつつあるNanofluidの問題 (X. Zhang) など、ホットな話題が提供されて非常に興味深いものとなった。

今年の3月下旬は、日本においてもまだ相当に肌寒かったのであるが、ソウルではさらに春まだ浅い気候で、会期中にはまとまった降雪すらあった。また、SNUのロケーションもあって、韓国外からの参加者がほぼ缶詰状態で会議に参加したのは、活発な会議のためには大変好ましいことであった。

最後に、PCTFEでは、井上誠氏と望月貞成先生が本会議の開催のため尽力された。ここに記して感謝の意を表します。次回についてはまだ固まっていないが、多数の参加を得てこれがマイクロ・ナノ熱流体の国際的なお祭りに育ってゆくことを期待したい。

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
2010年						
5月	26日(水) ～ 28日(金)	第47回日本伝熱シンポジウム				

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
2010年						
7月	8(木) ～9(金)	No.10-56 見学会「地球温暖化防止の鍵となる最新発電技術」(開催地: 岡山県真庭市, 島根県松江市)	2010.6.25 (定員 30名)		川崎さおり(日本機械学会) Fax: 053-478-1605 Email: djsmf10@ipc.shizuoka.ac.jp	
7月	9(金)	No.10-43 講演会「スターリングエンジン・熱音響エンジンを用いた廃熱利用技術の開発動向」	2010.6.29		http://www.jsme.or.jp/event/201004/100709s.htm	
7月	17(土) ～19(月)	日本混相流学会年会講演会 2010 (開催場所: 静岡大学浜松キャンパス)	2010.3.1	2010.5.21	真田俊之 (実行委員長) 〒432-8561 浜松市城北 3-5-1 静岡大学工学部機械工学科 日本混相流学会年会講演会 2010・第29回混相流シンポジウム実行委員会事務局 Tel & Fax: 053-478-1605 Email: djsmf10@ipc.shizuoka.ac.jp http://www.eng.shizuoka.ac.jp/~JSMF2010/index.html	
7月	18(日)	第29回混相流シンポジウム (開催場所: 静岡大学浜松キャンパス)	2010.6.25	2010.5.17	真田俊之 (実行委員長) 〒432-8561 浜松市城北 3-5-1 静岡大学工学部機械工学科 日本混相流学会年会講演会 2010・第29回混相流シンポジウム実行委員会事務局 Tel&Fax: 053-478-1605 Email: djsmf10@ipc.shizuoka.ac.jp http://www.eng.shizuoka.ac.jp/~JSMF2010/index.html	
7月	20(火) ～21(水)	第38回可視化情報シンポジウム (開催場所: 工学院大学新宿校舎)	2010.4.16	2010.5.14	http://www.visualization.jp/event/detail/symp2010.html	
7月	21(水) ～23(金)	第10回2010熱設計・対策技術シンポジウム (開催地: 東京都江東区)			(社)日本能率協会 開発・技術振興本部 〒105-8522 東京都港区芝公園 3-1-22 Tel: 03-3434-1410 http://school.jma.or.jp/tfs/	
8月	7(土)	No.10-12 「機械の日・機械週間」記念行事 (開催地: 名古屋市西区)			社団法人日本機械学会 「機械の日記念講演会」係 〒160-0016 東京都新宿区信濃町 35 信濃煉瓦館5階 Tel. 03-5360-3505 Fax. 03-5360-3509 E-mail: kikainohi@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/kikainohi/	
8月	8(日) ～13(金)	14th International Heat Transfer Conference (IHTC-14) (開催地: Washinton, D.C., USA)	2010.5.30		http://www.asmeconferences.org/ihtc14/	
8月	17(火) ～19(木)	日本実験力学会 2010年度年次講演会 (開催場所: 長崎大学)	2010.4.30	2010.6.30	松田浩・森田千尋・牧野高平 〒852-8521 長崎市文教町 1-4 長崎大学工学部 インフラ長寿命化センター Tel: 095-819-2880 Fax: 095-819-2879 E-mail: ilem_jsem@ml.nagasaki-u.ac.jp	
9月	9(木) ～11(土)	日本流体力学会 年会 2010	2010.6.6	2010.7.26	日本流体力学会 年会 2010 実行委員会 Tel:03-3714-0427, FAX: 03-3714-0434 Email: nenkai2010@nagare.or.jp	
10月	20(水) ～21(木)	第38回日本ガスタービン学会 定期講演会 (開催地: 徳島市)	2010.6.21	2010.8.30	(社)日本ガスタービン学会 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-5-13 第3工新ビル 402 TEL:03-3365-0095 FAX:03-3365-0387	
10月	30(土) ～31(日)	熱工学コンファレンス 2010 (開催場所: 長岡技術科学大学)	2010.7.2	2010.9.10	2010年熱工学コンファレンス実行委員会事務局 〒940-2188 長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学工学部機械系実行委員長青木和夫 Tel:0258-47-9729 Fax:0258-47-9770 Email: aoki@mech.nagaokaut.ac.jp	

