

ISSN 0910-7851

Vol.37 No.146

伝熱研究

Journal of The Heat Transfer Society of Japan

ISSN 0918-9963

Vol.6 No.3

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

日本伝熱学会第37期（平成10年度）役員

会 長 副 会 長 理 事 (編集出版) 東 北 中国四国 (企 画) 北 海 道 (総 務) 東 海 監 評 員	長 (編集出版) (企 画) (総 務) 円 山 重 直 (東 北 大) 水 上 紘 一 (愛 媛 大) 渡 邊 激 雄 (中 部 電 力) 伝熱シンポジウム準備委員長・ 黒 田 明 慈 (北 大) 菱 沼 孝 夫 (北 大) 辻 俊 博 (名 工 大) 望 月 貞 成 (東 京 農 工 大) 山 本 春 樹 (旭 川 高 専) 中 部 主 敬 (京 大) 浜 辺 謙 二 (川 崎 重 工) 加 藤 征 三 (三 重 大) 中 村 泰 久 (東 邦 ガ ス) 中 山 顕 (静 岡 大) 松 田 仁 樹 (名 大) 稲 葉 英 男 (岡 山 大) 丸 山 茂 夫 (東 大) 菊 地 義 弘 (広 島 大) 田 中 収 (三 浦 研 究 所) 斎 藤 明 宏 (新 潟 工 大) 姫 野 修 廣 (信 州 大) 稲 村 隆 夫 (弘 前 大) 青 木 秀 之 (東 北 大) 瀧 本 昭 (金 沢 大) 吉 田 敬 介 (九 大) 中 島 忠 克 (日 立) 古 藤 悟 (三 菱 電 機) 西 野 耕 一 (横 浜 国 大) 井 上 剛 良 (東 工 大) 田 島 守 (神 奈 川 大) 一 宮 浩 市 (山 梨 大) 飛 原 英 治 (東 大) 加 藤 泰 生 (山 口 大) 鈴 木 祐 二 (東 工 大) 石 塚 勝 (東 芝) 栗 山 雅 文 (山 形 大) 吉 田 英 生 (東 工 大) 馬 場 弘 (北 見 工 大)	黒 崎 晏 夫 (電 気 通 信 大) 荒 木 信 幸 (静 岡 大) 柘 植 綾 夫 (三 菱 重 工) 飯 田 嘉 宏 (横 浜 国 大) 部 会 長 関 西 熊 田 雅 弥 (岐 阜 大) 平 田 雄 志 (阪 大) 小 澤 由 行 (高 砂 熱 学) 部 会 長 九 州 北 陸 信 越 西 尾 茂 文 (東 大) 井 村 英 昭 (熊 本 大) 竹 内 正 紀 (福 井 大) 菱 田 公 一 (慶 大) 岡 崎 健 (東 工 大) 満 洲 邦 彦 (東 大) 大 隅 正 人 (三 洋 電 機) 堀 政 義 (石 播 重 工) 宗 像 鉄 雄 (工 技 院 機 械 研) 勝 田 正 文 (早 大) 奥 山 邦 人 (横 浜 国 大) 本 出 知 宏 (福 岡 大) 鶴 田 隆 治 (九 工 大) 村 田 章 (東 京 農 工 大) 小 林 健 一 (東 工 大) 鳥 居 修 一 (鹿 児 島 大) 窪 田 英 樹 (室 蘭 工 大) 矢 部 彰 (工 技 院 機 械 研) 大 河 誠 司 (東 工 大) 山 脇 栄 道 (石 播 重 工) 小 林 信 雄 (トヨタ自動車) 長 坂 雄 次 (慶 大) 原 村 嘉 彦 (神 奈 川 大) 池 上 康 之 (佐 賀 大) 千 田 二 郎 (同 志 社 大) 小 松 源 一 (姫 路 工 大) 福 山 佳 孝 (東 芝) 小 熊 正 人 (石 播 重 工) 中 込 秀 樹 (東 芝) 菱 田 誠 (千 葉 大) 神 永 文 人 (茨 城 大) 加 藤 健 司 (大 坂 市 大) 桑 原 啓 一 (石 播 重 工) 松 尾 篤 二 (三 菱 重 工) 平 澤 茂 樹 (日 立) 伊 藤 正 昭 (日 立) 長 崎 孝 夫 (東 工 大)
---	---	--

「Thermal Science and Engineering」

チーフエディター

小 竹 進 (東 洋 大)

伝 熱 研 究

目 次

〈新旧会長挨拶〉

会長就任のご挨拶 — 新分野における伝熱主導型の新技術の創成に期待 —

.....	第37期会長	黒崎晏夫 (電気通信大学)	.....1
会長退任のごあいさつ	第36期会長	長島 昭 (慶應義塾大学)	.....2

〈顕彰〉

名誉会員の顕彰	副会長	飯田嘉宏 (横浜国立大学)3
---------	-----	---------------	--------

〈第10回日本伝熱学会賞〉

第10回日本伝熱学会賞の報告	.....	藤田恭伸 (九州大学)	.....4
第10回日本伝熱学会学術賞を受賞して	.....	円山重直 (東北大学)	.....6
日本伝熱学会技術賞を受賞して	.....	渡邊激雄 (中部電力)、松井皓 (神鋼テクノ)、 岩本剛 (トーエネック)、松出則典 (元エナジーサポート)	.....8

〈随想〉

伝熱学と伝熱技術	小林清志 (豊田工業大学)10
----------	-------	---------------	---------

〈第35回日本伝熱シンポジウム〉

第35回日本伝熱シンポジウムを振り返って	準備委員長 藤田秀臣 (名古屋大学)12
----------------------	-------	--------------------	---------

〈会議報告〉

沸騰および凝縮熱伝達のフィジックスに関する国際シンポジウム

(1997年5月21～24日, ロシア・モスクワ) の印象

.....	深野徹 (九州大学工学部機械工学科)、大田治彦 (九州大学工学部機械エネルギー工学科)14
-------	---	---------

〈特集：最近の燃焼技術あれこれ〉

特集〈最近の燃焼技術あれこれ〉の編集にあたって

.....	第36期編集委員会	青木秀之 (東北大学大学院工学研究科化学工学専攻)	.....16
		五十嵐喜良 (東北電力株式会社火力部)	
最近の天然ガス燃焼技術	.....	雫石伸 (東京ガス株式会社エネルギー事業部)	.....17
コージェネレーション用排気再燃焼技術の開発	.....	小倉啓宏、田中康郎 (大阪ガス (株) エネルギー技術部)	.....24
低NO _x 蓄熱式バーナシステムの開発	.....	中川二彦 (川崎製鉄 (株) 水島製鉄所設備技術部 熱・流体研究室)	.....33
製鉄所における酸素利用の燃焼技術	.....	鈴木豊、岡田誠司 (住友金属工業 (株) 総合技術研究所)	.....40

広幅鋼材加熱炉のための純酸素燃焼技術の開発 村上英樹、齋藤俊明、林順一（新日本製鐵（株）プロセス技術研究所）、 長谷政孝（新日本製鐵（株）プラント事業部）	48
加圧型内部循環流動床ボイラの開発とガス化炉への展開 橋本裕（（株）荏原製作所環境開発センター 環境エネルギー 開発部）	54
セメント製造装置への燃焼シミュレーションの応用 佐藤昌弘（出光興産株式会社、石炭研究所）、氏川淳一（秩父小野田株式会社、技術部）	60

〈提案：「伝熱研究」の編集方針〉

「伝熱研究」の編集における問題点	第37期編集出版部会長 熊田雅弥（岐阜大学）	66
「伝熱研究」と「TSE」	小竹進（TSE チーフエディター）	68
企業の研究者・技術者からの「TSE」論文投稿	小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所）	70
「日本伝熱学会」に求めること	西尾茂文（東京大学）	75

〈論壇：「熱」に係わる科学・工学と研究・開発の新展開に向けて〉

〈論壇：「熱」に係わる科学・工学と研究・開発の新展開に向けて〉の編集にあたって 小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所）	79	
「熱」に係わる科学・工学における新しい分野の開拓 「燃焼・ふく射」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて	花村克悟（岐阜大学）	81
「二相流」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 芹澤昭示（京都大学大学院工学研究科）	83	
「冷媒・冷凍」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 勝田正文（早稲田大学理工学部機械工学科）	86	
「生体・代謝」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 谷下一夫（慶応大学）	91	
技術開発から見た「熱」に係わる基礎研究への期待 「空調」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割	蛭子毅（ダイキン工業）	95
「半導体製造」に係わる温調機器の開発における基礎研究の役割	門谷暁（コマツ）	98
「蓄熱」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割	渡辺裕（東芝）	103
「伝熱問題に関する未成功研究のまとめ」 「伝熱研究の光と影」－研究に関して思うこと;気楽にのびのびと、そして個人的に－ 庄司正弘（東京大学）	106	
「熱」に係わる技術開発・基礎研究の融合に向けての提言	中原崇文（愛知工業大学）	109
「熱」に係わる研究・開発における失敗の克服に向けての一提言 小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所）	111	

〈世界のホットユース〉

メリーランド大学を訪問して	長谷川雅人（筑波大学大学院工学研究科）	118
---------------	---------------------	-----

〈委員会報告〉

大学と企業の研究交流推進への提案 － FILGAP 委員会報告－ FILGAP 委員会委員長 松尾篤二（三菱重工）	121
--	-----

〈フロンティアフォーラム〉

The Frontiers Forum 熱・流動におけるスケール効果 準備状況と開催のご案内.....芹澤昭示 (京都大学)、西尾茂文 (東京大学)、石塚勝 (東芝) 片岡勲 (大阪大学)	125
The Frontiers Forum 「分子伝熱のフロンティア研究」準備セッション報告.....井上剛良 (東京工業大学)、丸山茂夫 (東京大学)、小原拓 (東北大学)	126

〈行事カレンダー〉	127
-----------------	-----

〈社団法人日本伝熱学会第36期(平成9年度)総会議事録〉	128
------------------------------------	-----

〈お知らせ〉

日本伝熱学会東北支部第37期秋期伝熱セミナーのご案内	130
第9回東海伝熱セミナー「熱工学分野における数値解析の活用と今後の発展」	131
「中国四国伝熱セミナー・大洲」のご案内	132
流体科学シンポジウム「スーパーコンピューティングと計算流体科学」	132
第36回燃焼シンポジウム論文募集	133
NO.98-33 講習会 熱工学的設計の最適化—その原理と電子機器冷却設計への応用	133
可視化情報学会 全国講演会('98三重)のお知らせ	134
分子伝熱懇話会(富山)クラスター・核・薄膜・界面にかかわる分子熱流体現象	134
Microscale Thermophysical Engineering Workshop in Kyongju	135
Engineering Foundation Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries	137
「研究会」の設置申請募集のご案内	137
日本伝熱学会学会賞制度の改訂について	138
「学会賞基金」へのご寄付に対するお礼とご報告	140
東洋大学工学部機械工学科教員公募要領	140
「伝熱研究」会告の書き方	141
「伝熱研究」原稿の書き方	142
事務局からの連絡	143
日本伝熱学会、正会員学生会員入会申込み、変更届用紙	144
日本伝熱学会、賛助会員入会申込み、変更届用紙	145

インターネット情報サービス

- <http://htsj.mes.titech.ac.jp/htsj.html>
最新の会告・行事の予定等を提供
- htsj-info@mes.titech.ac.jp
最新の情報を電子メールで受け取りたい方のための電子メールアドレスの登録受付
- htsj@mes.titech.ac.jp
事務局への連絡の電子メールによる受付

Journal of The Heat Transfer Society of Japan
Vol.37, No.146, July, 1998

CONTENTS

<New and Former Presidents' Addresses>

- Wishing Prosperous HTSJ -Expectation of Creation of Heat Transfer Oriented Technology in New Fields-
Yasuo Kurosaki (The University of Electro-Communications) 1
- On Retiring from the President
Akira Nagashima (Keio University)..... 2

<Awards>

- Awards of Honorary Members
Vice President, Yoshihiro Iida (Yokohama National Univ.) 3

<Heat Transfer Society Awards>

- On Selection of the 10th Heat Transfer Society Awards for Scientific Contribution and Technical Achievements
Yasunobu Fujita (Kyushu Univ.) 4
- On Receiving the 10th Heat Transfer Society Award for Scientific Contribution
Shigenao Maruyama (Tohoku University) 6
- On Receiving Heat Transfer Society Award for Technical Achievements
Choyu Watanabe (Chubu Electric Power), Hiroshi Matsui (Shinko Techno),
Tsuyoshi Iwamoto (TOENEC) and Norifumi Matsuda (formerly Energy Support) 8

<Essay>

- Thermal Science and Engineering
Kiyoshi Kobayashi (Toyota Technological Institute) 10

<The 35th National Heat Transfer Symposium of Japan>

- Looking back upon the 35th National Heat Transfer Symposium of Japan
Chairman Hideomi Fujita (Nagoya Univ.) 12

<Report>

- Impression of "International Symposium on the Physics of Heat Transfer in Boiling and
Condensation", Moscow, Russia, May 21-24, 1997
Tohru FUKANO (Dept. Mechanical Engineering, Kyushu University)
Haruhiko OHTA (Dept. Energy and Mechanical Engineering, Kyushu University) 14

<Special Issue: Recent Progress and Future Development of Research on Advanced Combustion Technology>

Preface to Special Issue: Recent Progress and Future Development of Research on Advanced Combustion Technology	
Hideyuki Aoki (Department of Chemical Engineering, Tohoku University)	
Kiryō Igarashi (Thermal Power Engineering Department, Tohoku Electric Power Co., Inc.)	16
New Technologies for Natural Gas Combustion	
Shin Shizukuishi (Industrial Gas Sales Dept., Tokyo Gas Co., Ltd.)	17
Development of After Firing Burner Technology for Cogeneration	
Yoshihiro Kokura and Yasuo Tanaka (Energy System Engineering Department, Osaka Gas Co., Ltd.)	24
Development of Low NO _x Regenerative Burner System	
Tsuguhiko Nakagawa (Thermal & Fluid Technology Sec., Equipment Technology Dept., Mizushima Works, Kawasaki Steel Corporation)	33
Oxygen Combustion Technologies in Steel Works	
Yutaka Suzuki and Seiji Okada (Sumitomo Metal Industries, LTD., Corporate Research & Development Laboratories)	40
Development of Oxygen/COG Combustion Technology for a Wide Reheating Furnace	
Hideki Murakami, Toshiaki Saito and Junichi Hayashi (Process Technology Research Laboratories, Nippon Steel Corporation)	
Masataka Hase (Plant & Machinery Division, Nippon Steel Corporation)	48
Development of Pressurized Internally Circulating Fluidized-bed Boiler and development to Gasifier Technology	
Hiroshi Hashimoto (Environmental Development Dept., Environmental Technology Development Center, Ebara Corporation)	54
Application of Combustion Simulation to Cement Industry	
Masahiro Sato (Coal Research Laboratory, Idemitsu Kosan Co., Ltd.)	
Junichi Ujikawa (Technology Department, Chichibu Onoda Cement Corporation)	60

<Proposal: Editorial Guid-line for “Journal of the Heat Transfer Society of Japan”>

Questions in Compilation of “Journal of the Heat Transfer Society of Japan”	
Masaya Kumada (Gifu University)	66
Journal of the Heat Transfer Society of Japan” and “Thermal Science and Engineering”	
Susumu Kotake (The Chief Editor of T.S.E.)	68
Who, Belonging to a Corporation Shall Submit Papers to “T.S.E.” ?	
Yoshiyuki Kozawa (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)	70
What Shall We Anticipate for “the Heat Transfer Society of Japan” ?	
Shigefumi Nishio (The University of Tokyo)	75

<Paper Warfare: The New Horizon of Science & Engineering and Research & Development Concerned with “Thermology”>

Preface to Paper Warfare: The New Horizon of Science & Engineering and Research & Development Concerned with “Thermology”	
Yoshiyuki Kozawa (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)	79
<Cultivation of the New Horizon of Science and Engineering Concerned with “Thermology”>	
Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in “Combustion and Radiation”	
Katsunori Hanamura (Gifu University)	81

Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in “Two-phase Flow” Akimi Serizawa (Kyoto University).....	83
Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in “Refrigerant and Refrigeration” Masafumi Katsuta (WASEDA University)	86
Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in “Biological System” Kazuo Tanishita (Keio University).....	91
<Anticipation to Basic Researches Concerned with “Thermology”, from the View Point of Technical Development>	
Research Prospects Viewing from the Development of “Air-conditioning Machines” Takeshi Ebisu (Daikin Industries, Ltd.)	95
The Role of Basic Researches in the Development of Thermal Control Equipment for “Semiconductor Manufacturing” Kanichi Kadotani (Komatsu Ltd.).....	98
The Position of Basic Studies for the Development of Key-instruments and Key-system of Thermal Storage Systems” (Introduction of a New Concept Creates the Innovative World) Yutaka Watanabe (TOSHIBA Corporation).....	103
<Further Recommendation from Research Notes:“Still Unsuccessful Research on Heat Transfer Subjects.”>	
“Light & Shade in Heat Transfer Research” -Heart Transferred to the Research; in Comfort, at Ease, and with Personality- Masahiro Shoji (The University of Tokyo).....	106
Some Unconstrained Proposals for Liaison between Basic Research and Technical Development Concerned with “Thermology” Takafumi Nakahara (Aichi Institute of Technology).....	109
My Personal Opinion about ‘Aufheben’ of Blunders in Research & Development Concerned with “Thermology” Yoshiyuki Kozawa (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.).....	111
 <World Hot Youth>	
A visit to University of Maryland at College Park Masato Hasegawa (University of Tsukuba)	118
 <Committee Report>	
To Forge Industrial Liaison to Generic Academic Problems Tokuji Matsuo (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.).....	121
 <Frontier Forum>	
The Frontiers Forum, The scale Effects in Heat Transfer and Fluid Flow, The First Announcement Akimi Serizawa (Kyoto Univ.), Shigefumi Nishio (Tokyo Univ.), Masaru Ishizuka (Toshiba Co. Ltd) and Isao Kataoka (Osaka Univ.).....	125
The Frontiers Forum, Frontiers Research for Molecular Dynamics Heat Transfer Tsunayoshi Inoue (Tokyo Institute of Technology), Shigeo Maruyama (Tokyo University), Taku Ohara (Tohoku University).....	126
 <Calendar>	127
 <Record of the 36th Heat Transfer Society General Meeting>	128
 <Announcements>	130

会長就任のご挨拶

- 新分野における伝熱主導型の新技術の創成に期待 -

*Wishing Prosperous HTSJ**- Expectation of Creation of Heat Transfer Oriented Technology in New Fields -*

第37期日本伝熱学会会長

黒崎 晏夫 (電気通信大学)

Yasuo KUROSAKI (The University of Electro-Communications)

この度、第37期の日本伝熱学会の会長という重責を担うことになり、非才の身としましては、その責任の重さに身の引きしめる思いを致しております。しかし、お引き受けした以上は、理事・評議員の方々ならびに会員の方々のご支援を賜りながら、少しでも会員の皆様方に役立つ学会に発展させたいと微力ながらも全力を尽くすつもりであります。

伝熱の技術・研究が時代的流れの中でいかなる所に位置しているかを見てもみますと、現在は一つの曲がり角に来ており、私見ですが、第3ステージに入って居ると考えられます。第1ステージは、1950年頃までの伝熱の教科書も殆ど出版されて居らず、大学でも「伝熱工学」の名称の授業が殆ど無かった時代であります。その後、1960年代に入り、原子力エネルギー利用と宇宙開発を動機といたしまして、経済発展とともにエネルギー需要の増大と共に伝熱の研究はめざましい発展をとげてきました。日本においては、伝熱技術の研究は二度の石油ショックを乗り越える大きな力となったわけがあります。伝熱の基本的現象は解明され、教科書も多く出版され、大学でも「伝熱工学」の授業が開かれたのがこの時代であります。1990年頃までに伝熱は学問として成熟しその地位を確立しました。この当たりで第2ステージがおおよそ完了したと思えます。1990年頃より第3ステージの展開に入り、伝熱技術のこれまでの成果は、他分野への浸透とその応用技術への発展となっているのが現在の状況と私なりの判断をしております。たとえば、環境問題、

また機械工学の中でも伝熱とは一番離れた位置に居たと考えられていた生産技術、エレクトロニクス、全く新しいバイオ・医工学、マイクロスケール伝熱、分子伝熱などがあります。従って、伝熱技術の研究はエネルギーに関連した研究が主流でありましたが、その広がりは大変大きくなっております。

さて、ここで、他分野に進展していった場合に伝熱技術はいつも縁の下の力持ちだけで若い人たちに魅力がないのではないかと言う心配の声も聞いております。しかし、私自身は、楽天的かも知れませんが、あまり心配しておりません。他分野へ発展していった場合にも、最初は縁の下の力持ち的存在かも知れませんが、従来の考え方の延長線上では考え付かなかったような伝熱オリエンテッドのアイデア・技術、すなわちその分野で伝熱主導型の新しいテクノロジーが芽生え始めるし、現在すでに芽生えていると確信しております。

今後、伝熱学会はこれらの多くの分野の伝熱に関連する方々に参加いただき、いろいろのアイデアを出し合ってお互いに切磋琢磨できるような学会になることが求められ時代となってきています。

このように伝熱技術・研究が時代と共に変革しており、伝熱学会もそれなりの変革を受け入れなければ成らないと思えます。本会のあり方についても、いろいろな事項について検討を加えていかなければ成りません。是非とも会員の皆様方のご支援・ご協力をお願い申し上げます次第であります。

会長退任のごあいさつ

On Retiring from the President

第36期日本伝熱学会会長

長島 昭 (慶應義塾大学)

Akira NAGASHIMA (Keio University)

この1年、円安や株価の下落が毎日のようにニュースの中心で、国際政治もインド・パキスタンの核実験や米中の駆け引きが伝えられ、だれでも変化の時代であることを痛感させられます。しかし科学技術の世界は、経済や政治の世界以上に時代の変化の波にさらされています。社会における科学技術への信頼感の変化、研究者の関心分野のめまぐるしい変動、卑近な問題では産業応用のニーズの分野変動、制度的には日本の大学や国立研究機関などの学術研究体制の改編、そして情報手段の変化による研究手法の変化など、かなり本質的な変化があります。さて、そのような時期に、伝熱学の世界はどのような変化に直面していて、どのように対応すればよいのでしょうか？ 過去1年間には、以上のような目標設定や研究インフラ整備などの問題では、伝熱学会自身もまだ模索の時期にあると思われま

す。また社会的ニーズとしては、やはりさまざまな環境問題、環境の計測、制御、予測などへ、伝熱学の寄与を強く求められていると思います。個々の研究者や技術者が、すべて環境問題にかかわる必要はありません。バランスのとれた学問研究の発展には、まるで気体分子が飛び回るように、個人レベルの研究がさまざまな方向を向いて行われていることが健全であり、強みでもあります。しかし、学会全体のレベルでは話が別で、ニーズを見きわめて、多数の研究成果の脈絡形成や集約の使命があるように思います。さらに、このような“複雑”問題にブレークスルーを見いだすことが期待されています。今の社会的ニーズの強い総合的な問題には、広い意味で伝熱学のかかわる課題が多く含まれており、伝熱学会は貢献するチャンスに恵まれています。

上に触れたことを外的な要因とすると、一方では研究者や技術者の内的な要因があります。まったく個人の興味からも進歩していくのが科学のひとつの特質で、伝熱学でもその特質は同じであると思いま

す。この1年で面白い問題の掘り起こしに学会がどのように貢献できたかという問題があります。面白さといっても多様ですが、現象の興味としては例えば混相流など複合系の現象、“ぬれ”の問題のような界面現象、相変化にからむ現象をはじめ、まだまだ多くの問題がありましよう。研究手法の興味としては、新しいセンサーなど計測技術、各種のシミュレーション技法、微小重力実験など、そして結果の応用の興味としては小は半導体技術から大は宇宙技術などさまざまです。以前の超伝導フィーバーのような、そして伝熱分野では臨界点付近の沸騰現象のような、みんなが熱に浮かされた興奮状態になる現象の発見が最近はやや途切れています。このような面で学会はどういう役割を果たすべきでしょうか。いろいろな学会一般にいえることは、意外な発見の場が減っていることで、学会としてのこれからの大きな課題となっていると思います。伝熱学会もフィーバーの場の提供に工夫をこらすことが必要でもあり、可能でもあります。

学会として会員に対して、そして社会に対して何をしなければならぬか、何ができるかを考えているうちに、1年経ってしまいました。会長をおおせつかった身としては、答えを見いだせず申し訳ない気持ちですが、一生の宿題かとも感じております。伝熱学の目標設定には多くの会員が真剣に関心を持たれ、中には心配をされている会員もあって、ご意見をうかがうことも多くありました。しかし私には、以上のような一端からも学会としての今後の余地が大きいことがわかるように、危機感よりはむしろ楽観的であります。これからの学会役員の方々のご努力に期待すると同時に、伝熱学会の発展を願っております。任期を終えるにあたり、36期の副会長をはじめ理事の方々、事務局の方々に心から感謝申し上げます。

顕 彰

名誉会員の顕彰

Awards of Honorary Members

副会長 飯田 嘉宏 (横浜国立大学)

Vice President, Yoshihiro IIDA (Yokohama National Univ.)

平成10年5月28日に名古屋国際会議場にて開催された、社団法人日本伝熱学会第36期(平成9年度)総会におきまして、下記の方々が特別名誉会員または名誉会員としてそれぞれ顕彰されました。また、同5月29日開催の第37期第1回理事会におきまして、名誉会員の内2名の方が特別名誉会員として推薦されました。

本顕彰は、本会定款第3章第6条(4)および本会名誉会員規程に基づき、本会の発展と伝熱工学の進展に大きく貢献された方々のご功勞とご功績に感謝すると共に、各位のますますのご活躍を祈念して行われたものです。

ここに謹んでご報告する次第です。

【特別名誉会員】

岡垣 理、
三石信雄、

岐美 格、
猪飼 茂、

二神浩三、
李 澤植

南山龍緒、

(順不同、敬称略)

【名誉会員】

藤本哲夫、
金山公夫、

千葉孝男、
小笠原光聡、

田中 修、
中山満茂

吉岡啓介、

(順不同、敬称略)

なお、名誉会員候補の推薦にあたっては、平成7年12月16日の第34期第3回理事会において一部改正された名誉会員規程が適用されていることを付記します。

第10回日本伝熱学会賞

第10回日本伝熱学会賞の報告

*On Selection of the 10th Heat Transfer Society Awards
for Scientific Contribution and Technical Achievements*

第36期日本伝熱学会表彰選考委員会

主査 藤田 恭伸 (九州大学)

Yasunobu FUJITA (Kyushu University)

学術賞 (森康夫元会長の拠金による)、技術賞 (天野工業技術研究の拠金による)、および奨励賞 (Wen-Jen Yang ミシガン大学教授の拠金による) について公募を行った。応募のあった学術賞5件、技術賞3件、奨励賞7件に対して所定の手続により慎重に審査を行い、各賞を下記のように決定しました。なお、賞の贈呈式は、5月28日に名古屋市で開催された総会において実施されました。

代表研究者：渡邊 激雄 氏 (中部電力)
共同研究者：松井 皓 氏 (神鋼テクノ)
岩本 剛 氏 (トーエネック)
松田 則典 氏 (エナジーサポート)

本システムは河川水などの未利用エネルギーを活用した高効率の熱供給システムで、成績係数は夏期冷房の平均で5.6、冬季暖房で4.6に達し、従来の空気熱源の熱供給システムに比較し、消費電力の低減効果はそれぞれ45%と39%に及んでいる。河川への冷温排水の影響の小さいことも実証しており、本システムの実用化は電力負荷平準化や地球温暖化対策にも寄与し、技術賞に値する。

1. 学術賞

- (1) Radiation Heat Transfer of Arbitrary Three-Dimensional Absorbing, Emitting and Scattering Media and Specular and Diffuse Surface

掲載論文：第31回日本伝熱シンポジウム講演論文集

J. Heat Transfer, Vol.119, 1997

代表研究者：円山 重直 氏 (東北大学)

共同研究者：相原 利雄 氏 (東北大学名誉教授)

本研究は鏡面や散乱面などの複合放射面で構成された任意形状の放射空間を対象に、散乱生放射性ガスが存在し、かつ熱的条件が分散した複雑放射系の伝熱計算手法を、放射有効面積や減衰形態係数などいくつかの独創的な概念を導入して提示している。実用の計算手法として有効性に富み、放射伝熱が問題になる工学事象の解明や工業技術の開発に寄与するところが極めて大きい。よって学術賞に値する。

2. 技術賞

- (1) 河川水利用スーパーヒートポンプシステム

掲載論文：Proc. 3rd KSME/JSME Thermal Engineering Conf., Vol. II & III, 1996

3. 奨励賞 (順不同)

- (1) 生体凍結過程における組織サイズの効果

掲載論文：第33回日本伝熱シンポジウム講演論文集

日本機械学会論文集、B編、63巻612号、1997

研究者：白樫 了 氏 (東京大学)

本研究は単一細胞について、凍結前処理として不可欠な凍害防御剤溶液への浸漬および凍結の最適条件を、細胞サイズを生死の評価パラメータとし、凍害防御剤溶液濃度と温度を変数としたマップ上で提示する計算方法を提案している。そして最適条件から凍結保存可能な最大の組織サイズを明らかにしており、未解決の大型組織細胞の凍結-解凍条件の最適化への今後の展開が期待できる。

- (2) 噴霧気流中におかれた細線まわりの着氷挙動と着氷限界熱流束

掲載論文：第33回日本伝熱シンポジウム講演論

文集

研究者：麓 耕二 氏（釧路工業高等専門学校）

本研究は細線を用いた独創的手法により、着氷のメカニズムと着氷の発生しない最小の加熱による着氷防止条件を明らかにしている。すなわち氷層の成長と気流温度や速度との関係、氷層の成長方向と成長速度や着氷限界熱流束と気流温度の関係、着氷限界熱流束の決定法を確立するなどしており、これらは今後の着氷研究への貴重な指針を与える価値ある成果であり、発展が期待される。

(3) 放電によるメタン改質の研究

掲載論文：第 34 回日本伝熱シンポジウム講演論文集

研究者：小川邦康 氏（東京工業大学）

本研究は放電反応によりメタンと水からメタノールを効果的に生成するため、沿面放電を利用した常

圧定常流動過程の反応機構を実験と理論から検討している。放電はメタンと水をそれぞれ CH_3 と H , OH と H に一定割合で分解するとして、生成物のメタノールとエタンの時間変化を理論計算し、メタノールを有効に生成する条件を検討している。放電によるメタン改質の今後の発展が期待される。

(4) 光熱変換機構の量子分子動力学的研究

掲載論文：第 34 回日本伝熱シンポジウム講演論文集

研究者：芝原 正彦 氏（大阪大学）

本研究は光照射による物質の熱変化と解離現象を量子分子動力学的手法に基づいて考察し、照射光のいかなる特性が照射を受けた系の分解や蒸発などの状態変化、温度上昇に寄与するかを検討している。そして照射光エネルギーの違いが異なる作用を経て、系の熱運動変化を引き起こすことを明らかにしている。得られた成果は光と物質の相互作用における光特性依存性解明への展開が期待される。

第10回日本伝熱学会学術賞を受賞して

*On Receiving the 10th Heat Transfer Society Award
for Scientific Contribution*

第10回日本伝熱学会賞

円山 重直 (東北大学)

Shigenao MARUYAMA (Tohoku University)

日本伝熱学会第36期総会において、日本伝熱学会学術賞を頂き、共同研究者の相原利雄東北大学名誉教授と共に光栄に感じております。受賞にあたり、ご尽力頂きました皆様方に心より御礼申し上げます。

受賞対象の論文は、Radiation Heat Transfer of Arbitrary Three-Dimensional Absorbing, Emitting and Scattering Media and Specular and Diffuse Surfaces, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 119, pp. 129-136, (1997). で、第31回日本伝熱シンポジウムで講演した内容をまとめたものです。

この場をお借りして、この研究に至った経緯とこれからの展開を述べさせて頂きたいと存じます。

プロローグ

大昔の話で恐縮ですが、私は大学院の研究で翼理論と実験を行いました。理論的研究では当時パネル法と呼ばれていた境界要素法を使って任意形状の翼形の数値計算を行っていました。

伝熱の研究に移ったとき、研究対象とする物体の形状が単純形状に限定されていたのに違和感を感じたのを覚えています。流体工学では効率や抵抗の計算に高い精度が求められるのに対して、伝熱では対象とする現象が複雑なために形状による性能の推定にそれほど高精度は計算ができないためでしょう。

当時の伝熱では、単純な形状の実験式や推算式から伝熱量の推定をすることが主流でした。有限要素法やCFDのように一つの手法で全ての伝熱を計算出来る手法がないものかと考えるようになりました。手はじめに等温黒体間のふく射伝熱について研究しました。複雑形状物体にふく射有効面積を導入することによって、任意形状3次元等温

黒体のふく射伝熱を簡易に推算する手法を考えました。この研究は、日本機械学会奨励賞を頂きました。

しかし、等温黒体の仮定が適用できる場合はそれほど多くないので、灰色体の任意形状物体のふく射伝熱を対象とする汎用計算法への適用を試みました。しかし、形態係数の推算や伝熱計算の手順が煩雑となります。特に、テキストに述べられている電気回路とのアナロジーは、電気が嫌いな私にとって、アナロジーではなくアレルギーでした。

そこで、形態係数の計算に当時盛んに使われ始めたコンピュータグラフィックの光線追跡手法を導入することによって、形態係数の計算を汎用化しました。さらに、物体面の反射を拡散反射と鏡面反射に分けて、吸収形態係数と乱反射形態係数を新たに導入することによって、任意の鏡面・拡散面の伝熱計算が行列計算をすることで簡単に求められることが明らかとなりました。

流体の境界要素法でも、ふく射の場合と同様に積分方程式系となり、同様な行列表計算をする場合があるので、このようなアプローチを取ることになったのかもしれませんが。

この手法は、シリコン結晶のように鏡面を持つ物体のふく射伝熱の解析に使用され、チョクラルスキー法やゾーン法による単結晶製造プロセスの複合伝熱解析に使用され始めています。

光線放射モデルによるふく射要素法

光線追跡法の特性を考えると、図1に示すように、物体表面の乱反射成分はふく射性媒体の等方散乱成分に対応し、物体面の吸収成分はふく射性媒体の吸収成分、鏡面反射成分はふく射性媒体を透過するふく射性成分に対応することが分かります。

つまり、鏡面・乱反射面間のふく射伝熱問題と等方性散乱媒体を含むふく射性媒体のふく射伝熱は等価であることが明らかとなりました。この等価性によって、ふく射性媒体の伝熱解析が物体面間の伝熱手法と同様に吸収形態係数と乱反射形態係数の導入によって容易に出来ることとなります。

さらに、等温黒体で導入したふく射有効面積を物体面要素とふく射性媒体を含む体積要素に導入することによって、物体面とふく射性媒体とを統一的に取り扱うことの出来る解析手法を開発しました。図 2 はその手法を適用した計算モデルで球形空洞を含むふく射性媒体の 1/8 モデルです。この手法はふく射性媒体要素と面要素が同一に取り扱えるので、境界に完全鏡面を配置することによって、対称性のある物体の計算要素を減らすことが出来ます。このように非構造格子のふく射要素に適用でき、有限要素法の格子分割ツールを使うことが出来ます。

この手法は原理的にはゾーン法の拡張ですが、ふく射性要素と面要素を統一的に記述して、任意の熱流束または温度分布を与えることが出来ます。この計算手法の講演をしたときに、ある先生から「この手法の名前はありますか」と聞かれたので、その後、「光線放射モデルによるふく射要素法」
「Radiation Element Method by Ray Emission Model; REM²」または「ふく射要素法」と名付けています。

エピローグ

受賞対象の論文では、ふく射性媒体は等方散乱で灰色（ふく射特性が波長によらず一定）である

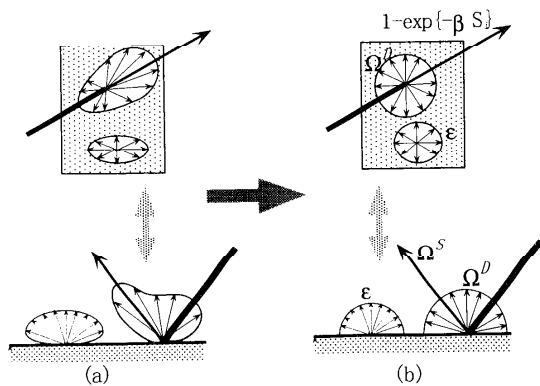


図 1 ふく射性媒体の散乱と物体面の反射とのアナロジー

と言う仮定が必須でした。しかし、このような仮定が適用できる場合も少ないので、現在「ふく射要素法」は非等方散乱性媒体にも適用可能となっています。

また、二酸化炭素や水蒸気のように、吸収特性が波長によって著しく変化する媒体に対しても実用的な波長分割数で計算することが出来るようになっていました。

当初のふく射要素法はスーパーコンピュータを対象にしていました。現在ではふく射性ガスと非等方散乱性媒体を含む約 1200 のふく射要素の形状で、温度分布が一様でない計算を 100 波長分割で実施した場合、ワークステーションで約 1 時間半の計算時間まで短縮しています。現在さらに計算時間を短くして、ふく射伝熱を含む複合伝熱の計算をワークステーションでも可能として行きたいと計画しています。

おわりに

任意形状等温黒体のふく射伝熱の研究を始めたのが 1986 年ですから、その概念をこつこつと発展させた研究で学術賞を頂くことが出来たのは大変幸せです。

しかし、本賞は、この賞を創設された森康夫先生をはじめ、推薦して下さいった方、それを選んで下さった方々のご理解とご支援なくしては頂けないものです。その意味でも、皆様のご支援に対し御礼申し上げます。

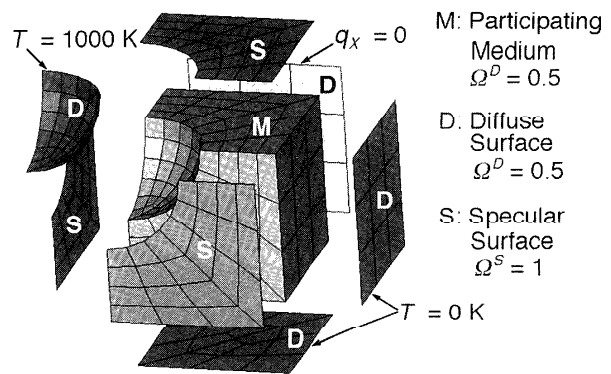


図 2 球形空洞を含むふく射性媒体の 1/8 解析モデル。

日本伝熱学会技術賞を受賞して

*On Receiving Heat Transfer Society Award
for Technical Achievements*

渡邊 激雄 (中部電力)、松井 皓 (神鋼テクノ)
岩本 剛 (トーエネック)、松田 則典 (元エナジーサポート)
*Choyu WATANABE (Chubu Electric Power), Hiroshi MATSUI (Shinko Techno),
Tsuyoshi IWAMOTO (TOENEC) and Norifumi MATSUDA (formerly Energy Support)*

1. はじめに

この度の日本伝熱学会技術賞の受賞に際し、ご推薦頂きました、選考委員会を始めとする日本伝熱学会の諸先生方に厚く御礼申し上げます。このような権威ある賞を賜り、受賞者一同、身に余る光栄と、大変感激しております。

2. 研究の経緯

通商産業省工業技術院ムーンライト計画の一環として推進されたスーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムのプロジェクトにおいて、新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) により、1,000kW級の高効率冷温兼用ヒートポンプ (以下、スーパーヒートポンプと呼ぶ。) が試作されました。今回の受賞の対象になった「河川水利用スーパーヒートポンプシステム」は、NEDO からスーパーヒートポンプの提供を受け、中部電力が未利用エネルギーである河川水を熱源とした空調システムを建設し、平成5年から平成7年まで実証試験を行ったものです。実証試験のサイトとなった中部電力の関係会社トーエネックの本店別館 (延床面積約14,000m²) は、この度の日本伝熱シンポジウムの開催された名古屋国際会議場の近くに位置します。実証試験は、研究主体である中部電力、空調システムの運転管理を行うトーエネック、スーパーヒートポンプを試作した神戸製鋼所および河川水熱交換器の汚染防止装置の開発を行ったエナジーサポートにより進められました。また、当時、河川水の熱利用という前例がほとんど無かったため、許可者である愛知県、認可者である建設省を始めとする関係諸機関の方々に大変お世話になりました。

実証試験の成果は、平成8年10月に韓国の慶州で行われたJSMEとKSMEの共催による第3回熱工学会議において次の3件のテーマで発表しました。

①Verification Test Results of Super Heat Pump System Using River Water as a Heat Source

②Verification Test Results of Ozonization System for River Water Heat Exchangers

③Thermal Diffusion of Warm or Cold Water Discharge from Heat Pump System Using River Water as a Heat Source

3. 研究の内容

河川水利用スーパーヒートポンプシステムのフローを図1に示します。スーパーヒートポンプは、アルミプレートフィン式高性能凝縮器・蒸発器を用い、非共沸混合冷媒を水やブラインと対向流で熱交換することにより、いわゆるローレンツサイクルを形成し、通常のスクリュウヒートポンプに比べてCOP (熱出力/電気入力) を50~70%向上させることができます。しかし、実負荷条件でのスーパーヒートポンプの性能、耐久性を検証しなければなりません。また、大気に比べ、夏は冷たく冬は暖かい河川水をスーパーヒートポンプの熱源として用いれば、COPの向上が期待できます。しかし、熱源水やビル地下の蓄熱槽の冷温水などの搬送系、熱源水や冷温水と間接的に熱交換するためのプレート式熱交換器などを含めたシステム全体のCOPを向上させるためには、スーパーヒートポンプの性能特性を考慮しつつ、搬送動力を低減しなければなりません。通常、河川水熱交換器にはスライムと呼ばれる粘着質の生物皮膜が付着し、熱通過率の低下と圧力損失の増大を生じますので、そのための対策もしなければなりません。さらに、河川水は冷房運転時に5℃昇温されて排出され、暖房運転時に5℃降温されて排出されるため、その拡散範囲を予測するとともに実験値と比較しなければなりません。

2年に亘る実証試験により得られた河川水温度

とCOPの関係を、夏季冷房運転の場合、図2に、冬季暖房運転の場合、図3に示します。6月から9月までの冷房期間の平均ではヒートポンプのCOPは6.4、システムのCOPは5.6となり、12月から3月までの暖房期間の平均ではヒートポンプのCOPは5.0、システムのCOPは4.6となりました。システムのCOPを同じ規模の空気熱源スクルーヒートポンプシステムのCOPと比較すると、冷房期間で65%、暖房期間で81%も高いことがわかりました。また、スーパーヒートポンプの耐久性は全く問題の無いことや今回開発したオゾン水循環による河川水熱交換器の汚染防止装置の効果が素晴らしく、10年程度は熱交換器のメンテナンスが不要と推定されました。

さらに、マルチレベルモデルによる冷温排水の拡散シミュレーションを行い、測定値と比較しま

したが、計算値と測定値は良く一致し、1℃水温変化範囲も5~10mと極めて小さいことを確認しました。

4. おわりに

本システムを現在計画中の海水や下水を熱源として利用する地域熱供給システムに適用することにより、大幅な省エネルギーを可能にし、二酸化炭素の排出を低減できることから、地球温暖化抑制に大きく貢献できると考えます。尚、中部電力はスーパーヒートポンプの技術思想を継承し、新冷媒R407Cとチタンプレート式凝縮器・蒸発器を採用した、安価でコンパクトな商品機「ウルトラハイエフ」の開発に成功しました。この成果は今回の日本伝熱シンポジウムや付設展示会のブースでもご紹介しました。今後のシステムではこの商品機を利用して行きます。

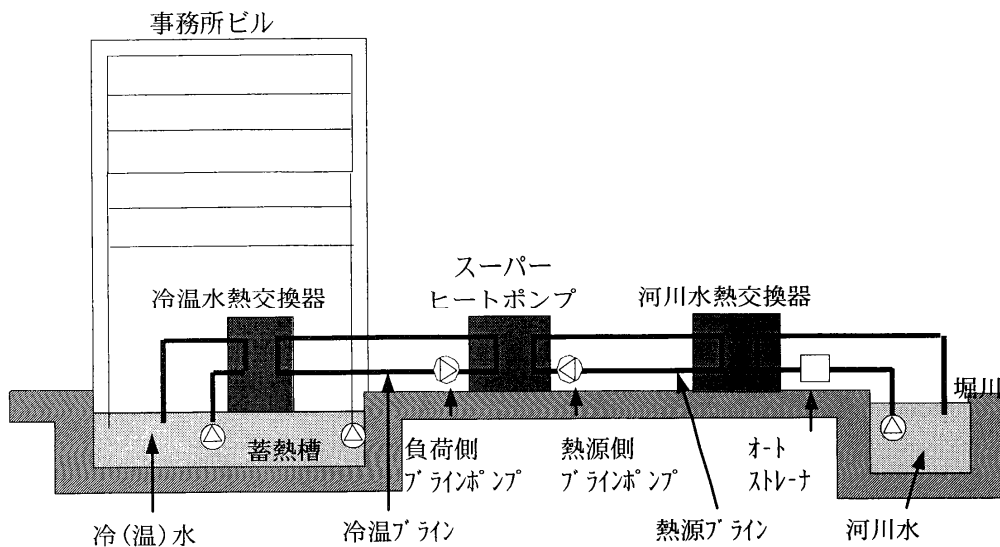


図1 河川水利用スーパーヒートポンプシステムのフロー

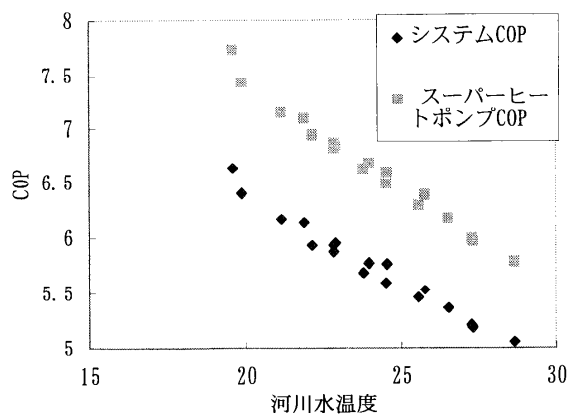


図2 河川水温度とCOPの関係 (夏季冷房運転)

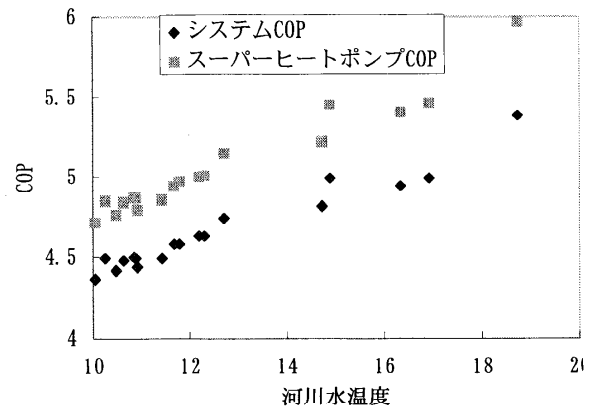


図3 河川水温度とCOPの関係 (冬季暖房運転)

伝熱学と伝熱技術

Thermal Science and Engineering

小林 清志 (豊田工業大学)

Kiyoshi KOBAYASHI (Toyota Technological Institute)

伝熱学と伝熱技術

「科学・技術」か「科学技術」かの議論が、今なお行われているのを耳にする。一つの「・」の有無に関して主義主張の異なる識者の論争が続いている。前者は科学と技術は異質なものであり、明確に分けられるものであるから、「・」が必要であると言い、後者は分ける必要のない一体同質なものであると、説く。応用技術的なものの中に、新しい原理の存在する場合があります、それを発見追求することによって、素晴らしい創造が生まれることも、少なくないから「・」は不要であると主張する。

どちらに軍配を上げるかは別として、この場合科学という言葉は原理的、基礎的内容の意味合いが強く、技術という言葉には多分に応用的、開発的内容の色彩が濃いことは、当然のことながら否めない。

ところで「伝熱学」は会誌「伝熱研究」に現れるような、いわゆる熱移動全般に関する基礎的学問体系であるとし、その成果を応用して一つの製品開発に、繋がる、あるいは繋げる種類のものを、伝熱技術と呼ぶことにする、とすれば両者はあたかも前述の科学と技術の関係と類似であると言える。

伝熱学の進展は伝熱技術の発展とともに

伝熱学及び伝熱技術上で見るべき成果を上げていくものは数多くあると思われるが、それにしても一般的には伝熱学、伝熱技術は地味で主役的存在の影が薄い、と言われる。

すでに伝熱学会の先輩諸兄がこの種の問題について、考察し論じているが、抜本的解答はみられない。

まず第一に強い必要性が欲しい。この点に関しては企業の手がけている課題の中には、強い必要性に裏打ちされた問題があり、是が非でもと難題を解くうちに、創造性を誘う珠玉が潜んでいる場合がある

と言われる。

これは絶好の機会なのであるが、伝熱学をひもとき、研究をして伝熱技術の発展に寄与すれば自ずから伝熱学の進展にも貢献することになる。

しかし、伝熱学を専門に研究する企業の人が少ないのではないだろうか。問題に遭遇したら、ハンドブックで間に合うと考えている層が多いのではなからうか。勿論そういう場合もないとは言えないが。

因みに今年5月名古屋で開催された第35回日本伝熱シンポジウムでは発表総数489件のうち約90%が大学、公的機関からの発表であって、残り約10%が企業からの発表であった。これはいささか淋しさを感じる。

今更論ずるまでもないが、一般に企業は必要性を持った多くの問題を抱え、大学、研究所側は、種子的課題と同時に研究推進手段を持っているであろう。学会で両者が接触し、融合することは大きな意義がある。したがって、やはり企業からの発表はもっと多くて、しかるべきものと考えられる。

従来の成果の一例

エネルギー消費のあるところに、伝熱現象は必ず随伴し共に重要な役割を演じているにも拘わらず、その研究すなわち伝熱研究は、地味で縁の下の力持ちとか脇役であると、と言われる。しかし振り返ってみると、目立たないところで結構大きな成果をあげてきている、と私は考える。そんな例を若干拾い上げてみよう。

元々ボイラの中の沸騰の関連で、戦前からこの種の研究が行われ、我が国においても有名な抜山四郎先生の優れた研究があった。しかし、沸騰水型原子炉の開発に関連して、米国とくにアルゴンヌ国立研

研究所を中心として、沸騰及び二相流の精力的な研究が行われ、原子力発電所建設に大きな力となったことは衆知のとおりである。

さらに我が国においても、沸騰の研究は活発に行われ、立派な成果が上げられていることは、よく知られているところである。

そして伝熱技術側の必要性から基礎的な伝熱学の振興をもたらし、現在もなおこの種の研究は活発に行われ、伝熱シンポジウムに華を咲かせている。現象論的に多くのことが明確になったばかりではなく、伝熱設計に十分答えられるようになった。

また、一例としてヒートパイプも伝熱学から生まれた伝熱技術と考えてよいであろう。実在する高熱伝導度の物質を遥かに超える、見掛け上の高い熱伝導度が得られることも大きな魅力であって、応用の仕方によっては、思わざる大きな成果が期待できるかも知れない。この種の研究も伝熱シンポジウムを賑わしている。

伝熱学を振り返ってみると、当初は伝熱現象の分析、解明に力が注がれたが、その結果整った伝熱学の成果を基盤にして、一部は伝熱促進法の模索研究へと進み、それぞれの伝熱分野で実効ある成果を上げている。

伝熱促進法は伝熱技術上大きな影響を持つものであり、伝熱学の本来の一つの目標と見ることも出来る。今後も重要な位置を占めるようになるに違いない。

また、対流熱伝達にも幾つかの成果が見られるが、その内の一つとして熱交換器の小型化、高性能化、がある。地道な対流熱伝達の研究成果を積み重ねて、ルーバーフィン付き放熱器が賞用されている。これなども、伝熱促進法の一つの成果であろう。

自動車用放熱器は以前と比べて、その性能は数倍にも上昇しているといわれる。このため、エンジンの出力が倍増しているにも拘わらず、放熱器の前面面積はずっと小さくなっている。これなども知る人

ぞ知る成果であるが、一般にはあまり認識されているとは言えない。こんな処に脇役と言われる要因が、潜んでいるのではないだろうか。もっと大きく宣伝すべきであろう。

第一次及び第二次オイルショックの危機を日本は見事にくぐり抜けたが、その際の省エネルギー活動の大部分は、伝熱学を基礎にした省エネルギー技術(≡伝熱技術)の開発であった。各企業は推進グループを設置して、真剣に検討を行い、エネルギー節約のための投資額と節約エネルギー額とのバランスを考えながら、いわゆる省エネルギー技術の確立に挑戦していった。

一口に省エネルギー技術と言っても多種多様に涉るが、それぞれ主として伝熱学を駆使して、実用に結びつけているものと見られる。そしてこの種の技術が蓄積されて現在では、地球温暖化対策にも大きな底力となっている。

これも伝熱学と伝熱技術の成果であって、決して小さなものではない。おおげさかも知れないが、伝熱学と伝熱技術は、国の危機を救い、これからの地球温暖化対策にも一役買おうとしている。

脇役脱出の好機？

地球温暖化対策、二酸化炭素削減問題が、真剣な問題として間近に迫っている。この問題の主要部分は省エネルギー技術に掛かっている。そして省エネルギー技術は、燃焼学と共に伝熱学及び伝熱技術に大きく依存している。

すでに我が国では、ある程度基盤ができているが、さらなる展開のために伝熱学と伝熱技術が一層の活躍の場を必要とされるに違いない。まさに出番が到来していると見たい。

画期的な本命としての省エネルギー技術が確立され、世界が注目するに値する効果を示した時、明確に脇役を脱出出来るかも知れないと期待したいところである。

第35回日本伝熱シンポジウムを振り返って

Looking back upon the 35th National Heat Transfer Symposium of Japan

準備委員長 藤田 秀臣 (名古屋大学)
Chairman Hideomi FUJITA (Nagoya Univ.)

第35回日本伝熱シンポジウムは、平成10年5月27日(水)から29日(金)の3日間にわたり名古屋国際会議場において開催され、1000余名という多数の参加者を得て無事終了できた。名古屋での伝熱シンポジウムは、第4回、11回、19回、27回について5度目になる。19回と27回は愛知厚生年金会館で開催されたが、最近の講演数の増加傾向から判断して、より多くの講演室が用意できる会場を探した。事実、今回の講演件数は、特別セッションの展望講演を含めて489件で、これまで一番多かった一昨年の新潟を約50件上回った。このため、講演室も2桁の10室にせざるをえなくなった。

名古屋国際会議場の1号館は平成元年に開催された世界デザイン博覧会の主会場であったが、建物すべてが完成したのは平成6年の秋である。以前は野木場で、会場の東側を流れる堀川は、名古屋城の築城に際して材木や石材などを運搬するために掘られた運河である。会場はゆったりしており、周辺も広々としていて参加者の評判も良かったようである。しかし、会場費が、世間一般としては随分お値打ちとのことであるが、本学会にとっては決して安くはないことをはじめ、近くに食堂やレストランが少ないこと、懇親会を会場内で開催すると割高になるなど、準備委員会としては問題点もあった。

今回のシンポジウムでは、幾つかの新しい試みを取り入れた。報告を兼ねてその特徴などを若干説明させていただく。

第1の特徴は、東海支部として支部の総力をあげて準備に当たったことである。これは、「昨今の伝熱シンポジウムは規模が非常に大きくなり、1研究室中心の運営は限界にきている。」、「学会の法人化に伴う新しい支部が最近(平成7年9月18日設立)発足したのだから、支部として準備するのが望ましい。」などの理由による。

講演の申込先と参加費の振込先、さらに論文原稿の送付先がすべて異なっていたように、比較的独立している作業ごとに8部会を設け、具体的な作業は各部会におまかせする分業方式を採用した。部会長の所属は6大学にわたり、準備委員も総勢約40名におよび、まさに東海支部を挙げての準備委員会となった。新しい試みであったが、準備段階から終了まで、大きなトラブルもなく非常にスムーズに運営でき、部会長はじめ各準備委員のご協力に対し深く感謝している次第である。

第2の特徴は、インターネットの活用を前提として当初から準備を進めたことである。上述の分業方式がスムーズに機能できたのも、インターネットの存在が大きいが、特に今回は、シンポジウムの案内、連絡はもちろんのこと、講演申し込みもインターネットの利用を第一にかかげて申込者のご協力をお願いした。結果はインターネットによる講演申込が8割以上にも達し、かなりの省力化ができた。皆様のご協力に感謝申し上げますとともに時代の趨勢をあらためて認識した。

サーバーからの自動応答により、申込内容を直ちに確認でき、また誤りの訂正も容易にできたので、申込者にも便利であったとうかがっている。会員から送られてきたデータは、プログラム部会担当の名古屋工業大学、論文集発行部会の岐阜大学、総務部会の名古屋大学の3者で同時に共有でき、データ管理の安全確保と作業の効率化を図ることができた。ホームページの作成と準備委員会内のネットワークの構築には、名古屋工業大学の服部博文技官に献身的なご尽力をいただいた。

3つめの特徴は、10年ばかり続いていた座長2名制を1セッションあたり座長1名に変更したことである。この変更は最近開催された準備委員会の関係者からのご注意によるところが大きい。たしかに、今回のセッション数は約110であるから、220名もの座長を選び、同じ時間帯に本

人や連名者の発表がないようにプログラムを組むことは極めて困難である。ただ今回は、久しぶりの座長1名制であったため、講演中の不測の事態に対応しやすいように、講演会場の各階にフロアー責任者を配置した。

新しい試みとして、伝熱シンポジウムでははじめて展示会を開設した。昨今のように講演件数が増加すると、多数の講演室を用意する必要があり、会場費が高くなる。もちろん、会場係をお願いする学生のアルバイト代をはじめ諸経費も増える。今回の展示会は、このような運営経費の増加に対処するために、準備委員会の企画部会において検討した結果、東海支部として企画したものである。講演会場の1階に専用の展示会室があったことや、展示を依頼する段階での多くの準備委員のご尽力、本部理事会のご理解など、良い条件が重なって無事に開設できた。展示会場が総受付のすぐ前という立地条件にも恵まれ、かなり多くの方が展示会室へも足を運ばれたのではなかろうか。出展者に対するアンケートの結果も概ね良好であった。

懇親会が、シンポジウムの講演会場から地下鉄で1駅とはいえ別会場での開催となったため、参加者にはご不便をお掛けした。しかし、これも少しでも経費を安くし、皆様のご負担を軽くしようとの配慮によっている。懇親会はシンポジウムにとって非常に重要な行事ではあるが、あまり派手にならず、本来の趣旨に添った会にしたいとの考えによる懇親会部会の苦心の結果である。

会期中には本部の企画部会（部会長：西尾茂文理事）の企画による行事も幾つか行われた。ここではプログラムに関係する事項について少しふれさせていただく。

まず、特別セッションについて、シンポジウムの中に5つのオーガナイズドセッションが企画され、それぞれに1室、半日を割り当てた。このうち3つは準備委員会が開催地の特徴を背景に企画し、残る2つは本部の企画部会で立案いただいた。いずれも、テーマは、企業の方に多数ご参加いただきたいとの主旨を念頭に置いて選ばれた。

レクチャーコースは、これまではシンポジウムの前日の午後で開催されたが、今回は第1日目の夜に変更された。これは、過去の実績を検討され

た本部企画部会長のご判断の結果だったと思うが、当日に参加を希望されて出席された方も多く、成功であったように拝見している。フロンティアフォーラム準備セッションも、レクチャーコースと同じ時間帯に、別の講演室で開催された。

総会は、従来2日目の午後一番に開催されることが多かったが、今回は、当日の夕刻に開催される懇親会が別会場であることや、国際セッションとの関係も考慮して、各講演会場ともに午後1セッションを終えた後の開催とさせていただいた。

国際セッションも総会に続いて同じ会場で開催できればと思ったが、講演数が多いことによる時間的制約と会場費の負担軽減をも勘案し、丁度1階下の講演室に場所を移し、2室並列の開催をお願いした。勝手なお願いをご承諾下さった西尾部会長はじめ企画部会委員に御礼を申し上げる。

今回のシンポジウムを準備するに当たっては、近年実施された準備委員会の皆様から、貴重な資料や有益なアドバイスをいただいた。また、長島会長、飯田事務担当副会長はじめ第36期理事会役員ならびに学会事務局の皆様からは、種々ご助言やお力添えをいただいた。深く感謝申し上げます。

故 大竹一友先生（元豊橋技術科学大学教授）には、不慮の航空機事故により昨秋逝去された。地元東海地区開催のこのシンポジウムにご出席いただけなかったのが真に残念である。あらためて大竹先生のご冥福を慎んでお祈りする。

[お願い] ほとんど毎回のようにはシンポジウム報告で指摘されていますが、今回も論文原稿が届いてみると、講演題目をはじめ著者名、所属などが、講演申込み時のものと異なっているものが非常に多かったようです。論文投稿者は、プログラムを訂正してもらわなくてもよいと思って気軽に、より正確な形に変更されているかもしれません。しかし論文集を作成する担当者は、より完全なものにしようと努力されます。今回も論文集発行部会の関係者には随分と余分の労力をお掛けいただいたようです。今後の準備委員会の方々の労力とご負担が少しでも軽減できればと思い、本稿でも皆様のご協力をお願いする次第です。

沸騰および凝縮熱伝達のフィジックスに関する国際シンポジウム
(1997年5月21～24日, ロシア・モスクワ) の印象

会議報告

Impression of "International Symposium on the Physics of Heat Transfer in Boiling and Condensation", Moscow, Russia, May 21-24, 1997

深野 徹 (九州大学工学部機械工学科)
大田 治彦 (九州大学工学部機械エネルギー工学科)

Tohru FUKANO (Dept. Mechanical Engineering, Kyushu University)

Haruhiko OHTA (Dept. Energy and Mechanical Engineering, Kyushu University)

新緑の季節となり、1年前の1997年5月21～24日にモスクワで開催された沸騰・凝縮熱伝達に関する国際シンポジウムのことが鮮明に思い出される。ずい分遅れた報告となるが、以下にこのシンポジウムを簡単にご紹介させていただく。

シンポジウム前日の午後モスクワの Sheremetyevo 空港に降り立ったとき、我々を驚かせたのは本会議の組織委員長 Academician A.I. Leontiev みずからが空港におもむき、到着スケジュールに合わせて個別に参加者を出迎えるという光景であった。会場は Olympian と称する場所であり、空港の近くの小さなビレッジに位置している。名前から想像されるように、モスクワオリンピック開催時には選手のトレーニング施設として使用されていたところであり、見渡すかぎり新緑の木々と野原が連なる美しい光景の中にあつた。会期中はここに滞在し、すべての食事もここでまかなわれた。

さてシンポジウムは Institute for High Temperatures および National Committee for Heat and Mass Transfer of the Russian Academy of Science の主催により行われた。同時にこの会議は、当該分野の International School-Seminar of Young Scientists and Specialists も兼ねており、ロシアの若手研究者の育成の場としても位置づけされている。また本シンポジウムは Russian Academy of Science の Academician A.I. Leontiev の功労を讃えた記念シンポジウムでもあつた。発表数は124件であり、一般講演 (keynote lecture を含む) の内訳は沸騰39件、凝縮13件、その他4件で、ポスターセッションは沸騰44件、凝縮14件、その他2件、記念講演は沸騰4件、凝縮2件、その他2件であつた。参加者数は計124名であり、その内訳はロシア100名、アメリカ合衆国7名、ウクライナ6名のほか、ベラルーシ、ラトビア、ドイツ、フランス、連合王国、イタリア、ポルトガル、ユーゴスラビアなどから若干名で、日本からは我々2名のみが参加した。

ロシアの研究状況に関しては、国際会議で発表される論文を除いては、わずかな雑誌のみを通してしか情報を得ることができないというのが実情である。受付で手にした論文集を見て、ロシアに現在も多数の沸騰研究が行われていることにまず驚いたというのが率直なところである。沸騰関係の発表論文を見ると、原子炉の冷却システムの事故を想定したと思われる非定常加熱を行った場合の過渡伝熱特性や多孔質面からの沸騰を取り扱ったものが目立つ。

オープニングセレモニーに続いて最初のセッションがスタートし、質疑応答のほとんどがロシア語で行われたことに戸惑いを感じたが、それ以降のセッションでは所定どおりの英語が使用された。日本からの参加者は我々のみであつたためか、模擬原子炉炉心のスパーサまわりのドライアウト現象、微小重力場のプール沸騰熱伝達に関する我々の講演には多くの研究者が集まり敬意を表してくれたが、責任の重さにいささか緊張した。ロシアの研究者にとって日本の研究状況は大関心事であるらしく、毎日食事をする際には、かならず比較的若いロシアの研究者が同席するというものであつた。国情からか研究機会、とくに実験を行う機会は十分とは言えず、若い研究者が能力を持て余しているように感じられてならなかつた。ポスターセッションも同時に行われたが、論文の原稿を拡大コピーするというのがむしろ標準であるらしく、これまでの国際会議でのロシアのポスターの展示光景が理解できた。

2日目の午後はセッションがなく、モスクワの市内見学ツアーが催されたが、我々は Moscow Institute of Chemical Mechanical Engineering の B.G. Pokusaev 教授の案内で別個に見学する機会に恵まれた。モスクワ市内は目下建設ラッシュという表現がふさわしく(昨年はモスクワ市が開かれて800年目)、観光客を招くために市の中央部の整備が急ピッチで行われていた。モスクワ市内の景観は1時間後には変化しているという教授の説明が印象に残った。

市内は活気に溢れており、日本で報道されているような治安上の問題などまったく感じなかったし、事実そうであるという。その後、市内にある Pokusaev 教授のセカンドハウスにお邪魔し、夕食をいただいたが、日本でも活躍されている画家のミセス Pokusaev のアトリエとして使用されているこの部屋は、古いビルの一角ではあったが、我々には大変贅沢に思えてならなかった。

最終日は Academician Leontiev を讃えた記念講演が開催されたが、海外からの多数のゲストスピーカーが、同時期にドイツ・バイエルン州で開催されていた沸騰関連の会議を終えて、急遽駆けつけ、一つのキャンセルもなく、すべて予定どおり講演が行われた。また、ロシアにおける熱流体研究の大御所の一人である Siberian Branch of R.A.S. の Academician V.E.Nakoryakov もお祝いの講演に駆けつけられたのをはじめ、この分野で著名なロシアの研究者はほとんど顔を揃えられた。

日本ではなじみのない習慣であるが、セッションごとに座長 2 名の推薦により印象に残った講演を各 1 件選び、閉会式の際にその講演者名が列举された。遠来の我々もその光栄に浴したが、そのことが 4 日間も連続して沸騰研究の講演に集中できたことによる満足感を一層高めた。

出迎えから、見送りに至るまで、ロシアの人々の親切さが身にしみた 5 日間であった。本報告がこれからロシアで開催される会議へ参加される方々への参考となり、今後のロシアと日本の研究の発展に少しでも寄与できることを願って止まない。



図1 組織委員長である Russian Academy of Science の Academician A.I. Leontiev



図2 Olympian 地区の会場まわりの景観

特集「最近の燃焼技術あれこれ」にあたって

特 集

*Preface to Special Issue: Recent Progress and Future Development of
Research on Advanced Combustion Technology*

第36期編集委員会

青木 秀之 (東北大学大学院工学研究科化学工学専攻)

五十嵐 喜良 (東北電力株式会社火力部)

Hideyuki AOKI (Department of Chemical Engineering, Tohoku University)

Kiryō IGARASHI (Thermal Power Engineering Department,

Tohoku Electric Power Co., Inc.)