行事カレンダー

11月	2(火) ～5(金)	21st International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-21) (開催地: Kaohsiung, Taiwan)	2010.4.15	2010.7.26	Email: info@istp-21.org http://www.istp-21.org/	
11月	4(木) ～7(日)	The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (開催場所: 龍谷大学 大宮キャンパス)	2010.5.10	2010.6.30	Takashi Yokoyama Department of Mechanical Engineering, Okayama University of Science 1-1 Ridai-cho, Okayama 700-0005 Tel. 086-256-9580 Fax. 086-255-3611 E-mail: yokoyama@mech.ous.ac.jp	
11月	17(水) ～19(金)	第31回日本熱物性シンポジウム	2010.7.13	2010.9.14	九州大学大学院工学研究院 機械工学部門 熱流体物理研究室 河野 正道 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 Tel: 092-802-3099, FAX: 092-802-3098 E-mail: kohno@mech.kyushu-u.ac.jp	
12月	7(火) ～8(水)	第13回スターリングサイクルシンポジウム	2010.7.9	2010.10.22	実行委員長 平田宏一(海技研) Tel: (0422)41-3695/FAX(0422)41-3607 E-mail: khirata@nmri.go.jp	
12月	20(月) ～22(水)	第24回数値流体力学シンポジウム (開催場所: 慶応義塾大学日吉キャンパス)	2010.9.17	2010.10.20		

開催日	行事名	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
2011年					
7月	24(日) ～29(金) ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 (AJK2011) (開催地: 浜松市)	2010.10.1	2011.4.1	AJK2011 executive committee Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561 Tel. 053-478-1601 E-mail: dajk2011@ipc.shizuoka.ac.jp http://www.eng.shizuoka.ac.jp/~AJK2011/index.html	
10月	3(月) ～6(木) 第4回人間-生活環境系国際会議 (開催場所: 北海道大学)	2010.2.28	2011.5.31	人間-生活環境系国際会議組織委員会事務局 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科環境人間工学研究室 Tel/Fax 011-706-6280 E-mail: iches2011@eng.hokudai.ac.jp	

社団法人日本伝熱学会第48期（平成21年度）総会議事録

1. 日 時 平成22年5月27日（木）16時20分～17時50分
2. 場 所 札幌市白石区東札幌6条1丁目1-1 札幌コンベンションセンター大ホールA
3. 正会員数 1,098名
4. 出席者 638名（うち委任状出席492名）. これは定足数（正会員数の過半数）を上回り、総会は成立した.

5. 議事経過

議長に長野 靖尚氏を選出し、次の議案について逐次審議した.

第1号議案 第48期事業報告の件

議長より、社団法人日本伝熱学会第48期（平成21年度）総会議案（以下、総会議案と呼ぶ）の第1号議案第48期事業報告について諮り、満場一致でこれを可決した.

第2号議案 第48期会務報告の件

議長より、総会議案の第2号議案第48期会務報告について諮り、満場一致でこれを可決した.

第3号議案 平成21年度収支決算の件

議長より、総会議案の第3号議案平成21年度収支決算について諮り、満場一致でこれを可決した.

第4号議案 平成22年度事業計画の件

議長より、総会議案の第4号議案平成22年度事業計画について諮り、満場一致でこれを可決した.

第5号議案 平成22年度収支予算案の件

議長より、総会議案の第5号議案平成22年度収支予算について諮り、満場一致でこれを可決した.

第6号議案 一般社団法人への移行に伴う定款改正の件

議長より、総会議案第6号議案一般社団法人への移行に伴う定款改正について諮り、官庁からの指導による軽微な修正を認めることも含め、満場一致でこれを可決した.