近年、地球温暖化問題が着目され、CO₂排出量削減が叫ばれている。しかし、環境面で安全かつ実用的なエネルギー生産を行い、現在の生活水準を維持しようとするならば、人類は化石燃料の燃焼に頼らざるを得ないのが現状である。昨年京都で行われたCOP3において、日本は他国と比較して極めて厳しいCO₂排出量の抑制を約束した。日本は公害や石油ショックを経験し、先進的なエネルギー利用技術を開発して、世界をリードしている。その上での排出量抑制であるから、行政をはじめ各業界は、効果的な対策を早急に行う必要に迫られている。

発電設備をはじめとした工業炉のほとんどが、気体・液体・固体燃料の燃焼によるエネルギーを利用している。これら各種の工業炉における有効なエネルギー利用技術は、まさに伝熱の最前線であると考えられる。エネルギーの有効利用とともに、環境汚染物質排出量の抑制も同時に達成することが重要であることはいうまでもない。

ガスに関しては、どのように燃やしてもきれいに燃焼する燃料であると思われがちであり、学術研究においては応用研究よりも基礎研究が中心であった。しかし、CO₂排出量が少なく、環境特性に優れていること等により、今後とも発電等の分野でガス燃料への依存度が増加すると予想される。このため、より燃焼効率の高い新規の燃焼技術の開発が積極的に進められている。本特集にはそれらに関係した排気再燃焼技術、高温空気燃焼技術および酸素富化・純酸素燃焼技術が含まれている。

石炭の利用技術も最近のトピックスの一つである。石炭は埋蔵量や安定供給の観点からは極めて有望であるが、ガスや液体燃料と比較して難燃性でハンドリングの面でも不利であり、燃焼で生成する灰

の処理や燃焼で生成するCO₂排出量が多いといった問題がある。このため、灰処理等も考慮した様々な高効率石炭燃焼法の開発が積極的に進められている。

実機の開発に、近年欠かすことのできないのが、シミュレーション技術であると考えられる。コンピュータの発展とともに、ガス燃焼のシミュレーションから始まり、種々の燃焼器への展開が図られている。セメント製造プロセスもその一つであり、石油ショック以来、燃料を早期に重油から石炭に転換した経緯がある。各種産業廃棄物の積極的な利用を図る上でもセメントロータリーキルン内の現象解明への期待は大きい。

以上のように特集号としては、エネルギー消費量の大きな各種工業分野にわたる幅広いテーマとなっているが、学術的な内容とともに、広範囲な分野の次世代の燃焼を支える技術に対する様々な取り組みの最前線を会員の皆様にご理解いただき、本分野への伝熱研究者の積極的な展開を期待するのが本特集の目的である。このため、実際の装置の研究・開発に携わっている最前線の企業の方々にご執筆を依頼申し上げている次第である。

ご多忙かつ原稿の依頼からご執筆までのお時間が短いにもかかわらず、快く寄稿を承諾していただいた執筆者の方々に深く感謝申し上げます。また、本特集を企画するにあたって出光興産(株)の富永浩章氏、電力中央研究所の原三郎氏、日本ファーマ工業(株)の須田周作氏にお世話になりました。感謝申し上げます。また、東北電力(株)の高橋修一氏には編集その他様々なご助力を戴きました。ここに記しまして感謝申し上げます。

最近の天然ガス燃焼技術

New Technologies for Natural Gas Combustion

零石 伸(東京ガス株式会社エネルギー事業部)

Shin SHIZUKUIISHI (Industrial Gas Sales Dept., Tokyo Gas Co., Ltd.)

はじめに

現在、化石燃料の大量消費に伴う地球環境の破壊が大きな問題となり、CO₂を中心とする温室効果ガスの排出抑制が急務となっている。C/Hが比較的小さい天然ガスは化石燃料としてはCO₂の発生が少なく、その上S分やFuel NOxが無く、燃焼コントロールが容易である等のメリットがあるが、それでも尚一層の効率向上が求められている。

燃焼装置において、効率を高める最も汎用性が高い手法は、排気ガスによる燃焼用空気の前熱であるが、熱回収を進めるほど予熱空気温度の上昇によりNOx濃度が増加し、また、資源の有効利用や放射ロスの低減という観点から燃焼装置の小型化を図る場合にも、燃焼室負荷の増加によりNOxレベルが上がる傾向にある。燃焼関係の技術開発では、このトレードオフの問題を解決しなくてはならない。

加えて、燃焼装置を使うユザ（工場）にとっては、省エネルギー、低公害のみならず、生産性や品質の向上、合理化、人件費等を含めたトータルな省コストを出来るだけ安価な初期投資で実現することが課題となっている。

このような状況の中、ニーズに応えるべく最近実用化されつつある天然ガスの燃焼技術の幾つかを紹介する。

FDI (Fuel Direct Injection)
炉内燃料直接噴射燃焼

従来の低NOx燃焼法としては、排ガス再循環、水(蒸気)噴射、燃料または空気の多段燃焼、濃淡燃焼等が利用されているが、我々が600~1200℃の高温予熱空気で行った結果、低減率は50~60%程度であった。FDI燃焼は1987年に東京ガスが開発し、提案しているより効果的なNOx低減技術である。

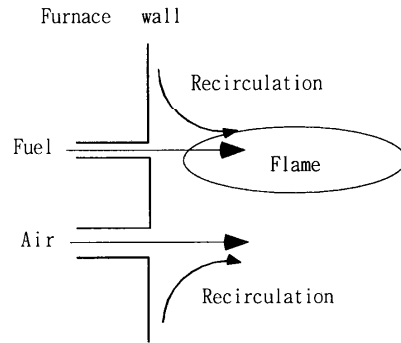


図1 FDI概念図

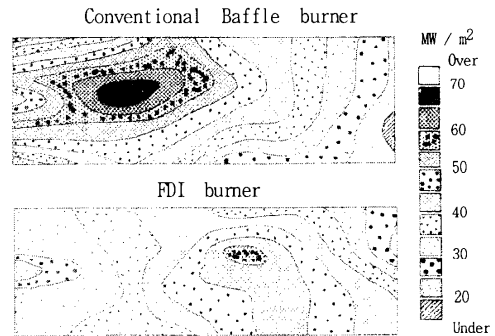


図2 FDIバーナ熱流束分布測定例

図1にその概念図を示す。FDIは燃料と酸化剤(空気や酸素)を隔離距離を設けて、高温の炉内にある流速以上で直接噴射し、燃焼させるというシンプルなものであり、従来のバーナタイプ内で燃料と空気を混合し火炎を安定させる燃焼とは全く異なる。(1)炉内空間に独立して噴射されるそれぞれの噴流がその噴出エネルギーによって炉内ガスの再循環流を駆動し、大量の炉内ガスを誘引し混合すること、(2)噴射された燃料が、予熱され一部クラッキングしカーボンを生成し、徐々に排気を含んだ空気と混合して炉内雰囲気等から着火エネルギーを受け燃焼することから、比較的局所高温の無いフラットな温度分布

を持つ火炎が形成され、サーマル NOx の生成が抑制される。

図 2 に保炎板を用いた通常バーナと FDI バーナの熱流束分布測定結果の一例を示す。図において左側がバーナ、右側が煙道側である。通常バーナでは、バーナ手前から火炎長約 1/3 程度の部分に高温部分が存在するが、FDI 火炎では比較的均一な熱流束分布となっており、火炎温度が平準化している。

FDI の NOx 低減性能を決定づける主なパラメータとしては、燃料および空気の (1) 噴出速度、(2) 噴出角度、(3) ノズル間隔、がある。図 3、4 にそれぞれ の関係を示す。噴出速度が速く、ノズル間隔が広く、角度が平行に近いほど NOx 低減効果がある。実際には、ノズル角度を外側に広げれば NOx はより下がるが、実用設備では CO 等の未燃分の排出もあることを考慮しなくてはならない。

本技術は、後述するリジェネレイティブバーナ、酸素燃焼のみならず通常のバーナにおいても効果があり、また燃料もガスのみ限定されず液体燃料においても大きな NOx 低減効果があることが報告されている。

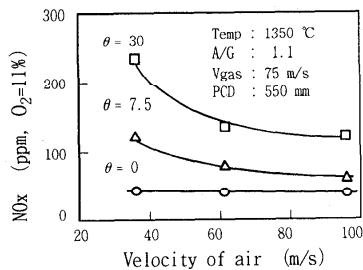


図3 FDIにおける空気流速の影響

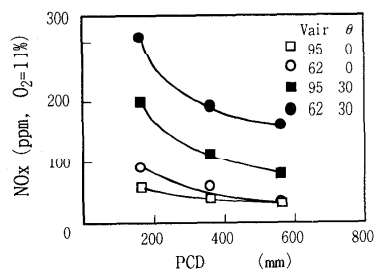


図4 FDIにおけるノズル間隔の影響

FDI リジェネレイティブバーナ

最近工業炉の分野で話題となっている燃焼技術に、リジェネレイティブバーナがある。本バーナは排気ガスと燃焼用空気を交互に通過させる流路を持ちその内部に蓄熱体を充填した蓄熱式熱交換器内蔵型バーナで、数十秒間隔で交互燃焼させることによって、排ガスの持つエネルギーを効率的に燃焼用空気に伝える。高温の予熱空気が得られ、熱交換効率が非常に高いことが特徴であり、圧延炉、鍛造炉等の鉄鋼加熱や熱処理炉、アルミ等の溶解炉に実績が増えている。基本的には図 5 に示すように、1 つの炉またはゾーンに複数台のバーナを設け、燃焼側で燃焼した後の排気ガスを対となるバーナで吸引する。

本技術の歴史は古く、1856 年ドイツで製鉄用に高温を得る燃焼技術として発明されたとされている。その当時は、蓄熱室が大きく、切替時間も長いものであった。現在でも、蓄熱室の大きさが 3~4 階のビル程、数十分間隔で切り換える方式がガラス溶解炉の多くに採用されている。このシステムを、20~30 秒程度の短周期とし蓄熱体にセラミックボール等を採用し初めて小型バーナ化したのが、BG plc と HOTWORK 社で開発された RCB (Regenerative Ceramic Burner) であり、1983 年のことである。

リジェネレイティブバーナの長所は、その大幅な省エネルギー効果と炉内の流れが交互に切替わることによる温度分布の改善であるが、一般に高温の空気予熱によって大幅な NOx 排出量の上昇を引き起こすことが課題であり、その解決が現在でも望まれている。

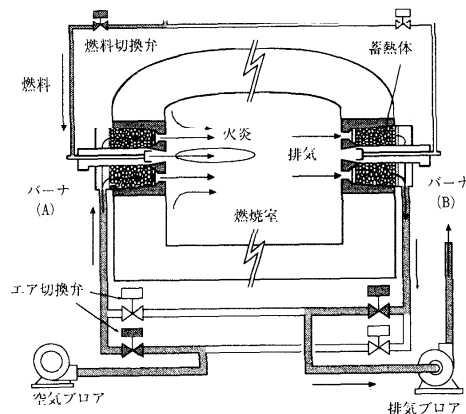


図5 リジェネレイティブバーナ概念図

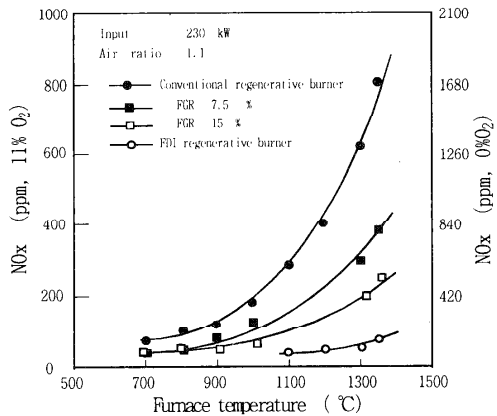


図6 FDIによるNOx低減効果

図6に従来のリジェネレイティブバーナにFDI用ガスノズルを両側に設置した場合のNOx排出量を示す。同時に、強制排ガス再循環(FGR)のデータも加えてある。バーナ両側に設置した燃料ノズルから流速100m/s程度でガスを噴射することによって、従来比1/10程度という大幅な低NOx化が図られている。

FDIのノズルはサイドもしくはセンターに設置することが可能で、それぞれ商品化されている。ちなみに、前者は1992年に実用化され、世界10カ国以上で300バーナ以上が稼働している。加えて、既存のリジェネレイティブバーナや予熱空気型バーナ等に単にFDIノズルを付加する簡単な改造で既存システムの低NOx化を行っている例もある。

また、後者の例としてはFFR(Full Time FDI Regenerative Burner)と言う商品名のバーナが発売されている。このバーナは図7に示すように、セラミックボールからなる蓄熱体の大部分を炉壁の厚さを利用し収納し小型化すると同時に、常時微小パ

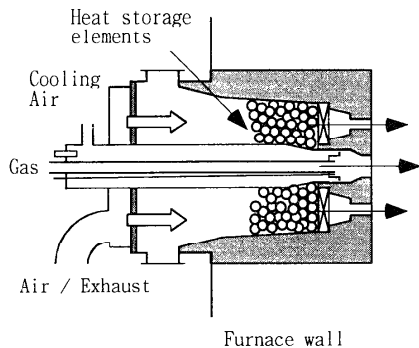


図7 FFR (Full time FDI Regenerative burner)

イロット炎を設け着火源とすることによってFDIによる低NOx効果を低温時においても得られるように工夫されている。

酸素燃焼

空気の代わりに酸素を酸化剤として用いる酸素燃焼は、高温が容易に得られる、排気ガスボリュームが減少し排気損失が軽減されかつ排ガス処理が容易となる、純酸素を用いれば理論的にはNOxの排出が無く、燃焼生成物中の水蒸気及び二酸化炭素分圧が上がりガス放射が高まる等のメリットがある。現在、欧米を中心に、ガラスや鉄の溶解等実績が増えており、また廃棄物の溶融等高温処理への応用も始まっている。加えて、将来のCO₂回収を考えても理論的にはCO₂とH₂Oのみの排気ガスは有利であるとも言える。

しかし、純酸素燃焼では基本的にN₂が介在しないため省エネとNOxゼロが同時に達成できると思われていたが、実際の炉では(1)炉内を外気と完全に隔離することが難しく、かつ、炉内の圧力を極端に上げられないことによる炉内への侵入空気(2)供給酸素中や燃料中に存在する窒素分(3)燃料噴霧や炉壁冷却に利用される空気の影響等によって炉内に窒素分が存在し、かなりの濃度のNOxが排出される。当社の実験炉での実験結果を図8に示す。液体酸素と天然ガスを用い、冷却用のエア等は用いていないため(2)、(3)の影響は無視できる。市販のノズルミックス酸素バーナでは、炉圧の低下に伴ってNOx排出濃度が増加し、通常空気燃焼とは単純比較できないが、炉圧0の場合空気比1.05の通常空気燃焼バーナに換算して450ppm(O₂=0%)程度と高濃度

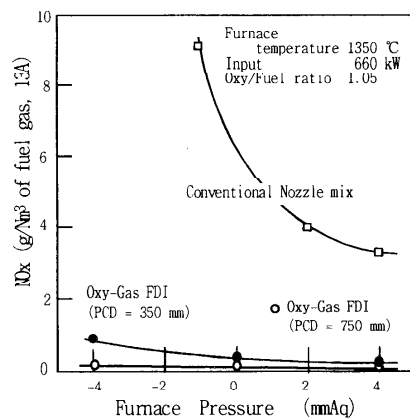


図8 酸素FDI燃焼のNOx低減効果

の NO_x が排出される。これに対してガスノズルの両端に酸素ノズルを配した単純な FDI 酸素バーナでも大幅な NO_x 低減効果が確認されている。

また、実用的には平均放射熱流束が高い低 NO_x バーナが望まれるが、酸素ノズル上下に配置した、FDI フラットフレームバーナの開発が報告されている。

メタルファイバーバーナ

赤外線ストーブ等に使われる表面燃焼バーナは、燃料と空気の予混合気をセラミック等の多孔体の表面付近で燃焼させることにより、バーナ表面からの放射と排気による対流加熱で加熱するシステムである。

しかしセラミック自体、耐熱性が高いが、機械的強度が低く割れやすい、大型化が難しい、また流れ方向の熱伝導率が比較的高く逆火の可能性がある等の問題がある。そこで最近開発されたのが、金属繊維を用いた表面燃焼バーナである。このバーナは、径数十 μ m の FeCrAlY 系等の耐熱合金繊維を積層プレス焼結したものや布状に編んだものであり、機械的衝撃に強く、曲げる、切断する等の加工しやすいものである。そのため、円筒形や円錐形等、被加熱物の形状に合わせてバーナを設計製作できる。

このバーナの表面燃焼負荷は広く、素材により若干異なるが、150~20,000 kW/m² 程度の範囲であり、負荷の増加に伴って、表面が均一な赤熱となる状態からブルーフレームへと変化する。赤熱域での燃焼範囲の例を図9に示すが、一般的なセラミック(シュバンク)バーナの実用域が60 kW/m² であるから、十倍近い高負荷燃焼が可能であり、設備の小型化に寄与する。また、バーナの表面温度 1150℃においてもスケール生成、溶損、金属繊維の剥離等が無く、炉温にして約1000℃まで使用可能である。

図10にその排気分析結果例を示すが、NO_x 排出濃度は実用的な赤熱領域においては数10ppm以下である。また、予混合燃焼であるから、空気比を増加させれば火炎温度が低下し NO_x は低減できる。

予混合バーナにおいては、逆火が懸念されるが、図11に示すように、表面温度が1150℃の場合においても、マット裏面の温度は200℃程度であり、予混合気其自然着火温度(天然ガスの場合、630~750℃)より十分に低く、逆火は起こらない。

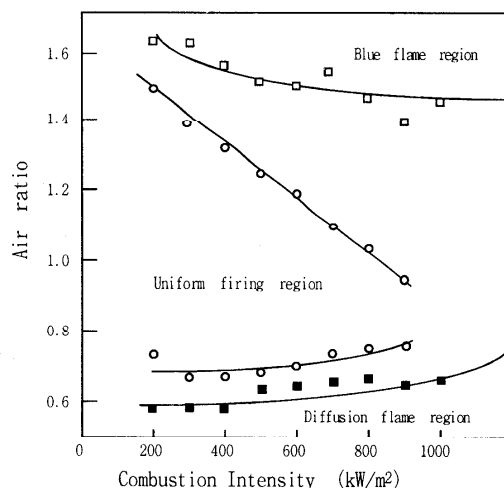


図9 メタルファイバーバーナの燃焼範囲例

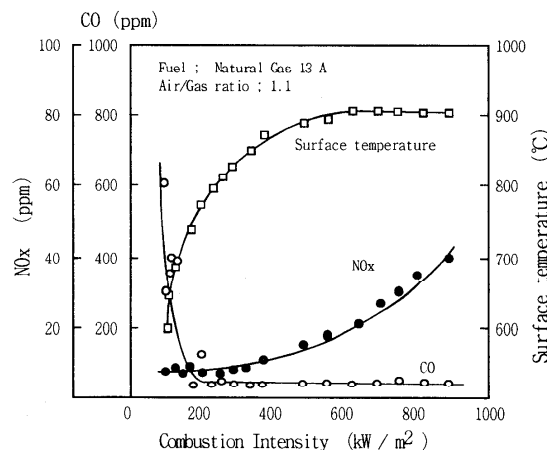


図10 MFBの排気分析結果例

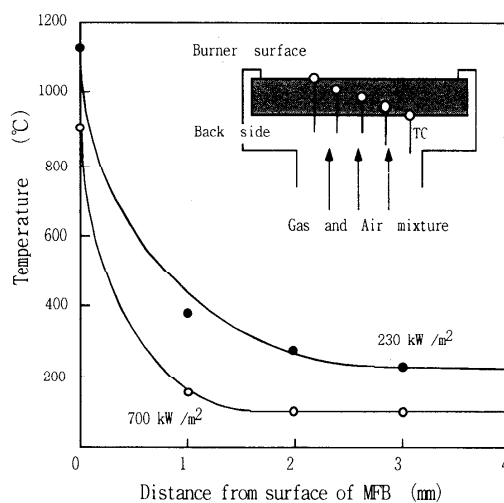


図11 MFBの流れ方向温度分布

本バーナの負荷を上げるとブルーフラームモードとなり、後述するボイラ等に应用されている。図 12 に示すように、マットに直径 1mm 程度の孔を 5mm 程度の等間隔で開け、気孔率を上げることによって燃焼範囲を拡大することができる。

ボイラ

今までのボイラは、水管、炉筒、貫流いずれにせよ、燃焼室が必要であり、火炎が直接伝熱面に触れないように設計されていたが、近年の小型化・低 NOx 化の要求を受け、新しい概念のボイラが開発・実用化されている。

図 13 にボイラ概念図を示す。平面状の火炎を形成するバーナの直後に水管群を設置し、火炎を強制的に冷却し NOx 生成を抑制すると同時に、今まで

の燃焼室を省くことにより大幅に小型化したものである。

予混合表面燃焼バーナであるメタルファイバーバーナを用いた、2 t/h 小型貫流ボイラでの試験結果を図 14 に示す。前列水管を設置することによって、NOx 排出濃度が約 1/3 へ低減していることが分かる。また、水管の位置はバーナに近いほど NOx は低い。実際に販売されているボイラでは、NOx は 30~35ppm (O₂=0%換算) 以下を保証している。

また、水管による火炎急冷により発生する可能性のある CO は 1500K 程度で最も消失時間が短くなるため、この温度に保持できる反応空間 (断熱空間) を設けて完全燃焼させた後、下流の水管群で熱を吸収している。図 15 に断熱空間での滞留時間による CO 排出濃度の変化を示すが、30msec 以上で十分 CO が消失している。

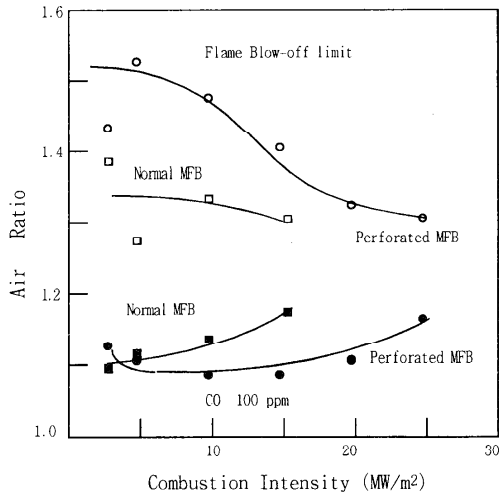


図 12 MFB 孔開けによる効果

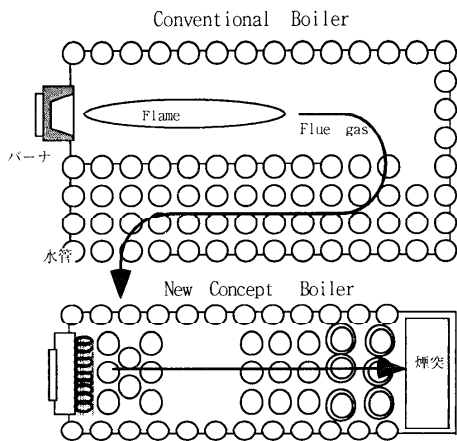


図 13 新ボイラ概念図

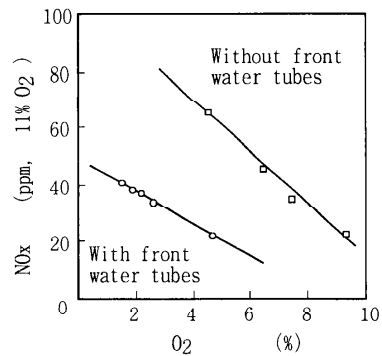


図 14 水管の有無による NOx 排出傾向

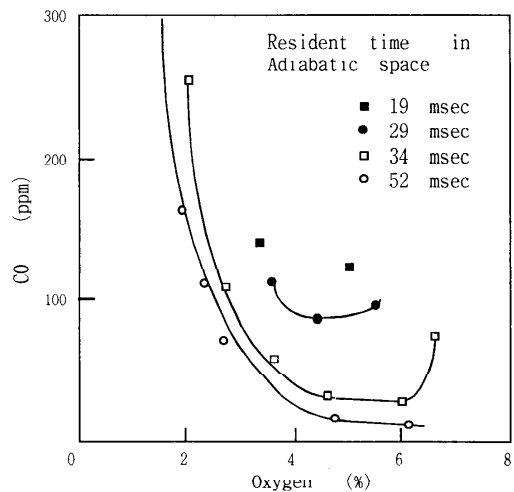


図 15 断熱空間における CO 消失

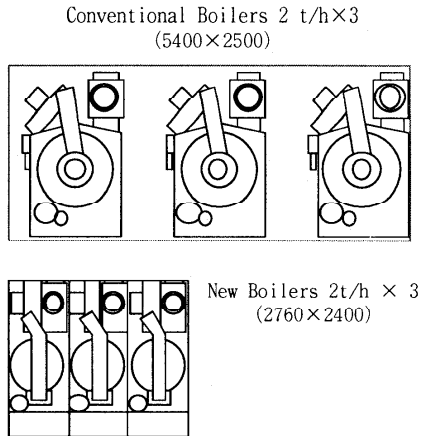


図 16 新ボイラ設置面積の比較

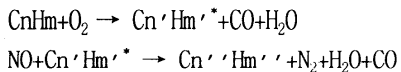
水管に直接火炎が衝突すると過負荷により水管が損傷することが懸念されるが、火炎から水管への熱流束分布を測定した結果、最も熱流速の大きい2列目水管においても、その値は 340 kW/m² 程度であり、一般的な限界値 1400 kW/m² と比べても十分に低く、また、長期フィールドテストの結果からも問題は生じていない。

このような構造を持つボイラは国内の数社から発売されている。図 16 に 2t/h × 3 缶の設置例を示すが、メンテナンスをボイラの前後で出来るよう工夫したこともあるが、設置スペースは約 1/2 程度となっており、国土の小さい日本では有効な技術である。

リバーン

リバーンとは、図 17 に示すように、ゴミ焼却炉等においてリバーンゾーンと呼ばれる1次燃焼室出口付近に燃料を吹き込み、炭化水素による還元作用で NOx を還元した後、下流のバーンアウトゾーンで未燃の CO 等を二次空気により完全燃焼させるものである。

リバーンゾーンでは、炭化水素と酸素が共存する条件下で以下の反応により NOx が還元されると言われている。



または

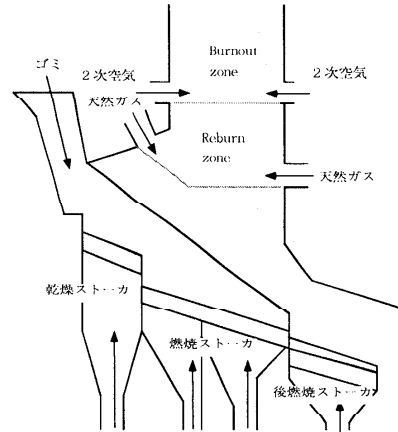
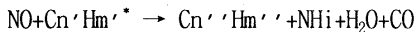


図 17 リバーン概念図

ここで、* は化学反応初期のラジカルを表し、式中の NH_i は N の化合物を代表して表している。このように、C_nH_m ラジカルによる NO の直接還元反応と N 化合物 (NH₃, HCN 等) への転換反応によって NO が分解される。

また、バーンアウトゾーンでは、適正な温度、滞留時間下で十分な酸素を供給することによって、以下の反応により未燃物質を完全燃焼させ、クリーンな排気として排出する。

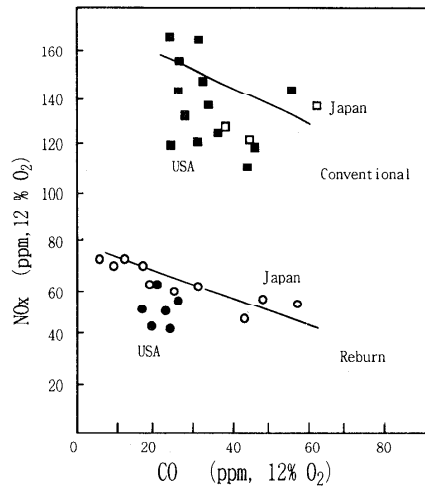
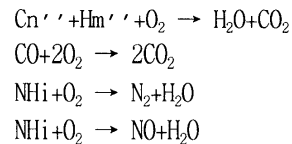


図 18 リバーン実証試験結果

実際の焼却炉において、天然ガスを用いたテスト結果を図 18 に示すが、NO_x、CO 共に大きく削減されているのが分かる。また、リバーンによってゴミ焼却炉の通常 1.7~2.3 の空気比が 1.4 以下に抑えられるため燃料を吹き込んでも排ガス量の削減が可能であり、またその熱量は廃熱ボイラによって効果的に回収できる。

また、ダイオキシン類の発生も、約 1/3 程度に低減されたとの報告もある。

おわりに

最近開発されているあるいは実用化されつつある効率の向上と低公害を両立させるガス燃焼技術の幾つかを紹介した。

FDI は非常に単純な方法ながら大幅な NO_x 低減効果が得られ、リジェネレイティブバーナや酸素燃焼はその優れた熱効率から高温炉を中心に普及していくと思われる。形状が自由で高温で使用可能なメタルファイバーバーナは、今まで難しかった燃焼加熱分野へ利用が進むと考えられ、このボイラは小型・低 NO_x を両立する新しい試みである。いずれの技術も比較的簡単なシステムで大きな効果が得られるものであり、日本のみならず世界中へ普及し、環境問題解決の一助となることを願っている。

しかし、これらの技術の普及には、用途の拡大とコスト面を含めた改良を進めることが必要であり、また最終的に、効率 100%、NO_x0%を達成するまで、開発は進められるだろう。

参考文献

- (1) T. Sugiyama etc, 9th Members Conference IFRF, 1988
- (2) 仲町他、日本機械学会熱工学部門講演会論文集、1990
- (3) 渡辺他、工業加熱、Vol. 30, No. 1
- (4) 仲町、燃焼研究 98 号、1994
- (5) Matusmoto etc, IFRF, 1995
- (6) John Newby etc, AFRC, 1997
- (7) Fujisaki etc, IFRF, 1998
- (8) 渡辺他、工業加熱、Vol. 32, No. 3
- (9) Morishita etc, IFRF, 1998
- (10) Kurimoto etc, IGRC 1992
- (11) Morita etc, IGRC 1995
- (12) Shizukuishi etc, IEA 1996

(13) 鈴木他、第 5 回環境工学シンポジウム

コージェネレーション用排気再燃焼技術の開発

Development of After Firing Burner Technology for Cogeneration

小倉 啓宏、田中 康郎 (大阪ガス (株) エネルギー技術部)
Yoshihiro KOKURA and Yasuo TANAKA (Energy System
Engineering Department, Osaka Gas Co., Ltd.)

1. はじめに

コージェネレーションシステムは、省エネ性・経済性・エネルギー源の多様化の点から注目をあび年々導入実績が増加し、国内では1998年3月末時点で民生用・産業用のガスタービン・エンジンの合計は2,539件430万kW⁽¹⁾に及ぶ。その中でも、都市域では、クリーンでありCO₂・NO_x削減に有効な都市ガス焚の導入が進んでおり、1998年3月末時点で906件119万kW⁽²⁾と国内の28%を占め、その内大阪ガス管内は58万kWに致った。

図-1にコージェネレーションシステムのシステム概要を示す。通常、ガスタービン排ガスの保有する熱は廃熱ボイラーにより蒸気として回収される。この排ガス保有熱量を増熱させて蒸気回収量を増大させるのがガスタービン追い焚きシステム・排気再燃システム（以下2つを合わせ排気再燃焼システムと呼ぶ）である。ガスタービンの排ガスは、酸素濃度13~15wet%、温度500~600℃であり、排気再燃焼システムでは、この排ガスのみを燃焼用空気として利用する。

排気再燃焼システムは蒸気消費量の多い化学や製紙業界では、

- (a) 排ガスのみで燃焼し、ボイラー効率を向上させるため、省エネルギーである。
- (b) 高温排ガスが得られるため廃熱ボイラーの設置面積を増加させることなく多量の蒸気を得る。

等のメリットから有効である。

大阪ガスでは、天然ガス焚コージェネレーションの拡大のため早くから、この排気再燃焼システムの普及に努力しており、ガスタービン排ガスを再燃焼させるバーナとして、追い焚きバーナと排気再燃バーナの2種を開発・実用化した。

本報告では、排気再燃焼システムの省エネルギー性・経済性を説明すると共に、これら2種類のバーナの構造、燃焼性能、NO_x性能を明らかにして、タービン排ガス再燃焼技術の現状を紹介

する。また合わせて、熱電可変型チェンサイクルガスタービンや希薄ガスエンジンに適應できる排気再燃焼バーナについても言及する。

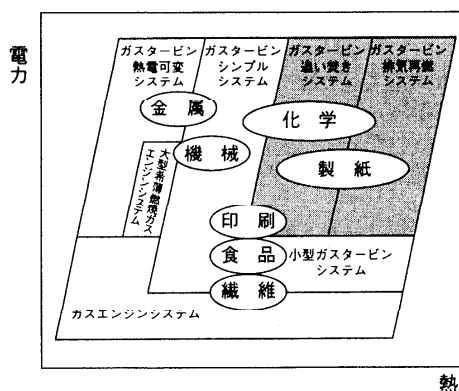


図-1 コージェネレーションのラインナップ

2. 排気再燃焼システムの概要

開発した2種のバーナの特徴を表-1に示す。追い焚きバーナは、ダクトバーナ形式で、新設のボイラシステムに対応し、ターンダウンが広いという利点があり、1990年以来既に25基が稼働している。排気再燃バーナは、ボイラ風箱に取り付け可能なバーナで、ボイラ出口の残存酸素濃度が3wet%まで燃焼可能なため、追い焚きバーナの2倍の蒸気量が得られる。また、空気燃焼が可能のため、ガスタービン定検時にはボイラ単独運転が可能である。なお、排気再燃バーナは、既設ボイラにも適用できるため、発電ボイラを改造し、ガスタービンを組み合わせる産業用リパワリングシステムにも対応できる。

1) 安定燃焼性について

図-2に示す様にガスタービン排ガスの成分は温度が500℃~600℃で酸素濃度は13~15wet%である。この低酸素の排ガスを燃焼用空気として燃焼させ、しかも、一定量の排ガス中でバーナのター

表-1 排気再燃焼バーナの特徴

	追い焚きバーナ	排気再燃焼バーナ
システムとバーナ	<p>追い焚きバーナ (1,020kW)</p>	<p>排気再燃焼バーナ (8,700kW)</p>
特徴	ダクトバーナ形式で新設ボイラに適用 25基が稼働中	ボイラ用バーナの為、新設、既設ボイラに適用 通常エア運転にも対応（廃熱ボイラと同容量） 3基稼働・4基計画中
メーカー	中外炉工業(株)	ボルカノ(株)

ンダウンをとれる様にバーナ構造を検討・開発した。その結果、図-2に示す様にタービン排ガス温度が500℃の時酸素濃度は13wet%以上、酸素濃度が14wet%の時、温度は400℃以上の条件で追い焚きバーナ・排気再燃焼バーナとも空気を追加せずに安定燃焼できるので、ほとんどすべての産業用ガスタービンに本バーナは適用可能である。

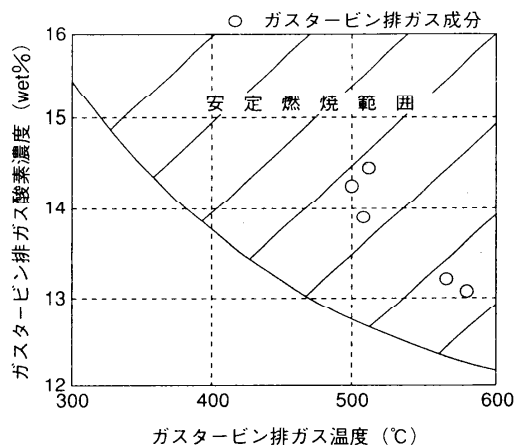
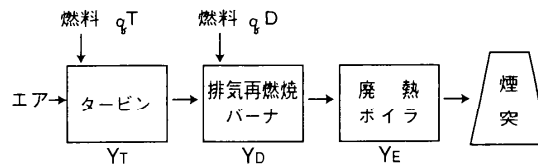


図-2 安定燃焼するガスタービン排ガス温度・酸素濃度範囲

2) NOx特性について

天然ガスとタービン排ガスの混合を抑制し、緩慢燃焼させることにより、NOx値は、60ppm (O₂=0%、タービン排ガスO₂=14wet%、500℃) 以下を達成した。

なお、図-3に示す様に排気再燃焼システムにおけるトータルのNOx値はガスタービンからのNOx値と追い焚きバーナからのNOx値の各々の燃焼量の比例配分した値として表わされる。実際は、ガスタービンと排気再燃焼システムトータルのNOx値を測定し、計算によりバーナからのNOx値を求めている。



$$Y_E = Y_T(1-a) + Y_D \cdot a \quad \text{ここで } a = \frac{q_D}{q_T + q_D}$$

Y_E: 廃熱ボイラー出口NO_x濃度 (O₂=0%)
 Y_T: ガスタービン出口 ()
 Y_D: 排気再燃焼バーナ ()

図-3 排気再燃焼システムにおけるNOx排出量

3. 追い焚きバーナの特徴

1) バーナ構造

図-4にバーナの構造を示す。

バーナはダクト型式でガスヘッダーにはガスノズルを多数配列し、高いガス圧力を利用して高速で噴出させ、ウイング内に導入されたタービン排ガスと混合することにより、13wet%と酸素濃度の低い（温度500℃）タービン排ガス中でも安定燃焼を行う。

図-5は、22ftで10,200kWのバーナユニットである。この様に実際のバーナユニットは、図-4の1ftのバーナを組み合わせた構造とし、現在は燃焼量に合わせて、2,800~25,600kW（6~55ft）のユニットをそろえている。

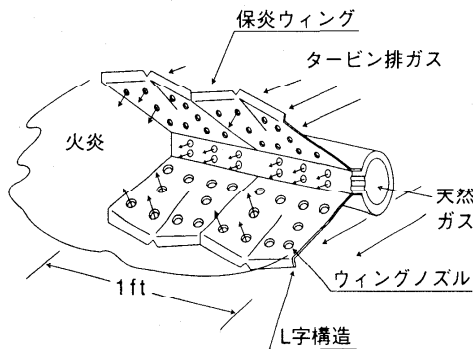


図-4 ダクトバーナの構造（バーナエレメント）

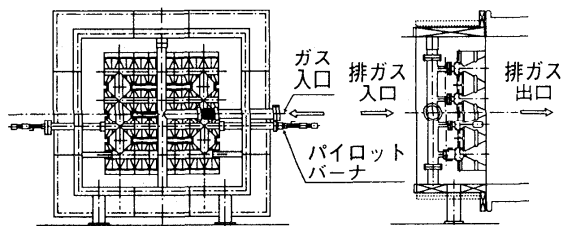


図-5 ダクトバーナの構造（ユニットバーナ）

2) バーナ仕様

最大燃焼量	465kW/ft・h (40×10 ⁴ kcal/ft・h)
燃料圧力	34.3kPa (3500mmH ₂ O)
ターンダウン比	10 : 1
バーナ部での排ガス差圧	0.29kPa (30mmH ₂ O) 以下
最小排ガス量	40Nm ³ h at 追い焚き量 11.6kW (10 ⁴ kcal/h)

バーナ入口排ガス温度	500℃
バーナ入口排ガス酸素濃度	13wet%
バーナ出口酸素濃度	8wet%以上
バーナ出口排ガス温度 (廃熱ボイラ入口排ガス温度)	1,050℃以下 (但し断熱壁の場合)
バーナ入口排ガス ダクト流速	10~15m/s
ダクト断面積当り燃焼量	4,650kW/m ² (400×10 ⁴ kcal/m ² ・h)
火炎長	3m以下
燃焼室断面負荷	600kW/m ² 以下 (50万kcal/m ² ・h) 以下

3) 性能

① 広い燃焼範囲とターンダウン性

図-4のバーナにおいて、ウイングを末広りの形状として、タービン排ガス導入孔を大きくすることによりタービン排ガスとガスとの混合を促進させて、排ガス中での安定燃焼と低燃焼域での保炎の強化を図った。そしてウイング先端をL字構造として、高燃焼域での保炎を強化することにより、1ft当りの燃焼量を465kW/ftと高負荷燃焼させつつ、火炎長は3mと短炎化できた。結果として、バーナ及び燃焼室のコンパクト化、低コスト化が図れる。

図-6の良好燃焼範囲をみると、500℃のタービン排ガスでは酸素濃度は13wet%まで良好燃焼し、広い燃焼範囲を有しているのがわかる。

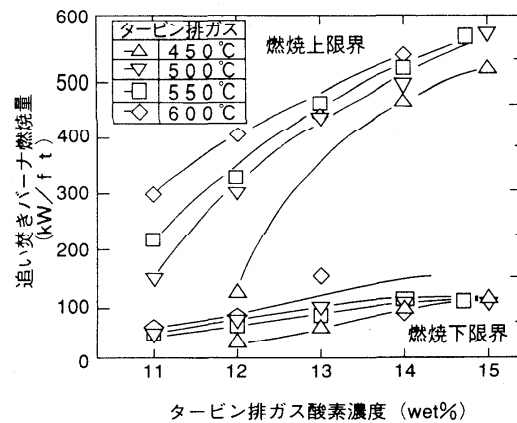


図-6 良好燃焼範囲

② 低NOx性

ウイングノズルについて種々のパターンでテストした結果（図-7）、ウイングノズル面積を少な

くし、ウィング内での燃焼を抑制する方が、低NOxになることがわかった。そこで、ウィングノズル面積を50%とし、図-4のウィングノズル孔径についてはガスノズル近傍は細孔を多数配列し、燃料との様な混合を促進させ、中段では、孔数を減少させて、バーナ焼けを防止し、下流側では、大孔径を多数配置し、完全燃焼させることにより、全体で低NOxで混合の良い高負荷なバーナを実現した。

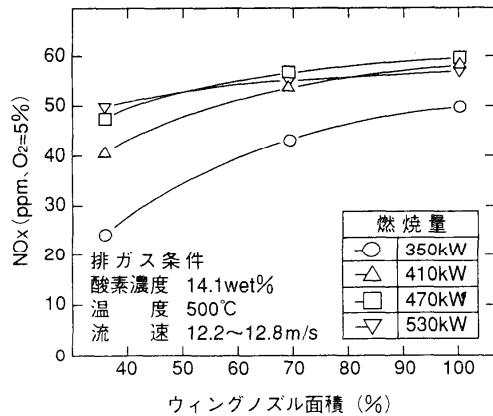


図-7 ウィングノズル面積のNOxへの影響

図-8にガスタービン1,050kW×2基で廃熱ポイプ16T/hのシステムに追い焚きバーナを付けた実機のNOx値を示す。NOxは全域で60ppm(O2=0%)以下を達成している。

ガスタービン排ガス条件(ガスタービン負荷4/4時)

流量 Qc=29.250Nm³/h 温度 Tc=497℃
酸素濃度 O₂=13.1(wet%) 水噴射率 W/F=0.75(g/g)
14.5(dry%)

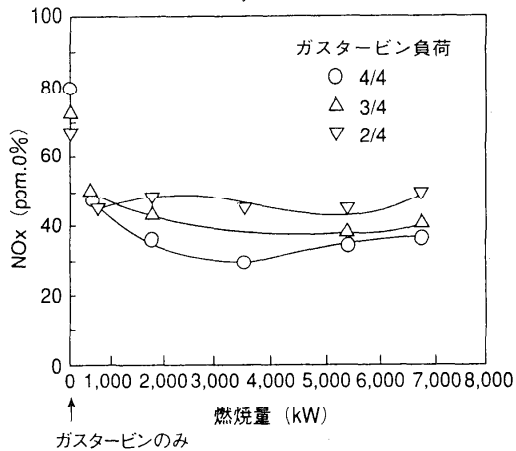


図-8 追い焚きバーナのNOx特性

③ その他の特徴

ガスタービン停止時に押込ファンを別置きすることにより、常温空気での燃焼が可能である。

4. 排気再燃バーナの特徴

1) バーナ構造

図-9にバーナ構造図を示す。ガスノズルの周辺に旋回羽根であるスワラを2段につけて保炎を強化することにより、タービン排ガス中で燃焼後残存酸素濃度を3wet%まで安定燃焼できる。また、バーナは排ガス導入部を3段に分け、ガスタービン排ガスと空気の両方で燃焼可能な構造とした。ガスタービン排気再燃焼をする場合、高負荷時は、1次・2次ダンパより排ガスを導入し、低負荷時は3次ダンパからも排ガスを導入することによりバーナ燃焼部分での燃焼用排ガス量を適正に保っている。それにより、排気再燃焼時のタービン排ガスが定量の条件下で、高ターンダウン比(8:1)での安定燃焼を可能とした。また、空気燃焼時は、1次ダンパのみを開としてバーナ風圧差を確保して、燃焼を安定させている。

バーナ排ガス差圧は、0.59kPa(60mmH₂O)以下であり、ガスタービン許容背圧を満足している。

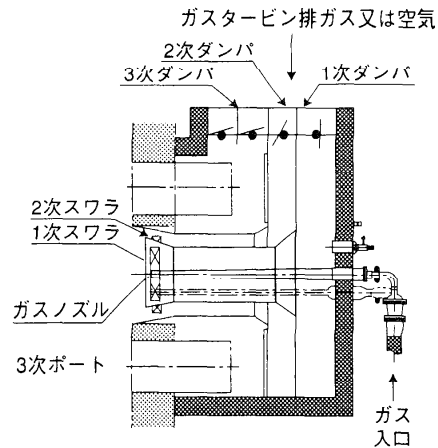


図-9 バーナ構造図

2) バーナ仕様

最大燃焼量	燃焼后排ガス中の酸素濃度を3wet%まで燃焼できる量
燃料圧力(バーナ入口)	49kPa(5,000mmH ₂ O)
ターンダウン比	8:1
バーナ部での排ガス差圧	0.59kPa(60mmH ₂ O)

バーナ入口排ガス温度	500℃
バーナ入口排ガス酸素濃度	13wet%以上
燃焼室負荷	1,200kW/m ³ (100万kcal/m ³ ・h)以下

3) 特 徴

① NO_x特性

図-10にテスト用バーナ(燃焼量2,800kW)におけるタービン排ガス条件とNO_x排出濃度の関係を示す。最大燃焼時にタービン排ガス燃焼後の酸素濃度が3wet%と同一になる様タービン排ガスを設定した。これを見ると通常的气体タービン排ガス条件の温度500℃・酸素濃度が14wet%の場合、NO_x(O₂=0%)は全域で50ppm以下となっている。これは、バーナの構造(図-9)において、1次スワラ径を大きくして保炎を確保しつつ、スワラ旋回強度を弱め、ガス流速を速くして排ガスのまき込みを促進して低NO_x化を図った結果である。燃焼量の間でNO_xが上昇している理由は、タービン排ガス量が一定条件で燃焼量を低下するので、火炎温度は最大燃焼時に比べて低下するが、酸素濃度は上昇する為と考えられる。タービン排ガス条件としては温度で100℃及び酸素濃度で1%と高くなる程、NO_x値は30%程度高くなる。

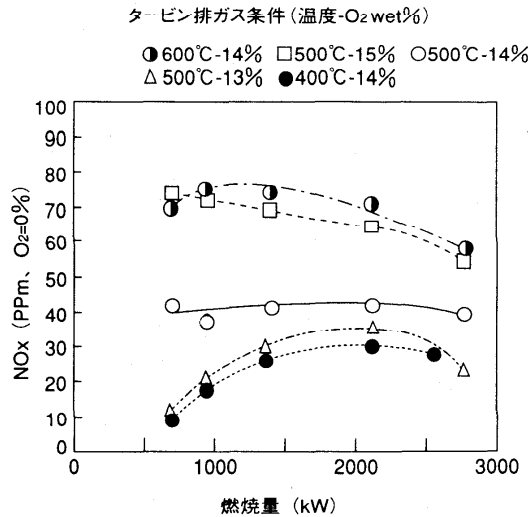


図-10 タービン排ガス条件とNO_xの関係

図-11は最大燃焼時(2.8MW)の理論断熱火炎温度と、その時のNO_xとの関係を示したものである。燃焼後の残存酸素濃度を3wet%と一定の条件で

は、NO_x値と理論断熱火炎温度は良い相関が得られる。このことから、NO_xは火炎温度に大きく影響され、その影響度はタービン排ガスの酸素濃度1%の上昇と、タービン排ガス温度約100℃の上昇が同一と言える。

安定燃焼範囲はタービン排ガス温度が500℃の時は酸素濃度は13wet%まで、タービン排ガス酸素濃度が14wet%の時は温度400℃までと広範囲である。

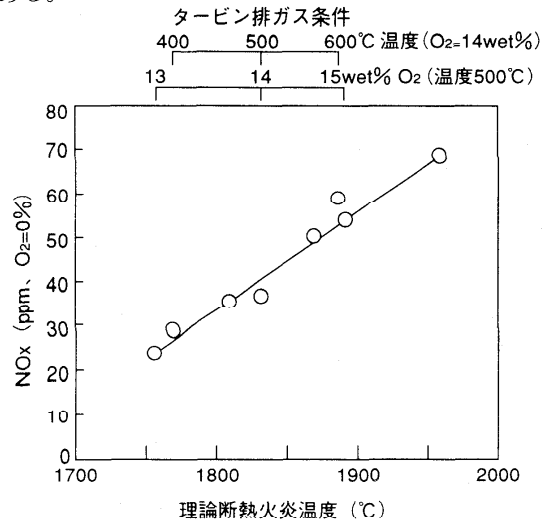


図-11 火炎温度とNO_xの関係
(最大燃焼時: 2.8MW)

図-12・図-13にガスタービン1,100kWで排気再燃バーナを利用した廃熱ボイラ15T/hシステムでの実測NO_x値を示す。

条件 { ガスタービン出力: 1,100kW, 温度: 506℃
タービン排ガス量: 15,200m³/h, O₂: 14.4wet%
15.5dry% }

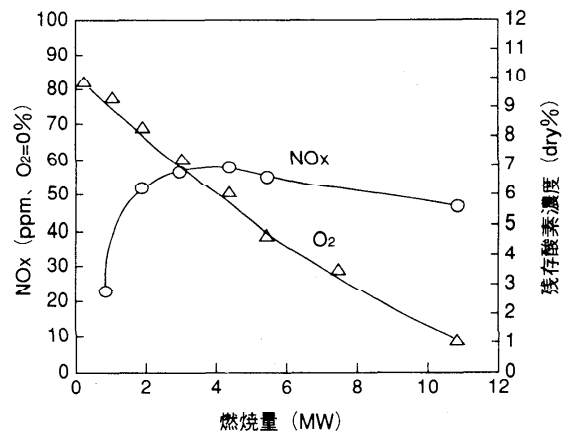


図-12 排気再燃時のNO_xと残存酸素濃度

排気再燃時には、全域でNO_x値は60ppm以下をクリアしている。また、最大燃焼時に残存酸素濃度は1 dry%まで安定燃焼できた。

空気燃焼時には、バーナ風圧差は最大で0.2kPaと低い条件であるが、低燃焼で空気比を上げることにより全域で安定燃焼性を確保しつつ、NO_x値は90ppm以下となっている。

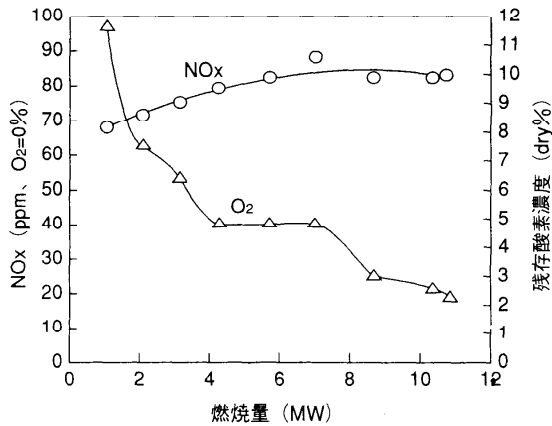


図-13 空気燃焼時のNO_xと残存酸素濃度

② 低NO_x化手法

今後の環境規制の強化にそなえて、テストバーナでさらなる低NO_x化手法を2段燃焼法と蒸気噴霧法について検討した。図-14によれば、タービン排ガスを約20% 2段燃焼すれば、40%の削減を確認した。

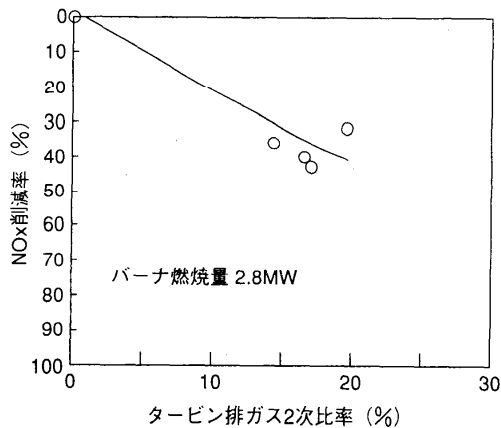


図-14 タービン排ガス2段燃焼による低NO_x化

図-15によると、蒸気噴霧については蒸気対燃料ガス重量比率で0.3の蒸気をバーナ部へ投入すると15%の削減が期待できる。

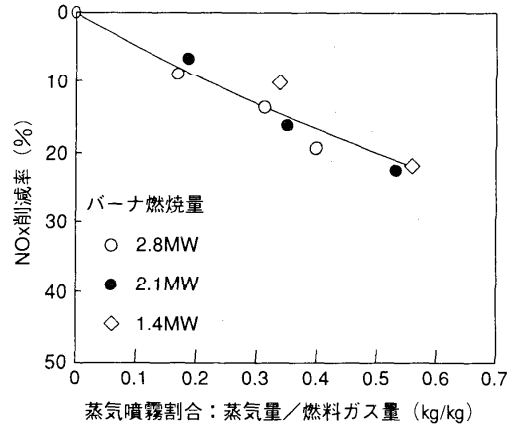


図-15 蒸気噴霧による低NO_x化

5. システムの特徴

1) システム例

図-16に追い焚きバーナと排気再燃バーナにより対応できる標準的なシステムを示す。

追い焚きシステムは新設のコージェネレーションシステムにおいて、たとえば4 MWクラスのカスタマーでは、廃熱ボイラの蒸気量が10~25T/hの負荷に対応できる。また、排気再燃システムでは、追い焚きのほぼ2倍の10~50T/hの負荷に対応可能である。

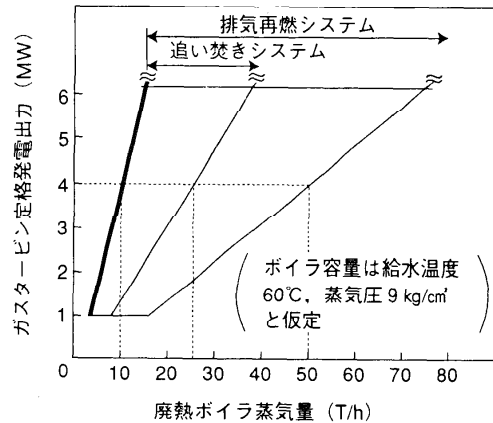


図-16 追い焚き・排気再燃システムの適応できるガスタービン定格発電出力と蒸気量の関係

2) 省エネルギー性について

例として追い焚きバーナを採用した場合の廃熱ボイラの効率を図-17に示す。

蒸気を多量に必要とするユーザでは、追い焚きのないシステムに比べて、ボイラ効率が75%から90%に向上する。これは蒸気量を増大させる場合に、バーナは排ガス中の酸素を燃焼用空気として利用する為に、ボイラを通過する排ガスはあまり増大しないにもかかわらず、給水量は増加することにより、排ガス温度が低下するからである。

条件
 バーナ：追い焚きバーナ
 ガスタービン排ガス量：29,000m³/h, 497℃
 実行効率：ガスタービン排ガスの保有熱量と追い焚きバーナの燃焼量に対するボイラ吸収熱量の割合

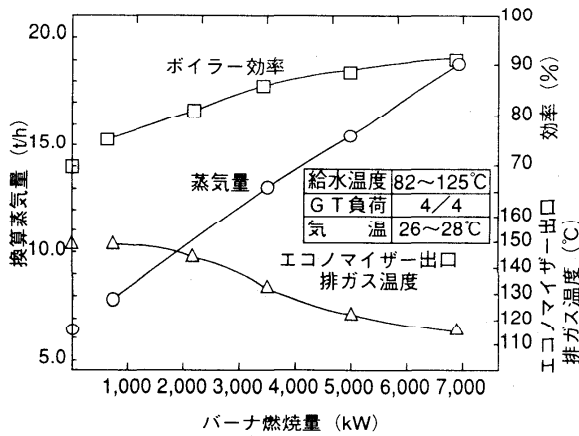


図-17 追い焚きシステムの性能

3) 経済性

表-2に、経済性を説明する。

追い焚きバーナ、排気再燃バーナシステムは、表-2の①・③～⑥のメリットからコージェネレーションシステムの経済性をより向上でき、投資回収年が短かくできるので、導入が進んできた。

なかでも、表-2のシステムフローに示す様な既設発電ボイラのバーナを排気再燃バーナに改造してガスタービンを付加するリパリングシステムは、総合効率が高く、新設システムに比べて、設備コストが大幅に削減できるため、投資回収期間を大巾に短縮できる。

表-2 リパリングシステムの経済性 (ガスタービン4,000kWで50T/h蒸気を取り出す場合)

内 容	
システムフロー	<p>ガスタービン4,000kW リパリングシステム</p>
メリット	<ol style="list-style-type: none"> ①総合効率92%と高効率・省エネ ②既設ボイラ改造で低設備コスト (発電ボイラ新設に比べ▲3億円) ③シンプルで省スペース・省コスト ④燃焼用ファン不要で省電力 ⑤ガスタービン定検時には、別置の燃焼用ファンを運転し、ボイラの単独運転が可能 ⑥低圧力損失の為、誘引ファン等が不要

6. チェンサイクルガスタービン・

希薄ガスエンジン用排気再燃焼技術

近年、熱電可変や毎日発停のニーズに対応して、チェンサイクル(または二流体)ガスタービン(4,000~6,000kW)や、大型希薄ガスエンジン(750~3,600kW)の実績が増加している。チェンサイクル(または二流体)ガスタービンとは、廃熱ボイラで発生した蒸気をガスタービン燃焼器に投入して発電出力を向上させるシステムで投入する蒸気量を制御することにより、発電と蒸気の比率を工場の負荷に合わせ可変にできるムダのないシステムである。

そこで、これら機種の排ガスを再燃焼すれば、蒸気を増大でき、さらに高効率なシステムが可能となる。しかし、図-18に示すように、チェンサイクルガスタービンや希薄ガスエンジンの排ガスの酸素濃度は9~13%と低く、排ガスのみでは燃焼しない。⁽³⁾そこで、少量の補助エアを投入することにより、安定燃焼する追い焚きバーナと排気再燃バーナを開発した。

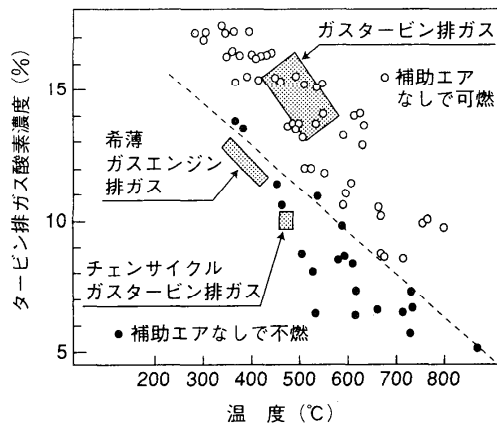


図-18 温度・酸素濃度に対する可燃範囲の変化

1) バーナ構造

表-3に追い焚きバーナと排気再燃バーナの構造を示します。両バーナとも、ガスノズル周辺に少量の補助エアを投入して1次火炎を形成し、その後、排ガス中の酸素と混合することにより、安定燃焼を行う。

なお、ガスタービン・ガスエンジン停止時には、追い焚きバーナはバーナ後流から燃焼用空気を追加し、排気再燃バーナについては、2次エアを追加することにより空気で燃焼する。

2) 性能

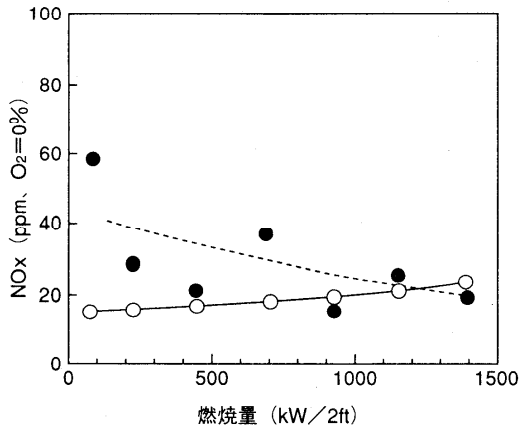
① 追い焚きバーナ

図-19にチェーンサイクルガスタービン排ガスと同条件の排ガスでのバーナ性能を示す。

$O_2=9.6\text{wet}\%$ 、 $H_2O=28.3\%$ の排ガス条件では燃焼量全域（ターンダウン比は10：1）で補助空気量 $m=0.3$ で安定燃焼する。表-3のバーナ構造により、ガスノズル近傍に補助空気を均一に投入し、混合をよくして1次火炎を形成することにより、補助空気は $m=0.3$ と少くできた。その為、 NO_x も全域で30ppm ($O_2=0\%$)以下となっている。また、 $O_2=12.7\text{wet}\%$ となれば、補助空気量を $m=0.1$ にしばれるのでタービン排ガス中の酸素濃度に対応して、補助空気量を制御することにより、高効率性を維持できる。

表-3 チェーンサイクルガスタービン又は希薄ガスエンジン用排気再燃焼バーナの概要

型 式	追い焚きバーナ	排気再燃バーナ
バーナ構造		
性 能 (排ガス成分 $O_2=10\text{wet}\%$ 温度 470°C)	低 NO_x (0% 換算 $NO_x=60\text{ppm}$) 低酸素排ガス中で、少量の補助エアで安定燃焼	
	補助エア $m=0.4$ ターンダウン比：10：1 残存 $O_2=8\%$ まで燃焼可 排ガス圧損：0.39kPa (40mmH ₂ O) エア運転可能 新設に対応	補助エア $m=0.7$ (1次エア) ターンダウン比：8：1 残存 $O_2=3\%$ まで燃焼可 (燃焼量は追焚の2倍) 排ガス圧損：0.59kPa (60mmH ₂ O) エア運転可能 (廃熱ボイラと同容量) 新設・既設ボイラに対応可
共同開発メーカー	中外炉工業 (株)	ボルカノ (株)



記号	排ガス条件				補助空気
	量 (Nm ³ /h)	温度 (°C)	O ₂ (wet%)	H ₂ O (%)	
● ---	2,590	570	12.7	10.6	m=0.1
○ —	3,870	470	9.6	28.3	m=0.3

図-19 追い焚きバーナの燃焼条件とNOx

② 排気再燃バーナ

図-20にもチェンサイクルガスタービン排ガスと同条件の排ガスでのテストバーナの性能を示す。排気再燃バーナは、ガンタイプのガスノズルの為、補助空気はm=0.65以上必要となる。補助空気(1次エア)を増加させるほどNOxは増加するが、m≤0.9では60ppm(O₂=0%)以下である。

条件 { タービン排ガス量: 4400Nm³/h, 温度: 470°C }
 { O₂=10.2wet%, H₂O=27.7% }

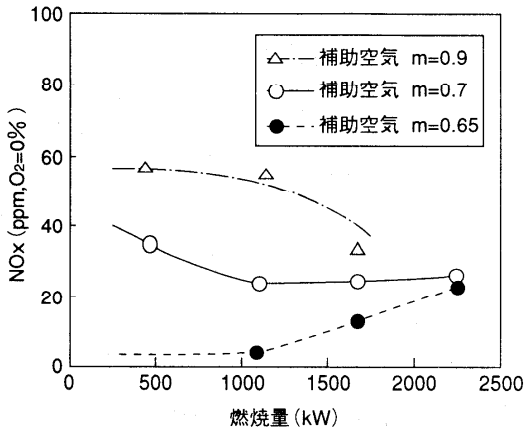


図-20 排気再燃バーナのNOx特性

3) システム例

チェンサイクルガスタービンへ排気再燃システムを付加した例を図-21に示す。

- ① 電力負荷変動とより広い蒸気負荷に柔軟に対応できる。
- ② ガスタービン及びボイラ単独運転が可能。
- ③ 追加補助空気量が少ないため、ボイラ効率が高く、総合効率が向上できる。
- ④ 燃焼用ブローの動力費が削減できる。
- ⑤ 廃熱ボイラにかえて、ロータリーキルン等の工業加熱炉にも適用できる。

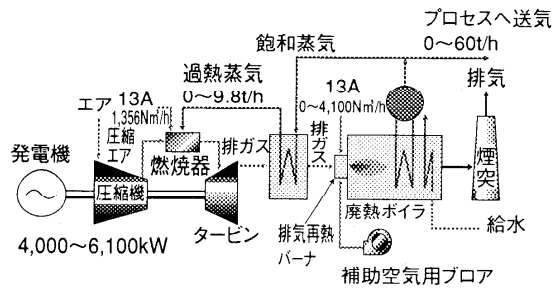


図-21 システムフロー

7. おわりに

追い焚きバーナ・排気再燃バーナは、コージェネレーションシステムの高効率化・省エネ・省スペース・低NOx化を可能とする。この排気再燃技術の開発をさらに進め、蒸気利用や熱利用工場のさまざまなニーズに答える様に、コージェネレーションシステムのバリエーションを拡大する予定である。そして今後さらにコージェネレーションの普及を促進することにより、省エネ・CO₂削減を実現し、ユーティリティの合理化と環境保全に貢献したいと考える。

【参考文献】

- (1) コージェネレーション研究会
「コージェネレーションシステム導入実績表」1997年度版
- (2) 日本ガス協会
「平成9年度都市ガスコージェネレーション導入実績集」1998
- (3) 香月正司「低酸素濃度下における燃焼と火炎安定性に関する研究」1993

低NO_x蓄熱式バーナシステムの開発

Development of Low NO_x Regenerative Burner System

中川 二彦 (川崎製鉄(株)水島製鉄所設備技術部 熱・流体研究室)
 Tsuguhiko NAKAGAWA (Thermal & Fluid Technology Sec., Equipment Technology Dept., Mizushima Works, Kawasaki Steel Corporation)

1. 緒言

蓄熱式バーナは1980年代に英国で提案された燃焼技術であり、対流式の排熱回収器を用いた従来のバーナに比べて、大幅に燃料が節約できるため、欧米では適用が拡大されつつある^{1)~3)}。その一方で、これらの蓄熱式バーナは、排ガス中のNO_xが高く、また、既存の設備との互換性が悪く、装置寿命に不安があるなどの理由から、日本国内への適用は進んでいなかった。しかし、近年の地球環境問題においてCO₂削減が世界的な流れとなる中で、蓄熱式バーナは産業界における現実的な対策の一つとして、最近では、実用化のための技術開発が進み、今後、実用化の拡大が大いに期待されている。

本報告では、雰囲気加熱炉用のラジエントチューブ(以下、R/Tと記す)型と一般加熱炉用の直火型の2つタイプの蓄熱式バーナについて、低NO_x化、装置の長寿命化、及び既存設備との互換性を達成した結果とともに、当社の鋼材加熱炉で実用化し、3年以上の長期間にわたって使用した結果について述べる。

2. 蓄熱式R/Tバーナシステムの開発

2.1 蓄熱式R/Tバーナシステムの概要

開発した蓄熱式R/Tバーナシステムの概要を図1に示す。図1において、R/Tの両端に設置した2台のバーナを1組として用い、燃焼側と排気側を40~60秒毎に交互に切り替えて、高効率の燃焼を行う。すなわち、排気側のバーナが蓄熱体に高温の燃焼排ガスの顕熱を蓄えている間に、燃焼側のバーナ側では蓄熱体を經由して高温に予熱された空気を使って燃焼する。

2.2 開発課題

蓄熱式R/Tバーナの持つべき特性は、各種の燃焼特性に加えて、装置寿命に悪影響を与えない特性

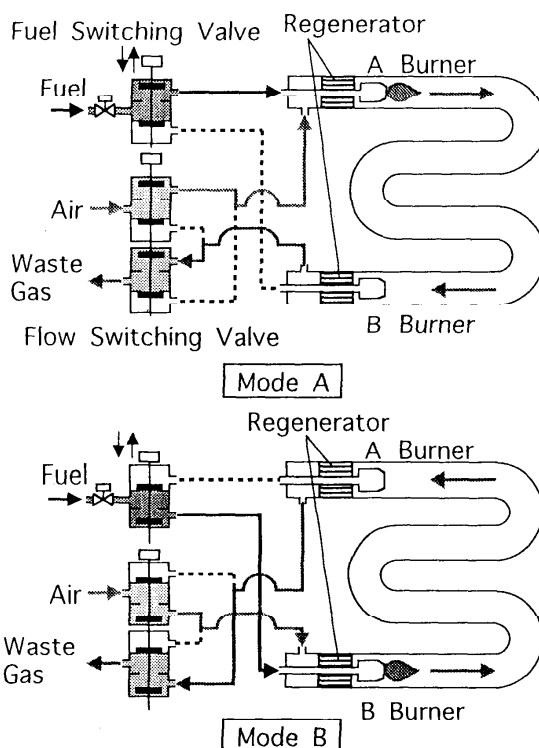


図1 蓄熱式R/Tバーナシステムの概要

を兼ね備えている必要がある。また、普及させるためには、既存のバーナと交換し易いことも重要であり、これらをまとめると次のようになる。

- ①高い加熱効率を達成するため、予熱空気をできるだけ高温に加熱する。
- ②NO_xの発生量が少ない。
- ③既存バーナとの互換性を考え、蓄熱体を含むバーナ全体の圧損を既存のバーナ以下にする。
- ④新設時の設備コストを低減するため、バーナの燃焼容量をできるだけ大きくする。
- ⑤バーナ本体、蓄熱体及び切替弁などの装置寿命が長く、メンテナンス性が良い。

⑥火炎監視及び切替弁制御などの制御システムにおいて高い信頼性を持つ。

2. 3 開発したR/Tバーナの基本構造

バーナ本体の構造としては、図2に示すように、低NOxバーナとして当社の連続焼鈍炉などで数多くの実績がある排ガス自己再循環型の2段燃焼方式を採用したり。そして、燃焼用空気の高温化に対応して、新たに燃焼筒を最適化することにより、大幅な低NOx化を達成した。また、パイロットバーナを中置きにして、燃料ガスやパイロットバーナの燃焼用空気の冷却効果を利用することにより、多数のバーナを遠隔操作で自動点火するために必要な、火炎検知システム⁵⁾の信頼性を確立した。

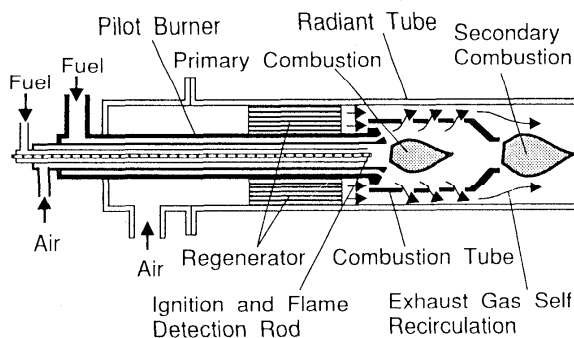


図2 開発した蓄熱式R/Tバーナの構造

2. 4 開発したR/Tバーナの性能

2. 4. 1 熱効率

開発した蓄熱式R/Tバーナにおいて、R/T平均温度と燃焼用空気予熱温度との関係を図3に示す。

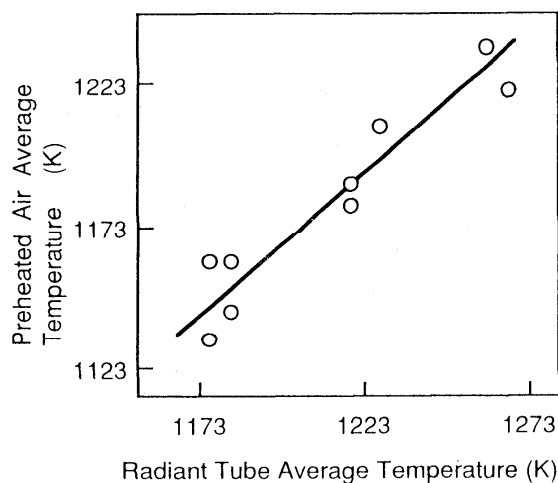


図3 予熱空気温度の特性

これより、R/T平均温度が1233Kの場合に、燃焼用空気は1203Kまで予熱できることがわかる。その結果、開発した蓄熱式R/Tバーナの導入によって、雰囲気加熱炉の熱効率は80%以上が可能になる。

2. 4. 2 NOx特性

今回開発した蓄熱式R/Tバーナでは、排ガス中のNOx発生量を低減するために、バーナ燃焼筒が大きな役割を持っている。燃焼筒の形状を決定する因子うち、NOx発生量に大きな影響を与える因子は、図4に示すような、①分散火炎孔、②燃焼筒長さ、③燃焼筒先端径、④1次と2次空気の配分比がある。

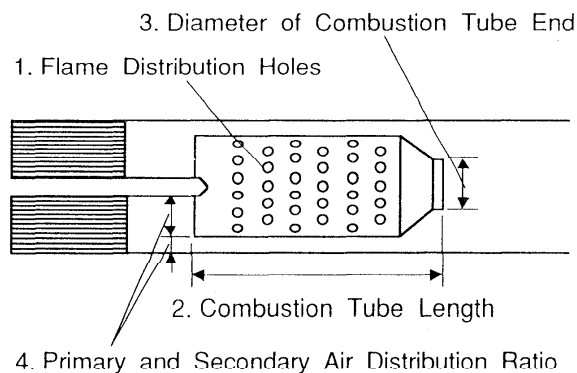


図4 バーナ最適化の因子

ここでは、NOxの低減効果が最も大きい分散火炎孔を最適化した例について述べる。分散火炎孔の口径を変化した場合の排ガス中NOx濃度を図5に示す。

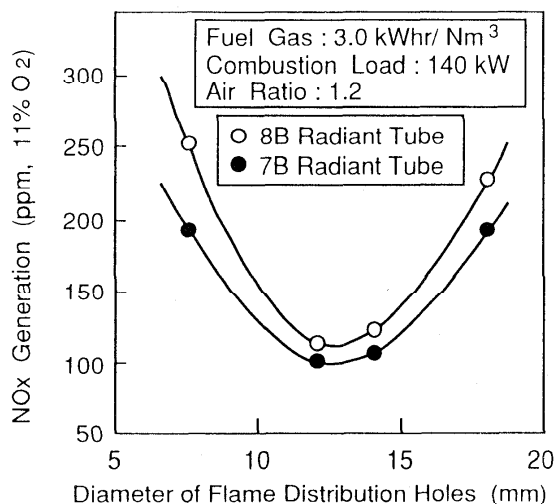


図5 分散火炎口の口径とNOx発生量

これより、NO_x 濃度に対して、分散火炎孔の口径には最適値が存在し、その口径は 12~14 φ が良いことが分かった。これに加えて、燃焼筒長さ、燃焼筒先端径、1次と2次空気の配分比を最適化した結果、図6に示すような NO_x 特性を得ることができた。これより、開発したバーナは燃焼空気の平均予熱温度 1203K において、排ガス中の NO_x 濃度を 100ppm 以下にすることができた。

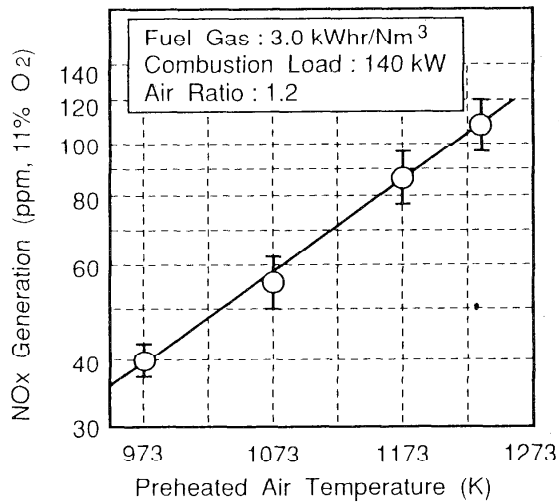


図6 開発したバーナの NO_x 特性

2. 4. 3 蓄熱体の構造

蓄熱体の選定にあたっては、次の点を考慮する必要がある。

- (1)ファンの消費電力を削減すると共に、既設のバーナと交換する際の改造を最小に抑えるため、圧力損失を既存のバーナと同等以下にする。
- (2)低コスト材質で蓄熱体の寿命延長を図るため、蓄熱体に加わる熱応力を緩和して、破損しにくい構造にする。
- (3)交換又は補修し易い構造にする。

そこで、いろいろな形状と材質の蓄熱体について、実機と同じ温度条件下で比較テストを行った。蓄熱体の圧力損失を比較した結果、図7に示すように、圧力損失の大きさは次の順であることが分かった。

ハニカム≒パイプ≒ボール≪ラシヒリング
しかし、ハニカムはテスト中に約 50 時間使用しただけで破損し、その補修は困難なことから、蓄熱体にはボール又はパイプを選定した。

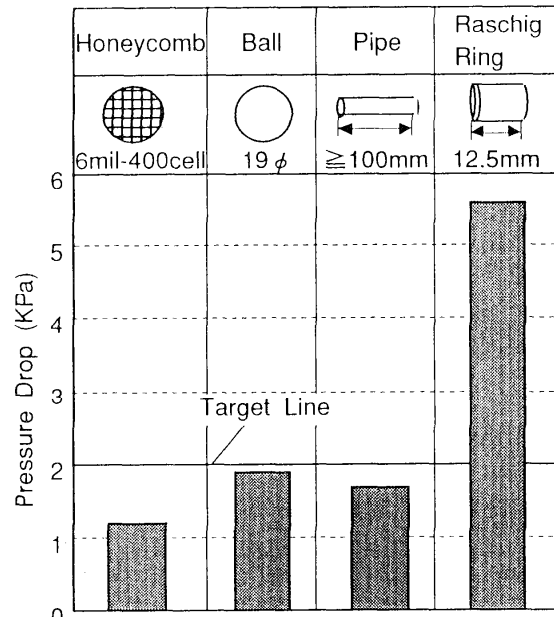


図7 蓄熱体の圧力損失比較

更に、今回開発したバーナでは、先に述べた(3)の条件も考慮して、耐熱鋼ケースの中にハニアルミナのボール又はパイプを詰める構造を採用し、損傷しても簡単に交換できるようにした。

実機と同じ使用条件下で、長期間の耐久テストを行った結果を図8に示す。これより、採用した蓄熱体の寿命は、3年以上であることが検証できた。

	Composition (%)			Size
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Others	
High Alumina Pipe	75	0	25	φ 10 × φ 7
High Alumina Ball	99	0	1	φ 19
Low Alumina Ball	27	60	13	φ 19

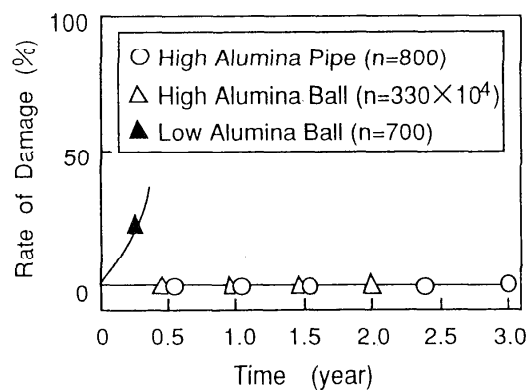


図8 蓄熱体の寿命

2. 4. 4 切替弁の構造と寿命

切替弁の方式を決定するにあたっては、次の点を考慮する必要がある。

- ① R/Tバーナでは、設置スペースが狭いことから、切替弁はコンパクトな形状とする。
- ② R/Tバーナは設置数が多いことから、蓄熱式へ改造時の設備コストを削減するために、切替弁の数を減らす工夫をする。
- ③ 寿命が長く、補修し易い構造とする。

これらの条件を満足する切替弁として、図9に示すような、ストロークタイプの切替弁を採用した。

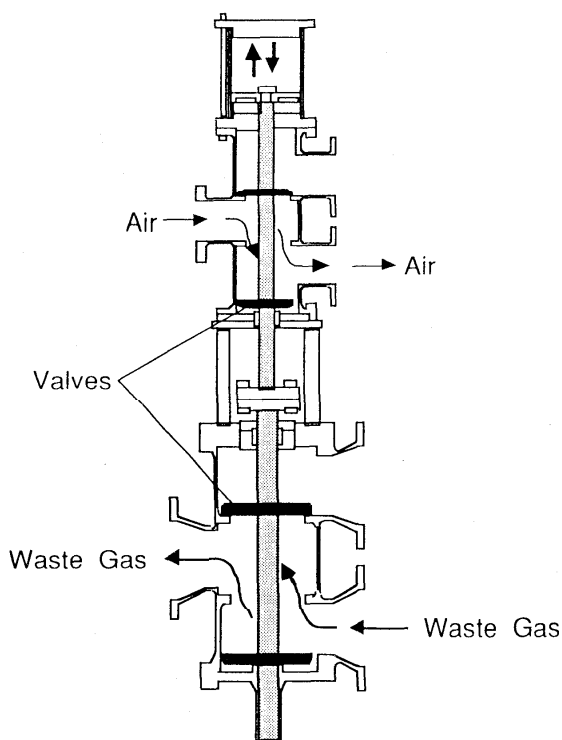


図9 長寿命切替弁の構造

切替弁の寿命を見極めるため、実機と同じ温度条件下で連続使用テストを行った結果を図10に示す。図中において、切替弁の寿命は、弁体から排ガス中へリークする燃焼空気量に着目し、切替弁でのリーク率を算出して評価した。切替弁でのリーク率は、切替弁の前後の排ガス O₂ 濃度から求めた排ガス量を用いて、次式で計算した。

$$\eta_{\text{air}} = (G_a - G_b) \times 100 / V_{\text{air}} \dots \dots \dots (29.1)$$

ただし、 η_{air} : 切替弁でのリーク率

G_a : 切替弁後の排ガス量

G_b : 切替弁前の排ガス量

V_{air} : 燃焼空気量

また、切替弁でのリーク率の上限は、リークによって各バーナが不完全燃焼を起こさない条件（具体的には、バーナの空気比を1.1に設定し、かつバーナ間のバラツキが ± 5% 以内としたときに、各バーナの空気比を1以上にできる条件）として求めた。これより、採用したストロークタイプの切替弁は4年以上の寿命を有することが分かった。

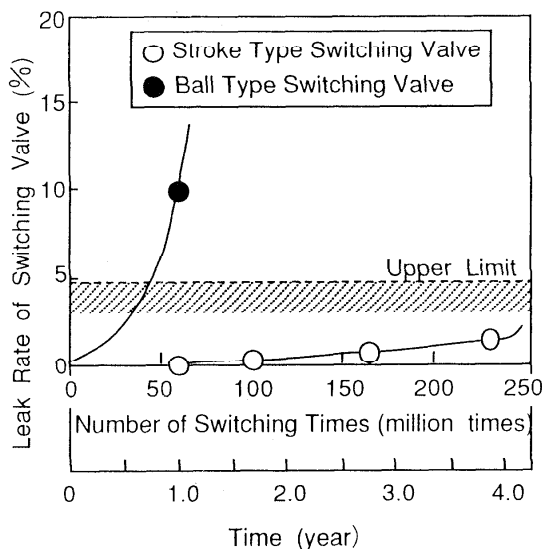


図10 切替弁寿命

2. 5 実機への適用結果

開発した蓄熱式バーナシステムを水島 No.2 CAL の均熱帯トンネル部に3組設置し、1993年12月から約4.5年の間連続使用した。その結果、切替弁でのリークや蓄熱体の損傷は無く、現在も順調に稼働しており、燃焼システムトータルとしての信頼性を検証できた。

3. 蓄熱式直火型バーナの開発

3. 1 蓄熱式直火バーナシステムの概要

蓄熱式直火バーナシステムの概要を図11に示す。直火バーナの運転方法及び蓄熱体などは、基本的にR/Tバーナの技術と共通である。R/Tバーナとの大きな違いは、燃焼容量が大きく、対になったバーナ以外の燃焼ガスが炉内で混合する点である。

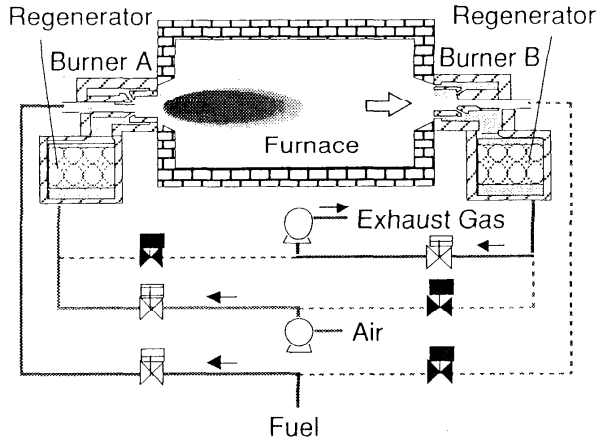


図 11 蓄熱式直火バーナシステムの概要

3. 2 開発課題

蓄熱式直火バーナの持つべき特性としては、低 NOx 性能などの R/T 型バーナで述べた特性に加えて、次の性能が求められる。

- ①既存バーナと混在燃焼時の制御方法
- ②バーナ長手方向均一加熱性

3. 3 開発した直火バーナの基本構造

バーナ構造は、図 12 に示すように、2次空気の出噴流を利用した排ガス自己再循環型の2段燃焼方式を採用した。そして、空気流速や1次空気噴出角の最適化などにより、大幅な低 NOx 化を実現した。

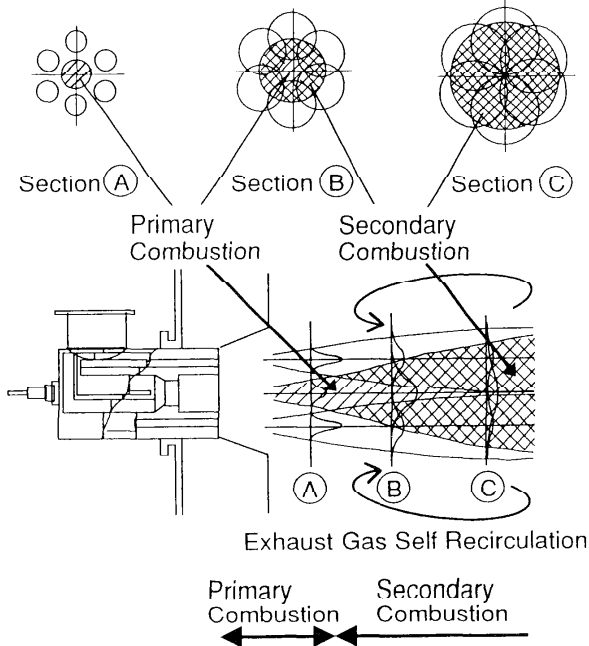


図 12 直火型バーナの構造

3. 4 開発した直火バーナの NOx 特性

開発したバーナの NOx 特性を図 13 に示す。

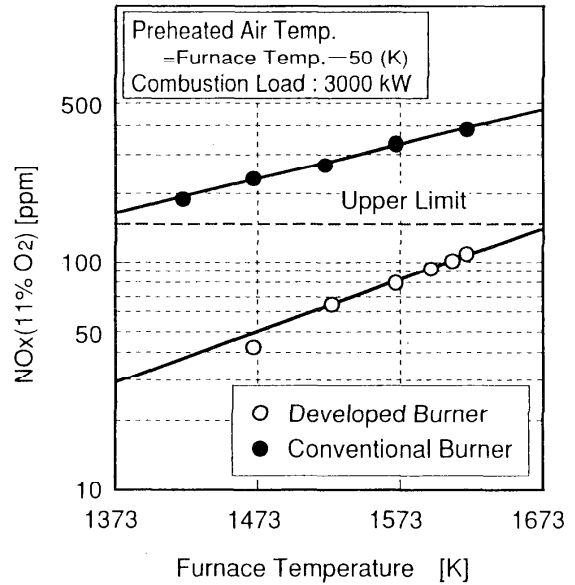


図 13 開発した直火バーナの NOx 特性

これより、開発したバーナは炉温 1573K かつ燃焼空気の平均予熱温度 1523K において、従来のバーナをそのまま蓄熱バーナ化した場合と比較して、排ガス中の NOx 濃度を 1/4 程度に低減することができた。

3. 5 既存バーナとの混在燃焼制御

一般に鋼材の加熱炉では、装入直後の鋼材昇熱量が大きいため、加熱炉前段の燃焼負荷が大きい。したがって、蓄熱式バーナを加熱炉に適用する場合には、図 14 に示すように、炉の前段部分に設置する方が全炉に設置するよりも少ない投資コストで有効な省エネルギー対策をとることができる。

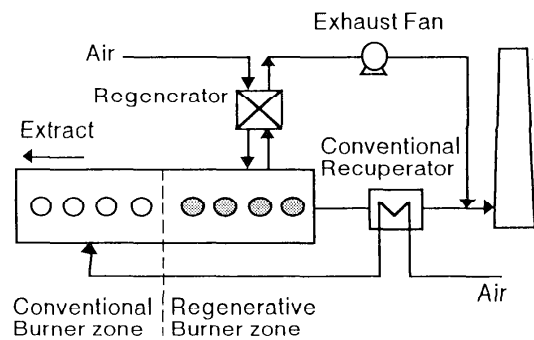


図 14 蓄熱バーナの加熱炉への導入形態

その理由を以下に説明する。例として 20 基のバーナからなる炉が複数あり、20 基の蓄熱式バーナを設置する費用がある場合を仮定する。この時、1 炉全てに蓄熱式バーナを設置すると、1 炉で約 25% の省エネルギー効果が得られるが、残りの炉は無対策となる。それに対して、加熱炉前段 10 基を蓄熱式バーナ化すると、2 炉に蓄熱式バーナを導入でき、1 炉あたり約 16% の省エネルギー効果が得られる。その結果、同じ投資費用で前者は 2 炉平均で 12.5% の省エネルギーしか達成できないが、後者は 2 炉平均で 16% の省エネルギーが達成できる。つまり、1 炉全てに蓄熱式バーナを導入するよりも、複数の炉の前段に蓄熱バーナを速やかに導入していく方が、より省エネルギー効果が高いことになる。ただし、この方法では、加熱炉の前段に蓄熱式バーナを設置し、後段に従来のレキュペレーター付きバーナが残るため、燃焼負荷が変動した時にも高効率加熱を維持する方法として、蓄熱式バーナと既設レキュペレーターの排ガスを最適に配分することが重要になる。

図 15 に、蓄熱体と既設レキュペレーターの排ガス配分による加熱効率の変化を示す。

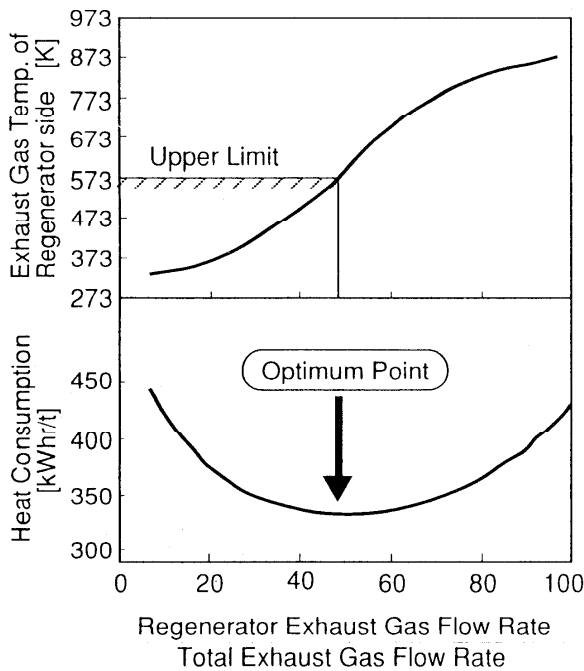


図 15 蓄熱体通過ガス量の最適化

これより、蓄熱体通過排ガス率(総排ガス中に占める蓄熱体を通する排ガスの割合)が小さくなると、

熱効率の良い蓄熱器側の熱回収量が減るため、全体の熱効率が低下し、燃料原単位が悪化する。また、蓄熱体通過排ガス率が大きくなると蓄熱体の排熱回収率が頭打ちとなり、既存のレキュペレーターで回収し得た顕熱まで蓄熱器側で捨てることになるため、全体の効率はやはり低下する。このため、燃料原単位が最小となるような蓄熱器出側排ガス温度を上限として、排ガス流量を制御することにより、燃料原単位を最小にする制御方法を開発した。

3. 6 実機への導入結果

直火バーナを導入した鋼材の連続加熱炉と、改造の概要を図 16 に示す。蓄熱式バーナは、第 1、2 加熱帯下部サイドバーナとして、各帯に 4 対ずつ設置した。なお、設置した蓄熱式バーナの燃焼容量は、全バーナの 43% に相当する。

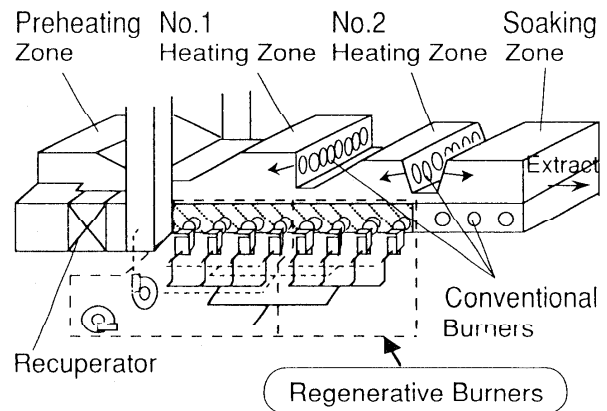


図 16 直火型蓄熱式バーナの導入概要*

図 17 に蓄熱式バーナ導入前後の燃料原単位の推移を示す。

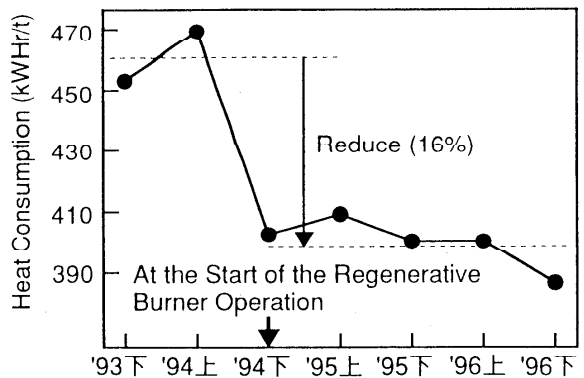


図 17 蓄熱式バーナの導入効果

これより、蓄熱式バーナの導入によって、燃料原単位は、約16%低減できた。

4. 結 言

蓄熱式R/Tバーナシステムを開発し、次の成果が得られた。

- (1)開発したバーナは炉温1233 Kかつ燃焼量140 kWにおいて、80%以上の高い熱効率と120ppm以下の低NOx性能を有している。
- (2)上記のバーナ性能以外に、開発したバーナシステムでは、バーナ本体、蓄熱体、及び切替弁の寿命が長く、システム全体としての高い信頼性を検証した。
- (3)開発したバーナシステムを水島No.2CALの均熱帯に設置し、連続使用した結果、4.5年以上を経過した現在において、切替弁でのリークや蓄熱体の損傷は無く、現在も順調に稼働している。
また、蓄熱式直火型バーナを開発し、以下の成果が得られた。
- (4)炉温1573Kにおいて、予熱空気温度1523Kと大幅なNOx低減を達成した。
- (5)既存のバーナと混在して燃焼する場合に、熱効率を最大に保つ制御方式を確立した。
- (6)水島の鋼材連続加熱炉に適用した結果、従来と比べて16%の省エネルギーを達成した。また、稼働以来3.5年以上大きなトラブルもなく、順調に運転を続けている。

5. 参考文献

- 1) Gettings, M. : Gas Warne International vol. 35 No.5 (1986) P.292
- 2) S. Relph : Steel Times vol. 216 No.3 (1988) P.150
- 3) J. D. Bowers : Adv Mater Processes vol.137 No.3 (1990) P.63
- 4) 中川二彦 他 : 鉄と鋼, 78 (1992) T149
- 5) 中西克之 他 : 材料とプロセス, 5 (1992) 1547
- 6) 尾前純也 他 : 材料とプロセス, 9 (1996) 112

製鉄所における酸素利用の燃焼技術

Oxygen Combustion Technologies in Steel Works

鈴木 豊、岡田 誠司 (住友金属工業 (株) 総合技術研究所)
Yutaka SUZUKI and Seiji OKADA (Sumitomo Metal Industries, LTD.,
Corporate Research & Development Laboratories)

1. はじめに

製鉄所では、高炉や転炉で用いるために大規模な酸素製造設備を有している。このため従来から酸素を燃焼に利用して、電気炉のスクラップ溶解の助燃に用いたり製鋼用の耐火物容器の予熱に用いるなどしてきた^{(1),(2)}。

石油価格の高騰時には酸素燃焼を積極的に利用した省エネルギー技術の開発事例も報告されたが、石油価格の下落と円高によるエネルギー低価格化にともない経済性は失われた。

しかし最近の地球温暖化ガス排出抑制やオキシダントの抑制などの環境問題のなかで、酸素を利用した高効率燃焼、高温燃焼に再び着目して良い時期に入ったと思われる。そこで本稿では、製鉄所で行われてきた酸素を利用した燃焼技術について二～三の開発事例を紹介する。

2. 鋼片加熱炉の省エネルギーへの酸素利用^{(3)~(9)}

2.1 試験燃焼炉による検討

燃焼用空気中の酸素濃度を高めることにより、燃焼ガス中の窒素が減少して火炎温度が上昇し、ガスの放射率も増大するので燃焼加熱炉内の伝熱効率向上効果が期待できる。

酸素を燃焼加熱炉に利用しようとする場合、経済性と環境の問題がある。すなわち使用する酸素

量に見合った燃料の削減があるか、高温燃焼に伴う窒素酸化物 (NOx) の増加量ほどの程度か知る必要がある。

まず、水冷炉壁の燃焼試験炉の水冷炉体への伝熱量の計測から、酸素富化燃焼 (燃焼用空气中に酸素を予混合する) による省エネ効果について推定した。

排熱回収を行わない燃焼試験炉 (図1) で、燃料入熱量 Q_{IN} と水冷炉体への伝熱量 Q_E 関係を調べた結果を図2に示す。

表1 供試燃料

燃料	A	B	C	D	E	F	G
COG (%)	26.5	31.6	44.7	57.9	71.1	84.2	100
BFG (%)	73.5	68.4	55.3	42.1	28.9	15.8	0
発熱量	7500	8400	10500	12600	14700	16700	19300

COG: コークス炉ガス, BFG: 高炉ガス

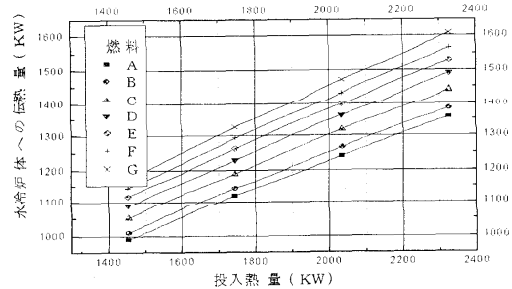
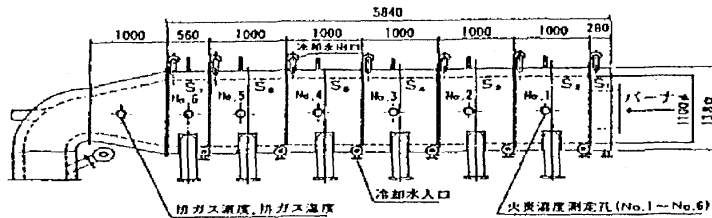


図2 水冷炉体への伝熱量の測定結果



水 流 測 定……オーム流風計 (0~10 ton/hr)
入・出口水温測定……白金測温抵抗体

図1 水冷炉壁の燃焼試験炉

図2は表1の各種燃料条件で実験した結果であるが、燃料入熱量と炉体への伝熱量 Q_E の関係は、

$$Q_E = K \cdot Q_{IN}^n \quad (1)$$

で整理され、 n は $n=0.67 \pm 0.02$ で、ほぼ一定値となる。酸素富化燃焼を行ったときも、 n は同様な値を取ることで、ふたつの比較する条件での K の値を求めることにより、燃料の使用量の比較ができる。すなわち、条件aからbに変更したときに同一の伝熱量 Q_E を得るための燃料入熱の比は

$$Q_{IN}b / Q_{IN}a = (K a / K b)^{1/0.67} \quad (2)$$

で推定できることになる。

酸素富化燃焼は、COG（燃料G）について、燃焼用空気中の酸素濃度を31~32%程度まで増加させた。酸素富化燃焼を実施した場合の K 値を実験的に求め、排熱回収率 $\eta R=0.3$ の条件で省エネ効果を試算した結果を図3に示す。酸素濃度を5%増加させるだけで、約10%の省エネ効果が期待できて、その効果は大きい。

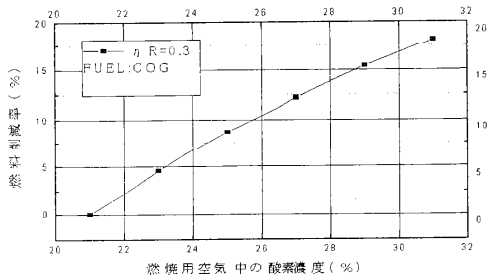


図3 酸素富化による省エネ効果

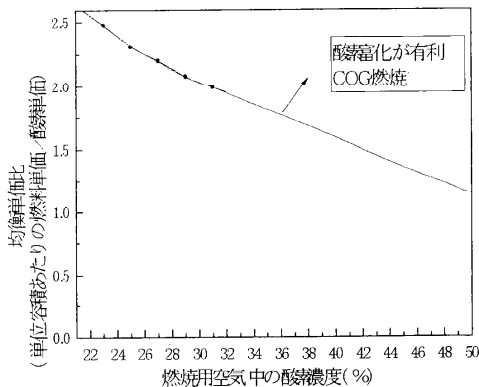


図4 酸素富化の経済

図4は、酸素富化により増加する酸素の費用と削減される燃料費の関係で、費用と便益が均衡する燃料/酸素の単価の比を求めたものである。図

の均衡線の上部が経済的に有利な領域で、酸素濃度を上げるほど燃料費の上では有利になる。

一方、酸素富化によりNOxの増加は著しく図5に示すように、酸素濃度を5%増加させるだけで、4倍近いNOx濃度となった。従って画期的なNOx対策が無い限り大幅な酸素濃度の増加は困難なことが最大の問題点である。

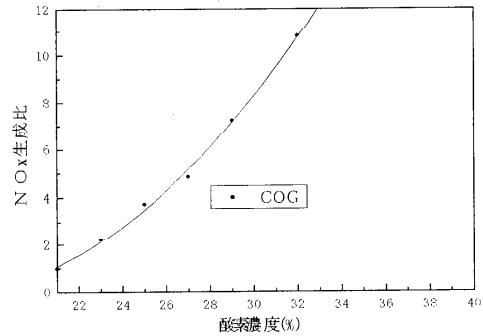


図5 酸素富化によるNOxの増加

2.2 実炉における酸素富化燃焼の検証

試験炉の省エネ効果を検証するため、大型の鋼材加熱炉を用いて、酸素富化の実験を行った。結果を表2に示す。試験炉による予測値は、ほぼ妥当という結果となった。また、酸素富化によるNOxの増加率も試験炉とほぼおなじ関係となった。

表2 実炉試験結果

酸素濃度	21(%)	23	25
燃料	COG		
空気比	1.1		
排熱回収率	0.27	0.28	0.29
平均加熱量	123.7(T/H)	124.6	112.6
燃料原単位	644(KWH/T)	605	564
同上削減比	BASE	5.9(%)	12.5

2.3 低NOx化の検討

効果的な酸素富化燃焼を加熱炉で実施するためには、低NOx化が必須事項であり、図6に示すような低NOx型バーナの酸素富化時のNOxを調査した。図6のA-typeは従来型バーナの一例、B-typeは単段燃焼で燃焼用空气に強い旋回を与えた急速燃焼型の低NOx型バーナ、C-typeは、B-typeを2

段燃焼化した低 NOx 型バーナである。図 7 に耐火壁試験炉で測定した NOx 濃度を示すが、開発された最良の低 NOx バーナを用いても、酸素濃度が 25% を越える酸素富化燃焼は、困難と判断される。

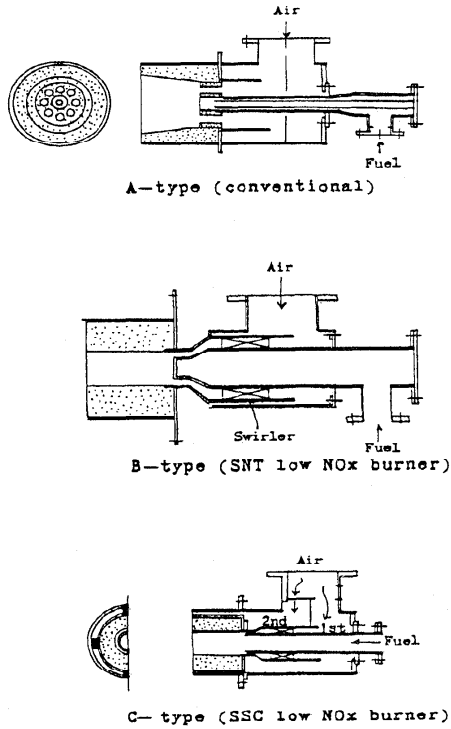


図 6 各種低 NOx バーナ

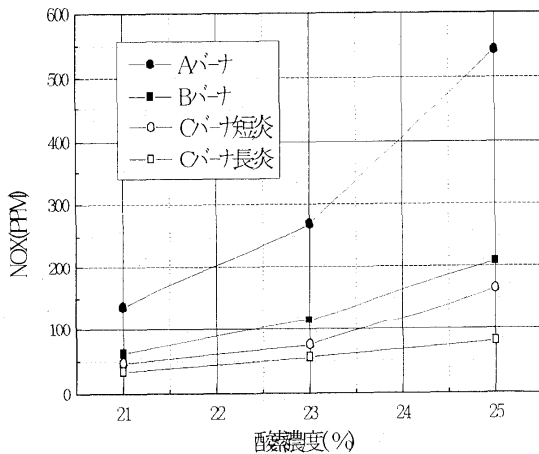


図 7 低 NOx バーナの効果

2. 4 まとめ

酸素富化燃焼の省エネ効果は大きいが増加も大きく、検討した範囲の低 NOx 化技術では、燃焼用空気中の酸素濃度を 25%まで高めることが限界であった。この場合で 10%程度の省エネが期待できる。またこのとき経済的効果が成り立つためには、COG の場合で、COG の単位容積あたりの単価が、酸素単位容積あたりの単価の少なくとも 2.3 倍をこえる必要があるため、当然、燃料単価の動向は大きく経済性に影響を与える。

この酸素富化燃焼を一般的に拡大するには、安価な酸素の供給、画期的な低 NOx 燃焼技術が不可欠である。

3. 急速加熱への酸素利用

3. 1 急速加熱の必要性

鉄鋼業において圧延や鍛造等の製品加工工程は時間との競争であり、鋼材が温度低下する前に加工する必要がある。特に鋼材端部は冷却されやすく、誘導加熱によるエッジヒータ等の加熱設備が設置されている場合もある。このように、直接低温部のみを短時間に加熱・熱補償することが出来れば工程の直結化およびライン統合等の大きなメリットが生まれることになるが、電気加熱は設備費が膨大で、生産量の大きな主力設備以外では、経済性が成立しない。一方、大気開放下でのバーナ加熱は炉内加熱と異なり、高温炉壁からの輻射が期待できず、さらに周囲の低温大気の影響で火炎温度が低下するため急速加熱が非常に困難である。そこで、酸素富化燃焼火炎を直接鋼材に衝突させる直火急速加熱方式の可能性について検討した。

3. 2 逆問題解析による加熱能力評価方法⁽¹⁰⁾

衝突噴流火炎の加熱能力を支配するのは火炎温度と対流熱伝達率である。しかし、酸素(富化)炎では、火炎温度が極めて高いために、直接測定することはきわめて困難である。そこで加熱能力の評価のためにこの両者を求める近似的方法として、逆問題解析アルゴリズムを採用した(図 8)。

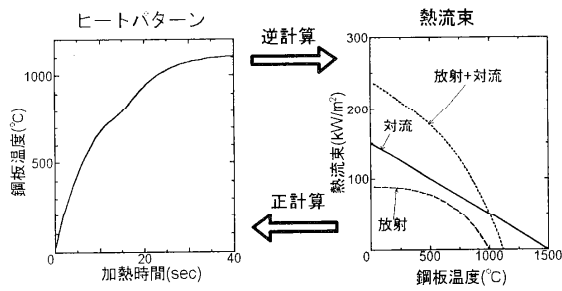


図8 逆問題解析

得られた熱流束は輻射と対流の項が含まれるため、鋼材温度から輻射を見積もり差し引くことで対流のみとする。それを鋼材温度で整理すればその傾きが熱伝達率、 x (温度) 切片が火炎温度に相当する近似値になる。

3.3 大気開放加熱試験

今回試験には表3に示す3通りのバーナを用いた。タイプAは予混合型の円孔ノズル、タイプBはノズル混合型の環状ノズル、タイプCはタイプBの周囲にフードを取り付けたものである。

このバーナを用いて大気開放下で鋼材の加熱試験を行った。試験は3.2mm厚の鋼板に対して直火加熱を行い、裏面に溶着させた熱電対にて温度変化を測定した。このデータを逆問題解析にて整理し、鋼材温度に対する対流熱流束を求めた。

空気燃焼における3タイプの対流熱流束比較結果を図9に示す。図中の傾きが熱伝達率に相当し、タイプA>B=Cの順になった。熱伝達率を決定するのは主に衝突時の流速であり、ノズル構造の影響を大きく受けることになる。タイプAの円孔ノズルは最も流速の減衰が小さく、高速流化に適したタイプである。

総合的な加熱能力も実用の温度範囲内で、タイプA>C>Bの順となる。ただし、タイプAは予混合型のため、空気燃焼でも逆火しやすく、火炎の安定範囲が狭い欠点を持つ。

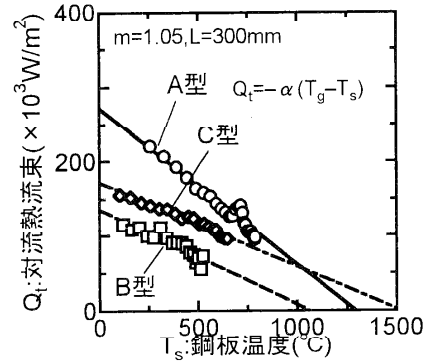


図9 各ノズル対流熱流束比較 (空気)

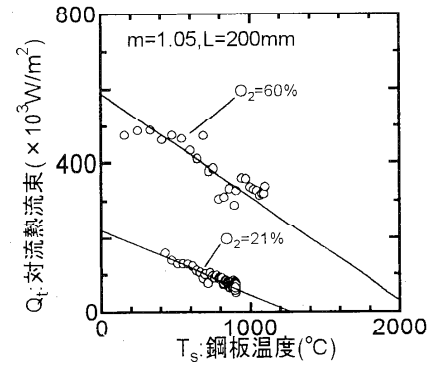


図10 酸素富化による加熱能力向上

ノズルにフードを取り付けたタイプCが最も実用性が高く、タイプBと比較して加熱能力を向上させることが出来た。

表3 バーナ形状と酸素富化による最適化

バーナ		A型：予混合+円孔ノズル	B型：ノズル混合+環状ノズル	C型：B型+フード取り付け
形状				
酸素富化	無	逆火	火炎温度低、対流熱伝達率小	◎
	有	溶損	◎	溶損

次に各タイプについて酸素富化燃焼化を検討したところ、タイプ A に加え C でもノズルの溶損あるいは逆火が発生し、実用に適さなかった。

これに対し、ノズル混合型のタイプ B では酸素富化時も安定燃焼が可能であり、加熱能力を飛躍的に向上出来ることが確認された (図 10)。

タイプ B の加熱能力向上は特に火炎の高温化の影響が大きいが、酸素富化で燃焼の安定性が向上するので通常適用出来ない高流速のノズル設計によってさらに加熱能力を高めることも可能だと考えられる。

3. 4 まとめ

空気燃焼の場合は、環状ノズル (B タイプ) より、円孔ノズル (A、疑似的に C タイプ) の方が性能が良いと考えられたが、円孔ノズルは、酸素富化燃焼時は溶損問題で実用できなかった。

表 4 には電気加熱との能力の比較を行った例を示す。この比較条件では、酸素富化により誘導加熱と同程度の加熱能力が実現できる。

表 4 電気加熱との加熱能力の比較
(3.2 t 鋼板、常温→650℃)

方式	酸素富化	加熱時間
誘導加熱	—	20sec.
Type A	無し	54sec.
Type B	60%	18sec.