第7号議案 日本伝熱学会賞の授賞の件

議長より、総会議案の第7号議案日本伝熱学会学術賞・技術賞・奨励賞・優秀プレゼンテーション賞授賞について選考経過についての報告がなされた. 本年度の日本伝熱学会賞受賞者は、次のとおりである.

- | | |
|-----------|----------------------|
| 日本伝熱学会学術賞 | ・代表研究者：伊藤衡平（九州大学） |
| | ・共同研究者：李 相根（九州大学） |
| | 古賀達郎（楙デンソー） |
| | 佐々木一成（九州大学） |
| | ・代表研究者：畠山友行（富山県立大学） |
| | ・共同研究者：伏信一慶（東京工業大学） |
| | 岡崎 健（東京工業大学） |
| | ・代表研究者：赤松正人（山形大学） |
| | ・共同研究者：日向野三雄（秋田県立大学） |
| 日本伝熱学会技術賞 | ・代表研究者：大曾根靖夫（楙日立製作所） |

- ・共同研究者：中里典生（㈱日立製作所）
- 河野賢哉（㈱日立製作所）
- 依田智子（㈱日立製作所）
- 白井優之（㈱ルネサステクノロジー）

- 日本伝熱学会奨励賞
- ・横内康夫（慶應義塾大学）
 - ・菊川豪太（東北大学）
 - ・植村 豪（東京工業大学）

日本伝熱学会優秀プレゼンテーション賞（所属は第46回日本伝熱シンポジウム当時）

- | | |
|--------------|------------|
| 鈴木博貴（名古屋大学） | 鈴木芳行（東北大学） |
| 西村 悠（慶應義塾大学） | 松元祐樹（筑波大学） |
| 笹部 崇（東京工業大学） | |

第8号議案 名誉会員の顕彰の件

議長より、総会議案の第8号議案名誉会員の顕彰について報告された。本年度の名誉会員顕彰者は次のとおりである。

- | | | |
|------|------|------|
| 藤井照重 | 井村英昭 | 伊藤正昭 |
| 河村 洋 | 菊地義弘 | |

第9号議案 第49期役員を選出の件

議長より、総会議案の第9号議案第49期役員を選出について以下のとおり次期役員の提案がなされ、満場一致でこれを可決した。

定款第16条第2項により退任する役員

- | | | | |
|---------|------|---------|------|
| 理事（会長） | 長野靖尚 | 理事（副会長） | 小林信雄 |
| 理事（副会長） | 山田幸生 | | |

定款第16条第1項により退任する役員

- | | | | |
|----|-------|----|------|
| 理事 | 田部 豊 | 理事 | 青木秀之 |
| 理事 | 原村嘉彦 | 理事 | 橋本律男 |
| 理事 | 大曾根靖夫 | 理事 | 藤岡恵子 |
| 監事 | 神永文人 | | |

定款第16条第3項により退任する役員

- | | | | |
|----|------|----|------|
| 理事 | 吉田篤正 | 理事 | 近久武美 |
|----|------|----|------|

定款第16条第2項により選任される役員

- | | | | |
|---------|------|---------|------|
| 理事（会長） | 林勇二郎 | 理事（副会長） | 小澤 守 |
| 理事（副会長） | 青木博史 | | |

定款第16条第1項により選任される役員

- | | | | |
|----|-------|----|------|
| 理事 | 坂下弘人 | 理事 | 廣瀬宏一 |
| 理事 | 大久保英敏 | 理事 | 西村伸也 |
| 理事 | 加藤泰生 | 理事 | 秋吉 亮 |

理事 青木修一

監事 小泉安郎

定款第16条第3項により選任される役員

理事 稲葉英男

理事

笠木伸英

定款第16条第2項ただし書きにより再任される役員

理事（副会長） 宇高義郎

第10号議案 議事録署名人選任の件


議長より、本日の議事の経過を議事録にまとめるにあたり、議長に加えて議事録署名人2名を選任したい旨の提案があり、協議の結果、山田幸生氏、宇高義郎氏の2名を選任した。

以上により、本日の議事を終了した。


平成22年5月27日

社団法人日本伝熱学会第48期（平成21年度）総会

議長 長野 靖尚

長野 靖尚 

議事録署名人 山田 幸生

山田 幸生 

議事録署名人 宇高 義郎

宇高 義郎 

日本伝熱学会会員情報システムに関するご案内

日本伝熱学会では、従来3年おきに会員名を発行してまいりました。しかし、2007年1月に発行された名簿では、連絡先を公開する会員が少なくなったため、名簿としての機能をほとんど果たさなくなっており、会員相互の連絡を取る手段について再考せざるを得なくなりました。第47期(前々期)の総務部会において議論し、理事会の承認を得て、会員各位の専門性から会員を検索できる機能を付け加え、しかも会員内で閉じる形の情報交換のシステムを構築するという方針で、会員情報システムを構築してきました。このたび、このシステムが完成しましたので、報告いたしますとともに、その使い方について、簡単に説明いたします。