4. 酸素富化燃焼による無酸化加熱能力向上

4. 1 無酸化加熱法の現状^{(11)~(16)}

直火還元技術は、近年、冷間圧延された薄鋼板を連続焼鈍する熱処理炉に用いられるようになった加熱技術である。連続焼鈍炉内では、鋼板の酸化を防止する必要があるため、従来は還元性雰囲気ガス+ラジアントチューブバーナによる間接加熱という方式が取られてきた。しかしラジアントチューブ加熱では、チューブ材質の制約から、炉内温度が高く取れず (高々 950℃)、したがって加熱速度が小さく、加熱パス数が多くなるという欠点があった。そこで空気比 1.0 未満で生成される還元炎が着目され、直火還元加熱技術が採用されるようになってきた。この加熱方法では、還元炎を直接鋼板に衝突させるため、加熱速度が大きくて、加熱パス数が小さくなる利点がある。直火

還元技術の問題点は、無酸化加熱上限温度で、必要な最高鋼板温度 800~900℃に対して、現状の無酸化加熱上限温度は、700~800℃で、高温部では、ラジアントチューブバーナが用いられる。そこで、この無酸化加熱上限温度を酸素富化により高めることを検討した。

直火還元加熱に用いるバーナの形態として、ノズル混合型バーナは予混合型バーナと比べて空気と燃料の混合性が悪く、残存する酸素の影響で直火還元加熱には不向きだと考えられてきた。しかし、適正に設計されたものは十分還元加熱特性を有することが確かめられており、現在鉄鋼各社で適用されている直火還元バーナはノズル混合型が主流となっている。ここでは直火還元バーナとして表 3 のタイプ B について検討した。このバーナを実機適用した結果、鋼板温度 750~800℃まで無酸化加熱が可能ことが確認されている。

平衡論的な数値解析からは還元性を説明出来ないことから、火炎内の活性化学種が酸化・還元反応の支配的因子だと考えられているが、活性化学種の火炎内計測の困難さのため現在のところ明確な答えは得られていない。しかしこれまでの検討で、予熱空気温度を高めれば還元性が向上することが分かっている (図 11)。

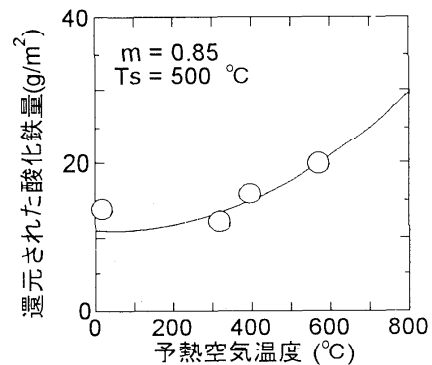


図 11 空気予熱による還元性向上

この性能向上は空気予熱によって火炎温度が高まり、火炎内反応すなわち活性化学種の生成が促進されているからだと推測される。同様に火炎温度を高める手法として酸素富化を行った場合にも還元性が向上することが十分予想されたので、タイプ B バーナを用いた還元性能評価試験を行うこととした。

4. 2 酸素富化燃焼時の還元性評価^{(15),(16)}

酸素富化の還元性能に及ぼす効果を調べるため大気開放下での直火還元加熱試験を行った。試験装置は図 12 に示すように大気開放下で、鋼板加熱する加熱台と、その下部の窒素を満した無酸化冷却室とから構成されている。

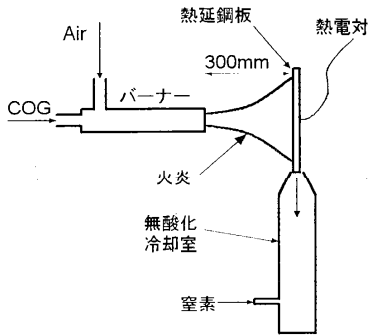


図 12 還元加熱試験装置

燃料は COG、燃焼量は 70kW、供試材は普通鋼の熱延鋼板 (5.6t) で、表面に約 10 ミクロンのスケールがある。空気比、酸素富化率および鋼板到達温度を変えて直火還元加熱された鋼板は、常温まで無酸化冷却された後に表層断面を SEM、EPMA 観察し、酸化/還元の評定を行った。

この結果、酸素富化を行わない場合は還元可能な最高鋼板温度が 800℃であったのに対し、酸素富化を行うことで最高 1200℃まで還元可能な条件を得ることが出来た。図 13 に鋼板温度 1200℃で還元可能な燃焼条件の範囲を示す。三角で囲まれた空気比約 0.4~0.6、酸素富化率約 50~80%の範囲が鋼板温度 1200℃での還元可能領域となる。酸素富化率 80%以上で逆火するのは設計上の対応で改善可能であり、空気比が 0.4 より低い場合はすすを生成するが、さらに何らかの手段で火炎温度を高めることが出来ればそれぞれ還元性が得られると推測される。

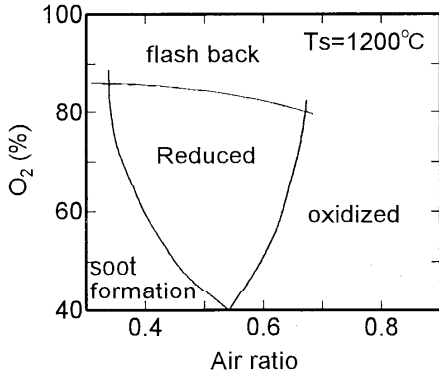


図 13 還元可能燃焼条件(Ts=1200℃)

このように酸素富化燃焼で高還元性が得られるのは、低空気比で高温の安定燃焼が可能となったからだと考えられる。すなわち通常の空気燃焼では、低空気比時に火炎温度の低い緩慢燃焼となるため、十分な還元性は得られないが、酸素富化燃焼で火炎温度が高めることで反応性の高い安定した火炎となり、高還元性が得られたものと考えられる。

4. 3 直火還元加熱の理論的考察

今回の試験から酸素富化による還元性能の向上が確かめられたが、この還元性能の因子を明らかにするために燃焼数値解析を行った。特に、通常測定困難な活性化学種 (ラジカル種) の挙動に着目していく。

数値解析手法は、コントロールボリューム法で、一次精度の風上差分法を用いた。対称とする流れ場は、円管からの同軸噴流火炎で、軸対称 2次元の境界層近似を行った (図 14)。

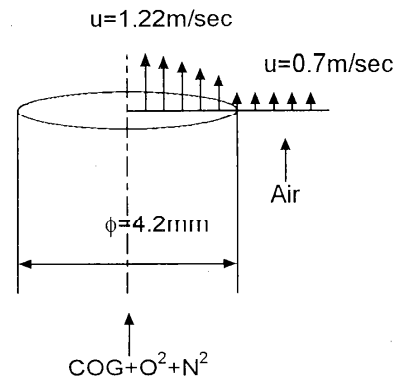


図 14 数値解析の条件

実バーナの乱流拡散火炎に対して、本解析では計算の簡略化のため予混合層流拡散火炎について解析し、主に燃焼素反応に着目していく。燃料は COG で、計算で考慮する成分は H₂, O₂, N₂, H₂O, CO, CO₂, CH₄, O, H, OH, HO₂, CHO, CH₂O, CH₃ の 14 種および素反応式 30 式を用いた。

図 15 に空気比 0.85、予熱空気温度 20℃、炉内排ガス中燃焼におけるノズル中心軸上での、火炎温度、安定化学種およびラジカル種の分布を示す。L=37mm までの燃焼初期の低温部で多く生成されるラジカル種は CH₄ の熱分解反応によって生成される CH₂O だが、燃焼中・後期にはさらに反応が進み消滅する。逆に高温の燃焼中・後期には H, O,

OH ラジカルが多く生成されるため、還元性の H とその他の競合で酸化・還元反応が決まると推測される。

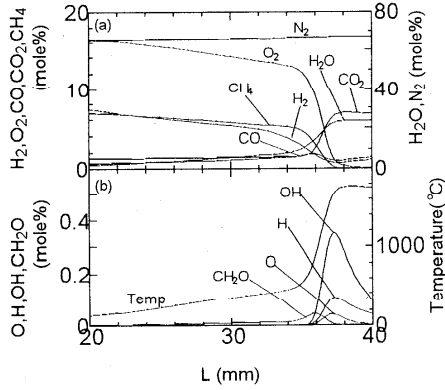


図 15 数値解析結果 (軸方向)

次に酸素富化率を変えた場合の、主なラジカル種 (O, H, OH) の半径方向分布を図 16a)~c)に示す。各図の分布は、燃焼が中心軸上に達した位置で表している。酸素富化率を上げていくと各ラジカル種共に増加していくが、特に H ラジカルが増えていることが分かる。

4. 4 まとめ

以上の解析結果から火炎内での燃焼形態を推測すると、燃焼初期あるいは燃料過剰な低温部では、 CH_2O が多く生成されるが、最も燃焼が安定した(また実用に供す場合の多い) 燃焼中期の高温部では、H, O, OH ラジカルが増加していく。特に酸素富化時は低空気比燃焼でも火炎温度が高く、H ラジカルの生成が促進され、これが還元の支配因子と推定される。

乱流拡散火炎内の燃焼形態は複雑であり、バーナ個々によって異なるため系統的な評価は難しいが、火炎内の反応を促進することが有効であることが分った。

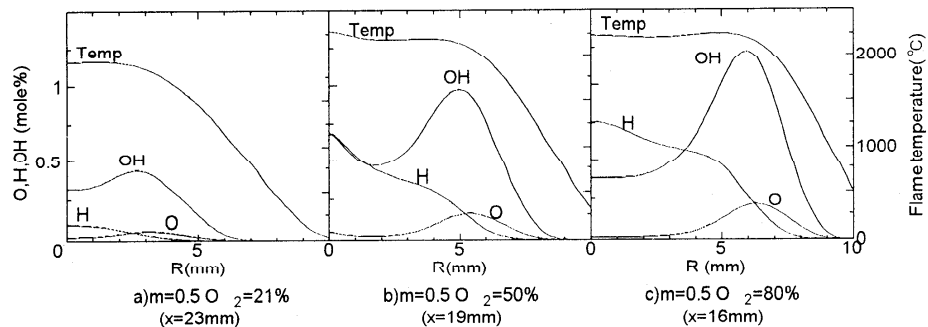


図 16 数値解析結果 (幅方向)

また、今回の数値解析は火炎内の濃度分布のみを考慮したが、鋼板との衝突過程で火炎が冷却を受けることで火炎構造が変化し、還元作用に影響を与えているという解析結果⁽⁷⁾もあり、今後の詳細な検討が必要だと考えられる。

5. おわりに

製鉄所における酸素利用燃焼の開発、応用事例を報告した。製鉄所は酸素の利用の面で有利な立地にあり、比較的その利用は進んでいる。しかし、その製鉄所でもこれまでは、省エネルギー=省コストという観点からは、酸素は積極的に使い難い状況にあった。しかし今後 CO_2 削減のための省エネルギー要請が強まれば、酸素を利用した燃焼技術は大きな可能性を秘めている。このためには、さらなる酸素の安価製造法の開発や高い濃度での酸素富化を行った場合の低 NO_x 化を検討して行く必要がある。

酸素利用による燃焼温度の高温化を利用する点では、現在問題になっているゴミ焼却炉におけるダイオキシンの生成抑制やゴミの減容積への応用も考えられ検討が進められていて今後の展開が期待される。

参考文献

- (1) 住田ら, 鉄と鋼, 68 (1982), S186
- (2) 池永ら, 材料とプロセス, 3 (1990), 218
- (3) 鈴木ら: 昭和 59 年 JFRC 年次大会資料
- (4) 鈴木ら: 昭和 62 年 JFRC 年次大会資料
- (5) 吉永ら, 日本鉄鋼協会第 93 回講演大会概要集, 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S54
- (6) 吉永ら, 日本鉄鋼協会第 99 回講演大会概要集, 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S312
- (7) 高島ら, 日本鉄鋼協会第 108 回講演大会概要集, 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1222
- (8) 高島ら, 日本鉄鋼協会第 108 回講演大会概要集, 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1223
- (9) 鈴木ら, 燃料および燃焼, 55 (1988), 9
- (10) J. V. Beck, B. Blackwell and Charles R. ST. Clair, Jr.: Inverse Heat Conduction, Wiley (1985)
- (11) 秋山ら: 1983 年度 JFRC 年次大会資料
- (12) 鈴木ら: 平成 2 年度 JFRC 年次大会資料
- (13) 福田脩三, 阿部正広, 工業加熱, 23 (1986) 4, 25
- (14) 鈴木豊, 矢葺邦弘, 野島克宏, 高島啓行, 上仲基文, CAMP-ISIJ 12 (1989), 1577
- (15) 鈴木豊, 矢葺邦弘, 岡田誠司, 武内孝一, 野島克宏, CAMP-ISIJ 5 (1992), 1548
- (16) 鈴木豊, 矢葺邦弘, 岡田誠司, CAMP-ISIJ 5 (1992), 1549
- (17) 石橋一弘, 柘植俊一, 鉄と鋼, 76 (1990), 345

広幅鋼材加熱炉のための純酸素燃焼技術の開発

Development of Oxygen/COG Combustion Technology for a Wide Reheating Furnace

村上 英樹、齋藤 俊明、林 順一 (新日本製鐵 (株) プロセス技術研究所)
 長谷 政孝 (新日本製鐵 (株) プラント事業部)
 Hideki MURAKAMI, Toshiaki SAITO and Junichi HAYASHI (Process Technology Research
 Laboratories, Nippon Steel Corporation)
 Masataka HASE (Plant & Machinery Division, Nippon Steel Corporation)

1. はじめに

酸素燃焼技術は、これまでその局所高温火炎特性を利用してガス溶接・切断や金属・ガラス等の溶解炉等に多く適用されてきたが、高温で短火炎長の特徴を持つため、均一加熱が要求される大型の鋼材加熱炉への適用例は非常に少ない。一方で、近年の地球温暖化等の環境問題への取り組みに対する要求は一段と強くなっており、高温加熱炉は、その加熱システムの再検討の時期にきていると思われる。著者らは、高温・高輻射加熱のシーズ技術である純酸素燃焼技術が新しい高温加熱炉の方向のひとつになり得ると考え、酸素バーナとその燃焼排ガスからの CO₂ 回収装置を組合せ、クリーンな環境創出を目指す「CO₂ リサイクル加熱炉」を提案している。Figure 1 に酸素燃焼加熱炉システムのイメージを 150T/H ビレット加熱炉を例として図示する。燃焼排ガス中の脱湿後の CO₂ 濃度は、COG (Coke Oven Gas) を燃料とする場合 82% (LNG なら 98%) の高濃度であり、PSA (Pressure Swing Adsorption) 1 段でも CO₂ が回収可能なレベルである。回収した CO₂ をドライアイスとして再使用するのか固定化するのかはここでは議論しないが、このシステムが完成すれば、煙突の無い加

熱炉が実現することになる。その他にも酸素燃焼を鉄鋼加熱炉に適用した場合の次のような効果が期待できる；

- ①燃焼ガスが高温・高放射率のため、被加熱材への伝熱量が大きく、炉体のコンパクト化が可能となる。
- ②燃焼排ガス量が少ないため、排ガス損失熱の減少と設備 (煙道) のコンパクト化が可能となる。
- ③酸素が高濃度かつ高圧供給のため、酸素配管とバーナのコンパクト化が可能となる。

逆に、酸素燃焼を大型の鋼材加熱炉に適用する場合、以下に示す技術課題を解決しなければならない。

- (1)高温急速燃焼のため高温短火炎であり、鋼材や炉内・炉壁耐火物の局所的な高温化の懸念がある。
- (2)燃焼排ガス量が少ないため、炉圧変動と燃焼排ガスの偏流・偏熱が生じる可能性が高い。
- (3)高温火炎による NO_x 値が増大する可能性がある。その他経済性の問題として、
- (4)酸素 (製造) のコストが挙げられる。

本報では、上記(1)~(3)の技術課題を解決するために行った実験的・数値解析的検討について紹介する。

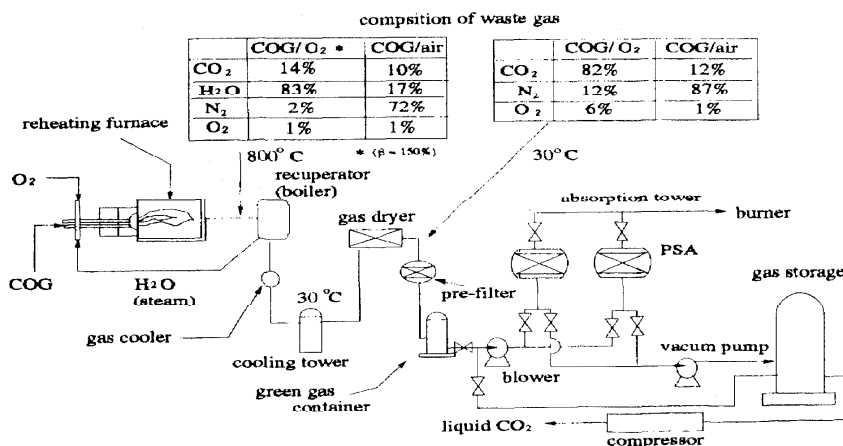


Figure 1 Reheating furnace system using COG/O₂ gas firing burner.

2. 酸素バーナの開発

まず、Figure 2 に示す燃焼容量 25 万 kcal/h の純酸素バーナを試作し、円筒横型の小型燃焼実験炉（内径 800×長さ 4000mm）に取り付けて実験を行った。本バーナは、火炎長炎化のためのバーナタイルレス酸素二段燃焼且つ水蒸気多量吹き込み型（実プロセスでは、排ガス顕熱を利用して水蒸気を生成する）で、一次酸素と高速 COG 流で安定した一次燃焼炎を形成し保炎性を確保しつつ高速二次酸素流による炉内ガスの循環作用で火炎の長炎化と低 NOx 化を図った点と、バーナの非水冷化により、バーナのコンパクト化を図った点に特徴がある。

Figure 3 に燃焼炉内の平均炉温（天井から 100mm の熱電対 5 点の平均）を示した。図中どの条件においても炉尻での未燃もなく燃焼性は良好であった。比較に用いた空気バーナは、燃料 2 流・空気 3 流の火炎長可変型低 NOx バーナで、燃焼量は酸素バーナと同様に 25 万 kcal/h で COG を常温空気で燃焼させた。図からも明かなように、水蒸気を投入しない場合では、酸素バーナでは空気バーナよりも 200 度近く高い炉温が得られている。これは先に述べたように酸素バーナでは、燃焼排ガス量が 1/3 程度に減少し、排ガス顕熱によって持ち出される熱量が大幅に減少したためである。水蒸気吹き込みを行う場合、吹き込み量の増加により排ガス量も増加し、平均炉温が低下する現象がみられるが、150%の水蒸気吹き込みを行っても空気バーナに比べて 100 度以上炉温が向上している。

次に炉長方向の温度偏差を Figure 4 に示した。偏差を明確にするため縦軸には各点の炉温を平均炉温で割った炉内温度比をとった。どのケースもバーナ面から 1~2m のところに炉温のピークがあり、空気バーナでは±8%の温度偏差が生じている。今回開発したバーナタイルレス高速二段酸素燃焼バーナは、空気バーナとほぼ同等の炉温偏差で抑えることができた。さらにこの酸素バーナに水蒸気を吹き込むことピーク温度の低減と火炎の長炎化で均温性を向上することができ、150%吹き込みの条件下では、炉温偏差が±5%まで低減した。純酸素燃焼では、LNG のような窒素成分を含まない燃料を使用すれば、炉体のシール性・炉圧制御性を向上させることで、fuel NOx, thermal NOx 共に抑制は可能で、NOx を発生させない加熱炉の実

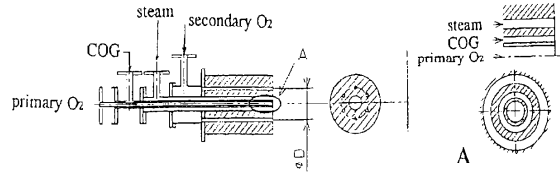


Figure 2 Schematic view of experimental burner.

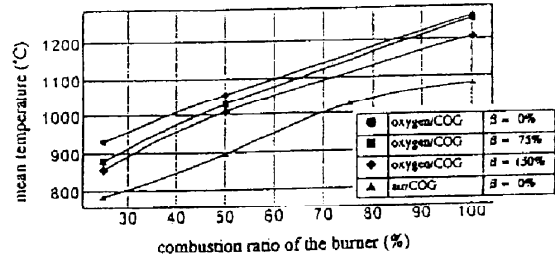


Figure 3 Mean temperature in the small furnace (β = Volume Flow Rate of Steam/Volume Flow Rate of COG).

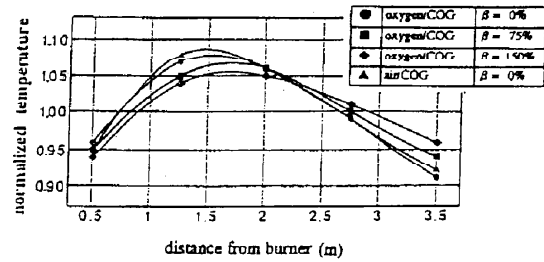


Figure 4 Normalized temperature in the small furnace.

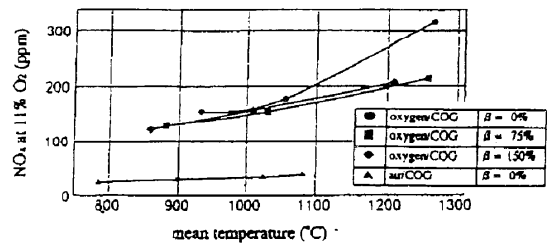


Figure 5 NOx concentration standardized at 11% O₂ in the small furnace.

現の可能性もある。しかしながら一貫製鉄所における鋼材加熱炉では、コークス炉からの COG を燃料として用いることが一般的であり、この燃料は、N 分を含むため、fuel NOx の対策が必須となる。

Figure 5 に COG/O₂ 燃焼での O₂11%換算 NOx 値を示した。本バーナを用いても、NOx 値は空気バーナよりもかなり高く、1250℃では 300ppm 以上に達する。水蒸気吹き込みによる NOx 低減効果は低温域では見られないが、1100℃以上では効果があり、200ppm 程度まで下げることができた（この値は、排ガス量換算で空気バーナの 60ppm に相当する）。

3. 炉内分散型酸素燃焼システムの開発

上記バーナタイルレス高速二段酸素燃焼バーナに水蒸気吹き込み技術を適用することで、一定の均温性を確保する見通しが得られたが、この技術ではバーナ軸方向の炉温分布が、バーナから供給される燃料と酸素の混合状態で支配されるため、均温性の改善には限界がある。また、NOx 値も希釈なしには、満足できるレベル (<100ppm) がない。そこで更なる均温性の改善と炉温制御性の向上を目指して炉内分散燃焼技術—①燃料分散供給法、②酸素分散供給法—の開発を行った。これは、酸素燃焼が予熱なしに十分な燃焼安定性を持つ事を利用した技術である。

Figure 6 に分散燃焼実験のイメージを図示する。実験には前節のバーナと小型燃焼炉を用い、燃焼量 100%、一次酸素、水蒸気吹き込み無しの条件下で行った。

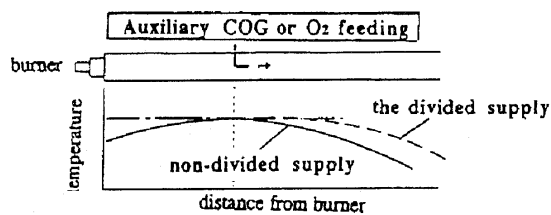


Figure 6 Image of the divided gas supply system.

Figure 7 に COG 分散供給実験結果、Figure 8 には、酸素分散供給実験結果を示した。どのケースにおいても未燃ガスは検知されず、完全燃焼したが、燃料の吹き込み位置や吹き込む向きによって

その効果が大きく異なることが分かった。結果として、どちらの分散供給の場合もバーナから 2m の位置で下流方向に吹き込む場合のみ効果が大きく、総ガス量の 20~30%を吹き込むことで 30~40 度の均温性改善が見られた。この吹き込み位置は、本来炉温がピーク値となる位置の直後であり、本バーナの火炎先端付近と考えられる。分散酸素比率を上げ過ぎた場合には、逆に均温度が低下するケースもあり、分散率には適性値が存在することも確認されている。

Figure 9 に酸素分散供給によるバーナ軸方向炉温分布変化を例示したが、この図からも高い温度制御性が得られていることが分かる。

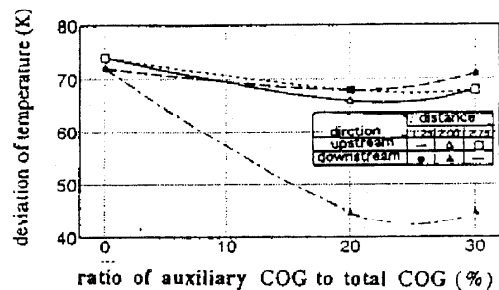


Figure 7 Deviation of temperature in the divided fuel supply system.

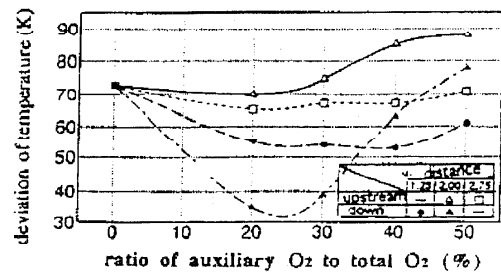


Figure 8 Deviation of temperature in the divided O₂ supply system.

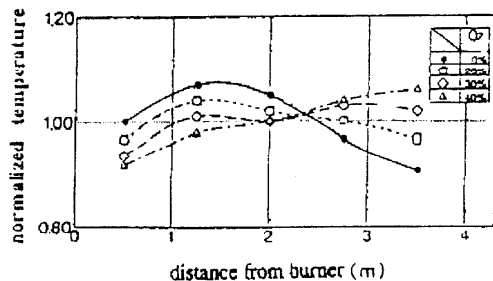


Figure 9 Normalized temperature in the small furnace (the divided O₂ supply 2m apart from the burner).

Figure 10 は、分散供給比率と NOx 値の関係であるが、酸素分散供給技術をうまく適用することで換算 NOx 値を 100ppm 以下にまで抑えられることがわかる。バーナで過剰酸素となる COG 炉内吹き込みでは、NOx 低減効果はあまり見られず、均温化・低 NOx 化技術としては、酸素分散供給がより有効であると考えられる。

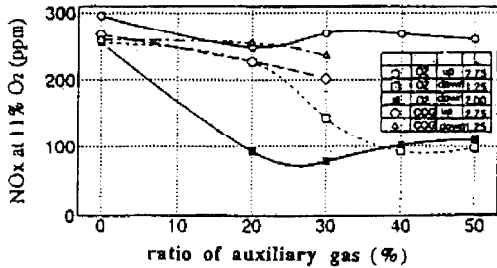


Figure 10 NOx concentration standardized at 11% O₂ in the divided supply system.

4. 広幅加熱炉へのスケールアップ。

バーナを含む燃焼加熱設備の設計において、最も重要な検討課題のひとつは、スケールアップだと考えている。これは、燃焼加熱プロセスが流動（乱流）、伝熱（放射）、反応（燃焼）が複雑に絡み合った現象を取り扱っているためである。これまで述べてきた小型燃焼実験による探索結果により純酸素燃焼システムの基本型はできたものの、実際の大型炉で効果を発揮できるかどうかの検討は必要である。

高炉一貫製鉄所で稼働している大型の鋼材加熱炉は、炉幅 8~14m、炉高 5~6m（鋼材表面~天井間は 2~3m）、炉長 30~40m で、炉幅方向に並べられた鋼材は、順次ウォーキングビーム等で炉長方向抽出口へと搬送されていく連続式のもが一般的である。つまり炉幅は、最大鋼材長さによって決められ、炉幅方向の偏熱が各鋼材の偏熱に大きく影響する。その点を考慮し、炉幅 10m 炉の 1 バーナ燃焼ゾーンを切り出した大型実験炉（Figure 11）を製作し、上記純酸素燃焼加熱システムのスケールアップの効果確認試験を行った。

大型実験炉での検討には、150 万 kcal/h の COG/O₂ バーナ（酸素流速は小型実験炉と同じ 120Nm/s とするよう調整し、酸素ノズルピッチを 115mm から 280mm に拡大した）を用い、小型実験で得た実験結果をもとに、操業上より現実的な条件を選定して検討を行った。

Figure 12 には、酸素分散供給率による炉温分布の変化を示したが、小型実験炉の結果とは、若干異なり分散比率 20%以下では、均温化効果が小さく、30%で顕著な均温効果が現れた。Figure 13 には、各燃焼条件における排ガス中 NOx 濃度を示したが、小型実験炉の場合に比べ全体的に NOx 値が高く、O₂11%換算 100ppm に下げるためには、30%の分散で且つ一次酸素を使用しないことが条件であることが分かった。また、水蒸気吹き込みは、一次酸素を使用する条件下（バーナ近傍に高温火炎部が存在していると予想する）でのみ、NOx 低減に有効であることが分かった。

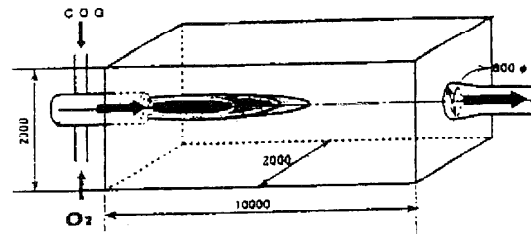


Figure 11 Schematic of the larger experimental furnace.

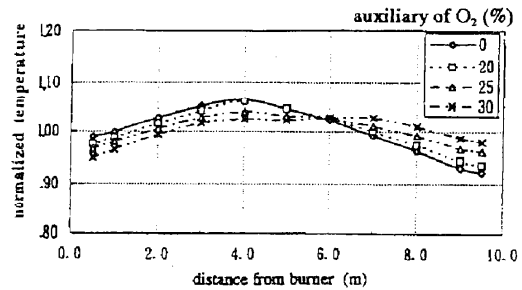


Figure 12 Normalized temperature in the large furnace (the divided O₂ supply 4.5m apart from the burner, no steam, no primary O₂).

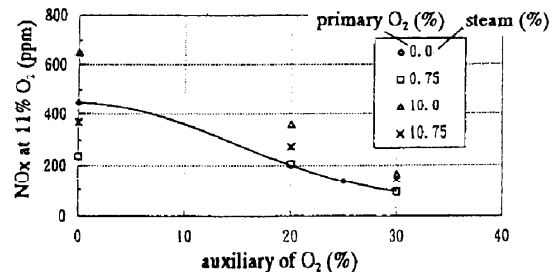


Figure 13 NOx concentration standardized at 11% O₂ in the divided O₂ supply system.

このようにスケールアップに伴い若干の条件変更があるものの、本純酸素燃焼システムが広幅加熱炉においても実用化できそうであることが分かった。しかしこのスケールアップ実験は、あくまでも1バーナゾーン単身のものである。バーナが両側壁に向かい合って設置され、複数組のバーナを炉長方向に併設している実際の鋼材加熱炉では、排ガス下流の燃焼域は、上流からの排ガス流に影響を受け、炉内の流動状態や温度分布もかなり複雑である。また、純酸素燃焼排ガスは、高放射ガスであるため放射伝熱量が増加し、その増加だけガス厚み (=燃焼ゾーンの高さ) を小さくできる期待が持たれており、高さ変更の影響についても確認しておく必要がある。これらの総合的な炉内現象に対して、すべて大型実験炉で検討することは困難であり、解析モデルによる数値実験で、酸素バーナを用いた広幅鋼材加熱炉内の温度分布と鋼材表面の受熱量について検討を行った。数値解析コードは自社保有の非定常三次元乱流-放射伝熱モデル (PROHEAT) ¹⁾ である。本モデルは、Smagorinsky モデル ²⁾ による標準的な LES (Large Eddy Simulation) を乱流モデルとして、熱線追跡法 ³⁾ と MC (Monte Carlo) 法 ⁴⁾ を組み合わせた READ (Radiative Energy Absorption Distribution) 法 ⁵⁾ を放射伝熱モデルとして用いている。燃焼に関しては、バーナ実験等の知見からアレニウス型の発熱量分布を与える形でモデル化した。

まず、Figure 14 には、数値解析モデルの検証のために行った大型実験炉内での熱流束測定値との比較例を示した。熱流束は、熱電対を埋め込んだステンレス片により、長手4点測定し、4点ともほぼ満足できる一致を示した。

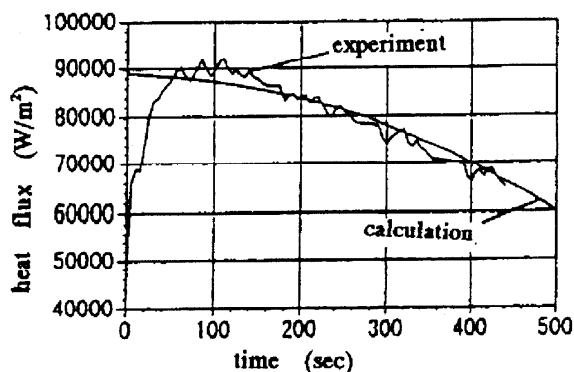


Figure 14 Comparison of heat flux 4m apart from the burner between calculation and experiment.

Figure 15、16 には、本数値解析モデルにより計算した4条件の比較データを示した。計算対象は、鋼片加熱炉上部帯1帯で10m幅×8m長×1.2m高さ(酸素バーナ)又は2.2m高さ(空気バーナ)、COG/O₂サイドバーナ-300万kcal/h/本8本(片側4本)を高さ中央で等間隔で配置、排ガス流出口10m(全幅)×0.6m高さ、鋼片の受熱量分布を明確にするため下面全面に1000°Cの鋼片が在ると仮定した。

- CASE 1 COG/O₂ 水蒸気無し、O₂分散無し
- CASE 2 COG/O₂ 水蒸気150%、O₂分散無し
- CASE 3 COG/O₂ 水蒸気150%、O₂分散20%
- CASE 4 COG/AIR 予熱空気温度600°C

(本検討は、大型実験炉から同時並行してに行っており、実験水準は、小型実験で得られた最適条件をもとに設定している。)

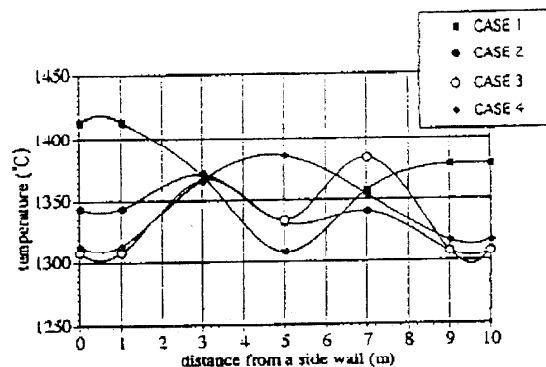


Figure 15 Mean temperature distribution in furnace.

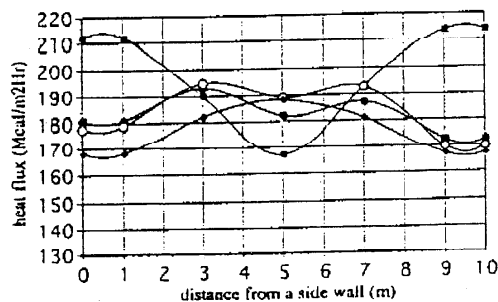


Figure 16 Mean heat flux distribution in furnace.

Figure 15 は、排ガス温度データを炉高方向と炉長方向で積算した炉長断面平均値 (1分間) を図示する。グラフの横軸は一方の側壁からの距離をとっており、幅方向にはほぼ対称的な分布を示していることがわかる。CASE 1の酸素バーナのみでは、側壁近傍で最高温度が現れており、炉幅中央部への高温ガスの移動が少なくなることで、炉幅

方向に大きな（実験と同様に 1 割弱の）偏熱が生じていることを示している。これに対して CASE 2、CASE 3 では、両側壁から約 3m の位置での雰囲気温度が最も高くなっており、炉幅中央での温度低下も CASE 1 に比べて緩和されている。絶対値、偏熱差も同時に低減されている。CASE 2 と 3 が同じ温度分布になっているのは、燃焼実験での知見をもとにバーナ軸上での酸素供給を想定したため、水蒸気吹き込みと類似の効果が現れたためと考えられる。比較のため行った CASE 4 の空気バーナでは、吐出噴流が大きく中央で衝突した高温燃焼ガス流が中央部を下流へ流れ、中央部に高温領域が生じた。

Figure 16 に被加熱材表面での長手平均受熱量を示す。平均受熱量分布の傾向は平均ガス温度分布と同じであることが分かる。CASE 1 では、局所的に大きな高温部が存在するため、温度の 4 乗で増加した放射伝熱量が側壁近傍での加熱を促進し、炉温以上に大きな受熱量偏差を生じており、鋼材の端部過加熱の原因となりえる（今回の検討では、鋼材が敷き詰められた仮定を用いており、端部の側面からの受熱量は無視しているが、実際は端部側面からの入熱により端部の加熱はさらに促進される）。

CASE 2 と 3 では、水蒸気吹き込みと分散燃焼により被加熱材の受熱量が炉幅方向均一化されていることが分かる。心配されたバーナ噴流間の干渉による偏流は生じておらず、上部帯での鋼材の受熱量分布は、内壁及びガス体から全方向にわたる放射伝熱を受けるため、炉幅中央付近での受熱偏差が少なくなる傾向が現れていた。CASE 4 の空気バーナ炉と比べ、酸素バーナ炉では、ゾーン高さが約 6 割であるにも関わらず鋼材の受熱量が増加している点である。これは炉内ガスの放射率が増加したためであり、CASE 2 や 3 の条件で低炉高酸素燃焼加熱炉の可能性を示していると考えられる。

5. おわりに

純酸素燃焼が持つ長所を充分活かし、且つ短所を補う技術を付加することで、次世代の煙突の無い大型加熱炉の可能性を述べてきた。検討のアプローチは、プロセス構想→新型バーナの試作・検討→大型実験炉でのスケールアップ→数値解析によるプロセスの可能性評価とオーソドックスに進めたが、技術的には、実用化が可能だという結論

に至っている。課題は、いかに経済的に魅力のあるものとするかであり、現在の酸素製法と日本の電力コストでは、実現は厳しいと言わざるをえない。ただ、本開発内容を米国のガス関係の企業に紹介した時には、数人の企業研究者から熱心な質問を受け、状況が変わればこの課題もハードルの高いものではなくなるとの実感も得ている。

今後の技術革新により、純酸素燃焼のような魅力ある技術が、経済的にも充分成り立つ環境に近い将来実現することを期待して止まない。

本研究開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構より社団法人日本工業炉協会が委託を受けた「高性能工業炉開発」プロジェクトの再委託業務成果に基づくものである。

（参考文献）

- 1) 齋藤俊明 他 2 名；第 8 回計算力学部門講演会講演集 (1995) Nov.
- 2) James W. Deardorff；J. Fluid Mech. (1970) 41 pp453
- 3) 早坂洋史 他 5 名；日本機械学会論文集 (1986) B-52 pp1734
- 4) 工藤一彦 他 5 名；日本機械学会論文集 (1993) B-59 pp1265
- 5) 谷口博 他 4 名；「放射伝熱解析」
- 6) 村上英樹 他 5 名；工業加熱 Vol.33 No.3 (1996) pp17

加圧型内部循環流動床ボイラの開発とガス化炉への展開

Development of Pressurized Internally Circulating Fluidized-bed Boiler and development to Gasifier Technology

橋本 裕 ((株) 荏原製作所環境開発センター環境エネルギー開発部)
Hiroshi HASHIMOTO (Environmental Development Dept., Environmental Technology Development Center, Ebara Corporation)

1. 緒言

世界のエネルギー問題が深刻化しつつあるのに伴い、その現実的な対応として石炭をエネルギー源として見直す動きが活発化している昨今¹⁾、石炭燃焼のクリーン化と高効率発電システムの実用化が急務とされている。

当社は流動層内に旋回流を有し、負荷追従性、低公害性に優れた「内部循環流動床ボイラ」(ICFB = Internally Circulating Fluidized-bed Boiler) の技術を既に有している。この技術を更に発展させた「加圧型内部循環流動床ボイラ」(PICFB = Pressurized ICFB) は、高効率で操作性、環境特性に優れ、多炭種にも対応可能な高性能石炭ボイラである。

その技術開発は、当社が(財)石炭利用総合センターと共同で、通商産業省の補助金を受けて平成4年度から進められており、平成8年秋から開始した4MWth ホットモデルの燃焼試験が今年3月に終了したのもって、すべての開発計画を完了した。

本稿ではPICFBの特徴と、15回、延べ2284時間(連続最長612時間)にわたって行った燃焼試験により得られた結果及びデータの報告をすると共に、今年度より行う次世代型の石炭流動床ガス化技術(アドバンスドPICFB=<PICF-Gasifier>)の概要

について述べる。

2. PICFBの特徴

2.1 従来型技術との比較

複合サイクル発電による高効率発電の実用化に向けて、その要素技術として加圧下での石炭燃焼技術が必要である。

現在、世界各国で開発が進められている加圧流動床燃焼技術のベースとなっているのは、気泡流動層燃焼方式(バブリング型=FBC)と循環流動層燃焼方式に二分される。そのような中で内部循環流動床炉(ICFB)は気泡流動層と循環流動層双方の利点を併せ持っており、従来型に比べ負荷制御の容易さや優れた環境特性において、多くの実績を常圧で実証している。Table 1 に従来技術とICFBの比較表を示す。

2.2 PICFBの特徴

PICFBはICFBの優位性を保ったまま、その性能を更に発揮することが出来る技術である。Fig. 1 にPICFBの概念図を、Fig. 2 にPICFBを用いた高効率発電システムの一例を示す。また、Table 2 にPICFB独自の機構的特徴とその効果によってもたらされ

Table 1 内部循環流動床技術と従来技術の比較

	バブリング型 (従来型-FBC)		循環型 (外部熱交なし)		循環型 (外部熱交あり)		バブリング型 (内部循環型=ICFB)	
部分負荷時の 燃焼ガス温度	低下	砂層上に伝熱管 が露出	低下	収熱過多となり低 下	不変	外部熱交により 一定に維持可	不変	粒子循環量の制御 により維持可
負荷制御の 簡便性	煩雑	低負荷時に砂の 抜き出しが必要	容易	空気量制御。但し、 循環系での後燃え の恐れ有り	容易	同左	容易	空気量制御。 後燃えも無し
伝熱面配置と 収熱性	難有	燃焼と収熱を独 立制御不可	難有	加圧時はリーボード に伝熱管必要	難有	加圧時は粒子量 の増加が必要	容易	加圧時でも熱回収 室の伝熱管で収熱 可
二段燃焼強化	不可	伝熱管の腐食防 止のため限界有	可	但し、還元腐食の 危険有り	可	伝熱管の還元腐 食の恐れは無し	可	伝熱管の還元腐食 の恐れは無し

る利点を示す。

3. PICFB ホットモデル試験

3.1 4MWth ホットモデル試験設備

PICFB ホットモデル試験設備の設備フローを Fig. 3 に、その概要を Table 3 に示す。

i) PICFB 本体

ホットモデル試験設備の核となる PICFB 本体は、内径 3.9m の円筒形圧力容器内部に、同じく円筒形の内部循環流動床ボイラが設置された構造となっている。流動床ボイラ形状は、350MWe 級実機の相似形で、寸法比は約 1/6 である（低層高モード）。必要に応じて 150MWe 級実機と同じ層高（3.6m）での試験もできる（高層高モード）。

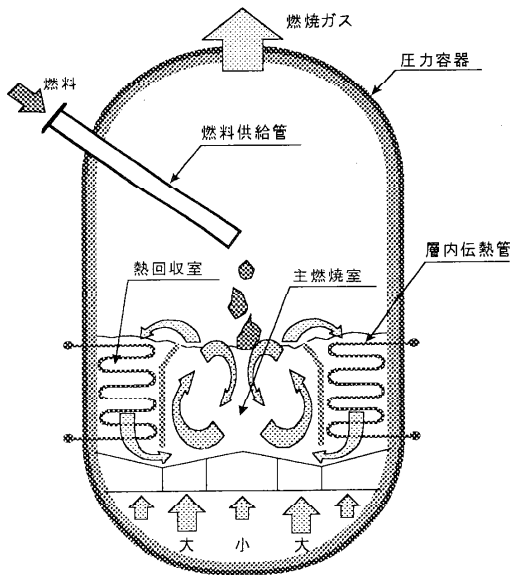


Fig. 1 PICFB 概念図

炉内は円筒壁により中心部と外周部に分割され、それぞれ中心部が主燃焼室、外周部が層内伝熱管を放射状に配置した熱回収室となっている。圧力容器内部とボイラ内部の差圧は、差圧調整用空気を燃焼空気と独立に制御することにより調整している。起動は灯油燃焼式の熱風発生炉にて行う。

ii) 給炭設備

給炭装置は CWP (Coal Water Paste) 給炭装置と乾式給炭装置の両方を備えている。CWP は製造まで含めて本設備内で行われる。また給炭位置は層内給炭と層上給炭を選択できる方式となっている。

脱硫剤として石灰石を給炭ライン中で石炭に混ぜて投入することができる。

iii) 流動媒体設備

ICFB の特徴として、流動媒体 (Bed Material : BM) には摩耗による飛散が少ない珪砂を使用することができる。運転中の BM 補充、抜き出しを可能

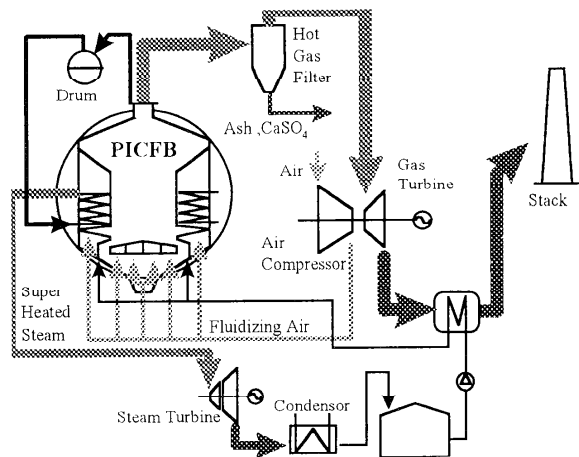


Fig. 2 PICFB 発電システムフロー図

Table 2 PICFB の特徴

機構的特徴	効果と利点
◆主燃焼室に内部旋回流がある。	・燃料拡散、熱拡散に優れる。→ 給塵ポイント減。局所高温無し。
◆燃焼室内に酸化雰囲気と還元雰囲気の部分が共存している。	・酸化反応と還元反応が同一炉内で行われる。 → 低 NOx、低 SOx の同時実現が可。
◆主燃焼室と熱回収室が同一炉内で分離されている。	・燃焼と収熱の独立制御が可能。→ 負荷によらず層温が一定。 燃焼と無関係に収熱制御が可。 ・層内伝熱管は沈降移動層の熱回収室のみに配置され、燃焼ガスに晒されない。→ 流動媒体に珪砂の使用が可。
◆火炉の平面形状が円形。	・主燃焼室にデッドスペース無し。→ 流動不良部無し。 ・圧力容器との形状適合性に優れる。→ コンパクト化。 高圧部容積が小。

Table 3 試験設備の概要

形式	自然/強制循環型水管式	
形状	円筒形	
運転圧力	1.33	[MPa(gage)]
運転層温	850	[°C]
蒸気圧力	1.86	[MPa(gage)]
蒸気流量	3070	[kg/h]
過熱蒸気温度	536	[°C]
給炭量	600	[kg/h]
ガス流量	5000	[Nm ³ /h]
流動媒体	珪砂	
給炭方式	乾式及びCWP	

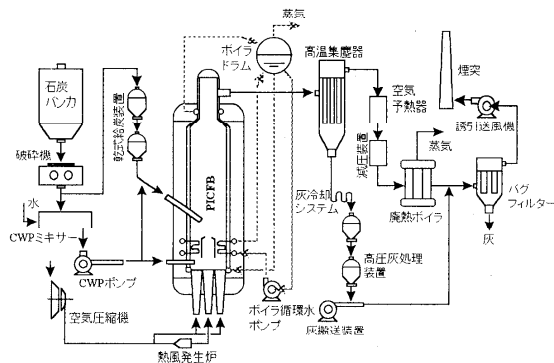


Fig. 3 4Mwth ホットモデル・フロー図

にするために、ロックホッパ方式のBM循環設備を設置した。炉から排出される高温の流動媒体は水冷式BM冷却コンベアにて300°C以下に冷却後、ロックホッパにて減圧され、常圧のBMホッパに戻される。

iv) 空気・燃焼ガス系設備

燃焼空気は空気圧縮機で昇圧され高压空気予熱器を通過後、炉内及び圧力容器内に供給される。

PICFBからの燃焼ガスは高温集塵器で除塵され、ガス冷却設備で冷却された後、減圧装置で大気圧まで減圧され、誘引送風機を介して煙突から放出される。

v) 灰処理設備

高温集塵器で捕集した飛灰は高压灰処理装置にて減圧、減温された後、灰処理設備に搬送され処理される。

3.2 燃焼試験

i) 運転時間

平成8年12月から平成10年3月までの間に行った燃焼試験の一覧をTable 4に示す。Run1~6は150Mwe級実機と同層高の高層高モードで、Run7

Table 4 燃焼試験一覧

Run No.	運転時間	給炭方式	試験内容
1	62 hr	CWP	熱風炉、制御調整
2	94 hr	CWP	給炭系調整
3	84 hr	CWP	分析計調整
4	54 hr	CWP	100%負荷
5	256 hr	CWP	層温変化、負荷変化
6	145 hr	CWP	再現性確認
7	219 hr	CWP	低層高特性
8	142 hr	乾式	乾式給炭
9	45 hr	CWP	長時間運転用調整
10	612 hr	乾式	長時間、多炭種対応
11	22 hr	乾式	乾式詳細データ採取
12	168 hr	CWP	CWP詳細データ採取
13	108 hr	乾式	負荷応答性
14	168 hr	乾式	排ガス詳細データ採取
15	105 hr	乾式	乾式詳細データ採取
合計	2284 hr	C:9 乾:6	1~6:高層高・7~15:低層高

以降は350Mwe級実機の1/6スケールの低層高モードで試験を行った。

ii) 使用炭種

多炭種対応試験として燃料に用いた石炭は4種類である。使用石炭の性状分析結果をTable 5に示す。

Table 5 石炭成分分析表

炭種	蒙州産①		中国産	米国产	
	瀝青炭	瀝青炭	半無煙炭	高硫黄炭	
全水分 ar wt%	8.7	6.7	6.2	5.9	
発熱量 kcal/kg	6760	7280	6540	7880	
工業分析	水分 ad wt%	1.5	2.0	0.9	1.3
	灰分 ad wt%	15.4	10	21.2	6.6
	揮発分 ad wt%	27.3	32.4	11	33.4
	固定炭素 ad wt%	55.8	55.6	66.9	58.7
燃料比		2.04	1.72	6.08	1.76
元素分析	炭素 daf wt%	83.38	83.71	88.9	85.86
	水素 daf wt%	5.16	5.41	4.17	5.65
	酸素 daf wt%	1.83	2.00	1.63	1.77
	窒素 daf wt%	9.18	8.14	4.95	5.64
	硫黄 daf wt%	0.49	0.74	0.25	1.08
全硫黄 db wt%	0.52	0.67	0.36	1.02	

3.3 試験結果

i) 層温制御性試験

PICFBの特徴の一つである優れた層温制御性を実証するため、層温変化試験を行った。結果の一例をFig. 4に示す。PICFBにより層温制御が容易に行えることを確認できた。

ii) 負荷応答性試験

PICFBの最大の特徴として高い負荷応答性が挙げられる。本試験では複合発電システムを想定して、

ボイラ出力(蒸気流量)による蒸気タービン出力とガスタービン出力を模擬負荷として設定した。試験では模擬負荷の設定値を変化させるだけでターンアップとダウンが可能になるようボイラ制御を調整し、負荷変化率6%/minを目標として実際に負荷変化をさせた。

負荷を50%から100%にターンアップさせた試験結果の一例をFig. 5に示す。同様にターンダウンの変化も実施し、負荷変化率6%/minを達成する事が出来た。

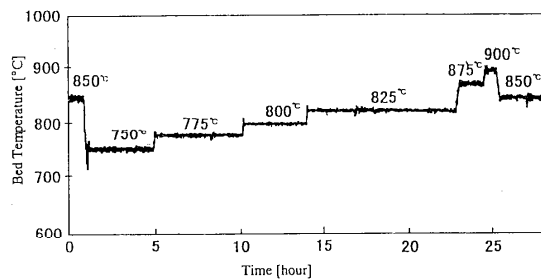


Fig. 4 層温変化試験

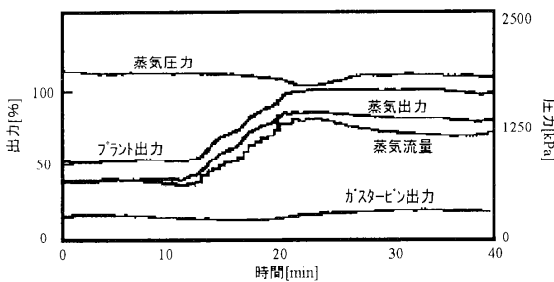


Fig. 5 負荷応答性試験

iii)環境特性試験

PICFBでの石炭燃焼による排ガスの基本特性と、以下にあげる各種パラメーターが排ガス性状に与える影響を調査した。

- ①総空気比
- ②層温
- ③脱硫剤

排ガスの分析値をプロットした例をFig. 6、Fig. 7に示す。

PICFBは主燃焼室に酸化領域と還元領域が共存しており、COを低く抑えた状態で、NOxの低減も可能であることが特徴の一つである。Fig. 6に示すとおり、NOx排出量、CO排出量とも目標値の30ppm以下に抑えられることが確認できた。

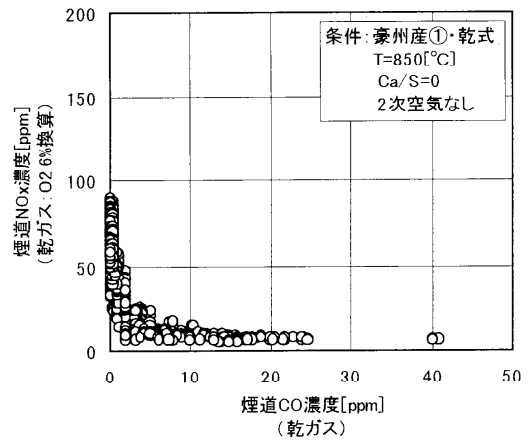


Fig. 6 CO-NOxの関係

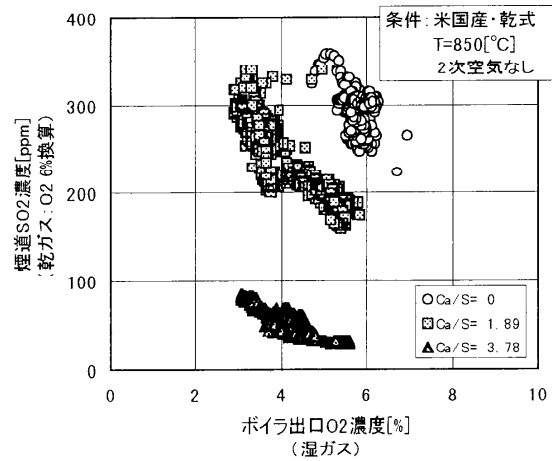


Fig. 7 脱硫剤がSO₂排出量に与える影響

また、脱硫剤(石灰石)を供給ラインで石炭に混入させることで層内脱硫を行うことが出来る。Fig. 7では脱硫剤の投入によりSO₂の発生が抑えられることが分かる。

3.4 PICFBの総括

PICFBの技術開発はホットモデルの燃焼試験終了をもってすべて完了した。実験室レベルからコールドモデル、ホットモデルまで様々な試験を通じて、石炭の高圧下での燃焼特性のみならず、脱硫・脱硝技術や高温高圧下でのマテリアル・ハンドリング技術、燃焼炉シミュレーションなど多岐にわたる成果が得られた。

4. Advanced-PICFB (PICFG)

4.1 ガス化技術

発電効率の向上をはかるには、石炭の持つ化学エネルギーをいかに高効率で電気に変換できるが重要である。その一つの方法として石炭のガス化が有効であり、その実現に向けた取り組みが各方面で行われている。

一時注目を集めた IGCC (=Integrated Gasification Combined Cycle) は石炭をガス化し、その後燃料電池で直接電気に変換したり、高温のガスタービンで高効率発電を行おうとする技術であり、完全ガス化をねらう技術である。しかし、そのために以下のような問題点が浮上しており、現時点では正味の発電効率は決して高くはないという指摘がある²⁾。

- ×ガス化反応温度が灰熔融温度にまで達し、熔融スラグの排出の問題や耐火材料の耐久性等に課題あり。
- ×熱エネルギーの一部が灰の熔融に消費される。
- ×高温で排出された生成ガスをガスクリーニングのため 450℃程度にまで下げる際の顕熱ロスが非常に大きい。
- ×安定して高温を得るために酸素または酸素富化した空気を供給する必要があるため所内率が高い。
- ×得た生成ガスを高効率で発電する技術が完成していない。

これに対して近年注目を浴びている高効率発電技術がアドバンスド PFBC(A-PFBC)技術である。A-

PFBC は完全ガス化を行わず、ガスタービンからの出力比をできるだけ高めようとするものである。

A-PFBC においては以下のような利点がある。

- ◎生成ガスクリーニングの際の冷却による顕熱ロスが減る。
- ◎生成ガスに求められる最低必要発熱量が低くて済む。
- ◎生成ガスの発熱量が十分に高ければ、燃焼空気比を上げるなどの方法でガスタービンに流入するガス量を増加させることができる。

よって、できるだけ少量で、かつ単位発熱量の高い生成ガスを得られるシステムであれば、効率向上はもちろん多炭種対応性にも優位になる。ただし、従来の A-PFBC はガス化炉とチャー燃焼炉の 2 炉式の構成が主体であり、次に示すような技術課題が残されている。

- ◆負荷変動に対応可能で、且つ安定操業可能な加圧チャー燃焼炉 (酸化炉) 技術。
- ◆チャーの燃焼熱を有効に石炭ガス化に利用する技術。
- ◆可能な限り発熱量の高い未燃ガスを得る技術。

4.2 A-PICFB (PICFG) の特徴

A-PICFB はこのような要求を満足させるために考案したものであり、1 つの炉の中にガス化室とチャー燃焼室、熱回収室を共存させることが出来る荏原独自の技術である。A-PICFB のフロー概念図を Fig. 8 に、円筒形 A-PICFB の水平断面図を Fig. 9 に、

Table 6 A-PICFB (PICFG) 構成の特徴

炉の構成	・チャー燃焼室 + 沈降チャー燃焼室 + ガス化室 + 熱回収室の 4 室構成。 (層内伝熱管は熱回収室のみに配置)
仕切壁の特徴	・燃焼室とガス化室間の仕切壁は下部のみ開口有り。 ・ガス化室と熱回収室間は全面仕切。(生成ガスと燃焼ガスの混合を避ける)
流動媒体の流れ	・チャー燃焼室 ⇒ 沈降チャー燃焼室 ⇒ ガス化室 ⇒ チャー燃焼室 ・チャー燃焼室 ⇔ 熱回収室 ・熱回収室 ⇔ ガス化室の流れは無い。
燃料供給個所	・ガス化室のみ。(→ガス化効率高い)
生成ガス性状	・チャーの燃焼熱だけでガス化に必要な熱はまかなえ、かつ複雑な制御がなくても生成ガスとチャー燃焼ガスの混合は無いので、生成ガス発熱量は高い。
層温制御機能	・燃焼室と熱回収室との間の流動媒体循環量制御による。 (PICFB にて実績有り、検証済み)
その他	・空気、燃焼ガス、水蒸気のいずれかか、もしくはそれら 2 種の混合ガス →生成ガスの質が高い ・生成ガスをガス化室の流動化ガスとして循環使用することにより、生成ガス性状を更に高めることができる。

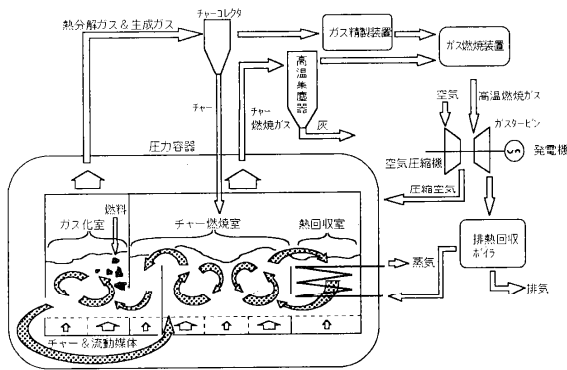


Fig. 8 A-PICFB (PICFG) フロー概念図

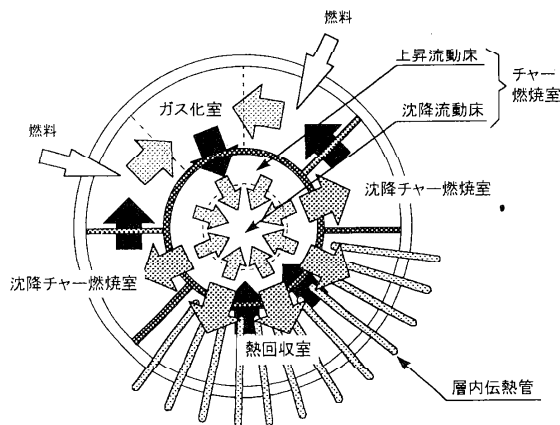


Fig. 9 A-PICFB (PICFG) 水平断面図

構成の特徴を Table 6 に示す。

ガス化室に投入された燃料は流動媒体から熱を受け、熱分解、ガス化される。残った乾留チャーは流動媒体と共にチャー燃焼室に流入する。

チャー燃焼室でチャーの燃焼熱によって加熱された流動媒体は熱回収室に流入し、層内伝熱管で収熱され冷却された後、再びチャー燃焼室に流入する。この循環流量を制御することでチャー燃焼室の温度制御が可能になる。

一方、チャー燃焼室で加熱された流動媒体は沈降チャー燃焼室に流入し、次いでガス化室に流入し、熱分解、ガス化に必要な熱をガス化室に供給する。

このように、A-PICFB は特別な圧力バランス制御や、機械的な高温粒子のハンドリング手段を必要とせず、性状の優れた生成ガスを安定して得ることができる。さらに、燃料として塩素を含む可燃性の廃棄物を用いた場合でも、過熱器管の腐食が少なく、高効率発電が可能で、統合型のガス化炉である。

4.3 A-PICFB (PICFG) 開発状況

現在 A-PICFB の開発は、ガス化に関する平衡計算やマテリアル・バランスの解析と並行して、1 炉式の最大の特徴である流動媒体の複雑な挙動を確認する常圧コールドモデル試験を行っている。着色砂を利用した試験により予想通りの砂の挙動が確認されたことと併せて、加圧状態での高温粒子ハンドリング技術や燃焼技術は既に PICFB で実証済みなので、前述した技術課題はほぼ解決されていると言える。

今後は様々な基礎的試験の結果を検証した上で、現在ある PICFB ホットモデルプラントを大幅に改造し、A-PICFB ホットモデルプラントを建設して実証試験を行う。

この試験が成功し、高温加圧下での石炭ガス化技術が実証されれば、発電端効率で 50% を超える石炭高効率発電システムも夢ではなくなる。

5. 結言

石炭の高効率発電システムを構想の念頭に置いた PICFB プロジェクトは、運転操作の容易さ、優れた制御性と環境特性、多炭種対応性等、期待通りの性能を発揮し、開発当初掲げた目標をほぼ達成して終了を迎えた。

今回実証された PICFB 技術はこれから A-PICFB (PICFG) 開発に発展して行き、石炭の高効率発電のみならず、廃棄物を利用した高効率発電やガス化により得られる化学成分を用いたマテリアル・リサイクルにも応用できる。今後は A-PICFB の各種要素試験や実証炉試験などを行っていく。

地球温暖化防止の決定的な解決策が見つからない現在、我が国独自の技術である PICFB および Advanced PICFB (PICFG) がエネルギー問題の緩和に少しでも貢献できればと思います、開発を進めていく所存である。

<参考文献>

- 1) “クリーン・コール・サイエンス・ハンドブック” (財) 石炭利用総合センター
- 2) “A Performance Comparison of Advanced Coal Based Power”
Ronald R. McKinsey & John M. Wheelodom
1997 Fluidized Bed Combustion Vol.1 ASME 1997

セメント製造装置への燃焼シミュレーションの応用

Applicatin of Combustion Simulation to Cement Industry

佐藤 昌弘 (出光興産株式会社、石炭研究所)

氏川 淳一 (秩父小野田株式会社、技術部)

Masahiro SATO (Coal Research Laboratory, Idemitsu Kosan Co., Ltd.)

Junichi UJIKAWA (Technology Department,

Chichibu Onoda Cement Corporation)

1. はじめに

コンピューターの演算性能の向上と低価格化を背景とした近年の数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)の進歩は日覚ましく、熱移動及び化学反応を伴う複雑な反応性流体の解析がパーソナルコンピューターでも可能になりつつある。CFDでは、流動、伝熱及び化学反応に関する数学モデルを適切な境界条件の下で解くことで、解析対象のガス流れや温度変化等を数値的に予測できる。これを駆使すれば、従来ブラックボックスだった産業用規模装置内部の移動現象を定量的に把握することが可能である。

ここでは CFD の応用分野として、微粉炭燃焼装置を対象とした数学モデルの開発状況について述べ、実機への適用例を紹介する。微粉炭燃焼法とは、ボイラ、セメント製造装置及び高炉における PCI 操業等で依然主流を占める燃焼技術である。これらの装置性能は、バーナーデザインならびにその配置及び炉体構造に依存するのは勿論のこと、燃料である石炭の品質にも影響を受ける。これは、日本国内で消費される石炭の殆どが輸入炭であり品質が多様なためである。

CFD は、このような様々な因子が装置性能に与える影響を定量的に評価することが可能な技術であり、装置の設計ならびに高効率運転条件設定等に活用できると考える。

2. シミュレーションモデルの概要

2.1 数学モデルの概要 微粉炭燃焼を対象とした CFD モデルは、1980 年代半ばより欧米で盛んに開発が進められてきたものであり、英国では、インペリアルカレッジやシェフィールド大学の研究グループが、また、米国ではユタ州のプリガムヤング大学の研究グループが中心的役割を果たしてきた。これらの成果を起源として、PHOENICS, STAR-CD, FLUENT 等の汎用 CFD プログラムに微粉炭燃焼に関するサブモデルが導入され普及している。汎用 CFD プログラムでは、細部の構成は異なるものの基

本的な物理モデルはほぼ同等で、時間平均化した連続相ガス流れの支配方程式 (Navier-Stokes 式)、エネルギー収支式及び物質収支式を連立させて同時に解くものである。

主要な物理モデルの一つである乱流モデルは、等方性乱流を仮定した標準 $k-\epsilon$ 二方程式モデル及び旋回流等の非等方性の強い乱流を対象とした RNG $k-\epsilon$ モデル、レイノルズ応力モデル等の先進的モデルが採用され、ユーザーが選択できるようになっている。粒子相流れは、粒子群をグループ化して各グループごとの運動方程式をラグランジェ的に解く PSIC モデル(Paticle Source In Cell Model)により決定されるのが一般的である。

乱流下の化学反応過程の解析は、化学種の確率密度関数を仮定して乱流の影響を考慮する PDF モデル及び Magnussen ら¹⁾が提唱した渦消散モデルが採用され、対象とする反応系に応じていずれかを選択できるようになっている。渦消散モデルとは、乱流を微小渦の集合体と考え、渦の生成から消滅までのタイムスケールが化学反応を支配すると仮定するモデルである。

このように汎用プログラムは、反応性流体解析のための基本モデルは含んでいるものの、必要に応じてモデルの改良や機能追加をユーザー側で行わなければならない場合もある。したがって、実装置に適用し妥当な結果を得るためには、熟練を要するのが現状である。

ここでは、汎用プログラムの一つである FLUENT を微粉炭燃焼装置に適用した事例を報告するが、導入当初は微粉炭バーナー着火位置や石炭燃焼効率の予測値に相当の誤差を含む等の問題点があった。これを改善し、特に石炭品質の影響が十分反映できるようにするため、石炭燃焼反応に関して改良したサブモデルを用いている。

2.2 石炭燃焼反応モデル 図 1 に微粉炭燃焼の概念図を示す。汎用プログラムでサポートされる石炭燃焼反応モデルには、粒子温度の上昇に伴う揮発分の

放出及び気相燃焼反応の後、チャー（揮発分放出過程で生成する固体残差）の表面燃焼反応に移行するとして逐次反応過程が採用されているが、実際の微粉炭燃焼はこれらが並行して起こる反応過程である。

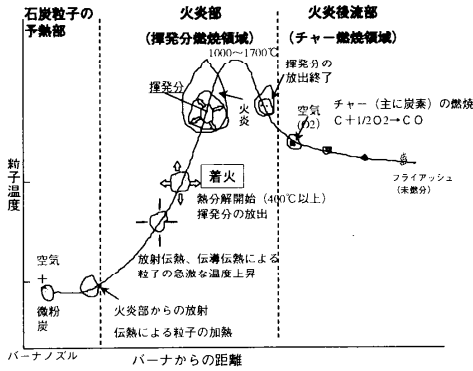


図1 微粉炭燃焼の概念図

FLUENTの微粉炭燃焼反応サブモデルにおいても逐次反応過程が前提であったため、ここでは揮発分放出及びチャー燃焼を並行して取り扱えるように改良したサブモデルを用いた。各反応過程のモデルの基礎式を以下に示す。

・揮発分の放出速度²⁾ (1段階反応モデル)

$$dV/dt = kv(V^* - V) \quad (1)$$

$$\text{ここに、} kv = Av \exp(-E_c/RT_p) \quad (2)$$

(1)式中の V^* は最大揮発分量であり、石炭の種類に依存するパラメーターである。

・チャー表面燃焼反応³⁾

$$dm_c/dt = -rc \cdot a \cdot mc \quad (3)$$

$$\text{ここに、} rc = kpc \cdot Po_2^n \quad (4)$$

$$kpc = APo_2 \exp(-E_c/RT_p) \quad (5)$$

式中の mc はチャーの質量[g]、 a は粒子初期比表面積[m²/g] である。また、 rc は不均一反応速度である。表面燃焼反応速度は反応化学種分圧 Po_2 に依存する。このモデルの特長は、石炭燃焼効率把握のために重要である燃焼末期の挙動が精度良く予測できる点にある。

計算を実行する場合には、石炭の種類に依存する反応パラメーター（揮発化過程： V^* 、チャー表面燃焼反応： APo_2 、 E_c 、 n ）を決定する必要がある。反応パラメーターは、微粉炭粒子が実際の反応場に近い昇温速度を受ける条件の基で測定することが重要である。

2.3 計算手順 計算は図2に示したフローチャートに従って実行される。必要な条件が入力されると、最初に仮定した炉内の圧力分布および温度分布に従ってガス側の流れ場が計算され、次に粒子側の流れ

場が計算される。圧力及び温度等の仮定値は、繰り返し計算によって更新され、解析領域全体の物質収支および熱収支を満足するまで実行される。

従って、計算処理量はかなり大規模となり、計算時間がシミュレーション実行上のボトルネックとなる。計算時間はコンピューターのCPU性能や搭載されているメモリー容量等に依存する他、解析モデルの格子点数に影響される。格子点数の増加に伴い、計算時間も等比級数的に増加するため、解析精度を損なわない程度に極力削減するのが望ましい。

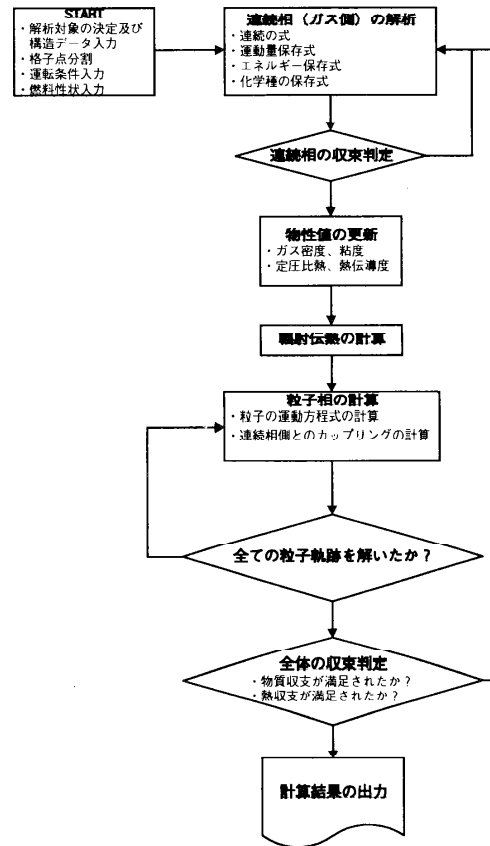


図2 計算実施手順

3. シミュレーションの応用事例

3.1 微粉炭ボイラへの応用 これまで微粉炭燃焼装置へのCFDの応用は、主に微粉炭ボイラを中心として進められてきた。現在、石炭燃焼効率、炉内ガス流れ、粒子炉内滞留時間、温度分布、炉壁への粒子衝突頻度、酸素濃度分布等をCFDによって予測することが可能なレベルにあり、微粉炭ボイラの高効率運転条件設定（石炭燃焼効率の向上、NO_x排出量の低減等）及び安定運転（ボイラ火炉壁への灰付着問題等の回避）に寄与することができる。

CFDによる微粉炭ボイラの解析事例として、タンジェンシャル燃焼式ボイラの解析結果を図3に示す。ボイラの設計図を基に作成した格子点分割パターンと、石炭供給量及び各バーナーへの空気量配分等の条件を入力し計算すればガスや粒子の流れ、温度分布及び酸素濃度分布等が得られる。これらの結果から、火炎長の適否、粒子滞留時間分布、炉壁の粒子衝突確立等を定量的に把握できる。

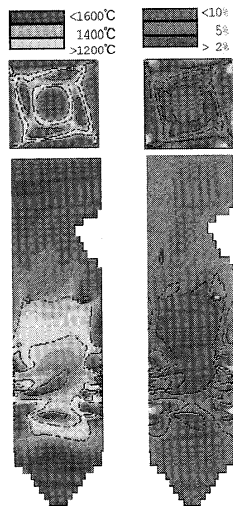
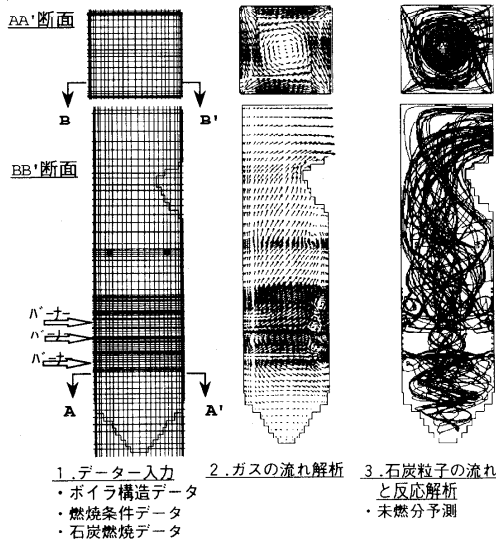


図3 微粉炭燃焼ボイラの解析例
 (タンジェンシャル燃焼方式)

3.2 セメント製造設備への応用 ボイラ以外の微粉炭燃焼装置へのCFD適用例として、セメント原料仮焼炉の解析事例を示す。これは、CFDによるセメ

ント製造設備の燃焼診断技術確立を目的として、秩父小野田株式会社と出光興産株式会社が共同で実施したものである。

仮焼炉は固気系の気流層型反応装置であり、内部ではセメント原料（主に石灰石）と微粉炭火炎の直接接触により脱炭酸反応（ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ）が生じている。反応系としては、微粉炭燃焼に伴う発熱反応と原料脱炭酸過程の吸熱反応が同時に生じており、炉内に分散する粒子濃度が非常に濃いのが特徴で、固体/流体間の相互作用が極めて大きい。

脱炭酸反応過程はFLUENTでは標準サポートされないため、ユーザーが定義できるサブルーチン機能を活用して粒子相反応サブモデルにこれを追加している。反応速度式はHyattら⁴⁾の既往の研究成果を基に以下のように設定した。

・原料脱炭酸反応⁴⁾

$$dmr/dt = -r_p \cdot a \cdot mr \quad (6)$$

$$r_p = r_{p0} (1 - P_{\text{CO}_2} / P_{\text{CO}_2}^*) \quad (7)$$

$$r_{p0} = A_r \exp(-E_r / RT_p) \quad (8)$$

脱炭酸反応の特徴は、原料粒子周りのCO₂濃度に反応速度が律速されることである。脱炭酸反応速度は(8)式のアレニウス型の反応速度式で表され、見かけ反応速度はCO₂分解平衡圧力とCO₂分圧の影響を受け(7)式で表される。

解析対象は、秩父小野田社にて実際に稼動している商用の仮焼炉設備の中から2タイプ選択した。

3.2.1 仮焼炉タイプAの解析結果 ここでは、CFDにより仮焼炉タイプAの現状の運転状態を把握し、運転条件改善の可能性を検討する。解析した仮焼炉本体の概要と格子点分割パターンを図4に示す。

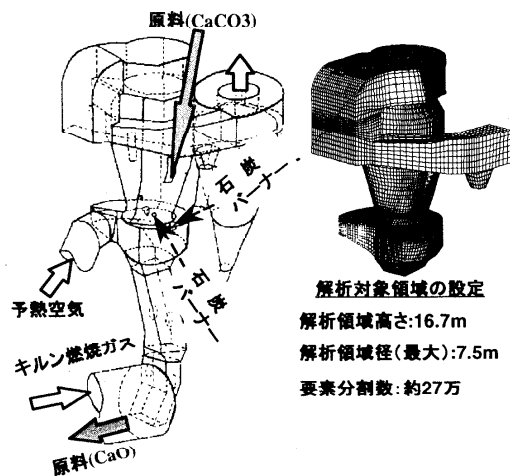


図4 仮焼炉(タイプA)の概要と格子点分割

このタイプの仮焼炉では、高温予熱空気が接線方向に供給されて発生する旋回流に原料粒子を伴し、反応に十分な粒子滞留時間を確保するのが設計コンセプトである。微粉炭バーナーは高温旋回流を発生させる渦室に2本及び仮焼反応器部本体の下部に2本と合計4本設置されている。微粉炭火炎と原料粒子群の直接熱交換によって、脱炭酸反応が進行する。装置形状は非常に複雑であるが境界適合座標系 (Boundary Fitted Coordinate) を用いれば、形状を忠実に再現できる。

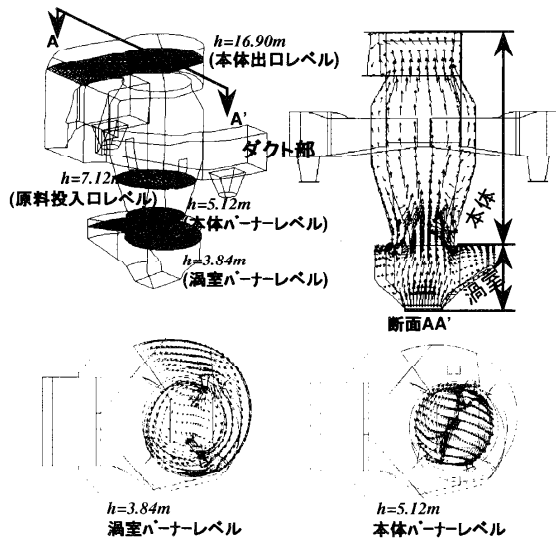


図5 仮焼炉内ガス流動解析結果

仮焼炉ガス流動の特徴的な部分を図5にベクトル表示する。対向に設置された原料投入口を通る断面AA'では、炉壁に沿った下向きのガス流れが発生している。渦室及び本体各バーナーレベルではバーナー噴流の影響を受けつつも、旋回流が保持されることが推定できる。

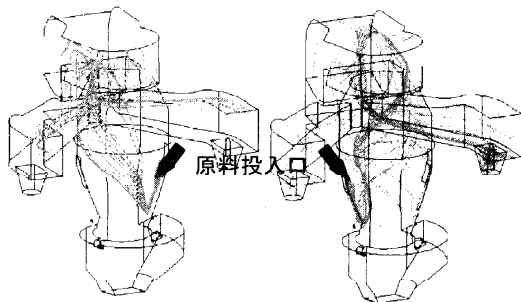


図6 各投入口からの原料粒子の軌跡

仮焼炉内の原料粒子の軌跡を図6に示す。投入口から仮焼炉本体に入った原料粒子は壁面に沿って一旦落下し、上昇流に伴われる。

図7に微粉炭粒子の未燃焼率変化及びセメント原料仮焼率変化の予測値を示す。各値は解析領域長手方向からダクト部を経て出口に向かう距離に対する断面積平均値である。

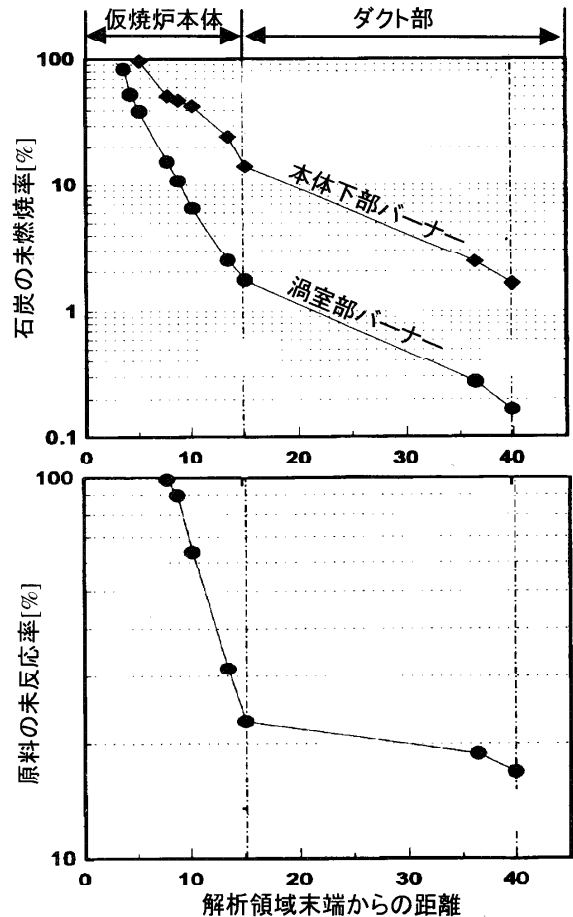


図7 微粉炭未燃焼率及び原料未反応率の変化

解析の結果、このタイプの仮焼炉ではバーナー設置位置で石炭の燃焼性が異なることが予測された。すなわち、渦室バーナーは高温予熱空気によって燃焼が促進される一方、本体部バーナーでは低空気比燃焼となるため燃焼性は相対的に悪化する。したがって、本体部バーナーの燃焼状態を改善し石炭の燃焼効率向上を図ることが、燃料使用量の低減に結びつくと考えられる。

燃焼性の悪い石炭を使用した場合、本体内の燃焼効率が悪化し原料の脱炭酸反応の所用熱量が確保できず、原料反応率が低下する可能性がある。

このように現状の運転状態を把握することで、装置に適合する石炭の判定や適切な燃焼条件の事前検討にシミュレーションが有効活用できると考える。

次に原料の反応率変化を見た場合、脱炭酸反応は仮焼反応器部本体ではほぼ完結しているとみなすことができる。原料脱炭酸反応はCO₂分圧の上昇ともななって反応速度が低下するという速度論の見地から、原料の仮焼率はほぼ限界まで達していると考えられる。

したがって、仮焼炉タイプ A における運転条件の高効率化を目指す場合、本体部バーナーデザイン変更等による微粉炭の燃焼改善効果を検討し、燃料使用量低減に結び付けることが最も有効と考える。

3.2.2 タイプ B の解析結果 一般炭クラスの石炭使用を前提に設計されている既存仮焼炉設備では、無煙炭クラスの燃焼性の劣る石炭は専焼使用が困難である。ここでは、使用炭種拡大を目的として、制限値を越える低揮発分炭の使用方法を燃焼シミュレーションによって検討した。今回の解析対象である仮焼炉タイプ B では、石炭の揮発分を 25~30% の範囲内に収まるように配合して運用している。

図 8 に仮焼炉タイプ B の形状を示す。

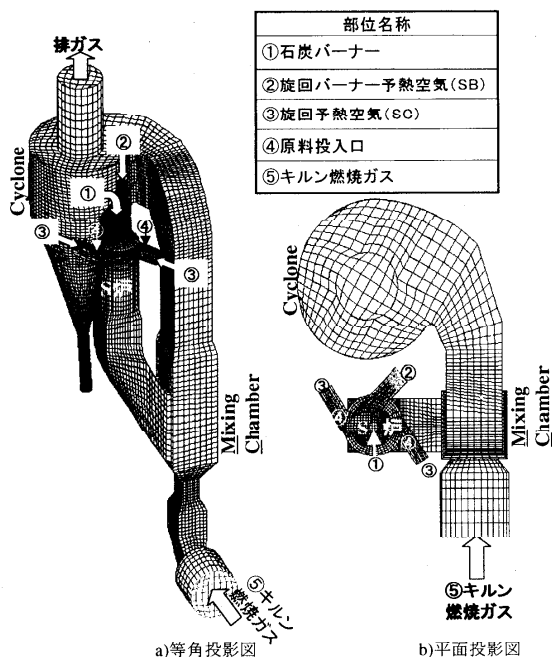


図 8 仮焼炉タイプ B の形状

ここでは、通常使用している一般炭（揮発分量 28.7%）に、無煙炭を配合使用することを考える。配合する無煙炭の揮発分量は 6.7% であり、一般炭に対する混炭比率は 50% とした。混炭後の揮発分量は 17.7% となり、従来の配合基準の下限値を大幅に下回る。

一般炭専焼条件をブランクケース（ケース 1）として無煙炭 50% 配合使用時（ケース 2）の解析結果と比較した。

図 9 は各条件毎の仮焼炉燃焼室（S 炉部）から混合室（Mixing Chamber）にかけての中心断面におけるガス温度分布コンター図である。また図 10 は原料投入口レベルを基準とする仮焼炉燃焼室（S 炉部）から混合室（Mixing Chamber）、サイクロン出口を通過するまでの距離に対する原料分解度の断面積平均値の推移を表している。図中には前述のケース 1 及びケース 2 の他、バーナー改造を想定したケース 3 の結果も合わせて表示している。

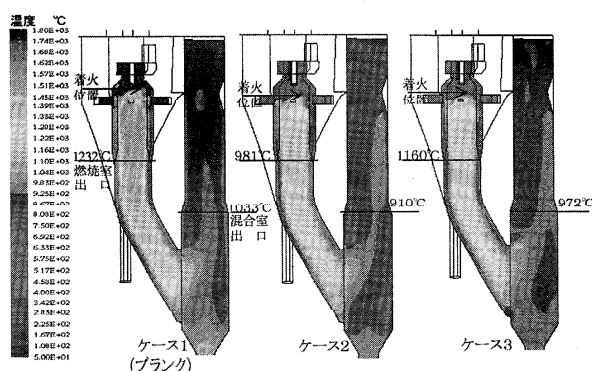


図 9 仮焼炉内温度分布の比較

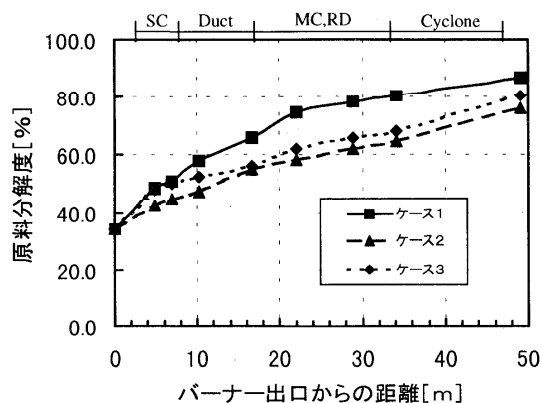


図 10 原料分解度推移の比較

先ず、ケース 1（一般炭使用時）及びケース 2（無煙炭配合時）の結果を比較すると、無煙炭配合時には着火領域が下流側にシフトし、燃焼室及び混合室の出口断面温度が低下するという予測結果になっている。これは、無煙炭配合による揮発分量の減少及び難燃性チャー量の増加が、炉内の燃焼性悪化をもたらしていると考えられる。このため、ケース 2 におけるサイクロン出口の原料分解度はケース 1 に比べて 11% も低下し、セメント生産性に悪影響を与え

ている。

通常の操業条件において、微粉炭搬送空気量（1次空気量）は理論空気量対比で8%に設定されているが、ケース3では、さらに理論空気量対比5%相当の2次空気（直進流）を付加するバーナー改造を想定している。解析の結果、ケース3の場合のサイクロン出口脱炭酸率は80%程度に留まり、ケース2の76%に比べて若干の改善効果が認められるもののケース1の87%には及ばない。また、着火領域についても依然として下流にシフトしている。

そこで既存仮焼炉設備における無煙炭50%配合運用を達成するため、燃料吐出口内側に2次空気（旋回）を理論空気量対比3.4%及び外側に3次空気（直進）を理論空気量対比1.7%付加する改造案をケース4として、その効果を確認した。

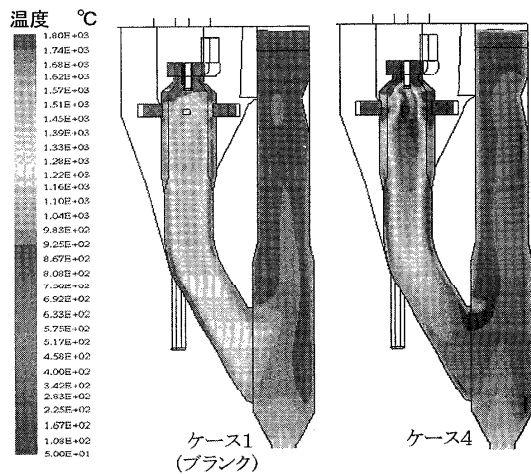


図11 バーナー改造が温度分布に与える影響

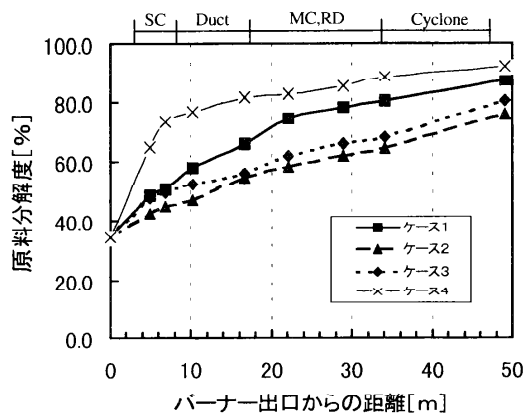


図12 バーナー改造が原料分解度にあたる影響

図11及び図12にケース4の温度分布、原料分解度の推移をそれぞれ示す。燃料吐出口内側に2次空気（旋回）を付加した効果によって、着火領域がバ

ーナー吐出口付近まで上昇し、ケース1に比べて短炭化する事がわかる。また、燃焼室内で原料脱炭酸反応がほとんど終了していることから、2次空気（旋回）の付加による石炭の燃焼改善効果が大きいと判断できる。ただし、着火位置の上流シフト等の要因によって、燃焼室部耐火材寿命の短縮やバーナー自体の焼損の可能性もあるので、2次空気量の最適な配分量についてはさらに検討が必要である。

このように、従来3次元的に解析することが困難だった産業用の大型装置でも CFD の発展により解析的アプローチが可能になっている。

4. まとめ

CFD は、物理モデルの妥当性や計算結果の信頼性について、今後も十分吟味する必要があるが、産業規模の実装置内の現象を定量化及び可視化し、今以上の効率的な運転条件を検討するためには有効な手段である。

近年、コンピューターの処理能力向上は目覚ましく、少ない投資額で実用的な解析が可能なレベルのシステムを入手できる。今後さらに CFD が普及するためには、基礎研究の成果も随時取り入れ物理モデルの信頼性向上を図る必要がある。

使用記号：

A：頻度因子[1/sec] or [kg/m² sec (atm) n]

a：比表面積[m²/kg]

E：活性化エネルギー[J/mol]

k：反応速度定数[1/sec] or [kg/m² sec (atm) n]

m：粒子質量[kg]

P_{O₂}：O₂分圧[Pa]

P_{CO₂}：CO₂分圧[Pa]

R：気体定数[J/mol K]

T_p：粒子温度[K]

添字：

v：揮発分

c：チャー

r：セメント原料

[引用文献]

- 1) Magnussen, B. F. and Hjertager, B. H.: 16th Symp. (Int.) on Comb., p. 719(1976)
- 2) Van Klevlen, D. W. et al., Fuel, 30, p. 253(1951)
- 3) Sadakata, M., et al., Coal Combustion, p. 359, Hemisphere Publishing(1988)
- 4) Hyatt, E. P. et al. Journal of American Ceramic Society, 41[2], p. 70(1958)

「伝熱研究」の編集における問題点

Questions in Compilation of "Journal of the Heat Transfer Society of Japan"

第37期編集出版部会長

熊田 雅弥 (岐阜大学)

Masaya KUMADA (Gifu University)

伝熱研究会時代の「伝熱研究」から伝熱学会の「伝熱研究」になって、予算の制約の中で手作りとは言え、内容的にも体裁の上でも著しく改善されてきた。特に、論文集としてのTSEを合本として発行することによって、学会誌・論文誌として一応の完成をみたと言える状況にある。勿論これは、歴代の編集委員長・委員の方々の努力によってできあがったものである。

しかし、第35期編集部会長の増岡先生より編集部会会長を引き継いでから、様々な意見が提出されてきた。例えば、「伝熱研究」の名称を変更したら、「研究」がよくない、「特集」は面白くない、毎号「特集」というのはどうか、「会告」だけで十分、どうして「TSE」の論文が増えないのか、……などである。これに対して、毎号の「特集」は確かに問題だ、「講座」・「解説」を連載したら、ページ確保が重要なら数多く開催される国際会議のプログラムの詳細を掲載したら、所詮学会誌は面白くないものだ、……などという意見もあるこれは、第1回の編集部会で各号の特集担当者を決めて編集部会の仕事を実質終了させている編集部会長である私の努力不足によるものと思うが、反面、伝熱学会の根幹に係わる問題も含んでいる。前期および今期の編集部会でも、「名称」変更を含めて議論してきた。しかし、理事会で「名称」変更を提案しても、会員の意見を集約したら、と言うことになってしまう。「伝熱技術」ではいけないのかという、議論の深化は期待されない。確かに、一方で学会誌は定期的に発行していることに意味があるという覚めた意見もある。「特集」にしても、機械学会誌や化学工学誌の「特集」が時間遅れで順繰りに掲載されるだけで、時には著者が同一のこともある。対案とされる「講座」・「解説」の連載にしても、誰を対象とする「講座」なのか、学生会員か企業の技術者ということになるが、会員の構成を考えた場合、「伝熱研究」を受け取る人が何人いるか、また、各種出版物が反乱している中で、内容的に耐えられるかということと執筆者が努力されて

も業績にならない原稿に誰が執筆してくれるかという問題もある。TSEについても、理事会のメンバー、私も含めて、さらに編集部会のメンバーにしても誰一人として、TSEに投稿していない。論文の投稿はほとんどが機械学会論文集ということになっている。これは査読基準の問題ではない。特に、小竹、土方両チーフエディターの努力により、機械学会論文集に掲載されない未完の論文でも評価できるものとか、貴重なデータ集でも掲載するという独自の査読基準で編集されてきている。

この様に、理事だけでなく会員においても伝熱学会に対する思いには「微妙」なものがあるよく言われることだが、恒例の伝熱シンポジウムへの参加者数は、会員総数に対して驚異の割合である。しかも講演数は、第35回(名古屋)で約500編・10室と増加し続けている。講演室内での議論の質は別にしても、機械学会の総会・熱工学部門の講演会と比較した場合、その差は歴然としている。これに対して、最近は学芸会だという人もいるが、この盛大さ自身が問題ではない。このエネルギーの集約と方向が問題である。

したがって、「伝熱研究」に象徴される問題は、年4回というサーキュレーションの悪さもあるが、どうして「研究成果」としてのTSEへの投稿が増加しないのか、これが問題の根幹であると思われる。結果的には「研究成果」の問題なのか、学会の体質なのか。それに対して「伝熱研究」の方は、毎号「特集」として「成果」が掲載され、TSEが合本として会告の後に、それ以下のページ数で編集されている。

この様に「形骸」化された編集に「警告」が発せられたものと思う。如何に法人化された学会としての「会誌」であっても、1400名余の小さな学会であり、「伝熱研究会」時代の良さが、その「組織論」の中で消滅することへの危惧がそこにあると思われる。確かに、学会としての会誌・論文誌、特に会誌には、体裁が重要であると思われる。しかし、会員

数が極めて限定され、企業会員の少ない特殊な学会ならばそれなりの特殊性が求められるし、それが重要だとも思われる。機械学会の熱工学部門に伝熱学会の会員は、ほとんど登録している。これ自体は問題でない。問題は、その大きな集団の中に形成される小集団が、その存在を顕在化させるとき、大きな集団と同じことをしているわけにはいかない。先駆的な役割が必要です。したがって、大きな集団と同じ編集の会誌を発行していても、それは無駄と言うことになってしまう。独自の会誌の編集ができないなら、その体力（＝財政力）からして、焦点を明確にすべきだという意見がでてくる。しかし、会誌としての「伝熱研究」にどのような特化＝独自性を出しうるかという点、TSEとの棲み分けにおいて容易ではない。会誌という性格を基本的に考えると、学会としての"activity"があれば、編集上特に問題にすることはない。要するに、TSEを補完する形で、「伝熱研究」が編集されTSEという根幹に係わる部分の発展に関する努力も議論も無いことが問題と言うことだと理解せざるを得ない。しかし、このT

SEへの投稿の問題は、伝熱学会のあり方に連動する問題であると考えられる。したがって、その議論をより継続する必要があると思われる。しかし、伝熱研究会の時代から考えれば、35年余になるのに、未だ「会誌」や「論文誌」をどうするかという議論ができること自体、伝熱学会の良さかも知れない。そういう意味で、試行錯誤と言われても、編集に関する自由な「実験」を許容すべきだと思われる。

編集部会としてこの問題を深化させる意味で理事会だけでなく、会員相互の議論を活発化させる必要があると思われる。そこで、誌上をこの議論に解放し積極的な意見を会員諸氏に求めたい。本号では、問題提起という意味で、3人に執筆を依頼しました。問題提起という前提で忌憚のない原稿が頂けたと思っています。勝手な注釈ですが、内容は別にして「具体的」な小竹案、「優等生的・模範的」な西尾論、内容はあるが「難しい」小澤論を掲載しました。これを契機に、これらの提案に対する反論等の投稿を期待する次第です。勿論編集部会としても、早急に具体案を提示できるよう努力していく予定です。

「伝熱研究」と「TSE」

“Journal of the Heat Transfer Society of Japan” and “Thermal Science and Engineering”

小竹 進 (TSE チーフエディター)

Susumu KOTAKE (The Chief Editor of T.S.E.)

単なる会議報告に近い「伝熱研究」から、もう少し会員に役立つものにしようということで、特集記事などを工夫して読み物的な「伝熱研究」になって久しい。しかし、こうした努力はどこかの学会、学会誌においても同じように行われてきており、記事のトピックはともかく、極端な時には執筆者も同じであることが生じてきている。どちらかというところした読み物は、内容が広く浅くあるいは新しくということで論理を欠き、理解に苦しみイライラし、記憶にはほとんど残らない内容のものが多い。もっとも新聞記事と理解すれば良いのかもしれない。多くの場合は題名を 瞥してツン読という程度であろう。

しかし、「伝熱研究」の編集者の立場（編集委員会）となると話は別である。どんな特集が良いか、あれこれ長時間議論して、結論らしきものができると各号の編集担当委員が決まる。その担当は執筆者を選び、非会員の場合は「謝礼も無いのですが、書いていただけませんか」と頭を下げて、さらに、「つきまして何日ごろまでにお願ひしたいのですが」とさらに深く頭を下げなければならない。原稿の締め切りに近くなるとさらに大変である。

これまでにして書いて頂いた記事だからと言っても、記事は記事であり、義理人情で読むものではない。編集委員会で担当者に指名されれば、誰がどのように読むか（読まないか）などにはかかわってはいられない。とにかく、自分の責任は果たさなければならない。その結果、「失敗」と言えるほどの研究をしたことのない者にも、研究の失敗談をお願いするということになる。5月の編集委員会でこのような割り当てが決まり、割り当てが決まった委員は、自分の責任を果たすべく一生(所)懸命に努力する。ただし、ほとんどの場合、その結果に対する責任は別の問題である。と言うより、誰も文句を言わない。会員から「つまらない記事で会費の無駄づかいだ！」という文句がでて、担当委員か編集委員長

が謝罪したという話は聞いたことがない。

伝熱という共通の研究課題をもつ者の集団で、その課題（研究成果）以外に、より多くの人々が共通に興味をもつ課題となると非常に限られてくる。そんな課題があるのは、何年かに一度というものであろう。毎号毎号となると前述のような結果になっても当然である。当然で済まされないのはその編集方針である。確かに内容をより良くとは思ってはいるのかもしれないが、「誰がどのように興味をもつのか」という読者の立場には立ってはいないことは確かであろう。商業雑誌ではないから、とにかく、割り当てられた編集担当の義務を果たせば、結果はどうでも良いということである。そこまではいかないにしても、それに近い状態である。「伝熱研究」が厚ければ良いというものではない。内容が無いなら止めればよい。少なくとも「今の編集方針では内容が無いから今月号は会告だけにしよう」という発想はしない。

そもそも千人ぐらゐの研究者集団が「法人学会」に移行した動機は、対社会的には公的な研究者集団としての組織を維持しながら、実質的には「小回りの利く、先鋭な研究者集団」として存在しようということではなかったろうか。したがって、要は実質、中身である。これらが無くなったら伝熱「学会」の存在理由はなくなり、単なる形骸化したノスタルジ的な学会が残ることになる。いつも中身を覗いて、それに合わせて形を変えていくことが本質である。朝令暮改でよい。良かれと思ってきめても、実行して良くなかったら、「ためらうことなく」改めればよい。節操がないといわれても、体裁や形式にこだわって中身の無い方が、はるかに節操がないであろう。

はっきりした理由は知らないが、「伝熱研究」という題名はよくないので、「伝熱」や「でんねつ」と改名したいという話があり、総計何十人時間の議

論をしているということである。このこと自体を一つの研究として議論することであれば、意味があるかもしれない。しかし、千人ぐらいの研究者集団を相手にした情報誌の問題である。「伝熱研究」であろうが、「伝熱」や「でんねつ」、「DENNETU」であろうが、中身には変わりはないと思われる。「表現を変えた方が何か今より良いことがある」というなら実験してみればよい。何十人時間も費やしてシミュレーションを楽しむ課題でもあるまい。

一方、学会論文集である「TSE」となると、話はそう簡単ではない。これは学会として対外的にその“activity”を示すものであり、学会の内容が公的に評価される商品であるから、内向きな学会誌である「伝熱研究」ほどには自由度はない。一人の研究者以外に関心のない研究の成果でも、‘thermal science and engineering’という観点で評価されるものであれば、掲載されなければならない。おおげさに言えば、「TSE」は学会を越え、時間を越えた「人類の文化遺産」の一つと考えなければならない。(将来、どこかで誰が見向くかということは別の問題であるが、)「TSE」の編集に関しては、常にこのことを念頭において、エディタも査読者も単なる「日本伝熱学会」という小世界のみを相手にしていることはできない。

この意味では「TSE」が、「日本伝熱学会」の実質なのである。「伝熱研究」の名前がどうのこうのというより、「TSE」を充実させることの方がはるかに大きな問題である。「伝熱研究」の議論や理事会・評議会などという、だんだん形式化した会議に何千人時間という暇と能力を費やすのなら、そのエネルギーを立派な文化遺産となる論文集「TSE」を充実させることに向けて欲しい。

今までの研究会・学会の経緯からか、現在は公

にはどうでも良い「伝熱研究」が表になり、公に重要な「TSE」がその付録といった形で発行されている。しかも、表紙のデザインが変わるまでは、その表紙に「伝熱研究」が「TSE」よりも上に、2倍も大きな活字で表示されていた。同好会的な学会なら機関誌が重要であり、その会員の研究を紹介するというぐらいの意味から、この形式でもよいかも知れない。というより必然的にそうなるであろう。しかし、社会的に責任のある公的な学会としては、‘activity’を示すものが先にあるべきであり、会員相互の情報はそれにつけ足されるものであろう。一方は「文化遺産誌」であり、他方は「お知らせ広告誌」である。前者は学会としての誇るべき成果の集まりであり、スペースが許すかぎり否でも研究室の目立つところに、「わが仲間の研究成果である」と誇り高く陳列しておかなければならない「もの」である。後者は用がなかったら部屋の片隅におくか、スペースがなかったらgarbage boxに片づけられる運命にあるものである。

そこで提案であるが、“学会の充実＝「TSE」の充実”として考えるならば、「伝熱研究」を「TSE」に含めるか廃止して、その予算で「TSE」をbimonthlyにするということではどうであろうか。ページ数、したがって論文数も増やせるし、「定価」もつけられることになる。現在の特集記事やレビュー記事などはもう少しチャンとしていただければ「TSE」の範疇に入るし、論壇などは内容にもよるが討論の範疇に入り、実質的に内容のある「伝熱研究」に取って替わることになるであろう。もっとも、新旧会長の挨拶という項目は、現在の「TSE」の範疇にはないが、これはもともとどうでも良いことであろう。長々と挨拶する暇があったら、「TSE」に見本となる論文を載せてもらった方が、はるかに会長の責務としての意味がある。

企業の研究者・技術者からの「TSE」論文投稿

Who, Belonging to a Corporation Shall Submit Papers to "T.S.E." ?

小澤 由行 (高砂熱学工業 (株) 総合研究所)

Yoshiyuki KOZAWA (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)

まえがき

5月28日の伝熱学会編集出版部会では、今年度の「伝熱研究」の編集方針と共にT.S.E.の編集、とくにその充実の一環としての投稿論文数の増大方針についての議論がありました。その席での私のいつものような軽率な発言から、小竹Chief Editor of T.S.E. から題記について具体的な提案をするように厳命を頂戴してしまいました。

T.S.E. が発刊になって、今年はVol. 6であります。すなわち既に20冊以上の中に掲載された多数の研究論文 (Original Papers) が、伝熱学会の後世に残る独特で特徴のあるActivitiesとして、世の中に提示されているようです。私は本年4月号までは、一度もT.S.E. に投稿したことが有りませんので、その本当の意味を実感することができていません。そのような「研究者でない者」が投稿論文数の増大云々を申し上げるのは極めて不遜なことです。しかし小竹先生の厳命であり、また熊田部会長からは「小澤はいつも勝手なことばかり言う」とのご託宣を頂戴していることであり、さらに7年前に「にわか企業人」になったことでもあり、取りあえず会員の皆様には「伝熱研究」の貴重な紙面を汚すことをお許し頂くことにして、題記についての私見述べさせていただきます。

まずは構子定規な話ですが、今の投稿規定で、企業からの論文を受け入れていると解釈される内容は、

- d. 熱科学・工学に関する論文で、他の論文集では掲載され難い論文
- g. その他、エディタが熱科学・工学分野の進展に寄与すると認めた論文

くらいです。このとき「学」が問題でしょう。日本語の「学」に相当する英語は、Learning、あるいはKnowledgeでしょうが、企業ではこの「学」がつくと、大『学』という短絡的な思考に陥ることはよくあることです。あるいはご承知の通り、「俺には『学』

など、ない！、必要でない！、下手に『学』なぞあると、それが邪魔して喰えない！」という実態を反映した、あるいは居直った意見が企業にはよくあるものです。そこでこのような投稿規定では、企業人は端からT.S.E. への投稿に興味を示さないでしょう。

そうは申し上げても、投稿規定だけを形式的・表皮的・官僚的に弄っても、EditorsやRefereesの "Mind" が同じでは、実効ある変化は期待できないでしょう。そこで、エディタや校閲者であられる先生方に申し上げるのも大変失礼かと形式的には思いつながら、以下にいつものような私見をクダクダと書き記させて戴きます。

1. Territories of T.S.E.

T.S.E. の中で、T は「Thermal = 熱い、熱的、熱の (熱に係わる)」ということで、伝熱学会の会員にはHeatやHeat Transferよりは、受け入れられやすい概念なのでしょう。また、日本人は何にでも「形容詞」を付けて概念を曖昧にしたり、あるいはいわゆる見せかけ上の "Inter-discipline" を標榜することが好きですから、このような言葉は至極便利なのでしょう。尤も伝熱学会会員が真にDisciplineした「学問体系」を独自に構築したいと言うのであれば、例えば "Thermo = logy" という、合成語であっても「名詞」でも用いて、少なくとも機械学会の熱工学部門とは差別化した自己主張をすべきだと私は考えます。しかしここでは、次の "Science and Engineering" という二つの「名詞」がもっと問題です。

英語ではArt, Engineering, Technology, Science、あるいは関連する言葉は、それらの差違を含めて結構厳密に定義されており、欧米社会の実態にも極めて良く整合しています。しかしこれらを日本語に訳すとその厳密性が失われ、また日本社会ではいい加減な概念に依拠した文化であることが結構都合良く機能しています。

今までの伝熱学会の「熱に係わるアプローチ」では、主要なものはScienceからTechnologyまでにあると見るのが正確なのではないでしょうか？

なぜならば、まず、Art（「わざ」や「こつ」）に寄与するものは少なくとも皆無です。逆にこれを、会員が科学者を標榜するから、嫌うのです（余談ですが、ですから、小竹先生がArtisticな器量を駆使してデザインされた「伝熱研究・T. S. E.」の今年からの『表紙』には、ほとんどの会員が興味すら示さないのでしょうか）。

次に、Engineeringの中では、例えば英英辞典にある *concerned with putting scientific knowledge to practical use* を全うするものは稀少です。これらについて論文の緒論には一種の「枕詞」としては記述されますが、実態は極めて貧しいのではないのでしょうか？

しかし、日本の大学の先生方が "Engineering" に種々雑多な接頭語や接尾語を付加して、「何とか・工学・何とか」と訳されたものだから、大きな誤解を生じさせてきたのではないかと考えています。尤も最近では、文部省の学術高等行政に依拠した大学院重点化の波に乗って、素人には意味不明なフィーリング指向の大学院専攻名称が林立しており、大学におけるEngineeringも益々形骸化しているように感じています。

余談ですが、日本の大学という名称は中国に由来しているのでしょうか、日本の今の学制だけを見て、大学を小→中→高の次に行く「形容詞」の次の付いた「学」としか、学生や世の中が認識していません。そこで大学が昨今は "Leisure Lands" と化してしまったことに先生方も眉を顰められておられるのでしょうか。英語圏では "School" と "University" では、語感の上でも語源の上でも、もちろん内容の上でも、全く異なります。ですから欧米の多くのStudentsはUniversityではSchool時代とは違って、Creativeな仕事を喜んでするのでしょう。また弊社も「熱学」などと鳥澁がましい名前を使っていることに、正直なところ私は恥じらいを感じています。いずれにしても我々日本人は「学」という言葉の乱用を慎むべきかもしれません。

一方、Scienceですが、これも多分伝熱学会では「熱科学」の中の『科学』を指しているのでしょうか、"Pure Science" との関係で見ると、私には何となく疑わしい気がしてなりません。例えば、分子動力学 (M. D.) に関して、最近の伝熱学会では "Q. M.

D." と称されていますが、"Quantum" と "Molecular" がDynamicsという名詞の頭に「一緒こた」にして付くような概念は、量子物理学との関係で観ても、決して違和感のないことなのではないでしょうか？

ところで、仕事の出来高ですが、伝熱ではKnowledgeとSkillの獲得程度までと見ておくことが、実力相応と考えています。伝熱に関するLearningで学問を究めたと言ったり、仕事をしてWisdomやIntelligenceが備わったと言うのも鳥澁がましい限りです。なぜならば、前者に対しては、"Thermal" ではそれほど深い普遍性のある学理は今更生まれそうにありません。また後者は人間性そのものに関係したことであり、元々科学だとか工学とか言って客観性を重んじるために人間性を去勢してしまった人には無理がありましょう。

このような愚痴とも付かぬことを申し上げても、何ら意味の無いことですから取りあえずやめにして、具体的な提案を申し上げれば、英語の"Engineering"の定義に立ち返って、科学的には多少の飛躍、あるいはいい加減さがあつたとしても、Practical Useの重みを正面に据えた成果物をT.S.E.で積極的に掲載することにしては、如何でしょうか？ 尤も、「伝熱研究」を「伝熱、でんねつ、デンネツ、DEN-NETSU」に名称変更を考えると同様に、この際T.S.E.の名称変更を実態に即するように考える手もありましょう。

2. Characteristics of Jobs in T.S.E.

大学の先生方のお仕事と言うと、「教育・研究」でしょうが、この中で「研究」が、これまた結構曖昧です。また昨今の大学では「教育」の重みは、ほとんど忘れ去られようとしています。一方、企業では、「開発・実用化」が仕事です。いずれの立場でも関係者は理想的には「Innovation：新機軸、革新」を仕事の出来高として望んでいるようです。

研究といっても今の投稿規定からは "Research" や "Investigation" を「善」とされているように判断されます。Studyほどの「普遍性」のあることは余り期待されていないように考えます（尤も日本では、Studyはあまりにも広く小学生でも用いますので、大学の先生はResearchという言葉をお使いになるのがお好きなようです）。一方、大学の先生方は、高級な議論がお好きであったり、時として怠け者？ ですから、"Exercise" には「演習」という言葉を当てられ、小「学生」がすることだから、先生のする

仕事でないと言われ、また他者の仕事としてもその価値を見出されません。ですから "Exercise" では、研究論文としては端から却下されます。偏見かもしれませんが、私は今の大学教育では、学生には Exercise すらさせずに、受験時代までと同様な机上の "Drill" しかさせてないと思っています。

企業では、「研究」も商売の内です。ですから「(株)・・・研究所」というのも昨今では沢山あります。また企業では "Research & Development(R&D)" というように、"DevelopmentとセットのResearch" が重要です。Databaseの作成といういわゆる調査研究(アンケート調査とかコンピュータをゴロゴロ回して作文するような Search) の場合を除けば、Research だけでは仕事になりません。すなわち企業における多くの研究は、開発あるいは商売のための手段であり、それ自身が仕事の目的にはなりません。ところが日本では、R&Dを研究開発あるいは研究・開発と訳し、さらに "and" で結ばれているものだから、両者が等値であったり、英語で Research が先に置かれているから研究が大事というような誤解が散見されます。英語で and で結ばれていても、その中である語が先に置かれていても、必ずしも両者が等値あるいはその先行語が重要とは言えません。例えば、"You & I" は、Top Author が大事と言えども、決して "I & You" とは書きませんし、"I" という第1人称が定義されずに、"You,・・・" といった第2人称以降が定義できるはずがありません。

ところで、"Development" する場合、Research のみが手段ではありません。まして普遍性のある Study まで求めることも、まずあり得ません。例えば、発案(特許・新案・意匠の類)から、関係する "Technologies" などを磨くことなく、いきなり新しい製品・商品・技術が生まれることもあります。一方、ある既存の技術・商品 (Technical Seeds) を、あるいは世の中の多種多様な Needs に対して、例えば Technology の上で精査し、精緻にし、洗練して(最適技術 [Optimum Technologies] または適正技術 [Appropriate Technologies] にして)、売れる製品・商品・技術を獲得する事もあります。このような場合には、Exercise を含む Research あるいは Investigation 程度のことが結構有効に寄与する場合があります。さらにこのようにして開発した成果を「実用化・製品化・商品化・一世を風靡」する場合には(すなわち、Practice, Innovation)、"広義の Engineering" が大事になります。

このような主に企業における R&D では、現状では特許戦略(くだらない特許を沢山出すこと)や "Know How" の防衛(何でも企業機密化すること)程度のことしか、仕事の成果物を所有・独占する方法としては、世の中にはありません。特許は、ご承知のとおり「法律論」でして、技術内容の上では最低限のことでしかありません。とくに最適技術や適正技術に係わる内容は、方法論特許の範疇でして、特許用語でいう「置換可能性」で排除されたり、実フィールドでは条件を少し変えれば特許をすり抜けることが可能であるために、今の特許制度では一般に特許になりにくいものです(これは特許の審査官が実際に熟知している技術屋でなく、工学部を出て直ぐになった「にわか官僚」だから)、万が一特許として権利が所有できても、その特許の防衛の方法が実際にはほとんどありません。また Know How は、"Know What" や "Know Why" に比べて、研究成果としての価値がないとするのが、学会とくに伝熱学会の先生方の一般的な考え方でしょう。

以上のようなことから、→Development、→Practice 指向であっても、その過程の "Technical Know How" を "広義の Engineering" に依拠して展開したことを明確に特長付けた仕事を、T.S.E. に積極的に掲載することも、ある意味では重要なことと私は思います。ただし、この場合、開発コンセプトが新規であったり、明確であったり、Engineering が Kan-gineering (勘ジニアリング) でないといったことについて、採否の際の別途の判断基準(例えば、Exercise をどこまで認めるか?) を用意する必要が生じましょう。

3. Quality, Level, or Grade of Printings in T.S.E.

T.S.E. の中の印刷物の程度としては、何が求められるのでしょうか?

今の T.S.E. では、"Publication" であり、"(Original) Paper" であり、"Journal" であり、という3点が重要なことでありましょう。いわゆる研究というレベルの仕事の成果が公表され、バックナンバーが揃った定期行物であるという事です。これに加えて、内容が「Authorizedの(権威化されたもの)」ということが当然のこととして強く期待されています。これらの要件は、何も T.S.E. に限ったことでなく、学会活動ではどこでもそうで、いわゆる形式的な横並び意識の範囲です。

しかし、今の伝熱学会には、形式を整えようとす

る官僚的な努力はともかくとして、他の学会とは差別化しようという各当事者の具体的な努力、あるいは形式民主主義を隠れ蓑にするものだからリーダーシップがありません。ですから、形式的な要件で重要な「数の力」すら発揮できていません。せめて過去に権威ある先生方が主祭された遺産にしがみついたり、その流れから自己満足的に、あるいはノスタルジアに依りすがり、何となくGroupを組んで運営されています。

前述のような企業の仕事との係わり合いで見ますと、企業人にとっては、PaperからRecordまでのいずれでも構わないでしょう。また、RecordからMagazineまででも、いずれでも構わないでしょう。すなわち、上述のPaperとかJournalということには何ら拘ることはありません。企業では、精々"Publication"であれば良く、しかし「Authorizedであること」には強い期待が当然あります。多くの他の学会論文集では、そのような背景も含めて、短絡的にOriginal Paperのジャンルから、Report, Notes, Letter,・・・を区分けしている場合が多いでしょう。

例えば企業においては、"Materials" は、Sales Engineeringの際に、いわゆる「技術資料」として利用されます。この技術資料が、学会レベルで何らかの認定済みということであれば、それは有り難いことです。"Record" は、単なる記録でなく、例えば「ギネス・ブック」のような意味で、学会によくある標準化・規格化とは別の考え方で、記録として学会が誌上で認定するのであれば、それは凄い価値を持ちます。Proceedingsであっても、今の伝熱シンポジウムの予稿集が少なくとも国際会議並のものであり、かつ別途それなりに権威付けされるのであれば、年1度の出版でも意味が出てきます。もちろん、公表の媒体として、広告を含む商業誌並の"Magazine"であっても、企業では一向に差し支えありません。むしろ上述のような付加価値があれば、企業は積極的に広告のスポンサーになりましょう。企業では、研究開発費は広告宣伝費に近い扱いの所も多いものです。

T.S.E. の問題は、単に 広義のEngineering、Development、Practice、Know Howの積極的な投稿を形式的に求めることでなく、伝熱学会としての真の「Authority」を、世の中との関係を直視して首尾良く発揮する仕組みをセットで具体的に考えることです。これについては、大学の先生方の議論に付すとQualityのある論文を掲載すること、そのために

は多くの方々からの多数の投稿があって、その中から選りすぐれば良いということになります。これは編集者側の勝手な論理であり、あるいは事が巧く運んだ場合の結果論であります。

今求められている投稿者側から期待される「Authority」の発揮に対しては、そのような「単純な数の論理」では何らの動機付けにもなりません。なぜならば、とくに伝熱学会のような歴史が浅く、伝熱シンポジウム以外の何事においても絶対数と割合が共に少ない状況では、数の論理は意味を持たないでしょう。また、大学等の研究者であられても、当然のことながら、今現在の状況に照らしてのCost vs. Benefitの意識が働きます。さらに、今の日本の企業では労力も重要な「Cost」ですから、これは企業人には元々論外の方法です。この点は伝熱学会に法人会員が少ない、あるいは無いに等しいという現状にも関係することですが、とくに財政基盤のない伝熱学会では、今後これを改善しようというのであれば、伝熱学会独特の「Authority」を如何に発揮させるかという具体的な方策が重要ではないでしょうか？

4. T.S.E. の投稿規定の改訂案

T.S.E. の投稿規定の改訂といっても根は深いものを含みます。前述のような考え方に対して、人によっては、T.S.E. のレベル低下に繋がると危惧される方々も多いと思われます。また、抜本的な問題となると「伝熱学会の在り方」にも関係します。このような類の議論は、日本には馴染まないでしょうし、とくに今の多くの会員の間に真摯な議論の輪ができるとも思われません。

とはいっても、過日の編集出版委員会での小竹先生とのお約束もあり、取りあえず以下のような改訂案を提案させて戴きたい。これもその効果たるや極めて怪しいと言わざるを得ないことを、お断りさせて戴きたい。尤もこの案は、現在の投稿規定の単なる解釈の問題であると、一笑に付されるものに過ぎないのかもしれませんが・・・。

"Thermal Science and Engineering"

投稿規定 (追加案)

あとがき

1. 論文内容 (追加分) :

熱に係わる技術開発の分野で以下の特色を有する論文

- a. 熱に係わる新規性のある概念設計・実施設計あるいは製造技術・運転制御技術の開発過程を展開した論文
- b. 熱に係わる新規性のある開発コンセプトに基づいた基盤技術・機器・システムの開発過程を展開した論文

註: 「新規性」とは、必ずしも圧倒的な技術ブレイク・スルーに叶うことのみ限定せず、既存技術の改良・改善であってもその程度が工業的あるいは社会的に有意であると判断されるものを含むものとする。

「展開」とは、導入された新規な熱に係わる科学・工学が当該技術開発を支配していることを論理的に示すことに限定せず、既知の熱科学・工学を首尾良く適用あるいは調整して適用して当該技術開発に寄与させたことを論理的に示している場合を含むものとする。とくにこのとき、「支配していること」や「適用・調整した過程」の論理が明解であることが重要である。また技術開発である以上、開発の効用・評価までが科学的に言及されているものとする。なお、開発の効用・評価には、熱の取り扱いの適正化・最適化だけでなく、経済性・信頼性・利便性・安全性・環境保全性などの観点からのものがあり得る。

ところで、「伝熱学会とは何でしょうか！」

伝熱研究会から伝熱学会に名称等を変更されたときに、どのような議論をされたか分かりませんが、結局のところ、我々は組織・集団として何を指向して、今後にどのような活動を進めようとしている、あるいは活動をしたいのでしょうか？

形式の話に過ぎないかもしれませんが、伝熱研究会でも伝熱学会でも "Society" とのことですが、真に Society を標榜するような力量が今後に備わるのでしょうか？ 熱科学や熱工学を極めて "Academy" ということになるのでしょうか？ 社会性を備えて "Party" にでもなるといえるのでしょうか？

私には伝熱学会は "Group" あるいは "Coterie" 程度に止めておく方が、伝熱シンポジウムやその懇親会に会員が無闇に勇んで参加される実態には、やはり相応しく、あるいは身分相応でしょう。また学会活動に会員個人の労力や知恵を提供することに対しては、自己都合を大きな声で叫んで、出し惜しむのことも、表皮的で利他的な正当性を主張できる根拠となるように思います。

「その名称は偉そうにして集団を組み、そのために各種の会議体を形式民主主義で運営し、内実は各会員の『当事者責任や倫理観』が全く働かずということで、結果的に集団として『創造も規律も信頼関係』も生まれず」、という今の日本の社会状況そのものが、伝熱学会にも色濃く反映していると実感しています。もちろん私も、ご多分に漏れず結果的には、この1年間理事会等の末席を汚してしまいました。総会・理事会・評議会・常置部会と委員会・その他のアド・ホック委員会において、「身震いするような発信・発案」をしたことがありませんし、残念ながら他者からもほとんど伺ったことがありませんでした。「声無き声を見殺し」すれば誰からも糾弾されないから、「只々形式民主主義に依拠した学会業務を長時間かけて粛々とこなしてきた」と申し上げるのは、唯私個人の身の程知らずの「断定的悪口雑言」であることを切に願ってやみません。

「日本伝熱学会」に求めること

What Shall We Anticipate for “the Heat Transfer Society of Japan” ?