なお、検索した会員の連絡先の送付を受けるには、2つの制限(第2節の1と4)があります。第1は、送付先のメールアドレスが設定されていること、第2は、第2節第1項に示した許諾に関する4項目のうち少なくとも1つを許諾していることです。いずれかが欠けている場合、連絡先は送付されませんのでご了承ください。これらの制限は、事務局宛にお届けいただくことで解消しますが、登録情報の更新を第4節に記載した時期に行いますので、それまでお待ちください。

《主な機能》

会員情報システムは、大別して下記の2つの機能を有しています。

1. 会員名を、氏名(和文・アルファベット・その他)、地域・年齢等、登録専門分野から検索し、指定した会員の連絡先(連絡先部署名等・電話番号・FAX番号・メールアドレス、但し本人が公開を許諾したもの)を取得する。
2. 論文(伝熱シンポジウム・IFHT・伝熱・TSE)の題目をキーワード検索して、(1)該当論文のリストを表示し、さらにその電子データを取得する。(2)該当論文の著者である会員の論文のリストを表示し、さらにその電子データを取得する。(3)著者である会員の連絡先を取得する。

《会員情報システムを利用する上での制限》

このシステムは、会員間の情報交換を促進することを目的として構築しました。その際、不用意に個人情報流れ出さないようにできるだけ配慮をしているつもりです。このために、以下の制限を設けております。ご理解をお願いします。(〈 〉内は、制限を設けた理由)

1. 他の会員の連絡先の情報をメールで受け取れる条件として、連絡先((1)勤務先の部署と所在地・(2)連絡先電話・(3)連絡先FAX・(4)連絡先メールアドレス)を少なくとも1つ許諾していることとしました。(相互にメリットを享受するという考えに基づく)
2. 会員の連絡先を取得する件数を月(1日から末日まで)50件、年間200件に制限しました。(商業的な利用を抑制する)
3. 論文情報の更新は年1回、会員情報(情報通知先メールアドレスを含む)の更新は年4回を予定しています。(学会が所有する会員情報のうち必要な部分のみをシステムの置くことで、セキュリティを向上する。また、担当者の負荷軽減を図る。)
4. 他の会員の連絡先を受け取るためには、メールアドレスの登録が必要です。(セキュリティの向上のため。)(第1アドレスは、メーリングリスト等に使われる学会への登録アドレス。そのほかに任意の第2アドレスを設定可能。)
5. 本学会が持つ情報からこの会員情報システムを構築しています。したがって、外部で発表された論文等は検索の対象外としました。公開許諾の回答とともに、他の論文を追加で記載された会員もいらっしゃいますが、これは登録していません。(登録業務の軽減)

《利用方法の概要》

1. ログイン(URL: <http://www.htsj.or.jp/members/user>)に入り、会員名と会員番号でログインします。会員番

号は、「伝熱」をお送りする際の宛名ラベルに記載されています。）

2. 会員検索（以下3または6から）か、論文検索（以下7から）かを選ぶ。
3. 分かっている氏名（またはその一部）を入れる「入力して検索」と、該当者の一覧表から選ぶタイプの「漢字圏外国人」、「アルファベット登録者」が用意されています。いずれかを選んでください。（アルファベット登録者は、漢字圏以外の外国人、外国在住の方が含まれます。）
4. 会員氏名を指定した後、連絡先の送付を指示します。途中、その会員の発表論文のリストを表示・請求するモードに一旦入ることもできます。
5. 請求手続きが終わったら、ログアウトしてください。
6. 会員の属性（支部・都道府県・大学等の勤務先種別・年齢・専門分野）から会員を検索する方法が用意されています。発表論文の表示・請求機能が省略されていますが、それ以外は、上記4と同じです。
7. 論文題目（和文・英文ともに可）中のキーワード、発表年を使って論文を検索する。結果の電子データを請求できます。論文の発行年は表示されませんが、論文番号の千の位以上が発行年（西暦の下2桁）です。
8. 前記検索結果に出ている著者（会員のみ）について、発表論文（全件）を表示できます。
9. 会員氏名を指定した後、連絡先を請求できます。
10. 請求手続きが終わったら、ログアウトしてください。