西尾 茂文(東京大学)

Shigefumi NISHIO (The University of Tokyo)

はじめに

本会編集委員会の小澤由行理事から、本会論文誌である“Thermal Science and Engineering”（以下TSEと略記）のあり方に関する草稿（本号に掲載予定）を送っていただき、（自分で言うしかないが）根から真面目な性格であり、小澤理事は以前より敬愛する先輩であるので、忙しさを省みず不用意にもそれに対する私的コメントを送ってしまった。その結果、「TSE」エディタおよび企画部会長を仰せつかっている関係からも、そのコメントを会誌「伝熱研究」に掲載すべきとの話を受けることとなった。そこで、私的コメントを体裁良く書き直してみたところ、案の定、体裁を繕った原稿など読みたくないとの返事をいただき、様々な方々からお叱りを受けることを覚悟しつつ、私的コメントを若干変更しただけの原稿を提出することとなった。

私のコメントは、以下の3つの設問からなっている。会誌や論文誌のあり方は学会のあり方と本質的に関係し、学会のあり方は（本会では）伝熱シンポジウムのあり方と密接な関係にあると思うので、次の設問から考えてみよう。

設問1：伝熱シンポジウムに500編規模の論文が集まり、1000人規模の参加者があ
る一方で、伝熱学会の将来への危惧が
指摘されるのはなぜか？ 『伝熱』研
究は成熟したか？

この設問に対する私なりの答えは、以下の理由で「成熟したとは思っていない」である。

将来に対する危惧

まず、伝熱学会の将来に対する危惧を考えてみよう。これは、以下の二つに大別されると思う。第一

の危惧は、『伝熱』研究が現在でもなお広範囲な技術領域において必要不可欠であること、また分子伝熱など新領域に対するチャレンジが行われつつあることを認識しつつも、波及効果の高い新規性に富む工学研究や技術が生まれる可能性が薄くなってきたのではないかという「領域自体に関する危惧」であり、「『伝熱』研究は成熟の域に達しつつあるのではないか」と換言できる危惧であろう。第二の危惧は、領域自体に関するというより構成員に対する危惧で、研究の厳密性や論理性など研究姿勢に関する危惧であろう。ここでは、設問1に関連する第一の危惧について考えてみよう。

事実認識

こうした危惧が語られる一方で、伝熱シンポジウムにおける発表論文数は増加の一途を辿っている。本年の名古屋シンポジウムでは会員数の4割規模に相当する論文の発表があった。確かに、（他学会と同様に）伝熱シンポジウムにおける発表論文の中には、独創性や新規性あるいは厳密性に欠ける論文があることは事実である。またオーガナイズドセッションやシンポジウム論文集の巻末に掲載されている著者別索引が発表論文数の増加を促していることも事実であるから、発表論文数が多いことを即座に喜ぶわけにはいかない。しかし、たとえ現実がそうであるとしても、このことと『伝熱』研究の将来性とは直結しないと思われる。とくに、名古屋シンポジウムには会員数の約7割の参加者があったこともまた事実である。これは本会の大きな財産でもある。（もし上記のような危惧を前提とするとしても）なぜこのような多数が参加するのかを再度考えてみる必要があると思われる。個人的観点から端的に言えば、『伝熱』研究に対する強いニーズを感じる一方で、現実の『伝熱』研究に閉塞感を感じているが、何か新しいものがありそうな予感を持つからこそ、それを求めて多くの参加者が集まると理解したい。とすれば、

それがあり得るのかを議論したいと思う。

求めるものは何か

伝熱の学術的・技術的将来については、無論個人の考えるところは異なるはずである。私個人は、これについて以下のように考えている。すなわち、「伝熱研究」(平成8年4月号、平成10年4月号)に思うところを記したので簡単に記すに留めたい。『伝熱』研究の学術的側面を「熱的平衡場と熱的非平衡場において発現する現象を扱う学術」と、技術的側面は(いわゆる)「資源・環境技術」(エネルギー資源や熱の効率的および事的利用技術)と「熱・物質輸送制御技術」(例えば融液急冷や半導体素子冷却のように、熱の効率的利用は第一義でなく、目標条件を達成するために求められる制御技術)に代表されると考えている。すなわち、伝熱は、(相平衡やプラズマあるいは超流動など)特定温度場で発現する熱的平衡状態に関する熱力学や統計熱力学と(拡散・輸送現象を記述する勾配法則や運動方程式あるいはエネルギー方程式を始めとする)非平衡力学とを基本とし、「熱を伝えること(熱量自体が問題)」と「熱が伝わること(熱が伝わる結果として生成されることが問題)」とを扱う学術であると考えている。前者はこれまでの本会の活動の主体であるから説明は不用と思うが、後者については若干の補足が必要であろう。例えば、金属組織では周知のようにデンドライトを代表とする如き組織構造が「熱が伝わることの結果」として生成される。構造生成については、最近PFM(Phase Field Model)といった手法が金属学分野ではやり始めた。こうした事象としては、非平衡力学で問題となっている自己組織化、パターン形成、カオス、フラクタル、あるいは複雑性や階層構造などの一群の現象が含まれよう。このような「非平衡系の結果として生成される現象や構造」については、今後分析的研究が必要であることは言うまでもないが、統合的研究としても、例えば現状では微細加工により製造される機能デバイスなどを非平衡系特有のパターン形成によりマクロ技術として生成しようとする方向もあり得ると思う。誤解を恐れずに言えば、生物進化学も伝熱と関わりを持つと感じている。さらに付言しておきたいことは、「熱が伝わる結果として生成される現象や構造」に関する知見を、「熱を伝えること」にフィードバックする(つまり「結果として生成される現

象や構造」と「熱を伝えること」との相互作用を問題にする)必要があることである。小澤論文のThermologyに相当する言葉として、私はこうした一群の学術を指して勝手に「熱事象学」と呼んでいる。

成熟領域

このような考えてくると、『伝熱』研究の中で成熟した段階に入りつつあるのはどの領域だろうか。私見では、熱伝達率の把握や制御を中心とした「熱を伝えること」に関する領域が成熟しつつあるのみでは無かろうか。例えば、設問2で述べるように素過程群により構成される相変化伝熱に対する研究などは、マルチスケール解析が必要となる絶好のテーマであり、上述の意味とは異なった意味からも成熟しているとは考えられない。諄くは述べないが、感性と伝熱との相関の問題だって未知の領域としてある。

このように書いてくると、「たとえ君の言うことが正しくても、本当にできるの?」という質問が聞こえてくる。上述の第二の危惧である。そこで、次の設問を立て、それについて答える必要が生じる。この設問に答えるには様々な意味で勇気がいるが、まずは自戒の念が含まれていることを言い訳として、勇気を奮って答えてみたい。

設問2: 『伝熱』研究に将来があるとすれば、なぜ伝熱学会の将来への危惧が指摘されるのか? 伝熱学会に構造的問題は無いのか?

この設問に対する私なりの答えは、「構造的問題は確かにある」。それは以下のようなものである。

熱伝達率の呪縛

端的に言って、熱伝達率を予測することや促進・制御することの重要性が高かったが故に、これまでの伝熱学会は「熱伝達率学会」と呼ぶべき側面が強かったと思う。しかし、設問1で述べたような観点に立てば、熱伝達率以外の側面も重要であるとともに魅力的であると思う。「伝熱研究」(平成10年4月号)に自分の失敗談として書いたように、こうした背景があればこそ、マイクロアクチュエータ

としても魅力があるバブルジェットプリンタは、伝熱学会員からは発想されなかったと自戒の念を込めて思う。熱伝達率の重要性を否定するつもりは全くないが、「熱伝達率の呪縛」から身を引き離すことも重要であろう。

素過程への遡行的分解と総合的再編成の欠如

例えば（既に多くの機会に書いているように）蒸発・沸騰や凝固・凍結など液相の相変化現象は、相変化分子運動論（例えば蒸発限界）、三相界線（接触界線）動力学（例えばメニスカス蒸発）、界面安定性（例えばランダウ不安定）等の素過程を介して、異相核生成（あるいは異相核活性化）→異相成長→界面形態形成といった素過程時系列により進展すると考えている。熱伝達率（あるいは「熱を伝えること」）に重点を置く限りでは、（素過程はどうしても良いとはいわないが）こうした素過程全般を学術的に追跡することは必ずしも必要でないし、また現実的でもない。しかし、相変化過程を構成するこうした素過程群に関する知見は、相変化全般に係わる一般的な知見であり、一般的であるからこそ新しい現象や技術を考える基礎的武器を与えらると思うが、こうした研究が多いとは言えない。

確実性への拘泥

学術研究であれば論理性を求めることは当然であり、無論これを擲捨するつもりはない。しかし、論理性ではなく確実性を求めることになれば、自らが構築したモデルを捨てて、新たなモデルを構築することを恐れ、十分な実験データや観察が行われる前にモデル化を試みることを自己規制することとなる。とすれば、研究は、支配方程式と境界条件（あるいは初期条件）とが確実に記述できる現象へと向かうこととなるのではないだろうか。無論、現象が記述できることと方程式が解けることとは違うので、解けるようにすることは極めて重要であるが、少なくとも記述できるということは現象が既に確定していることを意味する。この意味では、新しい現象の探査は行われない。確かに大胆な発想と荒唐無稽な発想とは違うとは思いますが、支配方程式すら明瞭に書けない「混み入った」現象については、色眼鏡でも良いから自分なりのモデルや現象論的概念を持ち、その観点から現象を解き明かしてみるべきではない

のだろうか。米国滞在中に私が訪れた某教授から、「日本の伝熱研究者は、皆同じ考え方・見方をするように見える」と言われたことを思い出す。

分析指向

『伝熱』研究は、あくまで工学研究の一部と私は考えている。小澤論文に書かれている「DevelopmentとセットのResearch」論にこの意味では賛成である。最近の伝熱シンポジウムは、現象別分類と技術別分類とによりセッション構成されている。これ自体には賛成であるが、現象別セッションでは分析指向が強くとくに新規技術との乖離が目立つように思われる。多大な責任と労力とを負っている伝熱シンポジウム準備委員会のせいでは無論無いが、キーワードは学会の顔であるから、現象別分類を取り入れるとすれば、将来の技術につながり得る素過程レベルの分類をも取り入れるべきではなからうか。元々技術とは、作りたいものを他領域の知識をも総動員して作り上げるものであるから、技術との乖離が起こったことは研究者に第一義的原因がある。しかし、研究を誘導すべく「高い技術ターゲット」が産業界から十分に示されてきたであらうか。大学や国研と産業界とは、相互に刺激し合いながら互いに向上するのではなからうか。

以上のように考えてくると、本会の活動について、例えば日本機械学会の熱工学部門などとの関係を整理しておく必要性に駆られる。無論、伝熱といった狭領域組織に比べて例えば熱工学部門は、熱力学、熱物性、伝熱、および燃焼の4領域を中心とするものであり、それらが一緒になることによる協力体制や相互作用を期待する組織であると理屈を立てることができる。しかし、研究・技術領域としての棲み分けは、無理とはいわないが、実際にはなかなか困難である。実際のところは、大きな学会では確保し難い機動性や自由度を保ちつつ、伝熱に関する時代の先兵の役割を果たすことに本会の意味があることになる。とすれば、本会の会誌「伝熱研究」と論文誌「TSE」についてもそれなりの特徴が求められることになる。

設問3：以上を踏まえて、また他学会出版誌をも踏まえて、会誌「伝熱研究」と論文誌「TSE」とをどう考えるか？

この中でTSEについては、解答の難しさを感じるが、以下のように答えておきたい。

「伝熱研究」

会誌については学会のhouse-keeping的情報発信など、その役割は比較的明瞭と思う。しかし、「伝熱研究」にとくに掲載を期待したい原稿については、記しておきたい。それは、『**「伝熱」研究の到達点を見極める解説**』である。こう書くと、「時代の先兵などと言いながら、到達点などといった後ろ向きの考えをするな」とのお叱りが聞こえてくる。しかし『伝熱』研究には、各現象領域、計算・測定・処理手法領域、機器・デバイス技術領域などにつき、(設問2で述べたように問題を感じるものの)多くの知見が集積されてきている。こうした知見を系統的に再整理し、学術財産として研究者・技術者に提供することは学会の責務であると考え。これらは、確実な到達点を情報発信するものであり、「TSE」に掲載されるべき萌芽的な領域に関する研究解説や既存領域に関する最近の進展に関する解説とは性格を異にする。こうした解説は、例えば日本機械学会誌では執筆分量の制限を受け、実行不可能である。

「TSE」

一方、本題の「TSE」は、無論新しい研究成果の情報発信媒体であるが、とくに日本機械学会論文集やASME Journalsなどを意識せざるを得ない。この

点で、現在の「TSE」の一つの特徴は、エディタ制であると考えている。また、単なるエディタ制ではなく、その「論文に関する評価をエディタの名の下に公表」していることである。「TSE」の質をさらに向上させ特徴あるものとするために、このシステムの堅持・重点化を強く望みたい。また、故土方邦夫先生などとともに作成した編集方針(TSEの最後に掲載されている)8項目についても、機械学会論文集などが対象としていないが、『伝熱』研究において重要であると考えられる論文が投稿されるよう意識されていると思う。設問1や2で個人的見解を示した類の論文が重要であると思えば、それを集めることもできる。したがって、重要問題はこのような主旨の論文がどうすれば集まるのか、集めるのかであろう。私もエディタに名前を連ねているので今後努力したいが、(TSEへの投稿論文については当然自発的投稿を中心とすべきであるが)伝熱シンポジウムにおいて発表されたものの中から、「エディタ推薦論文として掲載」することも検討に値すると考えている。

終わりに際しての加筆

以上、「伝熱研究」および「TSE」について述べさせていただいたが、私的コメントの段階では書いていなかった記者会見の提案や(最近見かけなくなった)論争の必要性については、いずれまた機会を見て意見をまとめてみたい。

<論壇：「熱」に係わる科学・工学と研究・開発の新展開に向けて>の編集にあたって

Preface to Papre Warefare : The New Horizon of Science & Engineering and Research & Development Concerned with "Thermology"

小澤 由行 (高砂熱学工業 (株) 総合研究所)

Yoshiyuki KOZAWA (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)

伝熱学会で「数の話」になると、必ずや伝熱シンポジウムの盛況が引き合いに出されます。そればかりでありませうか？ 例えば、この5月の総会資料として、総務ご担当が綿密に作られた第36期の事業報告から、この1年間に取り上げられた『熱』に係わる課題を単純に拾えば、その数は優に300を越えています。伝熱学会は1400人規模の集団でありますので、「三人寄れば『文殊』の知恵」とまでは行かぬものの、少なくとも5人寄れば『熱』に係わる知恵を、「神仏の世界」までとは行かないまでも、現実の世のため・人のために毎年創発していることとなります。このような数で観れば、伝熱学会はActivitiesの極めて高い集団であり、誠にご同慶の至りであります。

ご承知のとおり、平成8年4月号の「伝熱研究」には、『伝熱工学／熱工学の将来』と題した企画記事がありました。ここでも種々の角度から多くの熱に係わる現象や課題を分析されて、その後の「深化と進化が大いに期待される」と謳われています。しかしよくよく読みますと、必ずしも「バラ色」ばかりを謂われているのではなく、熱に係わる研究の問題・危惧・危機の指摘もあちこちに観られます。それから2年が経過したと云え、伝熱学会には上述のようなActivitiesがあると云え、今の段階で結果がどうであったかを評論するのは、時期尚早で無理なのかもしれません。

私は物事を悲観的に観る習性が強過ぎると先達によく言われます。しかし最近の町の本屋さんでは、世紀末ということもあり、昨年来「Energy Aftermath」、「科学の終焉」、「経済学の終わり」、「聖域の終わり」、「『日本』の終わり」というタイトルの書物がかなり売れていると聞いたことがあります。そこで私の悪趣味からそれらを手にとってみましたが、現在までの失敗を含めたプラクティスを鋭くかつ独特に分析してあり、軽薄な論拠や飛躍のあ

る論理展開に基づいて将来像を語った書物より、説得力が高いものとの印象を受けました。またいずれの書物でも、題名にある「終わり」という結論では決してなく、その語感とは裏腹に、むしろ我々が勇気を持って発想の転換や過去を止揚することで、確実な未来が生まれることを示唆しています。これらはいわゆる逆説的な演出というか、小説などによくある単なる「どんでん返し手法」ではなく、極めて真摯で有益な論説であり、大いに推奨される書物でありませう。

それらにあやかれば、「伝熱 (研究) の終わり」という企画も必ずしも悪くない、むしろそこまで踏み込んで伝熱研究の将来を考察すべきと個人的には考えましたが、それでは伝熱学会活動にはあまりにも失礼ということでありませう。あるいは学問を冒涇しているとお叱りを頂戴するかもしれませぬし、伝熱学会から除名処分を受けるやもしれませぬ。そこで今日までの伝熱研究は、「本物かな・間違いは無いのかな？ 得られたことや言われていることがホントかな？」といった素朴な疑問程度ということであれば、会員の皆様の中にもご同意頂ける方もいらっしゃるのではないのでしょうか。そのような考え方から昨年度は「失敗談～未成功研究」という変な編集企画を皆様に押しつけてしまいました。

ご承知のとおりその企画の趣旨は、研究ノートに埋もれている夢を呼び戻す、成功に導く道具を増やす、原点から物事を考え直してみる、に止まらず、大げさに申し上げれば、失敗の情報公開や研究・技術の自己評価の在り方にも迫ることでありました。またこのような条件設定の場合、今までの多くの科学・技術の分野での常套手段である理想的・客観的な論術ということが、必ずしも通用せず、現実的・主観的な「ものの見方・考え方」が必要となります。さらにこのような場合には、一般に「誤り」とか「反論」が起きやすいものです。すなわち2年前の『伝

熱工学／熱工学の将来』の序文で会員に期待された「継続的な対話・論争」の契機になり得ると考えました。また、昨今は、伝熱シンポジウムに限らず、会員の間での討論・議論が少な過ぎるとのご指摘に
応えたり、そのような今様の学会風潮にも一石を投じられるのでないかと考えました。さらに、学術的なことや科学的なアプローチは論文集「T.S.E.」に任せて、会誌「伝熱研究」では別なアプローチを模索してみたいという種の「甘え」もありました。

しかし、これらのいずれも私の極めて主観的な問題設定であり、その結果は必ずしも「絵に描いた餅」のようにことが運びませんでした。やはり「失敗談は失敗」ということのようにあります。そこで、考え方を切り替えて、今回は当初「伝熱研究の光と影」という企画にして、お二人一組で伝熱研究を両面から捉えて「紙上の論争」をお願いしました。しかしこれも残念ながら企画倒れに終わってしまいました。

そこで私の苦肉の策ということと議論が大事との拘りから、標記のような「論壇」を設定させて頂きました。とくに今回は、熱に係わる基礎研究・技術（製品）開発を「新展開する、成功に導く、未成功・失敗を克服する」のいずれか、あるいはすべての観点から、今後の「伝熱研究や伝熱学会の在り方」に対する提言・意見・感想を論述する場と捉えて頂くことにしました。

幸いにしてまずは、主に熱に係わる科学・工学に従事されておられる4人の先生方から、新しい研究分野の開拓に焦点を当てた分析や主張を頂くことができました。次には、主に熱に係わる技術開発に従事されておられる3人の方々から、その中での基礎研究の役割、さらには今後の基礎研究の展開における期待や注文を、腹藏無く述べて頂くことができました。最後には、前3回にわたって18人の方々自らご執筆下さった「伝熱問題に関する未成功研究」を纏める意味から、2人の先生方のご意見を頂戴しました。

昨今の現役の研究者・技術者は、ご多分に漏れず大変お忙しく、とくに前2回の場合には、当初ご執筆を予定させて頂いた方々の約半数しか、結果的にはご寄稿頂けませんでした。また私の独断と偏見に満ちた企画自体が、研究者や技術者には無意味とご判断されたことも影響しているのではないかと思います。そのような状況にも拘わらず、また今回も多くの方々にご迷惑をおかけしたことをお詫び申し上げますと共に、ご寄稿に感謝を申し上げます。読者の皆様には、このような事情をご賢察の上、ここにありますそれぞれのご主張を真摯に受け止めて下さると共に、これを契機に伝熱学会活動の一層の発展を指向した「議論の輪が永続的に展開」するようにご協力頂けるものと確信します。

「熱」に係わる科学・工学における新しい分野の開拓

Cultivation of the New Horizon of Science and Engineering Concerned with "Thermology"

論壇

「燃焼・ふく射」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて

Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in "Combustion and Radiation"

花村 克悟 (岐阜大学)

Katsunori HANAMURA (Gifu University)

はじめに

一口に「燃焼・ふく射」といっても範囲が広く、また熱に係わらない場合というの、その定義からしてあり得ない。そうした広い裾野を踏まえてタイトルに掲げたような新分野の開拓や新展開を云々することは浅学な小生には荷が重すぎるし、2年前の「～伝熱の将来」の特集と重なることにもなる。ここでは「手前みそ」とか「相変わらずまだやってるんだ」と思われるかもしれないが、最近の研究内容やその進め方を通して考えを書かせていただくことにする。

研究の進め方や展開はおそらく今も昔も変わっておらず、今後も大きく変わるとは思えない。また、楽観的にできている小生にはそれでいいとも思う。その基本は「～できなかったものができるようになった」が大部分を占めるように思われる。この「～」には「測定」、「拡張」、「可視化」、「明らか」などさまざまな事柄が当てはまる。時代とともに計測器の感度、精度、応答速度、分解能が上がり、こうした測定器や検出器が入手できれば容易に達せられる事柄も多い。しかし、本来の研究の進展や新しい展開の醍醐味は、むしろこうした入手できるできないで決まる事柄ではなくアイデアによるものであることは一般の通念からはずれてはいないだろう。

可燃限界の拡張から新しいエネルギー変換へ

例えば、燃焼における可燃限界の拡張もその一つである。燃焼の基本形態の一つである予混合火炎では、高温域における化学反応によって放出された熱エネルギーが、低温域の混合気へ熱伝導によって輸送されることにより成り立っている。この混合気の発熱量を小さくすると、やがて希薄可燃限界に達する。この可燃限界が本当に存在するのか、また存在するとすれば、それを決定する因子が何であるかを明確にした研究は未だに見当たらない。しかし、これを拡張するために、燃焼ガス顕熱を混合気の予熱

に利用するエネルギー循環燃焼(超過エンタルピー火炎)が提案された。これは極めて単純でありながら、熱エネルギーを巧みに利用した燃焼法として、また伝熱による熱輸送過程を強調した結果として成り立つ火炎として興味深い。まさに「燃えないものを燃えるようにした」アイデアといえる。そして、現在では多孔質体へ混合気を周期的に流動方向を反転させながら供給することで、多孔質体の蓄熱によるエネルギー循環が生じ、可燃範囲はメタン・空気混合気で当量比 0.02~0.03(通常の気相中では 0.51)まで容易に拡張されまだ伸びる余裕を持っている。その見かけ上の燃焼速度は 1 m/s と速く、見積られる反応帯厚みは 3~4 cm にも達する。燃焼科学の立場からすれば、どのような火炎が形成されているのか、興味深い。

こうした新しい燃焼はその現象自体を解明する、あるいはこの限界を突き詰めることで通常の気相中の火炎の可燃限界のメカニズムに迫るなど、基礎研究に展開できよう。「何処まで拡張すれば気が済むのか」とか、「何処までもキリがない」など手厳しいご意見を頂く場合もある。しかし、このような限界を追求することによって、新たな基礎研究に結びつく場合もあるし、「拡張できた」ことを他の現象に発展することもできる。その一つは、手前みそであるが、燃料過濃可燃範囲の拡張である。これはいわゆる発想の逆転であり、科学技術の進展の中でしばしば見られる。これを広げることで、メタンの一部を燃焼させ、その熱で残りのメタンを水素へ転換することができる。当量比 5(通常では 1.7)という過濃限界以上の火炎であるため、いかなる反応が生じているのかは、詳細には全く明らかではないが、改質用の触媒を用い、水蒸気を加えることで、熱収支も化学種のモルバランスも反応前後で一致し、高い効率で水素が製造できることが明らかとなっている。これ以外にも最小限の燃焼熱で高温場を形成し、その領域で残りの化学エネルギーを他のエネル

ギー（電力、動力、光など）に直接変換できることを示唆しており、むしろ熱を介さないエネルギー変換、もしくは巧妙な熱制御下でのエネルギー変換システムの構築への発展が期待されるものと思われる。このように燃焼を単なる熱発生の手段とみるのではなく、付加価値の高い生成物を生成しながら燃焼させるとか、最適なエネルギー変換をするための燃焼法を考えるとといった時代に来たとみてよい。

伝熱研究の方向

ここ十数年間、こうした多孔質体内燃焼の研究に取り組んできた。この中では多くの場合ふく射による熱輸送過程が火炎構造そのものを制御する。この多孔質体内部でのふく射輸送を扱った研究は興味あるものが多いが成熟し尽くした、との見方もある。しかしながら、新素材多孔質体内のふく射伝熱やナノサイズ多孔質体内での光変換、もしくはそうしたものの高速現象などまだまだ興味は尽きない。とくに平滑面であっても、ふく射性質が明らかでないものも多く、その温度依存性が顕著なもの研究はほとんど進んでいないとみてよい。ましてや多孔質体では系統的なふく射性質は全く示されていない。こうした物性の研究においても「困難であった測定ができた」といった具合に「できなかったことをできるようにする」ことが基本となる。これには地道な努力の積み重ねが必要であり、成果や評価を急ぐ昨今では、むしろ敬遠される研究とも言える。しかし、全て系統的にデータが集積されれば JANAF の熱化学データに匹敵する功績となろう。

一方、ナノサイズ、ピコ秒、フェムト秒といったオーダーの伝熱研究が最近では多くなった。これは先に述べたように計測器の性能が向上したこと、極短パルスレーザーなどのハード面の充実が後押ししている。しかし、こうした機器が入手できるのはごく限られた研究機関であることから、勢い理論解析に走る場合が多い。もちろんそうした研究も意味がないわけではない。理論解析が容易にできるように単純な系にすることや分子・原子レベルまで小さな極限を考えることは1つの進め方ではある。しかしながら、よくいわれるようにマイクロやナノサイズまで拡張するには計算機能力からしてかなりの努力が必要となる。確かに、計算機能力の向上は日進月歩であり、それに伴う進展もあるが、やはり「できなかったものをできるようにする」計算手法の開発を念頭に据えることが肝要と思われる。一方、高

額な機器を入手できたとしても、それを使いこなす、さらに一段高いレベルの測定法を構築しなければ理論に走った場合と同じで機器の性能向上を指をくわえて待つだけで「～できるようにする」醍醐味は味わえない。

例えば、ピコ秒オーダーの薄膜の加熱がパルスレーザーによって最近では比較的容易に行える。そして、この加熱用パルスからわずかに遅らせてもう一方のパルスレーザーを照射し、表面の温度を反射率の温度依存性から測定しようとする試みがある。こうした高速加熱現象は、例えば金属の場合には電子と格子の間で熱を受け取る時間に差が生ずるなど、従来とは異なるエネルギー移動過程が見られ、極めて興味深い。したがって、このようなピコ秒オーダーでしかも特定の波長のレーザーで加熱した場合、いわゆる温度の概念をそのまま適用できるか疑問である。もちろん電子温度とか格子温度といった表現はすでに一般に広まっている。しかし、非金属の高速赤外レーザー加熱などにおいては分子・原子の振動自体がレーザー光の吸収、エネルギー伝播（熱移動）、そしていわゆる通常の温度が定義できるところまで緩和する過程を担っている。理論的根拠はそれ程持ち合わせていないが、こうした熱というよりもエネルギーの輸送過程が、ピコ秒やフェムト秒計測により「見えるようになる」かもしれないし、それにより熱移動の本質に迫れる可能性もでてくる。勿論、測定器の性能向上のみでは、こうした研究がこなせるとは思えない。だからこそ「見えるようにする」魅力ある対象とも言える。ふく射のみならず、伝熱の3形態いずれも、こうした伝熱の原点に戻ることが今後の伝熱研究の一つの方向と考えられる。

おわりに

思うに、研究には一足飛びに大きなブレイクスルーがそれ程多く期待されるものではない。むしろ、地道に進展し、積み重ねた結果、当初から見ると大きな飛躍が見られ、これが短期間であればあるほどいわゆるブレイクスルーに近づく、もしくはその進展の中で大きなブレイクスルーが見いだせるかもしれない。したがって、性急な評価を気にせず（多少、気にした方がいい場合もあるが）腰を据えた取り組みと、それを素早くこなすことが必要と思われる。また、逆にそれらも評価もしくはコメントする側の力量も今後問われることになるだろう。

「熱」に係わる科学・工学における新しい分野の開拓

Cultivation of the New Horizon of Science and Engineering Concerned with "Thermology"

「二相流」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて

Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in "Two-phase Flow"

芹澤 昭示 (京都大学大学院工学研究科)

Akimi SERIZAWA (Kyoto University)

1. はじめに

気液二相流に係わる「熱」が工学的に大きな展開を見せたのは18世紀の産業革命と20世紀における原子力発電の技術開発であろう。「パパンの鍋」として知られる高圧釜にヒントを得たパパンによる蒸気機関の発明に端を発し、ニューコメンやワットの蒸気機関、フルトンの蒸気船そしてステーションによる蒸気機関車の発明へと続いた蒸気の熱力学利用は当時の人々には目を見張る大きな展開であったに違いない。熱流体としての気液二相流はその後、化学工学、機械工学、冶金など主に実用的な工学分野を中心に発達してきた。そして近代物理学や熱力学、流体力学等の学問的基礎が確立されるにつれて、質量保存則、運動量保存則、エネルギー保存則、乱流方程式が導かれ、気液二相流等の混相流熱流体工学の原形が形成されるようになった。20世紀後半には原子力技術開発に伴って、気液二相流物理やモデリング、実験技術が飛躍的に発展し、原子炉熱流動・安全解析用大型コードの高度化の必要性から新しい数値計算手法の開発やデータベースの蓄積が盛んに行われた。また、数値流体力学 *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) という新しい学問分野が生まれ、大きな脚光を浴び、混相流れを含む熱流動解析が行われるようになった。実験では達成し得ない物理量を数値的に予測し、物理現象の解明に貢献しようというものである。このように基礎研究における学問の流れは実験を中心とした工学的色彩の強いものから、次第に熱流体としての二相流機構そのものを明らかにし、伝熱流動現象の物理を科学的に探求する方向に変わりつつあると言える。一方、応用研究では、原子炉のような巨大装置からミクロンサイズを対象としたデバイス等、工学的スケールリングの範囲は益々拡大する方向にある。

二相流の最も一般的な特徴は分子・原子レベルの階層(構造)、連続面としての界面構造、界面群を有する流体としてのマクロ階層等々の複雑な多重

構造を持ち、各階層どうしが相互に影響を及ぼしあうため、非線形性、非平衡性の強い構造を必然的に持っている。実験技術的には多次元空間領域における瞬時・局所現象を把握するため、X線CT法、中性子や陽子線を用いたラジオグラフィ法、NMR法、超音波法など非接触で時間・空間分解能の高い計測技術の開発に向けての努力がなされている。一方、数値解析では、できるだけ現象に忠実な物理モデルを志向した多流体モデルに代表される平均化手法、オイラー・ラグランジュ法による粒子追跡

法、VOF法等の界面追跡法等々、連続体力学に基づく考え方のみならず、分子動力学やセルオートマトン法、モンテカルロ法などの粒子論的な考え方も導入されるようになってきた。

気液二相流の熱工学的応用はマイクロチャンネルを主体としたヒートパイプや電子デバイス冷却など、ミリサイズからサブミリ径、ミクロン径さらにはサブミクロンの世界に入りつつある。また、ミクロンサイズの気泡を含む流体のように、大きな気液界面積をもち、それ自体が工学的に有用な機能を有する機能性流体あるいは知能流体と言われるものが研究開発の対象となるなど、従来の研究とは違った新たな展開が始まっている。

本題に戻って、産業革命や原子力技術の出現に匹敵するようなドラスティックな「二相流」に係わる「熱」科学・工学の新展開として、一体何が挙げられるであろうか。「熱」、「科学を深めた工学的展開」そして「将来的に有益であり、興味あるもの」が条件であろうから、大変難しい質問である。古来、流体は物質や運動量、エネルギー等の「運搬屋」であった。二相流自身が熱を生み出すことができれば素晴らしいことであろう。最近、このような夢物語が一部で議論されている。小澤編集委員から頂いた注文は、在り来たりの陳腐な話ではなく、ややもすれば奇想天外なものであってもよいから、二相流の新しい展開について独断を書いて欲しいということであった。*"Just for Fun"*ということで、気泡を用

いた核融合 (*Bubble Fusion*) の話題を紹介したい。単に気泡から熱を取り出すだけなら、気液の化学反応を利用した方法が考えられるかも知れぬが、原子核反応では核子間の結合エネルギーを利用するため化学反応に比べ 6 桁ほど大きなエネルギーが取り出せる利点がある。

2. ソノルミネッセンス

気泡を分散状態で含む液相の圧力を気泡の固有振動数で強制的に振動させると、気泡体積や気泡内圧力もそれに合わせて振動する。液の慣性力が大きいいため振動中のガスは圧縮と膨張を繰り返しながら、非常に高温状態になり、気体の *isentropic* 温度に近い、5,000 K 程度になると、可視光 (50 ピコ秒以下) を発生することが知られている。これを音 (ソノ) ルミネッセンス (*sonoluminescence*) という。こうした発光現象は 1930 年代から知られているが、発光の機構についての定説はない。

先頃 (1998. 6. 8~1998. 6. 12)、リヨン (フランス) で開催された第 3 回混相流国際会議の最終日にパネルセッション「ソノルミネッセンス」が設けられ、その発光機構について議論がなされた。1 つの考え方は Lahey や Nigmatulin らの説で、簡単に言えば、「気泡の圧縮・膨張過程で液の慣性エネルギーが気泡に蓄積され、高温状態を創り出す」とするもの。他の説は Prosperetti の説で「急激に変化する圧力勾配下にある気泡には *Bjerknes force* が働き、気泡の圧縮時・膨張時に気泡内に *jet* が形成される。気泡圧縮時には気泡界面の一部が外向きに角を出す方向に作用し、気泡膨張時には逆に気泡内部に向かい、対向する界面に衝突する際の分子の運動速度が音速を超えると、対向する界面から電子を弾き飛ばして発光する」という。また、*Toroidal shock wave* によって対向する界面から分離された小さな衛星気泡から発光する可能性も示唆された。(やや正確でないかも知れません。関連する論文が *Physical Review Letters* に掲載されているそうです。) しかし、この説の根拠として引用された実験を行った Lauterborn から「発光現象を呈する気泡の大きさは 0.5μ 程度であり、Prosperetti の言う気泡は大き過ぎる」とのコメントがあり、ソノルミネッセンスの機構は依然として闇の中にある。帰りがけに Prosperetti 教授と雑談した折り、あれは "Just for fun" だと言って笑っていた。

3. 気泡が熱を生み出す—気泡核融合への夢

1995 年の 9 月にサラトガスプリングスで開催された NURETH-7 で Lahey と R. I. Nigmatulin との共同研究として Nigmatulin¹⁾ によって "*Prospects for Bubble Fusion*" が発表された (プレナリー講演)。

これは、重水あるいは軽水中にある重水素または重水素/三重水素混合ガス気泡に液相圧力の強制振動を利用し、*non-linear, non-periodic resonance excitation* によって気泡の超高压縮状態を創り出し、1 億度近くの超高温プラズマを実現し、核融合反応を起こさせようとする奇抜なアイデアを提案したものである。液相に与える振動を気泡の固有振動数に合わせた *periodic* で *harmonic* な強制振動ではソノルミネッセンス程度の温度しか得られず、プラズマを実現できる程の高温状態が創り出せないことから、バスケットボールの選手がドリブリングによってボールの反発力を強めてゆく原理を利用する。バスケットボールの場合には、ボールが床に落ちて行くとき強く押し、ポンピングの際の運動エネルギーをボールに与える。リバウンドする際にはボールの運動を妨げないように包み込む。これはバスケットボールの *non-linear resonance oscillation* を上手に利用したものである。気泡の超高压縮状態を得るのもこれと全く同様で、気泡周囲の液体に外部から強制的に繰り返し圧力振動を与え、液の持つ慣性エネルギーを気泡の膨張・圧縮過程と旨く連動させ (*basketball dribbling regime*)、超高温状態を創り出す。すなわち、液に与えた圧力によって気泡は一度圧縮されるが、過度に圧縮されるため、気泡体積が最小になった後、膨張を開始する。この気泡体積最小の瞬間に液に与えた圧力を急減する。すると気泡は膨張し、今度は体積が極大値をとった後、再び収縮を始める。この瞬間に液を加圧する。この操作を繰り返し行うことによって、液圧力の強制振動の慣性エネルギーを気泡に与えて行く。この場合の強制加圧振動の周期は当然一定ではなく、時間とともに繰り返し間隔は大きくなる (*non-linear, non-periodic resonance*)。この強制振動の繰り返しとして 1 KHz 程度のオーダーで、圧力振動の振幅は 1 MPa 程度の値が示されている。

論文では、気泡成長の方程式 (*Rayleigh-Lamb-Plesset* の式)、状態方程式、質量保存式、エネルギー保存式などの気泡力学に関する基礎式に加えて、粘性散逸によるエネルギー損失、熱伝導による熱損

失、輻射による熱損失(熱放射、制動放射、イオン・プラズマ再結合による損失、*line losses*) などに対する各種構成方程式を用いた数値シミュレーションを行い、単一気泡および気泡流中での気泡温度を求めている。この計算によれば、*non-linear, non-periodic resonance oscillation* を利用すると、初期直径 1mm 程度の気泡に対して、約 1 億度程度の超高温が得られる。図 1 は水中(初期圧力 0.1MPa, 初期温度 300K)にある単一水素気泡(初期直径 1mm)の場合についての計算結果である。到達できる気泡温度は液の圧縮性に強く依存するが、圧縮性が余り強くない場合には、1 億度を越えた結果が得られている。

4. 核融合反応における気泡寿命とエネルギー収支

ガス気泡内において単位体積当たりが発生する中性子の数および 1 回の圧縮過程で発生する中性子数から、核融合反応の燃料としての気泡寿命が計算できる。初期水温が室温に等しい水中にある初期気泡径 0.1 mm の重水素またはトリチウム(三重水素)ガス気泡 1 個当たりの核融合反応回数および気泡寿命は、計算によれば次のようである。

核融合反応回数

重水素： $10^{10} \sim 10^{11}$ 回/気泡・圧縮

トリチウム： $10^{12} \sim 10^{13}$ 回/気泡・圧縮

気泡寿命

重水素/トリチウム： 10~100 振動

重水素： 1,000~10,000 振動

また、エネルギー収支(核融合による解放エネルギー/強制振動に費やすエネルギー比)は DT 反応で 700、DD 反応で 140 と計算されており、いずれも非常に高い値となっている。

5. 気泡核融合炉のデザイン

Lahey & Nigmatulin によれば、この気泡核融合の強みは、現在の加圧水型原子炉がそのまま転用できることにあるという。気泡核融合炉心およびプラント全体の構成図はその後、Lahey によって発表されている²⁾。炉心は基本的には重水素気泡を含む *bubble column* そのものからなる単純な構造となっており、核融合反応で生じる中性子による压力容器の放射化の問題はトリチウムを別とすれば大きな問

題とならないこと、また、既存の核分裂炉で問題となっている放射性廃棄物の問題もなく、安全性も高いことなどが利点としてあげられている。

6. むすび

著者が大学に入学した頃、原子力エネルギーの利用はまさに薔薇色に包まれた科学・工学の新しい展開として受け止められていた。それから 30 年たった今、大きな転換期を迎えている。編集委員の方に勧められて、現在 1 つの夢物語として議論されている気泡核融合の話題を紹介した。気泡核融合の物理的機構、化学的機構、気泡内プラズマの物理、気液界面の不安定性、気泡位置の揺動や具体的な *levitation* の方法、ガス温度の測定等々、理論的にも実験的にも今後理解を深めるべき点も多く、また、真に理論的に可能なのか、プラントとして成り立つかどうか、など未知数も多い。その意味では、気泡核融合の話題が気液二相流に係わる「熱」科学・工学の新展開として相応しいかどうかの疑問もあろう。しかし、時には奇想天外な夢の科学の世界について考える余裕が欲しいものです。

参考文献

- (1) R. I. Nigmatulin & R. T. Lahey, Jr., Proc of the RURETH-7 (1995) 49-72.
- (2) R. T. Lahey, Jr. & R. I. Nigmatulin, Proc. of the US-Japan Seminar on Two-Phase Flow Dynamics (1996) 199-204.

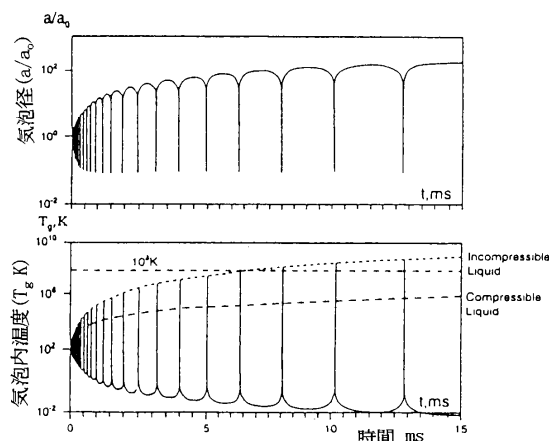


図 1 気泡径、気泡温度の計算結果¹⁾

「冷媒・冷凍」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて

Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in "Refrigerant and Refrigeration"

勝田 正文 (早稲田大学理工学部機械工学科)

Masafumi KATSUTA (WASEDA University)

1. はじめに

我が国では、所得水準の向上に伴って住環境の高級化指向が進み、住宅関連設備の充実や住宅面積の拡大など、住居水準の向上、質の高い快適性を持つ居住空間の創出を求める動きが強まっている。とくに夏期に見られる空調システムによる電力需要の先鋭化は、この現状を如実に示している。同時にモビリティ空間においても実状は同じであって、冷凍・空調システムの小型化、軽量化、低コスト化を含んで高性能化の実現が強く求められている。また、民生部門におけるエネルギー・環境問題への対応についても、COP3京都会議での議定書に見られるように(第2章に詳述する)、地球温暖化防止対策の1つである省エネルギー化への一段と高い努力目標が示され、冷凍・空調システムに対する要求や制約がますます厳しくなる傾向にある。

従来から冷凍・空調システム全体および各構成要素の高性能化を実現しようとする技術開発は盛んに行われており、とくに蒸発・凝縮器では、管外空気側に接するフィンの改良によって飛躍的な性能向上を成し遂げ、インバータをはじめとする制御技術の導入によって、さらなる省エネルギー性を付与した歴史がある。その後、研究の対象は管内側の伝熱促進に移り、管内溝付き管の開発、冷媒二相流と熱伝達との関係、冷凍機油の影響、代替冷媒の採用に伴う伝熱管単体性能の見直しなどが盛んに行われている。

さて、冷凍・空調用蒸気圧縮式ヒートポンプの熱交換器一つ取りあげても、管外側では、管配列やフィンの形状、ルーバの配置等の熱伝導や強制対流促進問題、管内側では、二相流、管内蒸発、凝縮熱伝達、(それも物質移動を含む多成分系にも対応しなければならないが)いわゆる伝熱学上扱われるほとんどすべての領域を複合した現象を扱わねばならない特異な分野と言えよう。

ここでは、冷凍・空調分野における新しい展開を

意識しつつ、経験上(科学としての体系ではなく、多分に工学・技術に近いと思われるが)得られた問題点など整理して示すことによって、示唆できると考える。

2. 環境に調和した冷媒は (冷媒および省エネ法改正に伴う問題)

通商産業省によれば^{1) 2)}、COP3(地球温暖化防止京都会議)において、先進各国の温暖化ガス削減目標を定めた「京都議定書」に従い、産業・民生・運輸各部門の抜本的な省エネルギー対策を中心に地球温暖化防止対策を具体化するとともに、代替フロン等の排出抑制対策等を促進する目標を掲げている。

これに応じて本年3月「エネルギーの使用の合理化に関する法律(いわゆる省エネ法)」の抜本的な改定を行っている。この改訂での特徴は、自動車の燃費基準や家電・OA製品等の省エネルギー基準としてトップランナー方式の考え方を導入していることである。すなわちこの方式は、「基準を策定する際に現行商品化されている製品の内、省エネ性能が最も優れている製品の性能以上の水準に目標値を定める」、ことである。具体的には、2010年までに家電・OA機器では、8~30%の省エネルギー基準の改善を図りたいとしている。

さらに本年2月には、代替フロン等あるいはそれらを使用する機器・製品の製造・使用に関係する17の事業団体に対して、対策の実施の基本的考え方と具体的方策の方向についてガイドラインを示して(「産業界によるHFC等排出抑制対策に関わる指針」官報2月23日)行動計画の策定を要請しており、現在事業団体は客観データ、対策の具体的内容、数値目標などを盛り込んだ計画を策定中である。

また、HFC、PFCやSF₆に代わる冷媒等の技術開発を強化し、同時に省エネルギー型スマートライフのあり方について政策提言・広報を抜本的に強化している。

以上のような状況にあって、蒸気圧縮式ヒートポンプメーカにとっては、省エネルギー目標の強化とHFCに代わるさらなる新冷媒の検索という二重苦を背負う苦難の時代に入ったといえる。また、研究者にとっても常に新しい冷媒を視野に入れた研究（自然冷媒であるNH₃、CO₂、C₃H₈、C₄H₁₀等の研究も含む）が必要な時代となった。

しかしながら現時点では、HFC混合冷媒を当分の間HCFCの代替冷媒として使用する方策が一般に受け入れられていて、実施にも移されている。

なお、個人的には、現在まで用いられてきた評価指数の見直しが必要でないかと考えている³⁾。すなわち、地球環境破壊を評価する指数として、ODPやGWPが用いられるが、GWPのみの評価によって規制を行い、冷媒を使用する機器の効率を見逃していると、却って地球温暖化を招きかねない。冷媒の直接的な地球温暖化効果と耐用年数間のエネルギー消費によって生じたCO₂の温暖化効果を総合的に表し得る指標を（LCAを考慮して）、国際的に早く整備する必要がある。

3. 細管内二相流の流動様式や冷媒二相流の分岐問題

（とくに、流量分配予測の確立とその可能性について）

いわゆる断熱気液二相流の流動様式線図と蒸発を伴う冷媒の流動様式線図に「ずれ」があることは早くから指摘されてきたが、未だに解消されていない。とくに細管を対象とした詳細な検証からは、いずれの線図も一長一短があり、一方で初期に大口径管向けに提案されている有名なBaker線図も環状流と分離流との遷移に着目する限りにおいては、3mm程度まで適用が可能であると判断できる。線図の選定は熱交換器設計において極めて重要な基礎となることから、汎用性の高い流動様式線図の策定が望まれる。

また、将来の熱交換器における方向性として、管径の減少を挙げることができる。これに伴い分岐部分での圧力損失の低減を図るために、現行のディストリビュータ方式から、いわゆるヘッドとマニホールドを用いた主管と枝管からなる多連分岐構造をもつ熱交換器が主流となる可能性がある。このとき、とくに「蒸発器における二相流分配の偏流をどのようにして防ぐか」、あるいは各枝管への液・気相がどのように分配されるかについては、極めて複雑で錯

綜するメカニズムが内包される一方、これを比較的単純なモデルとして取り扱って「気液の各枝管への流量分配をどのように予測するか」は、極めて重要な問題となろう。当方では、この問題への一解決法として、直管とT分岐管の組み合わせとして多連分岐管を構成して、T分岐部での多連分岐管特有の相分離モデルを構築することによって、各枝管出口の圧力がすべて等しくなるように、気液の分配割合を定める方法を提案している。

4. 膨張装置である毛细管の性能とmetastable flowの影響

とくに空調用キャピラリーチューブは、内径0.5～1.2mm、長さ500～20000mm程度の引き抜き銅管が用いられ、断熱状態でその圧力損失によって冷媒を減圧する。大型の空調機や冷凍機に採用される電磁膨張弁のように広範囲な負荷に対応することはできないが、コストの削減、過負荷の低減など、一方で優れた特徴を持つ膨張装置である。研究対象となることが少なく、混合冷媒対応を考慮した性能予測法の確立が望まれる。

フロンR134a及びR22による当方での研究によれば、キャピラリーチューブ出口部では、チョーク条件を満たし、このためサイクル内の質量流量に影響を及ぼすパラメータは、入口圧力、入口サブクール度、チューブ内径、長さであることが示唆される。ここで、入口圧力、サブクール度の増加に伴い質量流量は増加するが、いずれも液単相状態にある長さが増加することによって、流動抵抗が減少するためであると考えている。形状に関するパラメータである内径と長さでは、内径の方が質量流量により大きな影響を与えることが判明した。

以上の実験的な事実から、液単相長さ、すなわち冷媒のフラッシング・ポイントを決定することが、サイクル流量を定める上で重要になる。

さて、1次元均質平衡流れによる連続、運動量、エネルギー式と出口チョーク条件を組み合わせた理論解析によるキャピラリーチューブ内温度分布の予測（metastable flowの影響を無視している）と実測値（壁面温度）を図1に示す。いずれの場合も、実際のフラッシング・ポイントは、熱力学的な平衡条件から算出される位置より後流に遅れていて、metastable flowの影響が無視できないことが分かる。また、図2には、この影響がないものとして算出さ

れる質量流量と全実験データとの比較を示している。明らかに予測値は実験データより 15% 程度も低く、

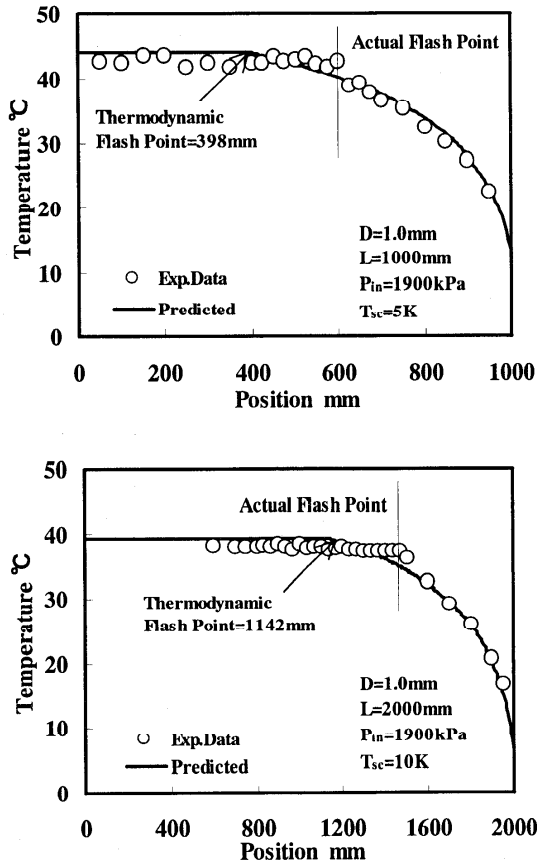


図1. キャピラリーチューブ外壁温度分布 (R22)

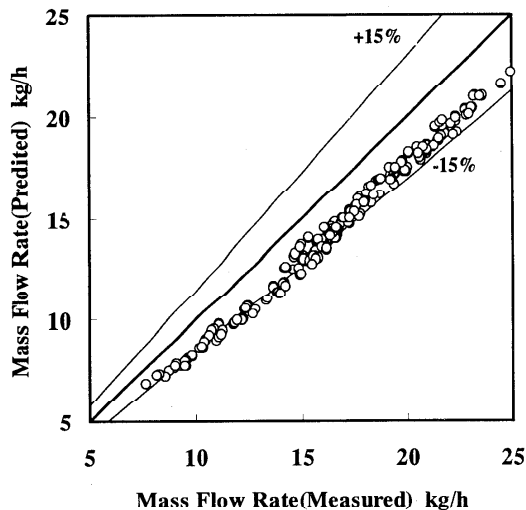


図2. 質量流量予測計算値と実測値の比較

これは metastable flow を無視したことで、実際よりも液単相部を短く、二相部分を長く見積もっているために、全体の圧力損失を過大評価しているものと推察される。

このような metastable state には、管の表面形状や、内面の表面粗さ、液相の熱物性値など、多くの影響因子があると考えられ、今後はさらに混合冷媒に対する metastable state の解明が望まれる。

5. キーエレメントとしての蒸発器および凝縮器

蒸発器と凝縮器は、蒸気圧縮式ヒートポンプの最も重要な要素であり、ヒートポンプでは冷房・暖房運転に応じて蒸発器と凝縮器両方の機能をあわせ持つ必要があり、極めて過酷な条件におかれる。最近、空調・冷凍用熱交換器の管内側熱伝達の基礎となる管内蒸発熱伝達や凝縮熱伝達を膨大なデータを基に、定量的化しようとする試みが精力的に進められており、これについては研究レビュー⁴⁾や講座⁵⁾に詳しく紹介しているので、これを参照願いたい。一般に純冷媒の管内蒸発熱伝達については、充実したデータベースを用いることで、現象論的なモデルによって高乾き度領域 ($X > 0.9$) を除き、最近ではある程度精度の高い予測が可能になっている。管内凝縮熱伝達についても同様なことが言える。

しかしながら、冷凍機油の影響については両者ともに十分ではなく、統一した見解も得られていないのが実状でないかと考える。しかしながら、唯一完全相溶の冷媒・冷凍機油の組み合わせの管内蒸発熱伝達では、各研究者による油添加の影響に関する見解に大きな隔たりはなく、比較的濃度において蒸発熱伝達は、向上すると見なしてよさそうである。しかし、その理由については、フォーミングの影響、表面張力、さらには熱伝導率の向上を挙げる研究、水平管においては流動様式の改善と熱伝達率関連を指摘する研究など様々であり、今後の進展に期待が寄せられる。

凝縮熱伝達への冷凍機油の影響は油濃度の影響は、現状用いられる管径の範囲では、影響が少ないとされてきた。しかしながら、最近の当方での研究によれば、図3に見られるように、局所的に冷凍機油による熱伝達率への影響度合いが異なり、図4の流動様式模式図に示すように、環状液膜内に飛散した油滴が均一に分布し、液膜の熱物性に影響を与える付近(環状流)で急激な低下が起きることを見いだしている。

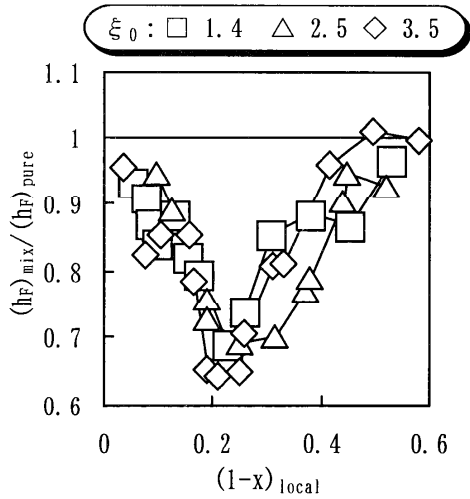


図3. 冷凍機油混入による局所凝縮熱伝達の低下 (R134a-PAGオイル、 ξ_0 は油質量濃度%)

さらに、アルミ扁平管（水力相当直径 1.7mm）での冷凍機油の影響は、内径 6mm で見られる影響より圧力損失において大きいとの知見を得ている。

さて、非相溶の組み合わせでは、もちろん管壁に油層が形成され、これが熱抵抗となって、急激に熱伝達は悪化するため、完全な油分離が望まれる。

この分野では、HFC 系混合冷媒での知見、熱交換器の細径管化を考慮した知見が、今後益々重要となろう。

6. 吸収冷凍機分野では

この分野は、「伝熱研究」(No.144)における特集にも詳しいので、動向のみを述べることにする。最近、水/LiBr だけでなく、冷媒にアンモニア/吸収剤に水、有機系フッ素化アルコール TFE/高沸点の極性溶剤 DMI など、新しい組み合わせが出現しており、特に TFE/DMI の組み合わせでは、本田技研工業が、家庭用のコージェネ、ガスヒートポンプ冷房能力2.5kWで既存の室外機と同等の小型化を実現するなど（日刊工業新聞本年4月21日）、話題性に富む分野でもある。今後の小型化のためには、アンモニア/水系では、蒸留器における熱・物質移動の同時促進や、吸収器へのプレート型熱交換器の転用をはかるなどの工夫が必要である。

7. その他の自然冷媒を用いた冷凍法実用化の可能性

極低温からバイオフリーザ温度レベル（-152～-80℃）における現行の蒸気圧縮式冷凍機は、二元あるいは三元冷媒で順次膨張を繰り返して目標温度レベルへ到達させている。これに対して He スターリング冷凍機や、パルス・熱音響冷凍機を実用に供することができればコンパクトで稼働部を持たず、メンテナンスフリーな冷凍機となる。将来の自然冷媒を用いる冷凍法の一候補として念頭におくべきであろう。しかしながら、スターリング冷凍を除き、他の冷凍法と競争力を持つ COP が現状では実現でき

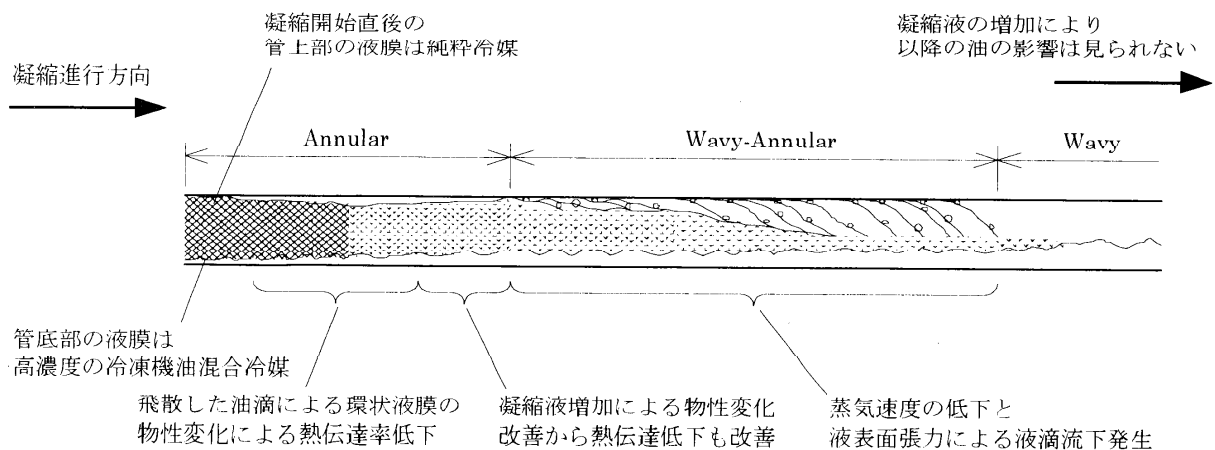


図 4. 冷凍機油混入時の管内凝縮の進行模式図

ず、とくに多数の伝熱問題を内包する再生器の改善に期待が寄せられている。

8. まとめ

冷媒・冷凍分野について最近の動向から、新しい研究の展開あるいは目標について述べさせていただいた。この分野は、先述したように省エネルギー目標の強化と、新冷媒の探索という二つの重荷を背負う領域であり、メーカー側と研究者側との広い範囲での協調、連携と新しいブレイクスルーがいずれにせよ必要であろう。

参考文献

- 1) 浦島将年, COP3後のエネルギー政策, 第9回エネルギーシンポジウム前刷り集, 早稲田大学理工学総合研究センター, 28-35, (1998-4).
- 2) 通産省パンフレット, Smart Life, 通商産業省.
- 3) 小山繁, 混合冷媒と蒸気圧縮式ヒートポンプサイクル, 第9回エネルギーシンポジウム前刷り集, 早稲田大学理工学総合研究センター, 20-27, (1998-4).
- 4) 金・勝田, 日本冷凍協会論文集, 12-1, 12-4, (1995-6).
- 5) 勝田, ターボ機械, 23-6~12, (1995-6~12)

「熱」に係わる科学・工学における新しい分野の開拓

Cultivation of the New Horizon of Science and Engineering Concerned with "Thermology"

論壇

「生体・代謝」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて

Toward the New Horizon of Thermal Science and Engineering in "Biological System"

谷下 一夫 (慶応大学)

Kazuo TANISHITA (Keio University)

1. はじめに

生体における熱現象を捉え、医学やバイオテクノロジーや室内環境のデザインに応用しようとする研究は、温熱生理学の進展に伴い、工学者にとっても興味深いテーマとなり、現在ではこのような学際的なテーマに取り組む伝熱学を専門とする研究者が増えている。本学会でも、「生体内における熱・物質・電磁波の輸送・伝播に関する研究会」が発足しており、活発な活動を続けておられ、最近の本学会の学会誌「伝熱研究」の37巻、145号では、生体細胞の凍結保存という特集号が出版されている。ASMEの論文集では生体熱工学に関する論文が、ある一定の割合で掲載されている。本年6月にはASMEバイオ部門のエディターであるDiller教授が主催するBiotransport'98がトルコで開催されるなど、着実に研究が継続されている。このような現状から、生体における伝熱学は、将来必ず一つの大きなジャンルに育っていくと想像されるが、この分野の新展開ということに関して、独断と偏見に満ちた私見を本稿で述べさせて頂く。

2. 生体内伝熱の研究の新展開

生体内における伝熱は、代謝による熱発生を如何に放散させて、生体の深部温度を一定に保つか、ということが中心的なポイントになる。この問題は空気調和などの空間環境デザインの技術では重要で、人体からの熱放散に関しては、計算モデルや実験的なサーマルマネキンのような方法が考案されている。代謝による熱発生に関しては、代謝の生化学的な反応プロセスにおける熱発生が求められているが、細胞レベルでの代謝を統合させて空間的な熱発生の分布がどのようになっているのか明確では無い。エネルギー代謝の素過程から求められた熱発生の分布をマクロ的に仮定してモデル化されている。一方放散に関しては、血流による熱の運搬が主要な役割を果

たしている。血流による組織への伝熱に関しては、これまで Pennes の式をはじめとするいくつかの提案があった。中でも注目されたのは、Weinbaum による血管網の形状を厳密に考慮に入れた伝熱モデルであり、組織の有効熱伝導率が方向性を持つテンソル形式で表せられた。ところが問題は血管網の形態を厳密に捉えることが難しく、彼のモデルは大変興味深いですが、実際の組織に適用するには余り実用的ではなかった。

生体内の伝熱問題は、物理現象として捉える限り余り新しい現象というものは見つかっていない。つまり伝導、対流、放射の基本的な伝熱プロセスを基に解釈できる。ただ工業の場合と違うのは、組織、血管網、細胞の構築が極めて独特なシステムを形成し、細胞レベルでの代謝現象が基本となっているので、それらを基礎にした伝熱現象である。

それでは、生体における伝熱問題は、物理現象と見る限り完全に解決したと言えるのであろうか。後は境界条件さえ整えば解けてしまうのであろうか。生体組織における伝熱のパラダイムは、存在しないのだろうか。私は決してそうではなく、むしろ肝心な問題は、全然片づいていないと思っている。

そもそも生体における温度調節機構は驚異的に精密である。生体は極めて巧みな温度調節機構を持っている。何故恒温動物は、正常な状態では36~37℃、そうでなくとも36℃から40℃付近までの極めて狭い温度域に維持されているのであろうか。温熱生理学の教科書を見ると、視床下部に温度センサーがあって、温熱調節機構が働いているなどと書かれているが、巧みな調節機構の本質が分かっているのであろうか。巧みな制御機構を持つシステムとしては、生体の熱現象の深さが隠されていると思う。

3. 凍結保存技術の新展開

「伝熱研究」の最近の特集として取り上げられた凍結保存は、まだまだ完成しておらず、色々な問題

も沢山ある。生体組織や細胞を凍結させ、必要な時に解凍して使えば、臓器移植に伴う問題のいくつかは解決できそうである。細胞銀行のリストなどを見ると、かなりの細胞が凍結保存され、細胞培養の実験に使用されている。したがって細胞レベルの大きさの場合では、凍結保存は幅広い応用が展開されている。しかしながら、生体組織の大きさになってくると、細胞内の脱水の調節など、個々の細胞で実現していた現象が一様に集合体として実現するのは難しい。そこで、生体組織の凍結保存は大きな研究課題となっている。研究として凍結保存のメカニズムを明確にするよりも、保存に成功して、臨床医学に早く使えた方がよいという考えもある。米国のアトランタにあるCryo Lifeという企業は、心臓弁、血管などの組織の保存技術を開発し、多くの特許を取り、既に多くの臨床実績をもっている。恐らく凍結保存のメカニズムを明確にしているわけではないが、実際的な保存に関する卓越した技術力を持っているのだろう。生体細胞や組織に相変化現象は、現象として大変興味深いところが多く見つかるが、沢山の細胞や組織において共通した特性を見いだすのは難しいだろう。ただ、何故多くの細胞の保存がうまく行っているのか、という素朴な疑問に対して、どの位明確に答えがあるのだろう。

一方、自然界には凍結保存のヒントが沢山潜んでいる。寒冷地や熱帯地方のような極限環境で生き残っている生物の環境適応メカニズムを探ることによって、新たな凍結保存技術が生まれるかも知れない。寒冷地や熱帯地で生育する生物、植物、昆虫を含めて、かなり極端な環境条件（冷、熱、高圧、低圧、湿度の高低、）においても、生育している生物の中には、環境に適応するための、「技」が隠されているようである。例えば越冬期のイラガ（2 cm程度の大きさの蛾）は前ようが非常に高い耐寒性を備えているが、体内でグリセリンが生成されているためということが分かっている。とくに極端な温熱環境で生育する生物の環境適応メカニズムには、伝熱工学的に見たときに新たなパラダイムが隠されているかもしれない。

4. 熱現象を利用する医療技術

生体の熱現象を利用して、診断治療を行うという発想も古くから多いが、最近ではハイパーサーミアとか冷凍手術、レーザー照射といった技術が生まれ

ている。これらの手法はいずれも熱現象を利用するもので、これらの医療技術を成功させるためには、熱現象自体を正確に把握する必要があるとして、熱工学的な研究が必要だと言われていた。しかしその後そのような研究が盛んになって来たとは思えず、臨床医学サイドでも医師がこれらの技術の有用性を認識しているが、かなり経験的に使用しても治療には十分であるとして、精密な研究が必要ないのであろうか。例えばハイパーサーミアの技術では、加温源としてラジオ波やマイクロ波、超音波発生装置の研究は主に電気工学の分野の研究者が手がけており、生体に及ぼす熱の影響が最も治療効果を決める重要な部分であるのだが、伝熱工学の専門家による研究はほとんど行われていなかった。医用工学という分野は、いち早く医用電子工学ということで、電気電子工学の分野が取り込み、現在の医用工学で中心的に活動しているのが、電気電子工学の分野の研究者であることに留意すべきである。

現在の医療技術においては、治療の局所化が医療技術の新しいパラダイムになっている。消化器の手術では大きく腹を切開することはなくなり、径が5 mm程度の腹腔鏡を挿入して病変部の修復をしまい、患者は入院する必要がなくなる。そのような技術を発展させるためには、極めて精密でマイクロスケールの温度制御を行うデバイスなどが必要となり、新たな熱技術の分野が生まれてきそうである。

5. 生体エネルギーの展開

生体におけるエネルギー変換現象は、基本的に等温等圧のもとで生ずる。その場合はギブスの自由エネルギーで状態を表すことが都合よい。つまり等温等圧のもとで起こるプロセスから得られる仕事の最大値は、その系の自由エネルギーの減少量に等しい。生体が仕事をするとき、化学エネルギーの形で利用して仕事をすると、食物のエネルギーを短期間または長期間蓄え、あとで必要に応じてエネルギーを放出できる分子に引き渡す。それがATPという分子である。ATPの加水分解によりADPになって、その時放出されるエネルギーを生体では通常利用されている。このような過程はエネルギー代謝と呼ばれるが、エネルギー代謝を司る物質や反応過程に関しては多くの生化学的な研究が行われており、さらにエネルギー的側面に関しては生物物理の分野において研究が行われている。

生体エネルギーの変換で最も興味深い現象は、何と言っても筋肉におけるエネルギー変換であろう。筋肉は化学エネルギーを力学エネルギーに効率的に変換する分子機械である。この分子機械は、ミオシンとアクチンという収縮蛋白質から構成されているが、これらの収縮蛋白質がお互いに滑り運動をすることが、筋肉の収縮となっている。ミオシンとアクチンはATPが存在しないときは強く結合する。筋収縮において直接利用される化学エネルギーは、生体内で筋肉以外の細胞でも同様なATPの加水分解反応によって供給される化学エネルギーである。さらにATPの濃度が維持される仕組みが備わっている。このエネルギー変換の効率は、最高80%に到達すると言われている。熱機関と比べて非常に効率の高いエネルギー変換をしているが、これは化学エネルギーを直接力学エネルギーに変換しているからである。このような直接的なメカノケミカルエネルギー変換を利用してエネルギーを取り出せる生体エンジンの実現は、多くの工学者が期待するところであり、原理的な研究も行われている。例えば東北大学の矢野らは、アクチン線維を固定したローターのミオシン分子を酵素で分解し、水溶性のヘビーメロミオシンとATPの入っている水溶液に入れるとローター回転を始めるという実験を行っている。正に生体エンジンの実現である。しかし実用的なエネルギー量を取り出せるにはまだほど遠い。実用化を実現するためには、今後工学者の努力が必要で、生体システムにおけるエネルギー工学のジャンルが出現すると面白いのではないか。

アクチン、ミオシンの相互作用から生み出される力学エネルギーの素過程に関して、最近新しい事実が発見されている。アクチンに蛍光色素をラベルして、超高感度のテレビカメラで見るとアクチンの運動を直接観測することが可能となった。シリコンコーティングしたカバーガラスの表面にミオシンを吸着させ、アクチンフィラメントを加え、ATPを加えるとアクチンがミオシンの表面で滑り運動をする。ここで滑り運動に要するエネルギーを、ATP加水分解に伴うGibbsエネルギーから見積もると、 kT (k :ボルツマン定数、 T :絶対温度)のオーダーになる。この事実はかなり驚異的で、蛋白質は熱揺らぎレベルのエネルギーを有効に使って、一方向性の滑らかな運動を生み出していることになるからである。恐らく生体におけるエネルギー変換に関しては、従来の物理学では説明仕切れないことが多く出

てきそうであり、新しいパラダイムが展開されるであろう。

6. 生体内の物質移動

生体内は物質移動現象の宝庫である。まずマクロに見た物質移動現象としては、呼吸循環系、代謝系、内分泌系、泌尿器系などにおける物質移動現象を従来の工学的手法である巨視的な連続体の力学によって解析する方法は、かなりオーソドックスな方法で、既に多くの研究が行われている。ところが生体内では連続体の力学の前提に反する条件が極めて多い。そもそも生体システムの特徴は非線形、不均質、非等方性であり、連続体の力学が適応出来ない性質を持っている。しかし不均質性のある近似のもとでは均質に見なせるとして、モデルを立てて解析してもある程度の現象を予測する事は可能である。一方で、近年の微視的状態の観測技術の進歩と共に、細胞レベルの様子がかなり鮮明に捉えることが可能となってきた。すると細胞膜近傍での物質の取り込み、細胞骨格の振る舞いなどの詳細に関して次第に明らかになり、細胞レベルの微視的な立場での議論の重要性が増してきた。さらに、細胞膜に物質が取り込まれるプロセスは物質選択性が強く、濃度勾配に依存したフィックの法則のような拡散で物質が移動しているわけではなく、能動的に細胞膜を変形させて小胞を形成させ、小胞の中又は内表面に物質を取り込むようになる。したがって、生体内の物質移動の問題は、従来工学サイドで進展してきた輸送現象論の成果をそのまま適用するだけでは本質的なことが明らかにならない。そうなる生体内の物質移動を解析する手法を開発する必要があるだろう。例えば細胞レベルの物質移動現象を考えると、能動的な物質移動の工学モデルが必要となり、このような工学的視点が生体内の問題に導入されるようになると、かなり生体システムの工学的応用はさらに広がる可能性がある。

バイオテクノロジーというと、現在では遺伝子情報を基にした分子生物学が主役となっている。しかし遺伝子レベルのみの議論で、生体システムを工学的に利用できるとは考えられない。遺伝子ですべて解決すると言ったこれまでの遺伝子原理主義のような考え方の反省が最近現れてきている。生体が様々な機能を発揮しながら、生命を維持しているのは、遺伝子の働きのみではなく、遺伝子や細胞レベルの

現象が全体として統合されて、生体システムを構成していることが大切であるという考え方である。ゲノムという言葉に対して、Physiomeという言葉がワシントン大学のBassingthwaight教授によって提案された。このコンセプトは今後大切な意味を持つであろうと考えられており、これからは、分子生物学一辺倒の状況を脱して、ミクロからマクロまでを統合するような視点の基に生体システムの理解が進むと思われる。そのような中で生体の全く新しい工学的な応用が広がって行くのではないだろうか。このようなアプローチは、どちらかというところとシンセシス(合成)やデザイン(設計)を通常業務とする工学者が得意のような気がする。これからの生物科学やバイオテクノロジーの分野では、分子生物学者のみならず、システム的にアプローチでき、ミクロからマクロへの統合できる工学者が活躍する時代になるのではないだろうか。

7. 生体における伝熱研究の今後の展開

トルコで開催されているBiotransport'98, Heat and Mass Transfer in Biological and Medical Engineeringという会議では、今後の展開に関しても活発に議論されているであろう。(本原稿執筆時にはこの会議の情報が無いので、推測であるが。)この会議に関する詳細の情報は、会議の世話人の一人である石黒助教授(筑波大学)に問い合わせたい。このような会議が開催されているところから見ると、生体系の伝熱問題については、世界の人々の関心が依然として高いということが分かる。21世紀の科学技術で重要な分野は何か、と質問すると誰でもその一つに生命という分野を必ず入れる。しかしながら、バラ色の夢だけではなく、倫理的問題を含めて、これまでの科学技術が経験しなかった問題が極めて多く含まれていることも忘れてはならない。

技術開発から見た「熱」に係わる基礎研究への期待

Anticipation to Basic Researches Concerned with "Thermology", from the View Point of Technical Development

論壇

「空調」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割

Research Prospects Viewing from the Development of "Air-conditioning Machines"

蛭子 毅 (ダイキン工業)

Takeshi EBISU (Daikin Industries, Ltd.)

1. 空調技術開発の視点

企業(製造業)における研究開発の目的は、最終的に事業化にある。その研究開発には、開発・製造プロセスの最適化を図るための現象解明と、差別化商品を生み出すための独創的思考による革新技術の創出がある。前者は、往々にして「カンと経験」によって処理しがちな諸問題に対する抜本的な解決方法と技術改良のヒントを探索するために、主として実用的な要請に基づいた観点から研究対象が提供される基礎研究である。他方、萌芽的なアイデアを取り込み実用的な技術に発展させようとする後者は、既存商品の改良・改善技術とは異なり、萌芽的であるが故に結論が明確でない場合があるが、固定化した枠組みを超越した革新技術であり、差別化商品を創出する可能性を持つ基礎研究である。

いずれにしても、最近の「空調」の技術開発においては、前者の基礎研究がその多くを占めている。その理由は、空調機器が既に成熟商品となり、適用される技術も飽和限界近くまで達していると考えられる状況においては、企業の研究開発の焦点がコストダウン主体に向けられ、それ故に基礎研究にもどちらかといえば改善・改良のための知見のみを求めているからであると言っても過言ではない。一方で、後者の基礎研究に関しても、その多くが「独想的」であり、最先端分野の創造的新技术を生み出す可能性を含蓄した「独創的」研究の域に達していなかった憂いもあり、企業側の技術創造という目的に合致した研究はあまり見られなかった。

しかしながら、環境意識の世界的でかつ急速な高まりの渦中において、現状の「空調」は地球温暖化、省エネルギー、リサイクル等々の環境問題に複合的に直面せざるを得ない状況へ一変し、かつてのオイルショック時以上に厳しい時代を迎えている。かかる状況下では、近年の劇的なコストダウン要請に対応することに主眼を置き、従来技術のトレンド上に開発の視点を向けていては、この種の環境変化に到

底対応することはできない状況に陥っており、現状技術の延長ではないドラステックな高性能化や新技术の創出に挑戦する時代に、空調の技術開発は置かれているといえる。

本企画の中で、筆者ら企業に籍を置く者に与えられた命題は、今後の伝熱学会における基礎研究への期待、役割および注文を論じることである。本稿では、この命題と上述した空調の抱える総論的難題を鑑み、いくつかの環境問題を切り口として、企業の研究開発が置かれている訴求すべき課題と、期待する伝熱工学の基礎研究の各論について以下に述べることにしたい。

2. フロン問題と地球温暖化

オゾン層破壊に端を発したフロン問題は、1995年末でのCFC系フロンの生産終了、1996年初頭からのHCFC系フロンの生産規制及び昨年末からのHFCフロンを用いた空調機器の国内販売開始という過程を辿り、この種の問題は収束しつつあるように見える。しかし、オゾン破壊能がゼロである代替フロンとして10年余の間開発が進められてきたHFCフロンが、昨年末のCOP3において温室効果ガスの一つとして指定されたことで、「地球温暖化抑制のためのフロン問題」が新たな技術課題として顕在化している。

空調機器は、家庭用で1台あたり約500g~1000gの冷媒が封入され、ビル用マルチシステムなどの業務用では配管内なども含めて数10kgにも及ぶ冷媒が必要となる。機器からの漏洩量は、製造技術、施工技術の高度化によって非常に少なくなっているが、HFCフロンが二酸化炭素の2ケタ以上大きい地球温暖化能を持つとする予測が正しければ、この種のフロンの漏洩による地球温暖化への直接的影響に対する技術開発が必須となり、そのための伝熱分野の基礎研究として次のような項目が要請される。

(1) 新物質・サイクルの探索

オゾン層破壊および地球温暖化の両面に対処可能な新物質の開発が、この種の問題の抜本的解決であることは疑うべくもない。しかしその可能性が低い現状では、HFC フロンを用いた冷媒量の非常に少ない新たなシステムによる空調機を探索することになり、ヒートパイプやカプセル搬送などの熱輸送手段の組み合わせによる伝熱システム化の可能性を次世代の空調技術に見出すことができる。なお、可燃性を有する自然冷媒(プロパン、アンモニアなど)や高圧媒体である二酸化炭素などについては、実用的な技術課題である安全面の問題を認識することが肝要である。

(2) システム動特性解析

既存の蒸気圧縮式では、冷媒量を削減することが、漏洩による地球温暖化抑制のための効果ある方法であり、冷媒量の減少によって非常にシンプルになる冷凍サイクルの動特性解析がキー技術となる。この分野のブレークスルー技術は、集中定数系を用いない熱的なダイナミック・シミュレーションであると考えられ、その実現によって、単なる現状機器を対象とした解析だけでなく、伝熱的観点からのシステム制御の新提案が生まれる可能性がある。

3. 省エネルギーと負荷平準化

近年、空調機の COP(エネルギー効率)は向上の一途を辿り、訴求される電気代換算で数年前の約 1/2 のレベルにまで達している。これは、空調機の心臓部である圧縮機の性能向上とともに、熱交換器においても熱伝達特性の改善、伝熱面積の増大などの技術開発がなされた結果である。しかしながら前述の COP3 に示された二酸化炭素排出基準を遵守するために、さらなる空調機の効率向上が望まれており、いくつかの省エネルギー規制案が検討されている現状にある。その規制の一つに、現状で存在している製品のうち最高水準のエネルギー効率を基本として、将来の技術開発による性能向上をさらに加味した水準を目標値とした基準を設定し、製品のエネルギー消費効率の出荷台数による加重平均を取ることによって製造業者毎に上述した基準の目標値達成を判断する、いわゆる「トップランナー」方式がある。この規制の目標値はその都度更新されるために、現状の延長線上技術は近い将来に確実に飽和することとな

り、一刻も早い代替技術、新技術の創出が望まれる。

また、わが国固有のエネルギー問題である負荷平準化に対して、蓄熱・蓄電空調およびガスを始めとする新エネルギー空調についての技術開発が現在盛んである。将来的にも代替エネルギーを含んだ、この種のエネルギー問題に対峙するための空調技術に関する基礎研究への期待はますます高まることが予想される。

(1) 革新的伝熱促進技術

伝熱促進技術はオイルショック時に劇的に発展を遂げたが、その後は社会的要請も高まらなかった理由もあり、現状では革新的な手法が提案されなくなってきている。しかしながら上述した過酷な省エネルギー要求に応えるためには、ドラスティックな伝熱促進に係わるアイデアが切望されている。これに対しては、従来の静的な伝熱促進とは異なる、動的制御技術の複合利用による能動的な伝熱促進技術の提案に可能性があると考えられる。その実現には、ミクロ的な視点による伝熱現象解明が必要であり、分子動力学やマイクロスケール伝熱に伝熱促進の視点を付加した発展が期待される。

(2) 熱交換「機」

従来、熱交換器はあくまでも「器(うつわ)」であり、「機(からくり)」ではなかった。しかし、空調機の制御が圧縮機および膨張機構にまで高度化した現状で、次なる制御対象は熱交換器であり、能動的な容量制御などによって省エネルギーを達成することが可能と考えられる。したがって研究対象として「熱交換機」という新しいジャンルが求められることになり、たとえばドリムパイプなどの能動的熱輸送デバイスや二相流コントロールによる伝熱制御の熱交換機への適用があげられる。

(3) 蓄熱技術

現在の蓄熱剤の主流となっている水・氷系において、永年の課題である過冷却解消のメカニズム解明は、この分野の技術革新に多大な貢献をもたらすことは間違いない。上述した熱交換器技術とともに、能動的に過冷却状態を制御することができれば、飛躍的な省エネルギーが期待される。

4. リサイクル

先日成立した家電リサイクル法は、製造者に製造物の引き取りとリサイクル(再商品化)を義務化するものであり、これに伴って空調機にもリサイクル性に富む構造、材質および機能が要求されることになった。空調機に搭載されている空気熱交換器に着目すると、現状のほとんどが銅製伝熱管とアルミフィンによって構成されるフィン&チューブ型であり、リサイクル性に富むものとは言い難い。同一材料で構成される空気熱交換器としては、銅製のメッシュフィン熱交換器やアルミ製の自動車用熱交換器などが考えられるが、成熟したフィン&チューブ型に対しては実用上のハードルが高い。

しかしながら、リサイクル化の課題解決のために、伸長著しい材料分野との融合による熱交換器新素材の開発が望まれる。空調機のみならず、金属を主材料とする熱交換器においてはリサイクル性やエネルギー、資源的な問題が永久的に付随することから、リサイクル可能な材料に対して良好な熱伝導性を持つ「リサイクル伝熱材料」に関する基礎研究が深耕されることを望みたい。

5. 環境ホルモン

この種の問題は途についたばかりであり、医学的・社会的にも解明すべき問題も数多い。空調分野では空気質の問題とあいまって、居室内のホルムアルデヒドや一酸化炭素濃度に関する検討がなされているが、とくに米国において議論が盛んであり、米国空調学会(ASHRAE)講演会でも一大セッションとなっ

ている。伝熱的な興味は、有害物質の集塵・除去時の物質移動と、電気集塵に替わる熱を利用した(熱が伝わった結果を利用した)微細粒子除去技術であろう。両者に関連して、超微細粒子の挙動が基礎研究の対象にあり、ミクロ的視野に立った伝熱研究に、この種の応用分野が加味されることが期待される。

6. 終わりに

いずれにせよ、空調分野の近未来技術開発は環境問題と複雑に関連しあい、必要とされる基礎研究も広範囲に及んでいる。しかしながら、冒頭に述べたように、各技術課題は現状技術の延長線上にあるものや最適化などによって解決されるとは言い難く、革新的アプローチが必要と思われる。革新技術の創出に向けて求められるものは、工業上、産業上の背景と要請を十分認識した上で、独創的で創造的なアウトプットを出すことであろう。それらアウトプットをいかに汎用化し、実用化するかが企業における研究開発の担う役割であり、真の意味での産学および産産協調が為し得るものと考えられる。

実のところ、この種の話題は概念的になりがちであり、訴求されている課題のみを列記し、対応策がないのが筆者の本音である。それ故に一層の伝熱における基礎研究の拡がり期待される。これをたたき台として、ご意見やご提案を頂ければ望外の喜びである。

未筆となったが、本稿を執筆するにあたって、筆者の上司である元伝熱学会副会長・鳥越邦和氏より貴重なアドバイスをいただいた。付記して謝意を表すものである。

「半導体製造」に係わる温調機器の開発における基礎研究の役割

The Role of Basic Researches in the Development of Thermal Control
Equipment for "Semiconductor Manufacturing"

門谷 暁一(コマツ)

Kanichi KADOTANI (Komatsu Ltd.)

1. はじめに

企業に入って既に30年が経過した。途中5年間の米国での研究者生活を除き、この企業の研究所で研究開発を続けてきたが、後半の20年間は、熱を主体とする新しい事業の創出を目指し、研究というよりもむしろ開発に重点を置き、様々な熱関連新製品の研究開発を行ってきた。そして約7年前からは主として半導体製造プロセス用の温調機器の研究開発に従事するようになった。

筆者の企業は、建設機械や産業機械を主力商品とするメーカーであり、熱に関する事業インフラがほとんど無いことなどもあって、実に色々な意味における、また数多くの失敗を積重ねてきたが、半導体製造プロセス用の温調機器の研究開発を行うようになって、ようやく新製品を、ある程度コンスタントに生み出せるようになってきた。一つ一つの新製品はそれ程大きなものではないが、それでも新製品を生み出せるようになった理由として、数多くの失敗で経験した技術的なノウハウが、ようやく役立つようになってきたこと、ニーズとシーズの捉え方やそれらのマッチングのさせ方にある程度習熟し、新製品の研究から開発および製品化に至る一連の過程を、比較的効率的に進めることができるようになってきたこと、などが考えられる。

しかし生み出した新製品を全て合計しても、年間三桁億円の販売額が漸く射程距離に入ってきた段階であり、新事業への足がかりを得たに過ぎない。今後それらを事業として発展させ、レベルアップして行くためには、研究開発をどのように進めて行くべきか、日々模索しているのが現状である。ここでは、半導体製造プロセス用の温調機器という狭い分野での研究開発を通し、常日頃感じている伝熱に関する基礎研究への期待と提案につき、企業の研究開発者の立場から私見を述べさせていただく。

2. 半導体製造プロセス用温調機器の技術上及び研究開発上の特徴

半導体製造プロセス用の温調機器については、余り馴染みがないと思われるので、始めにその内容につき簡単に触れたい。半導体製造プロセス用の温調機器は、主にLSI製造工程(前工程)の洗浄装置露光装置、コーターデベロッパ装置、ウェットエッチング装置、不純物拡散装置、CVD装置、などに組み込まれて使用され、フッ酸、硫酸、硝酸、などの薬液類や純水、レジスト液、現像液、などといった液体の温度の他、液体や気体の温度コントロールを介しての精密機構部分の温度やウエハーやデバイスの温度、などを精密にコントロールするのに用いられている。

筆者らがこれまでに製品化した新型の温調機器は、いずれも半導体製造装置の周辺部分(ウエハーやデバイスの処理に直接的には関わらない部分)の温調機器であるが、約1年半前からは半導体製造装置の本体(中核)部分(ウエハーやデバイスの処理に直接的に関わる部分)の温調機器に関する研究開発も手掛けるようになった。

この半導体製造プロセス用の温調機器における技術上の特徴は(a)コンタミ・フリー(パーティクル、イオン、バクテリア、etc.)、(b)高純度、高品質、(c)高精度(d)高速・高度制御、(e)コンパクト、(f)省エネルギー、(g)環境対応、などである。また研究開発の進め方における主な特徴は、(a)市場のスピードが速く、研究開発のスピードにも非常に速さが要求される、(b)競争が激しくかつ技術進歩が著しいため、大幅な商品性の向上が常に求められる(c)大口径化、微細化、標準化、枚葉化、多機能化、多様化、コスト低減化への対応が求められる、などである。

このような技術上、研究開発上の特徴を有するため半導体製造プロセス用温調機器の研究開発では、少なからず一般的な温熱機器の場合とは異なるアプ

ローチをとることが多い。

3. 一般的な温熱機器の研究開発のプロセス

半導体製造プロセス用の温調機器の研究開発が、一般的な温熱機器の研究開発と、どのように異なるかを紹介するため、先ず一般的な温熱機器に対する研究・開発・製品化のプロセスについて考えてみたい。図1にこのプロセスを円形のフローで示す。

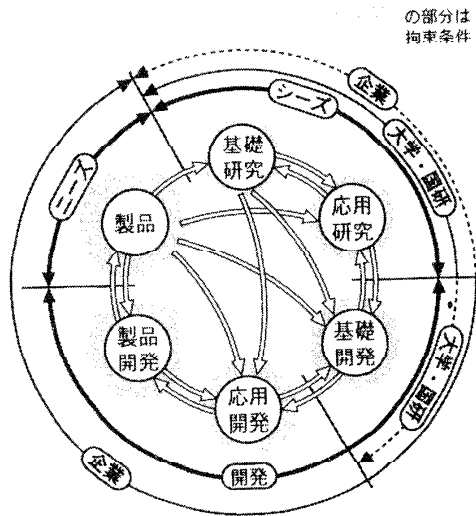


図1. 研究・開発・製品化の一般的なプロセス

プロセスを構成する主要な項目として、基礎研究・応用研究・基礎開発・応用開発・製品開発・製品を挙げ、一方ニーズとの接点となる、市場調査・企画、販売・市場開拓、などの項目については、製品の項目の中を含めた。この中で、基礎研究は一般的には、新しい現象や物質の探求、または既知の現象の解明や理論付けなどを行うものであるが、このプロセスでは実用化の目的でそれらを行う。応用研究は基礎研究の成果を生かす目的で行うものであり、また基礎開発はニーズに応えるため基礎研究や応用研究の成果を利用するのみならず、自ら必要な基礎技術をも創造するために行うものである。応用研究と基礎開発は、基礎研究に比べると、はるかに強い目的意識を持って行われるのが一般的である。

このプロセスは、基礎研究・応用研究をカバーするシーズの部分、基礎開発・応用開発・製品開発をカバーする開発の部分、および製品をカバーする二

ーズの部分の三つに大別されるが、大学・国研ではシーズの部分の主対象とし、企業では開発の部分およびニーズの部分の主対象とする場合が一般的であると思われる。しかし大学・国研で基礎開発まで踏み込む場合や、企業でもその規模やテーマにより、基礎研究や応用研究まで行う場合も多く見受けられる。

プロセスは、フローとしては右周りに回るのが一般的であるが、途中で左回りに溯って回ることや、行ったり来たりすることも度々ある。また良く知られているように、研究開発の出発点をこのプロセスのどこに置くかで、その性格は大きく異なる。すなわちシーズの部分を出発点として、開発、ニーズと回るフローの場合は「プロダクトアウト型」となり、またニーズの部分を出発点として、シーズ、開発と回るフローの場合は「マーケットイン型」となる。筆者の経験からは、プロダクトアウト型は、インパクトは大きい但不確実であり、研究開発の期間も長くなる場合が多く、一方マーケットイン型は、インパクトは小さいが確実であり、研究開発の期間も短くて良い場合が多いように思われる。失敗しても良いから、チャレンジングでかつ大きなことを目指そうとする場合、例えば新しい流れや分野などの創出を目指そうとするような場合には、当然プロダクトアウト型が適する。しかし企業の場合、余程しっかりした研究開発に対する戦略、見通し、トップのコミットメントなどがないと、プロダクトアウト型は未完のまま終了したり、失敗に終わったりすることが多いように思われる。既存製品の性能や商品性の大幅な向上を目指す場合には、当然マーケットイン型が適する。筆者はプロダクトアウト型で随分失敗を経験したが、マーケットイン型を取ることで、小さくはあるが、いくつかの成功を体験することができた。

プロセスの各項目には、それぞれの目的に応じて拘束条件が存在する。拘束条件は、シーズ、開発、ニーズと移行するにつれ、徐々に強くなるのが一般的である、すなわち基礎研究の場合が最も弱く、製品の場合が最も強い。したがって製品は、数々の拘束条件の中をくぐり抜けて生き残ったもの、ということもできる。製品に近づくほど拘束条件は強くなり、伝熱以外の様々な技術のサポートが不可欠となる。基礎研究の拘束条件には、現象に直結するものが多い、例えば伝熱物体の形状、作動流体の種類、各種無次元数、温度範囲などである。また応用研究

の拘束条件には、具体的な適用に関するものが多い。しかし大学・国研の応用研究で、非現実的な拘束条件、例えば実際に製品のことを考えれば到底取り得ないような形状、をつけたものが時々見受けられる。さらに基礎開発・応用開発・製品開発の拘束条件には、使用材料、大きさ、重量、耐久性・信頼性、生産性・量産性、コスト、などの製品に直結するものが多い。

4. 半導体製造プロセス用の 温調機器の研究開発のプロセス

次に筆者らが行っている半導体製造プロセス用の温調機器における研究・開発・製品化のプロセスを紹介したい。同じ半導体製造プロセス用の温調機器でも、周辺部分の温調機器と本体（中核）部分の温調機器とでは研究開発のフローが変わる。

周辺部分の機器の場合には、ニーズははっきりしているが、市場規模は余り大きくないため、マーケットイン型を取ることが多い。また製品化には早いスピードが求められるために、ニーズ、シーズ、開発と順を追って行くフローのみならず、ニーズからシーズは通るが、余り長くそこに止まらずに基礎開発に行くか、あるいはシーズを通らずに基礎開発に行くフローを取ること多い（図1参照）。これは社外のシーズを探す場合、以下のような理由により、使えそうなシーズを迅速に見つけることが、困難であることによる。

- (a) 半導体製造プロセス用温調機器に特有の技術上の特徴（拘束条件）があり、一般の温熱機器に関するシーズが使えない場合が多い。
- (b) 企業の研究の多くは秘密であるため、大学・国研は企業がどのようなシーズを求めているか分からず、企業から大学・国研のシーズにアプローチするという一方通行となっている場合が多い。
- (c) 企業はシーズがどこにあるか分からない、すなわちこれまでに大学・国研が生み出した過去の膨大なシーズの中から直接的なシーズを簡単に検索できるルートが確立されておらず、また調査の範囲も広すぎるため、迅速に探すことができない。
- (d) 大学・国研のシーズには、特殊な拘束条件のついている場合が多い。また簡単に使える形

になっておらず、使用するのが困難（この点については、我々の能力不足によるところが大きいと思われるが、）である。

自社内に直接的なシーズがある場合には、ニーズから基礎開発も通らずに、いきなり応用開発に行くこともある（図1参照）。以上のように、周辺部分の機器の場合には、多くの場合、開発の部分から本格的に取り組み始めることが多い。

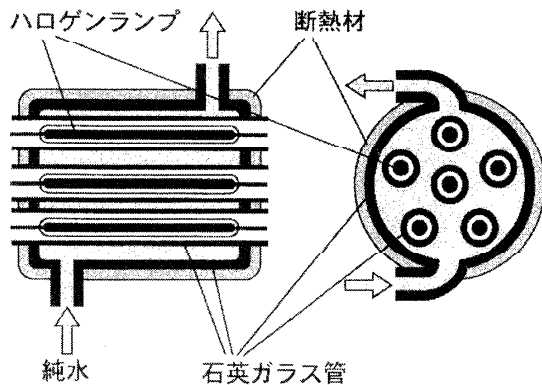
一方、本体（中核）部分の機器の場合には、ニーズそのものを提案・創出して行く面があり、ニーズの詳細は余り明確ではないが、市場規模は大きく、プロダクトアウト型となることが多い。製品化に速いスピードが求められるのは周辺部分の機器の場合と同様である。競争が激しく、かなり大幅な商品性の向上を求められるのが常であり、高いレベルのシーズが要求されることから、シーズ、開発、ニーズと順を追って行くフローを取らざるを得ない（図1参照）。周辺部分の機器の場合と同様の理由、また張りめぐらされた特許網をかいくぐらなくてはならないことなどの多くの制約から、社外で直接的なシーズを見つけることは非常に困難であり、新たなシーズを自らの手で生み出すことが必要となる。しかし、新たなシーズを迅速に生み出すことは仲々困難であり、既存のシーズの組合せによって、何とか新しいシーズを生み出せないかななどの様々な試みも、正攻法的なアプローチの他に行われる。生み出したシーズのレベルによっては、基礎研究から直接的に基礎開発または応用開発に移行することもある（図1参照）。以上のように本体（中核）部分の機器の場合には、ほとんどの場合シーズの部分から本格的に取り組み始めることが多い。

5. 半導体製造プロセス用の 温調機器の研究開発の具体例

前述の議論をより具体的に理解いただくため、筆者らが実際に製品化した超純水加熱装置の場合について、その研究・開発・製品化のプロセス（マーケットイン型）を例として示す。

超純水加熱装置は、半導体製造プロセス用の温調機器の一つであり、周辺部分の機器である。この装置は、LSIの洗浄装置で使用される超純水を、加熱装置の入口から出口までのワンパスの間に、常温から約90℃まで加熱する装置である。この装置に

は数々の拘束条件が要求されるが、中でもコンタミ・フリーは絶対的な条件である。このため、超純水の流路として、金属材料は一切使用できず、高純度の石英ガラスのみが使用可能である。従来の加熱装置は、超純水の流路として石英ガラス管を、また加熱源としてニクロムヒータを用い、ニクロムヒ-



タを

図2. 超純水加熱装置の加熱要素の概略構造

石英ガラス管の外周に置くことにより、ヒータの熱を熱伝導によりガラス管を通して超純水に伝える伝導伝熱方式を採用していた。この方式では、ガラス管の熱伝導率が低いため、加熱効率、大きさ、レスポンス、ガラス管の温度上昇によるガラス成分の超純水中への溶解、再スタート時の突沸、コストなどの問題があり、大口径化、微細化、コスト低減化等の技術の進展にマッチする新しい装置が求められている。筆者らはこれらのニーズに対応するため、ハロゲンランプを加熱源とする、放射伝熱方式の新型の超純水加熱装置を製品化した。図2に製品化した新装置の加熱要素の概略の構造を示す。加熱要素は、高純度石英ガラス管（外管）の中に複数の高純度石英ガラス管（内管）を入れ、さらにこの各内管の中にハロゲンランプを挿入し外管と内管との間を流れる超純水をハロゲンランプの近赤外光で加熱するという構造になっている。

この研究開発では、シーズ、すなわち液体を光で効率的に加熱する放射伝熱技術、として、自社内で以前に実施したブラックリキッド型太陽集熱器の研究開発による成果を用いた。しかしそれだけでは不十分であったので、社外のシーズを求めて調査を行ったが、図2の構造に示すような“流動する水中に

離散的に設置された、複数の近赤外光放射熱源による水の直接加熱”に関する基礎研究の成果を見つけることができなかった。このためシーズの探索に余り時間をかけるのは得策ではないと判断し、ニーズからほぼ直接的に基礎開発に移行し、そこから本格的な開発に取り組んだ。

基礎開発では、図2に示す加熱要素の諸元決定に注力してこれを行った。外管の径と長さ、内管の本数と径と長さ、内管の配置と間隔と水路厚み、ランプの長さと容量と光源温度、ランプ端子部温度、超純水の流量と流速、出入口部の配管径と配管形状などについて、様々な角度から検討・基礎実験をくり返し、最適諸元を決定した。そしてこれらの諸元をベースとして、応用開発、製品開発を経て、最終的に加熱能力2.4 KWから14.4 KWの一連の超純水加熱装置を製品化した。

この研究開発の場合、ある程度のシーズが自社内にあったため、基礎開発から本格的にスタートすることが可能であった。しかし外部のシーズも使用できたとすれば、製品はより効率的かつ短期間に、またより最適化されたものが生み出されたように思う。良いシーズを使用できるかどうかは、スピードが早く、かつ大幅な商品性の向上の求められる半導体製造装置の周辺部分に置かれる温調機器の研究開発にとって、非常に重要である。逆にいえば、初めからある程度のシーズを持っていない場合には、製品化はかなり困難であり、基礎開発に相当の努力を要するということになる。

6. 半導体製造プロセス用の温調機器に対する基礎研究への期待と提案

半導体製造プロセス用の温調機器に関する基礎研究への期待と提案に関し、基礎研究への全般的な期待から述べる。先ず大学・国研の方々が半導体製造プロセス用の温調機器に興味を持って下さり、この分野のシーズを多く生み出して下さることを期待したい。伝熱研究にとってこの分野は未開拓であり、これまで余り基礎研究がなされてこなかったように思う。このためこの分野におけるシーズは他の分野に比べて少なく、大学・国研の方々による、この分野における今後の基礎研究に大いに期待したい。

次に具体的な期待について述べる。前述のように半導体製造プロセスの周辺部分に置かれる温調機器の場合、自社内外の良好なシーズを使えることが、

研究開発に取って非常に重要である。しかし半導体製造プロセス用の温調機器には技術上の特徴(拘束条件)があり、一般の温熱機器に対するシーズが使えないことが多い。このため使えるシーズを生み出すには、やはりこの分野の的を絞った基礎研究が不可欠と思われる。大学・国研から半導体製造プロセスの周辺部分の温調機器に対する良好なシーズ、すなわち(a)コンタミ・フリーを考慮した(b)基礎開発や応用開発への早期移行を可能とする(c)コンタミ・フリー以外の拘束条件のできるだけ少ない(d)使用しやすいシーズ、が多く生み出されることを期待したい。例えば、熱伝導率の小さい石英ガラスやステンレス材を使用する各種熱交換器の伝熱特性の解明および性能向上化や小型化への指針の提示、各種加熱・冷却デバイスの伝熱特性の解明および性能向上化や小型化への指針の提示などである。また過去のシーズおよび今後のシーズについて、実用上の観点から検索しやすく・使いやすい形にまとめたり、あるいは普遍的なものにまとめたりするワークがなされることも期待したい。半導体製造装置の本体(中核)部分に置かれる温調機器の場合には、前述のように新たなシーズ、例えばウエハーやデバイスの処理に直接的に関係する各種伝熱現象の解明・新しいアイデアや新しい伝熱メカニズムの創出など、を迅速に生み出して行く必要がある。しかしこれを筆者の企業のような一企業だけで行うには、レベル的にもスピード的にもかなり困難である場合が多い。これを打破する最良の方法は、大学・国研の方々の協力をお願いすることであると思う。大学・国研の方々が、新たなシーズの創出に向けて、企業と協力して下さることを大いに期待したい。

最後により積極的な意味合いを持つ、基礎研究への提案について述べる。半導体製造装置の本体(中核)部分に置かれる温調機器の場合、新たなシーズを迅速に生み出して行くには、大学・国研の方々の協力をお願いすることが最良の方法であることは前述した。その協力の具体的な方法として、大学・国研と企業とが共同で基礎研究を行うことを提案したい。基礎研究に強くかつ潜在的なシーズを数多く持つておられる大学・国研の方々と、ニーズや開発に強い企業の者とが協力し、具体的なニーズを踏まえながら基礎研究を行うことで、国際的に競争力のあ

る優れたシーズを生み出すことが可能になるように思われる。例えば、洗浄装置、乾燥装置、CVD装置、RTP装置、露光装置、その他の半導体製造用本体装置に関する伝熱・熱流体現象の解明および新しい伝熱メカニズムの創出などである。ただし、この分野の基礎研究の場合、一般の基礎である研究に比べて拘束条件が多い、すなわち研究の自由度が少ないので、大学・国研の方々がこの拘束条件をどの程度受容して下さるかが課題となろう。また学会などへの発表は、秘密保持の観点から、程度にもよると思われるが、製品化後に行うことが前提となり、生み出したシーズの最適化、理論付け、体系化、などが完了した後に、製品化に合わせて発表するという形にならざるを得ないように思われる。大学・国研の方々がこの点に関して、どの程度の妥協をして下さるかも、共同の基礎研究に対しクリアすべき課題である。

共同の基礎研究の形態としては、様々な方法が考えられるが、この場合企業から大学への委託研究的なスタイルではなく、大学・国研の方々がかなり企業の中に入り込む、または両者が頻りに会ってディスカッションをしながら進める、といったような実質的に大学・国研と企業とが融合化するようなスタイルを取ることが望ましいと思われる。これまでの大学・国研と企業との関係から、さらに両者がお互いに一歩踏み込んだ関係に進展させて行くことを提案したい。

7. おわりに

編集委員の小澤氏から、冒頭のタイトルで原稿を書くように依頼された。日頃余り基礎研究をやっていない者が、このような原稿を書くのはかなり抵抗があり、辞退させていただいた方が良いのではないかと何度も思った。しかし、製品開発を通して、大学・国研の基礎研究に対して、日頃漠然と抱いていた期待や提案があり、それをこの機会に表して見るのも意味のあることではないかと思い、引き受けることにした。この私見が大学・国研等と企業とのより良い協調関係構築へ向けての、何らかの参考となれば幸いである。

技術開発から見た「熱」に係わる基礎研究への期待

Anticipation to Basic Researches Concerned with "Thermology", from the View Point of Technical Development

論壇

「蓄熱」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割 (新規概念との結合が新たな世界を拓く)

The Position of Basic Studies for the Development of Key-instruments
and Key-system of "Thermal Storage Systems"
(Introduction of a New Concept Creates the Innovative World)

渡辺 裕 (東芝)

Yutaka WATANABE (TOSHIBA Corporation)

1. はしがき

研究者は常に自分の研究に展望と課題を持ち続けることが必要です。展望は元気の根源です。一方、課題は展望の裏返しです。展望を可能性と解釈すれば、課題は可能性の具現化にほかなりません。

「蓄熱」というキーワードを頂きましたのは、ここ数年来、氷蓄熱装置の研究開発を行って来たからと存じます。この研究開発は後発でしたので、展望を一味違った技術に置く事と致しました。当時は氷を造る技術が中心でしたので、「氷を溶かす」側に重点を置きました。その結果、氷はシャーベット状が良からうということとなり、天然に発生する氷である「フラジライス」を、世界で初めて工業的に製造する事に到達致しました⁽¹⁾。この技術は、高速解氷性を必要としたガスタービン吸気冷却装置として、実証プラントに適用されました⁽²⁾。

さて、「蓄熱」なる言葉・技術を考えてみますと、誠に壮大な展望に到達します。すなわち、夏の暑さを冬に利用し、冬の寒さを夏に利用するという究極の地球温暖化防止技術に突き当たります。しかしながら、この発想は極めて古典的な技術にたどり着きます。事実、江戸時代には氷室により氷を貯蔵し、夏に献上したことは周知の通りです。では、現在はどうかと言いますと、前記の壮大な展望への解決は未だにできておりません。

問題は、どこに、どの様に貯めるか、そしてどの様に取出すかということになります。大量に使うわけですから貯め方も相当な規模になります。このように、長期的にそして大量に熱エネルギーを蓄えて不足したときに使おうとする「蓄熱」は、古来からの素朴で未解決の技術だといえます。

氷蓄熱は時間単位での蓄熱システムですが、電力貯蔵的な面を持ちます。夜間電力を氷として貯蔵し、昼間の冷房負荷を軽減させていますが、「電力」という社会インフラの構築に民間が参加した成功例と言えます。

この様に、蓄熱技術自体は、基本技術と言うより、幾つかの基本技術を組合わせた応用技術であると言えます。すなわち、個々の現象解明の上に成立する製品的なシステム技術です。

ここでは、この発想から、蓄熱の適用範囲を拡大して、「地球温暖化防止」を課題とした「蓄熱」の展望を述べてみたいと思います。荒唐無稽な話にもなりますが、一味違った「蓄熱」論として読み流して頂ければと思います。

2. 蓄熱を斜めに見れば

蓄熱や蓄電の目的は、省エネや電力負荷平準化ですが、その背景には地球温暖化防止があります。

地球温暖化は、化石燃料消費により排出される二酸化炭素が主因と云われています。人間個々の一生からすれば、地球の温暖化は極めて長い時間変化で現れているのでピンときませんが、産業革命以来の気温変化と大気中の二酸化炭素濃度の関係を見ますと、傾向として理解できます。

一方、地球の歴史から見てみますと、今の地球の大気構成や気温は、奇跡的なバランスの上に成立していると認識できます。個人的には氷河期よりは、少しぐらい暖かい方がいいと考えてますが、やはりバランスを崩す恐れのある化石燃料の大量消費には、何らかの補償が必要となります。

現在、観察されている大気中の二酸化炭素濃度の増大傾向を人類への警告と断定するにはもう少し時間（研究）が必要ですが、熱に携わる技術者であれば、この問題は極めてチャレンジに値するものと思えます。

さて、地球温暖化防止を念頭において、蓄熱を斜めに見たときにぶつかった展望に付いて紹介します。実は原稿を依頼された時点で、ここ数年自分なりに考えているテーマと密接に関係している蓄熱を紹介することが面白いのではと考えておりました。

その展望とは、「海洋深層水の多面的活用による

地球温暖化防止構想」です。この中には「蓄熱」を基軸とする技術展望が二つあります。「海洋深層水」と「冷熱・温熱の貯蔵とバッチ輸送」による熱供給システムの二つです。

3. 深層水について

海洋深層水と聞いてピンと来る人は未だ少ないと思いますが、海の持つ力を地球温暖化防止に利用する場合、その主役は「海洋深層水」となります。

一般的に深層水と言えば、太陽光が到達しない水深が200mより深い領域の海水を指します。光が届かないために、植物プランクトンのような第1次生産者が不在で微生物も僅かですが、反面、無機栄養塩は十分に高い値を維持していることが特徴です。

海平均水深は約3800mです。また、地球上の水の92%が海にあるといわれています。したがって、地球上の水のほとんどは深層水であることとなります。北極や南極で低温化された海水は比重が増大し、ゆっくりですが、深層域に移動します。

海流は風が原動力ですが、数千メートルの深さを移動する海洋深層水は温度と塩分濃度の違いによって駆動されています。一般に海水の深さ方向の温度は深海にいくほど低温となります。赤道付近でも水深1000m程度で4℃であり、さらに深い領域では1℃台にもなります。

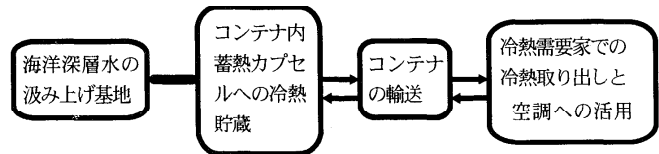
深層水の持つ二酸化炭素固定効果については後程に紹介することとして、深層水は極地で冷された水が温まること無く赤道地域まで移動した結果得られたものと言えます。このように冷熱の貯蔵と輸送を自然界がしっかりとやっているのです。深層水の低温性は極めて有効な冷熱源といえます。

また、深層水には微生物がほとんどいないことから、優れた冷却水性能を示します。密閉系で使う限りでは、長期の使用においても伝熱面の汚れや藻発生、貝付着などは無縁です。

4. 熱の貯蔵とバッチ輸送による熱供給システムについて

海洋深層水の低温性は、古くから海洋温度差発電で注目されています。この大量にある冷熱源を熱供給に使う検討もされましたが、配管による熱供給が経済的に成立しないことから、広域熱供給システムへの発展は見送られています。

しかしながら、もし「蓄熱」という手段が可能であれば、冷熱をコンテナに蓄え、プロパンガスと同様に搬送する事業が考えられます。搬送にはトラックが使われますので化石燃料を使用してしまいますが、冷熱源が自然界からの再生可能エネルギーですので、総合的には化石燃料の節約になる可能性は大きいにあります。この冷熱供給システムの構成案を示します。



トラック輸送

5. 展望

では、海洋深層水の多面的活用による地球温暖化防止についての展望を紹介します。

なぜ地球温暖化防止かと言いますと、海洋深層水は無機栄養塩を多く含むことから、この冷熱を活用した後に、海洋へ放流すると植物プランクトンや海草類の成長を非常に促進します。その結果、藻場が形成され、地上における植林と同様の効果が得られます。

また、我々が化石燃料を使用することで発生する二酸化炭素全量の約40%は、海が吸収していると言われていますが、この吸収過程に貢献しているメカニズムが植物プランクトンや海草類の光合成作用です。

したがって、海洋深層水を採取し、その低温性を先ず冷房や発電所などの冷却に活用した後に、自然界の光合成作用を促進して大気中の二酸化炭素を海水中に固定する構想は、冷熱による電力消費の抑制効果や発電所の運転効率の向上効果、さらに二酸化炭素の固定という究極の地球温暖化防止システムを極めて経済的に成立させるシステムとなる可能性を有していると言えます。

当然のことながら、この構想を実現させるには多くの技術的な課題解決や国家的あるいは国際的協力が必要になります。

6. 課題

冷熱の貯蔵とバッチ輸送による地域熱供給シス

テムの課題を紹介します。

土木的な課題は別として、最も基本的な技術課題は「蓄熱」です。海洋深層水は低温ですが、0℃よりは高温です。したがって高密度で蓄熱するためには10℃程度で固液相変化を発生する寿命の長い、潜熱の大きな蓄熱体が必要です。また過冷却を防止するための氷核物質も必要となります。

溶かす技術も重要です。冷房をする訳ですから、20℃程度の冷風を製造しないとイケません。うまく冷熱を取出せるかどうかについても、誰も経験したことのない技術です。

さらに、このシステムにはマネジメント能力が要求されます。需要家へ効率よくコンテナを配送し、また放熱したコンテナを回収しなければいけません。最も効率よく全コンテナを配送・回収するには、かなりの経験が必要となります。

次に、取水した海洋深層水を放流するにも、十分な評価シミュレーションと環境への影響把握が必要となります。基本的に植物生態系に良いと思われませんが、既存の生態系を破壊することは避けなければいけません。とくに珊瑚などは海水の特性に敏感ですので、十分でかつ細心の配慮が求められます。

地球温暖化問題を取り扱う場合、その効果の定量的把握が時として必要となります。冷熱による省エネ効果は比較的簡単にできますが、二酸化炭素の固定効果を算定することは従来に例がないことから大きな課題となります。まあこの辺は元気ののど楽しい課題といえますが、現実的には炭素循環システムの解明ですから、アプローチに大いに工夫が必要となるところとなります。

その他、搬送用トラックとコンテナ構造をどうするかなども十分な検討が必要となるところです。

7. まとめ

「蓄熱」をキーワードとして、いま最も興味を感じている「海洋深層水の多面的活用による地球温暖化防止構想」を紹介しました。自分の興味を人に押し付けるとは、とんでもない奴だとお叱りを受けるかも知れませんが、地球温暖化防止にはあらゆる手を考える必要があろうかと思っております。

とくに、エネルギーを取るために使用した化石燃料から発生する二酸化炭素を固定するには、自然界の力を借りることが最も経済的で理屈に適った技術だと思います。

海の持つ力や可能性は、21世紀に徐々に明らかにされてゆくことと思います。この中で、海洋深層水の力を解明して無理なく利用する手法を確立して世界へ普及させることは、海洋深層水に囲まれた日本の技術者の使命とも言えるのではないかと考えます。ご意見をお待ち致します。

参考文献

- (1) Experimental Study on Frazil Ice Formation and Characteristics of Direct Heat Transfer between Two Liquids ; Y.Watanabe et al. Proc. 2nd Int. Conf. on Multi-Phase Flow, Kyoto, 1995
- (2) 大容量氷蓄熱システムの冷熱取出し特性（ガスタービン吸気冷却システムへの適用）；渡辺、新宮、玉谷、中津ほか、第34回 日本伝熱シンポジウム講演論文集 D（1997-5）

「伝熱問題に関する未成功研究」のまとめ

論壇

Further Recommendation from Research Notes : "Still Unsuccessful Research on Heat Transfer Subjects."

「伝熱研究の光と影」

－ 研究に関して思うこと；気楽にのびのびと、そして個性的に－

"Light & Shade in Heat Transfer Research"

－ Heart Transferred to the Research; in Comfort, at Ease, and with Personality －

庄司 正弘 (東京大学)

Masahiro SHOJI (The University of Tokyo)

はじめに

編集委員の先生から「伝熱研究の光と影」に相応しいテーマで主張を述べよとのご下命です。伝熱研究の将来像や伝熱研究の在り方、失敗しない研究方法や進め方など何でもよいとのこと。美しいテーマであり、意図や意義はよく理解できるのですが、難しく困ってしまいました。

編集氏がお送り下さった学会3周年記念特集記事や昨年来の特集「未成功研究」を改めて読ませていただきました。さすが第一線で長年研究をされて来られた先生方の記事であり、その内容や研究上のご苦労などに感心いたしました。しかし、私の感性の無さによるのでしょうか、そこに「光」とか「影」といったものを明瞭に捉えることはできませんでした。仕方なく、研究に関しこの頃感じていることを思い切って吐露することでお許しいただくことと致しました。

伝熱研究の問題点－光の部分と影の部分－

伝熱の研究を始めて30年近くになります。いろいろ失敗をしてきました。ああしておけば良かった、こうすべきであったなどと、今思えば反省しきりです。来し方を振り返って、この道に入ったのさえ、間違っていたのではと思うことさえあります。しかし、さほど深刻に残念がっているわけでもありません。もう一度歩み直すことが許されたとしても、きっと同じような失敗を繰り返すであろうと思うからです。あの事例でうまくいかなかった、あるいは不成功に終わったと言っても、その重さは当人のみが真に感じるができるのであって、いくら言辞を凝らしても、他人に納得してもらおうのはなかなか難しいことのように思います。

私は伝熱の研究に光がないとは思っておりません。

なるほど、脚光を浴びている分野に比べると、燦々としているとは言い難いかも知れません。しかし、伝熱の分野はもともと「表舞台に立ってスポットライトを浴びる」ような分野ではないと思います。一方で、全く暗闇（影ばかり）となることもないと思っています。伝熱も含め、熱やエネルギーは人類の活動に不可欠なものであり、現に、先端的と言われる多くの技術において、隠し味的な構成要素となっているし、次世紀の最大課題と言われるエネルギーや環境の問題では、熱（伝熱）が主役であることは言辞を要しません。

実は先の3周年記念特集において、沸騰研究の将来課題について書かせていただきました。研究に従事しているものならば誰も、それぞれの考えや将来展望の下で研究を行っておられると思います。もしそこに「影」にも似た問題があるとすれば、自分の研究が期待するほどの評価が得られないとか、あるいは何となく不安であると言った点にあるのだと思います。近年とくに将来展望や将来課題に関する企画が多いのは、伝熱研究者の多くが、こうした研究上の「ジレンマ」に突き当たっているのではないかと思います。私も例外ではありませんが、あきらめと言うか、さほど深刻に考えないようにしています。

何とない不安感と言うものは研究には付きものの宿命のようなものであるし、ちょっと研究すれば、あるいはちゃんと研究すれば、ちゃんと所期の目的が達成されるなどと言うことは、ごく稀なことと考えれば気楽なものです。直面する問題に、じっくり取り組んでおれば、いずれはどこかで何らかの役に立つものと信じて努力を惜しまない、と割り切るのもひとつの方法ではないでしょうか。研究とは元来、不思議に思ったり、興味を覚える事柄について無垢な心で向かう処に楽しみと真髄があると思います。歴史的に見ても、大きな変革をもたらした成果の多

くは、意外とそうした自由な精神のところから生まれて来ているように思えます。要するに、「気楽に、のびのび」と研究しておれば良いのではないのでしょうか。多少の無駄や失敗は恐れる必要はないと思います。衰えたりとは言え、我国はまだ我々のささやかな無駄によって国勢が大きく左右されることもないと思います。その程度の余裕の無い、無駄を許さないような国には、そもそも研究などと言う文化は育たないと思うからです。

しかし、このようなことばかり言っていると、しばしば指弾されます。社会が許さないとか、世情に合わないとか非難されます。個々人の活動は良いとしても、集団（たとえば伝熱集団、熱工学集団）として、何をしているのかと問題にされます。編集氏もこうした点について我々の喚起を促しておられるものと理解します。もっともなことと思います。

研究における役割の分担

研究においては、自分の置かれた立場と役割をわきまえることが必要と思います。大学には大学の、附置研には附置研の、企業には企業の、国研には国研の使命と責務があると思います。役割の違いを明確にして活動すべきだと思います。これは価値の違いとか、ましてや個々人の能力や資質の問題を言っているのではなく、組織としての役割の問題です。最近富みに、この差が不明瞭になっているような気がします。この違いが不明確であると、全体として見たとき、本来の有機機能が発現しなくなってしまうように思えます。本論と離れますが、最近の企業の学生向けパンフレットを見ると、表紙を見ない限りどんな業種の、どの企業のものか分からないほど内容が画一的です。そこにも似たような事情のあることが見てとれます。

次に、集団で行う（行すべき）研究と、個人として行う（行わざるをえない）研究を区別することが必要ではないかと思えます。理工学分野で知られるこれまでの創造的研究は、個人レベルの研究から生まれており、他方、大きな技術成果は、組織集団の努力によって為されてきていることが多いように思えます。したがって、グループを構成して行う研究活動に創造的成果までも期待するのは、そもそも酷な相談と思えます。創造性は個々人の不断努力に

よる他はなく、この点で、創造性を謳い文句にしつつ、なんでも研究グループを構成し、統一目標を掲げて皆んなで一緒に、という最近はやりの研究方法にはいささか疑問を感じます。現在の研究（研究の仕方）に、もし陰りや影に似た部分があるとすれば、こうした基本的な研究姿勢に幾分かの原因があるのではないかという気がします。

望ましい姿勢

それでは、何をどう研究していけばよいのか。実は私も自分なりに追い求めて来たつもりですが、よくわかりません。難しい問題です。しかし苦しくても地道に個々人の研究資質を高め、ものの見方（哲学）や意識の仕方（美意識）を磨き、無心かつ不断の努力をする以外に、道はないのではないかと思います。まさに“研究”に王道なしということでしょうか。そして、研究にあってはとくに个性的であるべき（個癖であってはならない）と思います。場合によっては趣味的でよいとさえ思えます。少なくとも、自由さが曲がりなりにも保障されている大学人は、役割上そうあって欲しいと思います。恰好良さを追求したり、管理的であったり、損得勘定などはあってはならないと思います。研究が社会にインパクトがあるとか無いとか、論文数の多寡（質的でない数的評価）などの副次的な事柄に、あまり神経を使いたくないものです。実際には、大変難しいことですが。

こうした考えは理学の構え方であり、工学では許されないという意見があるかも知れません。しかし、理学と工学の差などは、所詮人間がご都合的につけたものであって、本質的なものではないと考えます。要は、人間にとって豊かな文化や技術が創成できれば良いのですから。現に、理学をバックグラウンドにもつ優れたエンジニアを、我々は数多く知っております。これに比し、その逆、つまり工学者が優れた理学者でもある例は極めて稀です。このことの方が創造的エンジニアの養成という観点からすれば致命的であると思います。熱や流体に関連して、これまで多くの大学院生をアルバイトとして採用した経験を持つある大手の計算ソフト屋さん（経営者）に伺ったことですが、工学系の大学院で熱や流体を専門としているはずの学生よりも、専門性の点で無関係な理学系の学生の方が、当初は手間と訓練を要す

るものの、最終的には格段に理解が深く、優れた結果を出すとのことでした。全ての学生がそうであるとは思いませんが、いささかショックであると同時に、何か分かるような気もしました。

むすび

要するに、我々はもっと「気楽にのびのび」と、

「個性ある」（勝手なと言うに近い）伝熱の研究をやって良い、やるべきと思います。こうした視点あるいは確信が、これまで比較的我々に欠けていたのではないのでしょうか。もしも伝熱学会の会員諸氏が、個性的な研究活動を行えば、会員数だけの個性的な研究が生まれるわけであり、それは必ずや目をみはるような成果を生むであろうと思います。伝熱研究の発展を大いに期待しております。

「伝熱問題に関する未成功研究」のまとめ

Further Recommendation from Research Notes: "Still Unsuccessful Research on Heat Transfer Subjects."