《データ更新の予定》

データは2種類あります。それぞれ、更新を以下のように予定しています。

1. 会員の連絡先・許諾の状態：定例理事会（第1回：伝熱シンポ開催期間，第2回：9月，第3回：12月，第4回：4月）の後，1ヶ月以内，年4回。
2. 論文関係のデータ：伝熱シンポ後約1ヶ月。

最初は、機能や使い勝手に関して不行き届きがあるものと思います。ご意見をお寄せいただき、より使いやすいシステムにしていけたら幸いです。まだ、公開の許諾をいただいている会員の数が少ないのが現状です。このシステムをご理解いただき、より多数の方が情報を公開していただけることを願っております。

第48期総務部会長 原村嘉彦

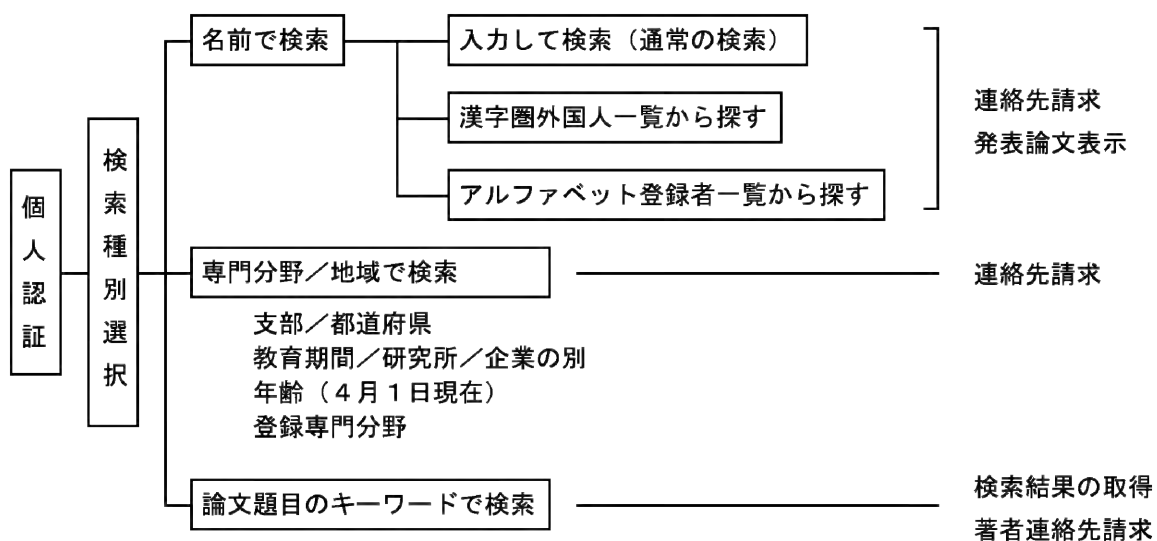


図1 システムの概要



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：大久保英敏（玉川大学）：ohkubo@eng.tamagawa.ac.jp
- ・編集出版部会長：花村克悟（東京工業大学）：hanamura@mech.titech.ac.jp
- ・広報委員会委員長：津島将司（東京工業大学）：tsushima@mech.titech.ac.jp
- ・総務担当副会長補佐評議員：酒井清吾（横浜国立大学）：sakai@ynu.ac.jp
- ・事務局：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。

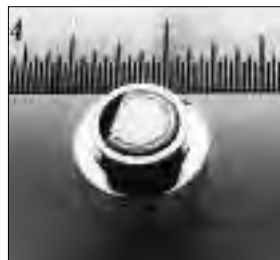
事務局からの連絡

第 49 期新入会員 (2010.4.1~6.10) 正 28 名・学生 48

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	金森 久幸	佐竹化学機械工業(株)	学	大矢 哲平	北海道大学
正	松田 和敏	ソニーセミコンダクタ九州(株)	学	村木 渉	九州大学 大学院工学府
正	田口 篤	東北日本電気株式会社	学	三橋 国直	宇都宮大学 大学院工学研究科
正	溝嶋 浩文	東洋ゴム工業株式会社	学	小西 拓郎	広島大学
正	安達 昭夫	富士電機システムズ(株)技術開発本部	学	星 麻美	東京理科大学大学 工学部
正	岡本 篤	宇宙航空研究開発機構	学	池町 希	九州工業大学 大学院工学府
正	中原 真也	愛媛大学 大学院理工学研究科	学	矢田 宏樹	横浜国立大学
正	香川 豊	東京大学 先端科学研究センター	学	上赤 匠	東京大学大学院
学	水本 和也	九州工業大学 工学部	正	加藤 光章	(株)東芝
学	Mutair Sami	佐賀大学 大学院工学系研究科	正	小林 一暎	住友金属工業(株)
学	DOAN HONG DUC	東京工業大学 機械制御システム専攻	正	友田 俊之	関西電力(株)電力技術研究所
学	小野 公德	東北大学 大学院工学研究科	学	八橋 愛	名古屋大学大学院
学	林 浩之	九州大学	学	藤井 拓郎	慶應義塾大学大学院
学	深見 清貴	信州大学	正	菅野 他人男	尾花沢市役所
学	榎本 光治	九州大学 大学院工学府	正	志摩津 孝	(株)豊田中央研究所
学	三井 陽平	電気通信大学 電気通信学部	正	千葉 博	三菱電機(株)先端技術総合研究所
学	野崎 亮佑	北海道大学 工学部	学	栗山 怜子	慶應義塾大学大学院
学	松尾 斉	崇城大学大学院	正	経田 僚昭	富山高専専門学校
学	宇賀神 博行	豊田工業大学大学院	学	室屋 陽平	大阪府立大学大学院工学研究科
学	富永 聡	大阪府立大学大学院	正	井上 修平	広島大学
学	児島 芳徳	東北大学大学院	学	友田 正裕	九州大学工学府機械科学専攻
学	小川 達弥	芝浦工業大学大学院	学	井川 拓哉	立命館大学大学院理工学研究科
学	福井 俊矢	芝浦工業大学大学院	学	天野 真仁	立命館大学 創造理工学部
学	山本 明宏	九州工業大学大学院	学	近藤 慎平	大阪大学大学院工学研究科
学	稲場 浩之	中央大学大学院	学	菅野 普	東京大学大学院工学系研究科
学	犬東 充	中央大学大学院	正	小川 和男	(株)本田技術研究所
学	赤石 武蔵	中央大学大学院	正	白石 裕之	大同大学
学	福野 良	中央大学大学院	正	川崎 春夫	(独)宇宙航空研究開発機構
学	吉田 晋平	東京工業大学大学院理工学研究科	正	濱田 洋祐	パナソニックエコシステムズ(株)
正	堀 司	大阪大学	正	飯山 繁	パナソニック(株)
学	長谷川 朋美	慶應義塾大学大学院	正	中拂 博之	三菱重工(株) 技術本部
学	Heong Chee Leong	京都大学大学院	学	矢澤 紗織	諏訪東京理科大学
正	鬼頭 みずき	奈良工業高等専門学校	学	KYAW SWAR SOE NAING	北海道大学
学	高橋 望	室蘭工業大学大学院	学	正尾 裕輔	京都大学大学院工学研究科
学	雑賀 達也	大阪大学大学院	正	荒川 慶彦	住友重機械工業(株)
正	塩賀 健司	(株)富士通研究所	正	貝吹 和秀	トヨタ紡織(株)
学	大庭 雄二郎	東京大学大学院	正	今成 宏幸	東芝三菱電機産業システム(株)
学	小場 健太郎	慶應義塾大学大学院	学	池本 駿	玉川大学大学院

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



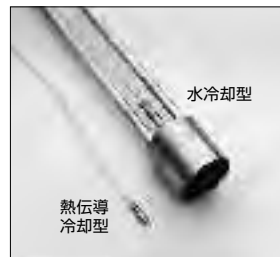
特徴

- 最高速の応答 (約 6 μ 秒)
- 850°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と薄いので、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

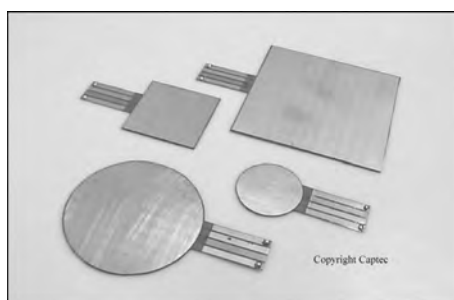
テクノオフィスは、独自の高度技術を持つ海外メーカーの

熱流計／熱流束センサーをご紹介します。

CAPTEC 社 (フランス)

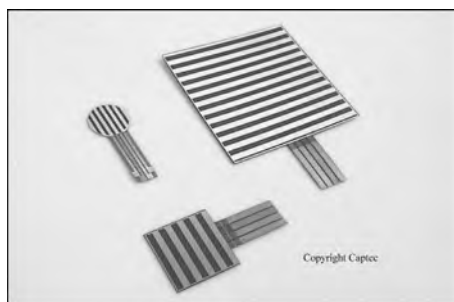
CAPTEC 社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



サイズ: 5×5～300×300 [mm] (厚み:0.4 [mm])
 熱抵抗値: 0.00015 [°C/(W/m²)]
 熱伝導率: 2.7 [W/mK]
 温度範囲: -200～200 [°C]
 応答速度: 約 200 [ms]
 柔軟性: フレキシブルー直径 30 [mm] に彎曲
 リジッドー平面用
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C], 防水加工

輻射センサー



サイズ: 5×5～50×50 [mm]
 厚み: 0.25 [mm]
 温度範囲: -200～250 [°C]
 応答速度: 約 50 [ms]
 柔軟性: 直径 30 [mm] に彎曲
 オプション: 温度計測用 T 型熱電対内蔵
 特注品: 最高温度 350 [°C]または 380 [°C]
 波長領域: 広帯域(可視+赤外)／標準(赤外)

【アプリケーション】

◇伝熱一般 ◇温熱環境 ◇サーマルマネキン ◇食品／調理ー焼成オーブン ◇コンクリート・地中埋設

○当社では、CAPTEC 製品に最適なデータロガーも取扱っております。お気軽にお問い合わせ下さい。

有限会社 テクノオフィス (CAPTEC 社日本総代理店)

URL: <http://www.techno-office.com/>

本社: 〒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

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

人が快適な生活を追及すればするほど、地球環境に与える負荷は大きなものとなっている。例えば、ヒートポンプは、外気環境に左右されない、極めて心地よい室内空間を提供してくれる。しかし、その需要が増大するとともに、電力消費の増大に伴う CO2 排出量の増加、さらに、その冷媒が大気中に放出されることでオゾン層の破壊など、計り知れない影響を与える。環境負荷が大きい冷媒は段階的に削減されつつあり、影響の小さな冷媒の開発が進められているが、オゾンホールは解消されていない。ただし、ここで注意しなければならないことは、測定手法や測定精度である。地球の気温上昇については、本号「ネイチャーQ」で取り上げたように、100 年以上でわずか 0.7 度前後の温度上昇を議論することになる。その解釈の仕方によっては全く正反対の論者となる。最近の金融危機により、国内の CO2 排出量は前年比 6.4% 減であるが、それでも 13 億トン前後で推移している。この排出減少量が気温にどれほど影響するかは知る由もないが、寒暖に身を委ねるといった、自然との共生に決別したからには、少なくとも、多くの人々がわずかな省エネを行う、といった積み重ねがやはり必要に思われる。ここ 100 年の間に数回生じた大規模火山噴火による日傘は、都合よく期待できるもではなさそうである。

今回も考えさせられる記事が多く、皆様の議論のきっかけになれば幸いです。

花村 克悟 (東京工業大学)

Katsunori Hanamura (Tokyo Institute of Technology)

e-mail: hanamura@mech.titech.ac.jp

副会長 小澤 守 (関西大学)	部会長 花村克悟 (東京工業大学)
委員	
(理事) 石塚 勝 (富山県立大学)	加藤 泰生 (山口大学)
板谷義紀 (名古屋大学)	西村 伸也 (大阪市立大学)
深川雅幸 (三菱重工)	
(評議員) 白樫 了 (東京大学)	田崎 豊 (日産自動車)
齊藤卓志 (東京工業大学)	宗像鉄雄 (NEDO)
大村高弘 (ニチアス)	木下 泉 (電力中央研究所)
小原 拓 (東北大学)	
(オブザーバー)	
高松 洋 (九州大学)	
TSE チーフエディター 門出政則 (佐賀大学)	
編集幹事 石田賢治 (佐賀大学)	

編集出版事務局：

東京工業大学 機械制御システム専攻 花村克悟

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 11-24

Tel&Fax: 03-5734-3705, hanamura@mech.titech.ac.jp