論壇

「熱」に係わる技術開発・基礎研究の融合に向けての提言

Some Unconstrained Proposals for Liaison between Basic Research and Technical Development Concerned with "Thermology"

中原 崇文 (愛知工業大学)

Takafumi NAKAHARA (Aichi Institute of Technology)

1. まえがき

30年以上にわたる企業において携わった研究開発や設計業務においては、ボイラー、原子力、ガスタービンを始めとして、エアコンや廃熱回収などの幅の広い分野を経験してきた。これらはいずれも「熱」を中心とした製品である。

一方、3年前からは教育研究の立場となっており、熱以外の分野を専門とする先生方との交流が多くなってきている。

このように立場をいろいろ替えてみると、渦中にある場合に比べて、「岡目八目」的な反省も込めて新しいものの見方が見えてくるところもある。「熱」に係わる新展開に向けてという編集方針に対して、失礼を顧みずに暴言に近い提言をいくつかまとめてみた。

2. 技術開発における「熱」

まず、企業活動においていろいろな場に出てくる「熱」の役割を経験的にまとめてみたい。

企業における設計や製品開発などにおいて、「熱」は主に「熱伝達係数」に代表されるように、ある境界の中を一括してまとめて表示した「係数」が役に立っている。例えば、主流温度とその速度条件などが決まれば、この「係数」を活用して周囲の壁の温度を容易に推測することができる大変便利なものである。もしこのような「係数」がなければ、設計は前に進まないと言っても過言ではない。

一方、開発した製品の「善し悪し」は、まず性能が「キチン」と出ることであり、また構造強度が「しっかり」していて信頼性が高いことである。この両者に対してそれぞれ支配する因子を大学の講義项目的な表現で表すと、次のような項目が考えられる。

主として性能を支配する因子：

流体力学、
機構学、
機械力学、など

主として構造強度を支配する因子：

機械材料、
材料力学、など

もちろん熱を中心とする製品、例えばボイラーや熱交換器などでは、「熱」が支配因子と言えるが、大半の製品では上記のようであろう。

今まで述べたように技術開発における「熱」は、「熱伝達係数」などの形で非常に役に立っているが、製品構成の中では、ややもすると無くては成らぬ脇役的存在であると言っても過言ではない。

3. 基礎研究に対する期待

ここで言う基礎研究とは、大学などで行われる研究と定義して話を進めたい。

以上のような企業サイドの立場からすれば、大学の先生方が執筆された書籍（今までに名著といわれる熱分野の専門書籍は多くあるが、最近はあまり見当たらない）や各種の研究発表の中において最も多く活用しているのは、いろいろな条件の下での「熱伝達係数」に代表されるような、「係数」ではなかろうか。これを反映しているためか、発表件数でも圧倒的にこの分野が多い。企業において非常に特殊な課題に遭遇した場合でも、従来の研究を幅広く調査して、その中からそれらしいものを拾い出して、自分たちの使いやすいように料理して活用しているのである。

よく言われていることであるが、「企業ではどのようなことが必要なのか」を知らせて欲しいなどの発言がある。もちろんこのようなニーズの中から、

研究のヒントが生まれるであろうし、的確な研究課題が抽出されるのであろう。

しかし、大学における基礎研究と言われる研究は、本来未知の分野の究明などに焦点が合わされており、利用を前提としたものではないはずである。企業において前例のないような課題や新事業に取り組むときには、まず大学などにおける研究を徹底的に調べ、その中からこれと思われる事項を拾い出して「つまみ食い」させていただいているので、利用にこだわる必要はないと言えよう。

大学における基礎研究は、前方のみを見て進んでいただき、世界のトップ・レベルを走っていただきたいものである。

もちろん、時々後ろを見て企業で困っているような課題についても、手をさしのべていただければ幸いである。

4. 「熱」研究の飛躍の期待

「熱伝達係数」に代表される熱分野の研究は、各種条件の複雑さを反映して、ケース・バイ・ケースの研究が必要であり、なかなか終局が見えてこない。昨今の本紙での討論では、そろそろ脱皮を図る時期が来ているように思われる。そこで以下のような提言を申し上げてみたい。

提言その1：「係数」世界からの脱皮

すでに述べたように、熱工学の分野で企業で活用することの多いものは、「熱伝達係数」あるいは「熱貫流係数」などであり、これらの係数は実用的であり、ありがたい研究成果であるが、境界内の状況をひとまとめにしており、メカニズムの解明などの観点からは不十分である。

また、熱の分野は他の分野に比べ係数で表す項目が多いようにも思われる。

「係数」を明確にする研究は企業などに任せて、これからはその中味を追究する分野に発展されることを期待したい。

すでにミクロ的な取り扱いなどの研究が、盛んに行われてきている。伝熱シンポジウムにおける論文数の全体に占める比率を、セッション項目として分子動力学と乱流構造を取り上げて、その中における

論文数を対象としてカウントすると、

第35回（平成10年）	10.7%
第34回（平成9年）	9.7%
第33回（平成8年）	9.0%
第32回（平成7年）	7.1%
第31回（平成6年）	8.2%
第30回（平成5年）	6.3%
第29回（平成4年）	4.1%

のように年々増大しており、この分野の研究が浸透しつつある状況が分かる。現在発表されているような、手法から脱皮した新しい解析とともに新しい測定技術なども含め、より広い範囲で行われるようになって欲しいものである。

提言その2：脇役から主役へ

企業における「熱」の存在が脇役的であると申し上げたが、研究の世界でもマスコミの取り上げ方などに左右されてしまい脇役的になっている。例えば、地球規模的に重要な課題であるエネルギー問題などは、「熱」屋の責任であるにも拘わらず、環境問題に置き換わっている。主役に躍り出るチャンスである。これには世の中にアピールする原理原則的な研究成果が必要である。

提言その3：しかし時には後にも配慮を

技術開発を行う企業にも各種の事情があるので、大学の基礎研究においても、時には後を振り返って見て、ニーズの存在を確認していただきたい。硬軟を取り合わせた研究活動を期待します。

5. あとがき

融合に向けての提言とすべきところ、益々乖離してしまう方向になってしまいましたが、普段思っていることを腹藏無く開陳しました。失礼に当たるところや当を得ていないところも多いと思いますが、少しでもお役にたてれば幸いです。

「伝熱問題に関する未成功研究」のまとめ

Further Recommendation from Research Notes : "Still Unsuccessful Research on Heat Transfer Subjects."

論壇

「熱」に係わる研究・開発における失敗の克服に向けての一提言

My Personal Opinion about 'Aufheben' of Blunders in Research & Development Concerned with "Thermology"

小澤 由行 (高砂熱学工業 (株) 総合研究所)

Yoshiyuki KOZAWA (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.)

1.はじめに

昨年の5月の編集委員会で、恒例に従って「伝熱研究」の〈特集〉について、編集担当の割り当てがありました。私は何かの〈特集〉を企画するほどの「熱」に係わる研究・開発を極めたわけでもなく、副と困ってしまいました。尤も私は、今までの多数の特集記事を精読したこともありませんが…。幸いにして熊田部会長の「思いやり」か、2人一組の担当配分でしたので、その特集企画については阪大の小宮山先生に押しつけてしまいました。

伝熱シンポジウムに限ったことではありませんが、最近のどの学会活動でも質疑・討論・対話が少なくないと思います。議論の種が何も無いというのであれば、それはそれで良く、物事がすべからく順調に運んでいることの証です。ところで、学会活動に限ったことではありませんが、日本では、護送船団方式が巧く機能して、今日までの繁栄をもたらしたと言われています。

故土方教授の言われたとおり、私は「ひねくれ・我が儘」で、また「身の程知らず」で、さらに「滅私・奉公」が大きいです。すなわち上述のような枠組で作業を進めることができず、また世の中の順風満帆という姿にも疑問を感じています。伝熱学会の別の著名な先生からは、非常識・悲観主義であり、非建設的・非理性的な子葉末節・断定的悪口雑言を他者に浴びせる、とのお叱りを頂戴しています。そうは言われましても、ああそうですかという他は、黙っているような性分でもありません。

そのような単純で極めて個人的で主観的な考えに加えて、特集編集を放棄した職務怠慢に対する単なる個人的な「言い訳」から、昨年6月以来「伝熱問題に関する失敗談～未成功研究」を企画し、多くの皆様にご意見を求め、さらに無理矢理ご寄稿をお願い

いたしました。以下では、この一年間を振り返って、この編集企画の「まとめ」というよりは、「おわりに」させていただきます。

2.失敗～未成功の原因

物事を「失敗」という観点から捉えることは、誰でもいやがります。まして学術研究団体である「伝熱学会」で、このような類のことを議論する事自体は、以ての外かもしれません。今回の「論壇」の企画者としては、失敗の論述を強く意識したのですが、結果はご覧のとおり、失敗についてほとんどが触れられなくなってしまいました。しかし、実際には「失敗」は、誰でも、いつでも、どこでも起きます。ですから、「やむを得ない、ほっといても構わない、一々考えても仕方がない」と言ってしまうればそれまでのことです。

ところが失敗を克服して「成功」に導こうと思えば、まずは失敗の原因探しということになります。その原因を一般的あるいは抽象化して纏めれば、

- (1)目的・目標・計画・戦略の立て方の問題
- (2)実施の方法・組織の問題
- (3)結果を評価・判断する因子・基準・方法の問題
- (4)現象・事象・市場の分析・表現・論述の精緻さ・分かりやすさ・先見さの問題

にあることとなります。これまでの多くの寄稿の中でも原因は、以上の4つに集約されます。しかし、これらは物事を成功裡に終える場合でも、その成功の要因を分析すれば、同じような項目が出てきましよう。ただし、成功裡の場合には複数の要因が一本の糸に整然とかつ首尾よく結ばれています。一方、結果だけから失敗と判断するときには、その糸の中のどれか一ヶ所の結び目であっても、そこが「こんがらかっている」か否かの問題となります。すなわ

ち成功は「*Synthesis*」の課題であり、失敗は「*Analysis*」の課題であるとも言えましょう。*Analysis*が十分に施された失敗は、成功がそのとき限りの「勝てば官軍」ということに陥りがちであるのに対して、ある意味では普遍性の高い研究成果と観ることもできましょう。例えば、第20～21期の秋山守副会長は、今年の6月1日付けの「電気新聞」に、『**失敗を研究する心**』を寄稿されています。失敗が「談」ではなく、「研究」の対象になり得ることを示唆されていると、私は勝手に理解しています。

伝熱では、「現象・事象」がまず大事です。伝熱研究は、庄司正弘先生がご指摘のように、「もともと表舞台に立ってスポットライトを浴びる」ような研究分野ではありません。実業では、「伝熱研究の成果自体から新しい機器・技術・システムが先進的に生まれた例が少ない」と実感しています。このような「熱に係わる研究・開発」の特徴を熟慮すれば、上述の失敗要因の中ではとくに(4)が、大事な問題であるように思われます。

3. 失敗～未成功の克服

成功体験は、誰にとっても嬉しいことです。「失敗を克服する」という問題は、「成功に導く」とことと表裏一体です。そこで昔から「失敗は成功のもと」とか、「失敗を恐れず執念深く努力することが大事」と言われています。これまでの多くの寄稿を振り返ってみても、失敗の克服となると途端にこのような抽象的・観念的な文言に置き換わってしまいます。抽象的・観念的ということが、必ずしも「ダメ」と申し上げたいのではありません。私はむしろ抽象的・観念的な考え方は好きな方です。

今回の編集企画で、何かにつけて引き合いにさせて頂いている「伝熱工学／熱工学の将来」には、熱に係わる研究・開発を発展・成功裡に導くための各種の分析・主張が、具体的・客観的に述べられています。その中で、最も抽象的と私が勝手に判断させて頂いた寄稿は、『**随想…未来への期待をこめて**』と題した第18期の甲藤好郎会長の論攷です。甲藤先生のこの論攷の中から、無礼で僭越ながら、いくつかを摘み食いさせて頂きながら、さらにその論攷には全く不似合いの失敗という言葉を取って意識しながら、以下には「失敗の克服に向けて」の私見を述べ

させて戴きます。

(1)「集団主義と個」について

申し上げるまでもなく、集団と個は人類が生まれてこの方続いている永遠の課題です。昨今の日本では、「個人の倫理観の欠如」、「集団の規律の低下」が結果として「全体の信頼感の喪失」に繋がっています。すなわち、集団と個の棲み分けやそれぞれの長が活かされず、ことが巧く運ばず、失敗に繋がると理解できましょう。

研究でもやはり組織と個人の上質な使い分けが失敗を防ぎ、かつ克服する一方法です。この中で研究における組織に関しては、研究室や部署から学会まで多種多様なものが沢山あります。その中で組織と個人の間を結ぶものは、真剣な「**質疑・討論・対話**」にあると考えます。議論等をしようにも、熱に係わる現象を直接観て、関連する事象を熟知・熟慮した個人で構成されずに、個人の言論の自由とか、無限の可能性論を展開したり、形式民主主義や大きな声の人にお任せでは、科学研究で大切な「謙虚で柔軟な発想に基づいた真実の追求」とか、技術開発で大切な「プラクティス重視と機動的な変更」を全うすることは困難です。

(2)「個人の創造性」について

研究・開発の究極の目標は、何事かの創造です。天才か神様でなければ、そう簡単に創造できるものではありません。ところで、5年前に東海大学の師岡教授のご紹介による日本創造学会の研究会で、ある学者から「創造」とは何かを伺ったことがあります。そのとき、人間のある行為の結果である「**創造** : *Creation*」、人間の一能力を表現する「**創造性** : *Creativity*」、形容詞や副詞になる「**創造的** : *Creative*」という言葉の使い方に疑問を抱きました。短絡的なものかもしれませんが、「プロ」による研究・開発の世界では、『**創造**』できたか、否か』で成否が決まります。その創造は、創造性のある人が創造的な仕事の進め方あるいは組織で行ってできることです。ここで創造的という形容詞を安直に用いれば、出来高に対しても「創造的な結果」という表現も可能です。「模倣的な結果」よりは「創造的な結果」の方が確かに美しいですが、このように形容詞を多用しますと物事が曖昧になってしまいます。そこから、100%の成功もなければ、100%の失敗もないという

考え方が生き、結果的にはそれに「甘え」てしまうことができるのでありましょう。

人間の一素養である創造性は、ことの大小を問わなければ、天与のものです。しかし普通には、個人が磨かなければ、「宝の持腐れ」になります。伝熱研究は、何はともあれ現象・事象が大事です。「実験・事実・実物」を真摯に観ることが、創造性を磨く出発点です。次に、実験・解析データの処理・加工・図表化・文章表現も、時間が掛かろうとも人間の手とさらには目と頭を活用して行うことをお奨めしたい。私の恩師である故青木成文先生から、学生時代に『**実験は相撲の稽古に相当する。稽古を怠ると本場所で負ける。**』とよく言われたことを思い出します。これらについては、最近では組織や経済が肥大化して、他者に任せたり、知能化したコンピュータで代用されています。これでは創造性どころか、「勘」や「骨」、あるいは「技」が生まれません。あるいは「失敗」とか「成功」とかも、他人事のできるのかもしれない。

(3) 「真の論理性」について

今回の「未成功研究～失敗談」の中では、かなり古い話が多くありました。私も伝熱シンポジウムに参加させて戴くようになって、すでに30年以上が経過しました。かつてその席などでありました「質疑・討論・対話」は未だに印象が残っています。これは単に私が若かった、今は年とって懐かしんでいる、あるいは最近では怠けていて自身から討論を喚起していない、といったことでしょうか？

論理、あるいは論理性という言葉は、甲藤先生のかつてのご質疑にはよく聴かされました。そのことは、今までの伝熱シンポジウムで一番印象的な思い出です。また、今回の失敗談を編集企画した際にも、甲藤先生とは長時間にわたって、別途に研究における論理構成について議論をさせて戴きました。

私の場合には、論理でなく屁理屈だ、との失笑を頂くかもしれませんが、論理は好きな方です。支配因子が単一の現象分析や原因・結果が単純な場合には、必ずしも論理に拘ることもありません。しかし、熱に係わる科学・工学では、元々扱うことがそんな単純でない場合が多いものです。また科学・工学という学問である以上、哲学に匹敵するほどでないま

でも、論理性のないものに普遍性など生まれよう筈がありません。普遍性のない学問の構築は、やはり失敗と申し上げたい。一方、基礎研究から技術開発を経て、実用化に至る過程では、特定の範囲・事柄に対する*Analysis*よりは、広い範囲・事柄にわたる*Synthesis*が求められます。このような類の一種の*Synthesis*場合にも、論理性なくことを進めれば、極めて非能率であり、結果も失敗に終わる場合が多くなります。とくに相手が生きた人間社会であれば、明快な論理がなくては、誰も受容してくれません。

ところで、成功に導く論理、失敗をしない論理、失敗を克服する論理を、どのように作り上げるのでしょうか？論理性のないポイント・ワイズの羅列ですが、以下を挙げておきます。

- ① 「周到」な準備をした上で、真摯な質疑・討論・対話に付す。
- ② 文章・図表を何回も「自らの手」で書く・描く。
- ③ 対象とする問題の全体像を常に「フレームワーク」の形で捉える。

この中で①は、既に(1)の「集団主義と個について」で取り上げました。しかし議論をしようにも、周到な準備なしでは時間の無駄です。また、②と③は、「研究・技術の論文の書き方」に書いてあることに過ぎないのかもしれませんが、しかし、今は意外と実行されていないような気がしてなりません。例えば、文章・図表を取り上げて、第一稿あるいは原図表は学生や部下にさせ、ご自身はそれからの加筆・修正という場合が多すぎるのではないのでしょうか？また最近はずべからくコンピュータの世界に落とし込まれて、加筆・修正も頭脳作業でなくなり、さらに同じ文章・図表のコピーでお茶を汚してしまう場合も多いのではないのでしょうか？これでは論文や報告書の乱造は容易でしょうが、論理構成のブラッシュ・アップなどは必然的に無くなる環境です。尤も図表に関しては、実験・解析データの一点一点の意味や精度を熟慮せずに、短時間に機械的にプロットさせて、それを意味もなく機械的に最小二乗法で結んで「ハイできました」ということも可能です。そこでは、*Analysis*すら不十分となります。その上、さらに綺麗な論理立てをしても、空中楼阁ができるだけではないのでしょうか？

余談ですが、かつての伝熱シンポジウムの予稿集や発表図表は手書きでありました。肉筆は「人となり」をよく表します。そのような「人間臭さ」が欠如しますと、質疑・討論・対話が進み難く、場合によっては物事の本質を掴み難いものです。客観性が大事な科学技術研究と言いましても、やるのは人間ですし、成果を受け取るのも人間社会ですから。

以上のような話は、論理性の問題ではなく、単なる「懐古趣味」であるとお叱りを頂戴するだけかもしれません。只だ言い訳を一つお許し頂ければ、今様の日本の社会環境は、甲藤先生も既にご指摘のように、人間の創造性や真の論理性を育み難い状況であることを強く認識したいということです。上述の点は、今流行の自然環境問題を云々したり、社会環境の性にする前に、我々自信の手で直ぐにでも改善できることであり、また失敗を克服する方法としても意味があると考えます。

(4)その他について

甲藤先生の論放には上記の3点に加えて、「**二次元的な世界観**」、「**思想的なスケール**」、「**未来への展望**」の3点が論述されています。これらの事柄は、日本の熱に係わる研究・開発を「世界に通用するあるいは世界を主導するレベル」にし、さらに小竹TSEチーフエディタが主張される「文化遺産の創造」ということに対しては、極めて重要な視点です。すなわち、失敗談との関係あるいは失敗を克服する方法などといった関係で捉えるべきテーマではなく、建設的で理想的な研究展開を指向されてのことでありましょう。そこで、私には今以てこのようなテーマは消化しきれていないというのが現状です。ただ希望的には、このような点につきましても別の機会までに、自分なりに統括してみたいと考えております。

4.「おわりに」に替えて

「伝熱問題に関する未成功研究」を編集企画させて戴き、都合4回「伝熱研究」に掲載させて戴きました。これは熊田部会長、編集委員会と理事会の先生方の絶大なるご好意の賜であります。また多くの会員の方々にもご執筆等でご協力を頂けたことに依ります。ここで、改めて伝熱学会の全ての皆様へ感謝を申し述べたいと思います。

いくらお礼を申し上げても、「この編集企画は何であったのだろうか？」との疑問を抱かれる会員も多数いらっしゃるのではないかと考えます。その答えは、今回のこの「論壇」の中にもあるのではないかと考えています。いずれにしても、前3回の紙面を含めてこれらの中から次に繋がる議論の種を、一つでも発見して頂けるよう切望しています。しかし力及ばずで、残念ながら今日現在までに、「議論の輪」は目に見える形で生まれてはおりません。哲学者・中島義道氏の書物のタイトル「対話のない社会ー思いやりと優しさが圧殺するものー」を再度借用すれば、『**対話の豊かな伝熱学会**』を指向したいと考えています。

さらにこの紙面をお借りして、私個人の感想を付け加えさせて戴きます。この1年間に3ヶ月に一度の編集作業は結構大変なものでした。とくに第1回目と今回は、全てのご執筆予定者から原稿を期間内に頂戴できましたが、残りの2回では、期限後に約半数の方々からご辞退の申し出があり、本当に困り果てました。「学生や部下がこのようなことをしたら、何と言って怒られるのか！」との憤懣やるかたない思いもしました。伝熱学会にはふさわしくない企画であったと自答して諦めもしました。尤もこの編集企画を始めるにたって、熊田部会長からは、「書き手がいないからダメ」であるのご忠告を戴いておりましたので、自業自得のことかもしれません。このようなことだけからは、この編集企画はやはり「失敗」であったという感想になります。

苦勞話はそれくらいにして感激させて戴いたことを取り上げましょう。全部で25の方々、研究成果に何らならないことに、第1稿から「自らの手でご執筆」下さったことでもあります。それも失敗という第1人称が明確なことに対して、それぞれが「独特な論理の展開」をして下さったことでもあります。しかしこの5月の伝熱シンポジウムの懇親会の折りに、ある先生から「みなさん同じようなことを書かれている」というご感想を頂戴しました。只だ自己満足的には、この企画には「成功」した部分もあるとの感想も抱いています。

この編集企画ではご執筆を依頼したの方々、実際にご執筆を下さったの方々だけでなく、多くの方々のご意見を賜りました。とくに当初には55名に及ぶ会員

の皆様のご意見を伺いました。この編集企画が何であり、伝熱学会全体で約4%の会員の皆様はどのように捉えられているかについて、ご理解をより深めて戴くことを念じて、昨年6月の企画案文とそれに対する55名の方々のご意見をご紹介します。なお、表にあるSはSenior、AはAcademe、BはBusiness

という私の独断に基づいた分類に過ぎませんことをお断りさせて戴きます。一つ一つのご意見の背景などを必要以上に思い計られるのではなく、これらが今後のより「魅力的な企画」や伝熱学会全体での「実のある議論」の「はじめに」になることを祈念しています。

平成9年6月9日

「伝熱研究」1997年10月号の編集企画(案)

1. テーマ(仮題)：「伝熱研究における失敗談、あるいは伝熱問題に関する“不”成功裡の研究」
注：ご執筆担当者には、それぞれ「適切な副題」をつけて戴く。
2. テーマ選定の趣旨：
 - (1) いずれの学協会の論文・発表等では、何らかの成功例である。あるいはそのような内容でないと公表できない。
 - (2) 「伝熱研究会」の発足当時の、いわゆる「円卓会議」風の議論では、今よりもっとフランクでサロン風であり、(厳し・質問・議論の蔭では)研究者間で失敗例、あるいはできなかったことも気軽に吐露されたのでないかと伺われる。
 - (3) 伝熱自体は一般に「物作り」に不可欠な学問・要素技術だが、伝熱研究の成果自体から新しい機器・技術・システムが洗練的に生まれる例は少ない。
 - (4) 昨今は伝熱シンポジウムでも大変多くの論文発表があるが、現象の分析・解析、あるいは技術の改善・改良が圧倒的な割合を占めているように感じられ、テーマ自身に新規性、技術開発への直接的な寄与の高いものが多いのでないか。
 - (5) にもかかわらず、あるいは当然のこととして、論文の結論が「何かかできた」ということになっている。
 - (6) 若手の研究者にもこのようなレベルの効率主義、あるいは加速主義が蔓延しているのではないかと、もっと「ゆったり」と「のろいけれど深く」一つ一つものごとを考えた、分析する研究風土が消失しようとしているのではないかと危惧される。あるいは何かの研究をしたら、必ず成功しなくては意味がないとの考え方が強すぎるのではないか。
 - (7) そこで、この際過去に経験されたいわゆる「不」成功裡に終わった研究を振り返って、どこかどのように間違っていた、また「成功裡」に終わった研究も今振り返ればあるいは今の手法を使えば、ここがどのように誤っていた、などを科学的に(研究者の恥さらしという考え方でなく)論述戴くのも一考の価値があるのではないかと。
3. 執筆の際の切り口：

主題の「失敗」を研究・開発の中で徹密に捉えようと、失敗はあり得ず、むしろ「失敗を克服して成功に導く」というのが一般的な思考方法である。したがって、結論として失敗とは書けないことになる。しかし逆に、成功も100%の成功は極めて少ない筈である。通常公表される研究者の研究成果、技術者の技術開発成果では、ある題材を「成功」とし、観点から(結論に向けて)論理展開(因果分析)して書かれる。今回お逆の発想で、「失敗」(苦心してあるいは反省に留まらず)という観点から整理して語って戴けないか?、例えば以下のような、

 - (1) テーマ自身がおお雑に魅力で、新しく、夢があったが、研究方法が(当時)無かったり、適する方法を十分に選別して採用しなかったため、結果を得るに至らなかった。
 - (2) 他者の研究結果、あるいは採用し、何かの現象・技術・システムで、「ここが問題」と予見・予測・分析できた特定の伝熱プロセスを解明・最適化・広領域化した結果、結果は別の伝熱プロセスが支障的であることが分かったり、問題解決に至らなかった。
 - (3) 世の中の「あるニーズ」に応えるために、伝熱技術を最高のもの(精緻化、最適化など)にしたが、そのニーズの技術的な分析が甘かったり、そのニーズ自身が技術問題で無かったために、結果的に社会的なニーズにこたえられなかった。
 - (4) 「これを新しい伝熱に関する研究・技術・システム」と何らかの根拠があつて設定して追究したが、(ほぼ)同時にあるいはタッチの差で、さらには文献の分析の仕方が悪くて、他者の研究・技術開発の後塵に落ちてしまった。
4. 想定される問題点：
 - (1) 過去の「あら探し」的な、「恥さらし」的な雰囲気(マイナス志向)に陥りやすいか?
 - (2) 今のテレビ番組にある「NG大賞」のような、「興味本位」あるいは「覗き見趣味」にならないか?
 - (3) 「執筆者」になってもらえるか?、ご理解が得られるか?
 - (4) 内容があまりにも「特殊・偏り・個別化(雑談)」にならないか?
5. 期待される効果：
 - (1) 失敗を恐れず、研究会雰囲気作り、気軽な研究会、苦労・苦心・失敗から学ぶ。(できれば、一回限りでなく、その2、その3と企画できるようにしたい。)
 - (2) 長老から若手への研究・技術の生きた伝承。
 - (3) 基礎研究から応用(有用)技術への橋渡し、学術研究(Research)と技術開発(Development)の差違の認識(すなわち、伝熱研究の合目的的な工学(Engineering)・技術(Technology)への展開)
 - (4) 「伝熱研究会」時代の良き伝統の継承。
 - (5) 若手の研究者・技術者にとって、分かりやすい、魅力的な「伝熱学会」作りへの寄与。

平成9年6月30日

「伝熱研究」編集企画:《伝熱研究における失敗談》の実現可能性調査結果

回答者	企画の良否	執筆の諾否	執筆の条件・意見(執筆をし易くする方策などを含む)
S-1	◎	◎	研究に失敗はつきものだ! 成功まで完遂するというのが信条である。苦心談/回り道/未成功などのように主題を工夫したらよい。
S-2	not O&X	—	伝熱学会には、もはや期待するものがない。執筆者の構成も気に入らない。
S-3	◎	◎	原稿の分量: 2~3頁。「失敗を恐れず」が研究に対する持論だ。テーマを模索中である。
S-4	◎	△~○	執筆者が少ない場合は、執筆しても良い。もちろん適当な副題が必要だ。
S-5	X		「伝熱研究会」ではなく「伝熱学会」には、馴染まない企画である。もつと積極的な企画を考えるべき。
S-6	◎	○~△	面白い企画である。難しい課題であるが、何とかして書いてみる。
S-7	◎	X	原稿を書く時間が無い。
S-8	not O&X	—	失敗は個人の問題。一般性のあるものは少ない。随想になる。既掲の「将来展望」に対する若手の感想・反論を繰返せば論争を起こせ、Endlessにもできる。
S-9	◎	○	原稿の分量: 2~3頁。
S-10	○	△~X	失敗を他者に役立つように書くことは難しい。経緯談を口述するならできそう。テーマを模索してみる。
S-11	X		成功・失敗はグレーなもの。企業では学術以外の問題が失敗の要因になる場合が多い。「レトロ特集」にして、若手にインタビューを含めた手法でレビューしてもらおう企画を提案する。
S-12	◎	X~△	失敗談では書けない。「基本的なアイデアが国内で評価されないまま、外国の研究者に抜かれた」といった切り口は?
S-13	not O&X	X	失敗談が「年寄り」にしか書けないのでは? 既発表の論文等に失敗があるとすると卒業生に迷惑がかかる場合がある。「企業への呼びかけや新しい事への誘い」が企画としてよい。
A-1	◎	○	原稿の分量: 2~3頁。仕方がないから、これからテーマを探す。
A-2	◎	△~○	執筆者の構成の上で、バランスを考慮せよ。執筆のテーマはありそう。
A-3	◎	X	テーマが見あたらない。
A-4	○	△	まとまった文章としては、書き難い。
A-5	◎	○~△	原稿の分量: 1~2頁。書く時間が無い。「研究テーマの発掘」という企画したら?
A-6	◎	○	少ない頁数の原稿なら、この企画に協力できるかもしれない。
A-7	◎	X	数多くの論文を書いたが、成否でショックを受けるような研究はしてこなかった。書けない。
A-8	◎	○	この企画に協力は惜しまない。テーマと原稿分量を検討中である。
A-9	◎	X~△	忙しく時間が無い。サロン形式の連載物したら? 会長・副会長レベルに先陣を切ってもらいたい。
A-10	◎	○	短編の寄せ集めなら、執筆できる。
A-11	◎	X	時間が全くない。
A-12	◎	◎	引き受けた。
A-13	◎	◎	最近お伝熱をやっていないが、何かを書いてあげる。
A-14	○	○	「失敗を克服して成功した」という記事の方が書きやすい。あるいは「研究の裏話」という記事もどうか?

A-15	◎	△～○	原稿の分量: 1～2頁。どうしても「引き受け手」がない場合には、協力する。
A-16	◎	×	とにかく時間が無い。年長者に頼めばやってくれるかもしれない。
A-17	◎	◎	書くことは可能。とにかく書くから、原稿を読んで企画の趣旨に合っているかを判断してくれ。
A-18	◎	◎	引き受けました。
A-19	◎	△	原稿の分量: 2～3頁。断片的な複数の例を記述することなら可能である。
A-20	◎	△	希望されている原稿の分量が多すぎて、書くテーマが無い。
A-21	◎	◎	執筆できるテーマと内容の構成を例示する。
A-22	△～×	○	要主題変更。例えば、「伝熱問題に関する失敗は成功のもと」を提案する。
A-23	◎	◎	引き受けてあげる。執筆のテーマを選定済み。
A-24	×	×～△	失敗談では自身の研究能力が疑われる。失敗を含めた研究展開(着想を含む)にすべき。
A-25	◎	×	若手に役立つ企画ではある。今は自身で伝熱研究をあまりしてないし、昔のデータはないかもしれないから書けない。
A-26	no comment	×	時間が無い。
A-27	○～△	×	原稿の分量を減らすべき。「伝熱研究における(ためになる)エピソード～失敗は成功のもと～に主題を変更したらよい。
B-1	◎	○	原稿が集まらないようだったら協力する。テーマを模索してみる。
B-2	no comment	×	
B-3	○～△	△～×	「失敗」でなく、「研究の反省」的な内容に広げるとよいのでは? テーマが見あたらない。時間も無い。
B-4	◎	○～△	難題(執筆にあたっての手続きを含めて)だが、執筆の方向で考えてみる。
B-5	○	pending	問題が生じたが、視点を変えたら結果的に良かったという類のものにしたなら? 会長経験者にまずは「お手本」を示してもらいたい。
B-6	○～△	×	失敗談だけをテーマにしたことは、手続的にも執筆は無理である。開発途上で予想しない現象が生じ、計画を変更して成功したという「道筋」を書くことになったらよい。
B-7	○～△	×	仕事柄伝熱を深く追究する機会が無いので、多頁にわたって書けない。
B-8	◎	×	伝熱研究らしい研究をしていないので書けない。あるニーズに対応できなかったが、別なニーズや目的に役立ったという記述方法を取り入れたい。
B-9	◎	△	テーマを模索してみる。
B-10	◎	○～△	難しいと思うが、テーマを模索してみる。
B-11	◎	×～△	立場上極めて執筆は難しい。会長経験者にまず頼みたい。企画の重要性は理解できるので、何かを模索したい。若手の執筆も大事である。
B-12	no comment	×	最近伝熱研究をしていない。前のことは書けない。
B-13	no comment	×	伝熱研究開発をほとんどしていない。
B-14	◎	○～△	総説や展望を書くフォーマットは分かるが、失敗を書くよいフォーマットが思い浮かばない。考えてみる。
B-15	◎	○	面白そうだから、やってみる。

メリーランド大学を訪問して

A visit to University of Maryland at College Park

長谷川 雅人 (筑波大学大学院工学研究科)

Masato HASEGAWA (University of Tsukuba)

1.はじめに

私は現在筑波大学の博士課程(一貫制)の4年次に在学しておりますが昨年12月より今年の5月まで約6か月間、米国のUniversity of Maryland at College Parkへ行ってまいりました。現在研究指導をしてくださっている通産省工業技術院機械技術研究所の矢部彰量子技術研究室長と同分野(電気流体力学および伝熱)の研究者である、Prof. Michael M. Ohadiが機械工学科にいるからです。もっとも博士課程に進んでからの私の研究課題は修士課程の時と違って電気流体力学の領域のものではないのですが、若いうちに海外での経験をとのことで、今回の機会を頂きました。そんなわけで、研究に対する心構えもそこそこに出かけていったので当然向こうでも要領を得ないまま約半年を過ごしてまいりました。今回は初めての海外滞在経験で感じたことを中心に書いてみました。

2.UMCPとワシントンDC

University of Maryland at College Park (UMCP)はアメリカ東海岸メリーランド州のなかでも首都ワシントンDCに近く、地下鉄に乗ると30分ほどでDCの中心部にたどり着きます。その様な地の利でしょうか、5月にあった卒業式にはオルブライト国務長官が講演に招かれていました。

機械工学科はfaculty約50名、大学院生約250名の規模で、一般的な評価は例えば最近US Newsという雑誌の特集でengineering graduate programsとして全米13位(公立で7位)にランク付けされました(おそらく工学部全体として)。facultyとしてはelectric packagingの分野でご活躍されている中山亘先生も所属されており、先生にはお宅に招かれてごちそうになったりもしました。大学院にはアジア系、特に中国人・インド人の学生が多く、

私が通ったProf. Ohadiの研究室もそうでした。これはアメリカの大学では一般的なことかもしれませんが、この大学では、特にdiversityということ(人種に限らず、思想や同性愛なども含めて)が標榜されているためか平均より多くの留学生を受け入れていると思います。ただし、日本人の大学院生はいませんでした。

あちらの冬は寒い寒いと脅かされていたのですが、拍子抜けするほど暖かく、冬物の衣服の半分は着ませんでした。有名なワシントンの桜も1月頃に咲き始めたと日本からの情報で聞きました。天気ニュースではエル・ニーニョの影響だとも言っていたような気がします。むしろ日本のほうが関東地方で何度も大雪が降るなど大変だったことでしょう。真っ先に電車が止まったという首都圏の私鉄某社につとめる友人からも、おかげでてんでこまだったという報告を受けていました。もっとも、私にとっては家庭用暖房の違いが大きかったように思います。例えば、冬ともなるとつくばのアパートではこたつから出られなかったり朝起きると顔が冷たくなっていたりするものですが、あちらではその様なことはなく、セントラル・ヒーティングで家全体が暖められていました。暖房機の本体が壁一枚隔てた



キャンパスの風景

部屋にあったため、その騒音には慣れるまで大変でしたが。

家といえば、現地についてまず心配したのが家探し。既に用意されているという甘い期待はやはり甘く、研究室の学生に手伝ってもらって探しました。大学のホームページに家・アパートの賃貸情報があり、そこから、graduate student, non smoking, rentなどの条件を考えて2、3あたりでしたが、家具がある程度揃っていて個人用のバスルームがある、一般家庭のbasement roomに決めました。大学から1.5 milesほどありましたが、幸い路線バスや大学のシャトルバスが近くを通るので特別不自由ではありませんでしたし、歩けない距離でもないので大学のバスの走らない休み期間中や夜遅くは歩いて帰り、おかげでお尻のぜい肉が落ちました。夜遅く外を歩くのは危険だといわれていましたが、大きな通り（US Route 1-国道1号線？）沿いに歩けば家・大学間を歩き来できるので少なくとも大学周辺では危ない目には一度も会わなかったし（犬に吠えられる以外は）、その様な雰囲気ありませんでした。難を言えばこのRoute 1沿いは所々歩道がとぎれていたり、車道に路側帯がないので歩いているすく脇を車が通り過ぎたりとあまり歩行者のことは考えていないような造りになっていました。実際歩いている人や自転車はあまり見かけず、当初は何か歩くというのが普通でないことのような心細い気にもなりました。

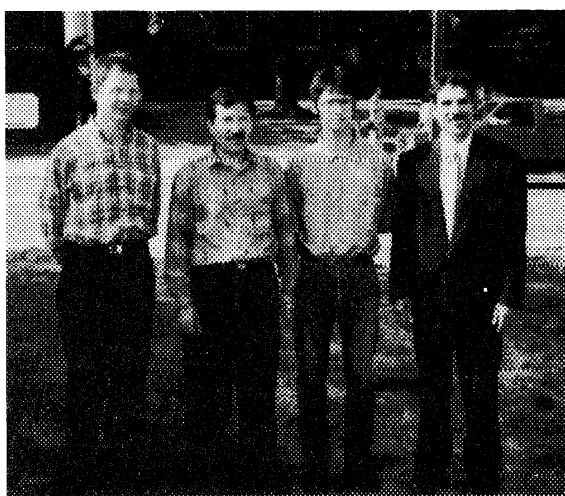
Washington DCに近いというロケーションは非常に嬉しいことでした。先程もふれましたが、大学や家の辺りからMetroと呼ばれる地下鉄で楽にDCまで行くことができます。White Houseや国会議事堂、Washington monumentなどブラウン管の中でだけはよく見たことのある風景が、ぶらっと出かけたところにあるというのは以前にはとても想像できなかったことで、何とも不思議な、少し幸せな気分がさせられました。楽しんだのは観光名所ばかりではありません。金曜日のWashington Post紙には「Weekend」という別冊のようなのが挟まっており、DCとその周辺のイベント情報や映画、コンサート、美術館の催し物の案内が豊富に載っています。Weekendの利用度は結構高いようでこれを手にした御婦人方を地下鉄でよく見かけました。これで面白そうなものを探しては、週末によく出かけていきました。コンサートや映画は日本ではほとん

ど見に行くことはなかったのですが、チケット代が比較的安いという、なにしろ電車ですぐというのが、せっかくだから見に行こうかという気分を後押ししたのです。ただ、いつでも行けるものと思っていたSmithsonianの一連の博物館には、滞在の最後のほうが予想外に忙しくなったため行きそびれてしまいました。

3. 研究活動

Prof. OhadiのグループはCenter for Environmental Energy Engineering (CEEE)の中の一グループとして電気流体力学(Electro-hydrodynamics, EHD)的効果を用いた伝熱促進に取り組んでおり、より実用的な技術とするため、特に電極形状や作動媒体の研究に力を注いでいます。指導者としてはProf. Ohadiのほか2,3名の助手と、訪問研究者としてDr. Molkiがおり、私はDr. Molkiとともに研究を進めました。

このグループでは学期のはじめに新学期の研究の週刻みの計画を出すことになっていました。それに従って実験などを行い週末の電子メールと週明けのミーティングで進捗状況を報告するというシステムになっていました。私も計画書を提出するように言われましたが、まだ何をしたいのか分からない段階でとても計画などは立ちそうにないと思って出ませんでした。もし計画が立てられるのなら研究もスムーズに進むだろうと思いましたが。また学位取得を目指す大学院生にとってはプレゼ



研究室の指導者達と

ンテーションの技術も必要であると、月曜日には CEEE の Prof. Radermacher のグループと合同の presentation seminar が開かれていました。これは大学院生がそれぞれの研究テーマについて 20 分程度発表し意見を交換し合う場で、私の番は 4 月の初めにまわってきました。アメリカに渡って 4 か月ほど経っていましたが、英語を話す能力がさっぱり進歩していないのがっかりさせられました。他の留学生たちも普段癖のある英語を話しているのですが不思議と会話を通じ合っているのを見ると何でだろうと思うことが度々ありました。

今回 Prof. Ohadi が招いてくれた理由は私が修士の時に研究した EHD 乱流の発生メカニズムの LES による数値解析に関心を示してくれたことで、この計算手法を彼らの研究に応用することが私の研究テーマでした。私が修士の時に取り組んだ現象は、液体の管内強制対流において流路内に管軸方向に張った高電圧の線電極と管壁面の負電極の間に生じる電場により、流れに乱れを発生させ熱伝達を促進するというものです。今回は作動流体が空気であるためコロナ放電を利用した対流熱伝達促進ということになります。Prof. Ohadi の研究室にはもう一人、大学近くの NASA Goddard Space Flight Center から研究者が来ていて、別の計算方法で同じテーマに取り組んでいました。

研究課題は、企業との提携で行う研究で使う実験

装置のスペックを決めるための計算のようだったのですが、作動媒体、印加電圧の極性、流路形状などの諸々の条件が異なるため修士でやった計算をそのまま流用することが出来ず、またより application 寄りの研究だという意識もあって、信頼性の問題から電場の計算に既存の手法をとり入れた修正を施しました。しかし、研究の方向性、全体像が十分に伝わってこないのをどこまで行えばよいのかという判断が十分には出来なかったため思うようにプログラムの修正がはかどらず、ある程度計算のめどが立ったときにはもう残りの日数が少なくなってしまいました。あまり情報を与えられなかったのは企業との契約が絡んでいたのが一因のような気がします。いずれにせよ、電圧電流特性など計算のほうで実験データに依存するような部分が残りますっきり終わらせることが出来なかったのも、今後は互いに連絡を取り合いながら数値計算及び実験を継続していくことになると思います。

4. あとがき

今回の訪米の実現のために、筑波大での手続き等にご支援下さった構造工学系成合英樹教授に深くお礼申し上げます。

大学と企業の研究交流推進への提案
- FILGAP 委員会報告 -

To Forge Industrial Liaison to Generic Academic Problems

松尾 篤二 (三菱重工)

Tokuji MATSUO (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

1. 本委員会の目的

日本伝熱学会の会員数はここ数年 1400 名前後で推移しているが、その大半は大学、高専、国公立研究機関などの研究者で、産業界の会員は約 3 割にすぎず、日本機械学会の 7 割に対してちょうど逆の構成になっている。これは、本学会が我が国の伝熱研究の萌芽期に熱の研究者のアカデミックな議論の場として発足した伝熱研究会から発展し、伝熱という特定の工業製品に限定されない基礎技術を共通の基盤としていることと関係している。

日本伝熱シンポジウムでの昨年までの過去 10 年間の発表件数を見ると、図 1 のように増加してきており、近年では 400 件を超える盛況である。しかしながら、大学と企業の連名の発表、および企業単独での発表は、図 2 に示すようにあまり増加しておらず、ここ 3~4 年はむしろ減少気味である。大学と企業との連名の中には、単に学生の就職後の所属企業名が記されているだけのものも含まれているので、大学と企業の共同研究（本稿では、委託研究なども含めて、大学と企業の協力関係のもとになされる研究を総称して共同研究とよぶ）はごくわずかであろう。

このような本学会の特質および伝熱研究分野の現状から、伝熱学と産業技術の関係が希薄で、大学での研究が産業技術に役立っていない、大学での基礎研究と企業での実用研究との間にギャップがあるといった声がある。

もちろん、共同研究が少ない、あるいは企業からの発表が少ないことと、伝熱学と産業技術の関係が希薄なこととは短絡的に結びつくわけではないが、産業界の会員が少ないために大学と産業界とのつながりが薄く、大学での研究と社会のニーズとの間にギャップがあるという一面は否定できない。大学と産業界の連携が本学会の課題の一つに上げられている。

この課題への取り組みの一環として、上述のギャップを埋めるにはいかにすべきか、大学と企業の研究交流を推進するにはいかにすべきか、その方策を検討する目的で、平成 6 年 9 月、本学会に当時の中山恒会長のもとに FILGAP (Forge Industrial Liaison to Generic Academic Problems) 委員会が設置された。

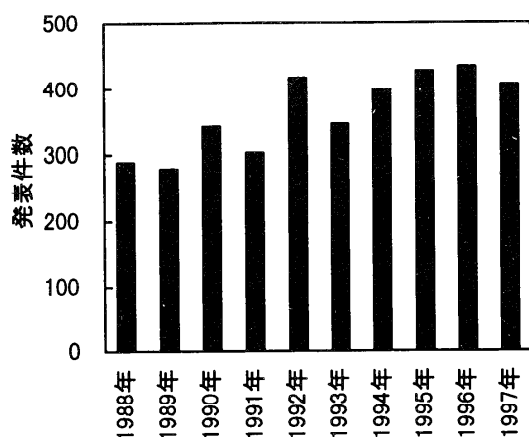


図1 日本伝熱シンポジウムにおける全発表件数

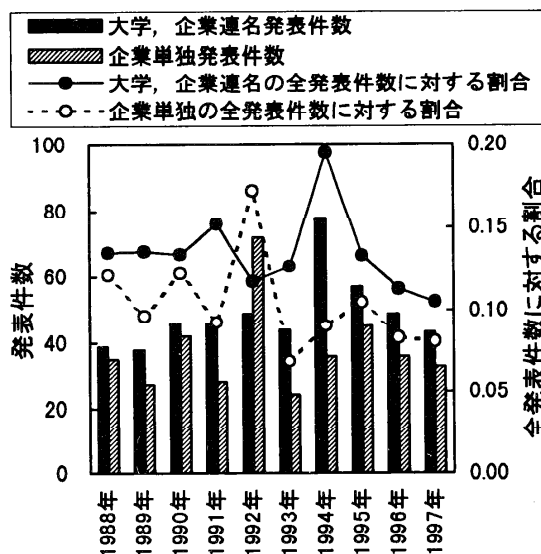


図2 日本伝熱シンポジウムにおける企業発表件数

本委員会の委員長は、諸般の事情により、坂本雄二郎氏（神戸製鋼）から鳥越邦和氏（ダイキン工業）へ、そして小生へと引継いで検討を重ねてきた。

ここに、検討の経緯と結果を報告する。

2. 検討の経緯

2.1 原案

本委員会発足時に当時の中山会長から次の方策が提示された（以後、中山案と称する）。

(1) FILGAP の最終の姿

企業のニーズを大学向けに咀嚼して、ある程度普遍性を備えたテーマとし、大学の研究に取り込んでもらうこと。

(2) 推進のための具体案

- ①研究分野の特定（たとえば「電子機器の冷却」など）
- ②関連する研究者（企業+大学）5名程度によるWGの設立
- ③企業より候補テーマの提案
- ④WGによるテーマの噛み砕き、およびテーマの具体化
- ⑤大学からの研究応募
- ⑥WGによる調整
- ⑦大学への研究依頼
- ⑧大学・企業の自由な交流形態による研究の推進
- ⑨成果の伝熱シンポジウムなどでの報告

本委員会では、後掲の9名の方々に委員をお願いして研究交流の必要性から議論し、この案も含めて幅広く大学と企業の交流の方策を探った。

2.2 アンケート調査

最初に、議論の開始にあたって、交流の現状を把握し、委員だけの意見に偏らずにある程度広く会員の意見を反映するために、研究交流の必要性、研究交流促進の方法と学会としてなすべきこと、過去の研究交流の具体例などについて、会員にアンケート調査することにした。しかし、通常の質問・回答用紙を配布して回収するアンケート方法では、○×式だと個々の意見がわからず、記述式ではなかなか書いてもらえずに、結局、満足のいく回答が期待できないことから、各委員が数名ずつに直接意見や経験を聴取して調査した。

その中で出てきた主な意見は以下の通りであった。

まず、大学と企業の研究交流の必要性については、100%何らかの形で必要との回答であった。中には、従来ありがちだった企業から研究費を出すだけのお

つきあいの関係なら意味がないといった意見や、設備と人が整った研究部門を有している大企業は現状以上の交流はさほど必要ないといった意見もあったが、交流自体を否定するものではなかった。交流の結果として期待されるのは、(1)企業の現実的な課題の中から研究テーマを発掘し、新しい学問分野を生み出せる、(2)企業のニーズや設備と大学のアカデミックな視点とで研究を効率的に進めることができ、結果の評価の誤りを防げる、(3)大学の最先端技術情報を企業での研究開発に反映できる、(4)大学にとっては財政的支援、企業にとっては取得が困難な系統的データをもとにした基礎的、理論的知見が得られる、などである。

次に、研究交流の方法や学会の役割については様々な意見が出された。前述の中山案のように学会が仲介役となって共同研究を推進するという意見もいくつか出された。一方、伝熱の分野は狭いので、限られた世界の中で産学協同の橋渡しをするより、他分野との学際領域の交流充実を図ることの方が重要だという意見、地球環境問題など産学官が共同で取り組むべき課題や、学際的、システム的研究で一企業の領域を超える幅広い研究開発に関して、学会が積極的役割を果たす必要があるといった、学会にかなりスケールの大きな活動を期待する意見もあった。そのほかに、企業サイドから特に多かったのは、大学の先生方と気軽に話せる場が欲しいという意見であった。講演会やシンポジウムといった堅苦しい会ではなく、気軽に参加できて相互に情報交換ができるサロンのような場が求められている。

過去の共同研究の経験に関しては、研究内容やスケジュールの点で企業の要求と大学の受け入れ条件との間に食い違いが生じることがあったことや、うまくいったのは相互に信頼関係がある場合であり、ベースになるのは人と人のつながりであることなどが回答された。

2.3 委員会での議論

以上のアンケート結果も踏まえて、本委員会で研究交流のあり方、進め方を議論した。

大学と企業との間で真に実りのある共同研究を進めるには、双方にメリットがあることが必要である。そのためには、適切なテーマの選定と明確な目標設定が前提となる。しかしながら、これらを事務的に取り決めてもうまくいかない。

過去の成功例を見ると、共同研究には大学と企業間

の相互の信頼関係がベースになっている。研究にリスクはつきもので、なかなか成果が出なかったり、途中で方針を変更することもある。成果の取り扱いについても、製品化の時期との関係から、発表を少し遅らせた方がいい事情が企業側に生じることもある。このような場合に、遠慮なくものが言え、リスクを共有できる懇意な関係が第一である。大学と企業の人の交流の中から懇意な関係を築き、自然発生的に共同研究へと展開するのが無理のないやり方である。

この観点に立つと、委員会に提示された中山案は企業のニーズと大学での研究とのギャップを埋める望ましい形態の一つではあるが、学会という第三者の仲介により大学と企業間で共同で研究を推進するのは、一般には相互に信頼関係がない状態が想定され、テーマと目標の設定、費用の拠出、スケジュール管理、成果の取り扱いに難しい局面が予想される。すなわち、競合している複数の企業間の思惑が絡んで互いの出方を窺うようなことになり、真に研究が必要なテーマはなかなか出せない状況が考えられる。成果は公表が原則であるが、いずれ公表されるのであれば、費用を出さずともその時期を待てばよいとの考えも企業側には出てくる。もちろん、成果だけでなく研究の過程で有形無形に得るものは大きいので、企業の担当者はそれを訴えても、費用拠出の決定権を持つ役職者の理解を得るのは必ずしも容易ではない。企業にとっては成果の必要時期はかなり明確に決定されるが、大学側にとってはあまりにも厳格にスケジュールを管理されるのはやりにくいし、性急に成果を求めても実りのある研究にはならない。気心の知れない者同士がスケジュールや成果の取り扱いを事務的に取り決めて研究を進めるのは、双方とも窮屈でうまくいかないであろう。やはり、懇意な者同士で言いたいことを言いながら、臨機応変に進めるのが共同研究を成功に導くポイントである。

このようなことから、中山案をいままぐ実行に移すのは困難との見方で委員の意見が一致した。現在、活発に交流がなされている大学、企業もあるが、それは一部に限られている。それらの大学と企業では中山案の形態をとらなくても共同で研究は進められる。問題は、いかに他の大学、企業に交流を広めるかである。そのためには、将来、中山案のような形態に無理なく発展させる基盤作りの意味も含めて、大学と企業間の情報交換をスムーズにして両者の接触の機会を増やし、相互理解を深めて、良好な関係を幅広く築いてい

くことがまず必要である。

ひとことに情報交換をスムーズにとっても、情報そのものが多種多様である。要は、知りたい情報が必要なときに容易に得られ、出したい情報をタイミングよく出せるようにすること、そして大学あるいは企業から他方へ接触するルートと機会を作ることであろう。

あくまでも目的は大学と企業間の研究のギャップを埋めることであり、単に情報交換を促進するだけでなく、もう少し突っ込んだ方策も必要である。

そのために学会としてどのような活動ができるか各委員から案を出し合って議論した。一足飛びに困難を伴う大施策よりも、できることから着実にを基本に、委員会としての提言を絞り込んだ。

3. 委員会からの提案

本委員会での検討の結果として、以下の5点を提案する。(1)はギャップを埋めるための直接的な方策、(2)～(5)は大学と企業の交流を促進させるための環境作りの方策である。

(1) 企業のニーズに対応した研究の方向性を議論する研究会の開催

現在、本学会にもいくつかの研究会があるが、そのほとんどは現象をテーマに研究の進展やその分野の技術の向上、さらには新分野への展開を主眼にしていて、企業のニーズに関する議論はあまり表面に出ていないようである。本提案の研究会は、視点を改めて、企業のニーズの拾い出しとニーズに対応した大学での研究の方向性についての議論に重点をおく。伝熱現象よりもむしろ具体的な機器、システム、あるいはそれらに関係する要素技術を対象とする方が、企業からの参加を募りやすいと思われる。会の進め方としては、特に決まったやり方があるわけではないが、たとえば企業からニーズや課題の話題提供を行い、大学から関連のシーズ研究を紹介して、それに対して企業側から応用面からの要求を出すというのも一つであろう。そこでの議論の中から研究テーマを整理し、企業のニーズとマッチする研究の方向づけを行って、適当なテーマについては自然発生的に大学と企業間の共同研究へと発展させるのが狙いである。気軽に参加でき本音の議論ができる気楽な雰囲気運営することが望ましい。企業の積極的参加を促すために、会の運営に企業側が主導的にかかわ

ることも必要である。

(2) 会員情報の充実

研究会への参加勧誘や講演会への発表依頼、論文の査読依頼などの際に、会員の研究技術分野を知りたいことがよくある。大学側の会員については、講演会やシンポジウムでの発表内容を日頃からウォッチしていれば研究分野を知ることはできるが、企業会員の場合は継続的に発表しているとは限らないので、研究分野はわかりにくいことが多い。これに対処する方法として、現在の会員名簿に掲載されている各会員の研究分野分類を充実させる。具体的には、学術的テーマの分類のほかに、機器、装置、プロセスなどの応用分野テーマ別分類を追記する。研究内容は変化するので、常に最新の情報が得られるようにインターネット利用も考える。

(3) 学会情報提供の迅速化

研究会の設置、開催などの情報は3ヶ月ごとの発行の学会誌ではタイミングを失することがある。インターネット利用により情報提供の迅速化を図る。

(4) 学会窓口（掲示板）の設置

次のような要求に対する学会窓口を設ける。窓口人員を配置するのは財政的理由により事実上できないので、インターネット上に会員が自由に書き込める掲示板を設ける。すでに研究内容や成果などをインターネットで流している大学もあるが、伝熱分野について学会で一本化すれば利用しやすいと考える。

- ・企業からの技術相談
- ・企業から大学への社員教育依頼
- ・大学の研究成果のPR
- ・博士課程学生の研究テーマ紹介

(5) 企業会員交流会の設置

企業と大学の交流もさることながら、企業間の人々の交流も共通の課題を認識し大学との共同研究へ展開する基盤である。しかしながら、一部を除き、他の企業との交流はほとんどないのが実状である。企業会員間の面識を広め、情報交換を活発にして互いに刺激し合うことを狙いに交流会を設置する。

参加しやすいように日帰り圏内で地区ごとに設置する。必要に応じ地区間の交流会も実施する。本学会の関西支部には「応用伝熱技術研究会」があるが、これは昨年3月まで「若手の会」と称して企業の若手研究者の集まりとして活動していたもので、メンバーが企業サイドだけであったことが幸いして、フランクな議論ができたと聞く。他企業に知り合いができた、他企業でも類似の悩みを抱えているのがわかって有意義だったと、メンバーの間には大変好評のようである。本提案の交流会のモデルになるであろう。

4. おわりに

以上の検討結果を理事会に報告し、提案のうちの(2)の会員情報の充実に関しては、本年発行予定の会員名簿に応用分野別テーマ分類を早速追加していただいた。分野分類をどこまで細分化するかといった問題および名簿作成のソフトやページ数の制約から十分満足できるものではないかも知れないが、一歩進んだと考える。(2)～(4)のインターネット化は、プライバシーやセキュリティの問題も絡むので慎重な対応が必要と思われる。今後、本学会のネットワークシステム化委員会で具体化の検討をお願いしたい。(1)の研究会と(5)の交流会は、企画部会を中心に具体化を計画していただくことになったが、提案の趣旨を御理解いただいた会員からの研究会設置の申し出と積極的な参加を期待したい。

本提案を足がかりに大学と産業界の関係が緊密化し、実りある研究交流へと発展することを願うものである。

[日本伝熱学会 FILGAP 委員会]

松尾篤二 (委員長・三菱重工)、稲葉英男 (岡山大学)、小山繁 (九州大学)、鈴木健二郎 (京都大学)、菱田公一 (慶應義塾大学)、石塚勝 (東芝)、小熊正人 (石川島播磨重工)、川添政宣 (ダイキン)、畑田敏夫 (日立)、山中晤郎 (三菱電機)

The Frontiers Forum 熱・流動におけるスケール効果 準備状況と開催のご案内

*The Frontiers Forum
The scale Effects in Heat Transfer and Fluid Flow
The First Announcement*

フロンティアフォーラム

企画代表者：芹澤昭示（京都大学）
企画協力者：西尾茂文（東京大学）、石塚 勝（株東芝）、
片岡 勲（大阪大学）

Organizer: Akimi SERIZAWA (Kyoto Univ.)
Co-organizers: Shigefumi NISHIO (Tokyo Univ.),
Masaru ISHIZUKA (Toshiba Co. Ltd) and
Isao KATAOKA (Osaka Univ.)

表記 The Frontiers Forum については第 35 回日本伝熱シンポジウムの際に準備セッションを開催しテーマについての説明並びに議論を行った。ここではその報告とともにテーマの概要、開催予定等について述べる。

2 年後の伝熱シンポジウムにて本テーマに関するフロンティアフォーラムを開催する予定であり、ご関心のある方々には研究を開始し、成果をご発表戴きますようお願い致します。

フロンティアフォーラム準備セッション

平成 10 年 5 月 27 日（水）午後 19 時 30 分より名古屋国際会議場 224 会議室にて約 40 分開催された。まず、フロンティアフォーラムのテーマの概要、背景となる研究会とその活動、フロンティアフォーラムの開催予定について報告があった。

次に現象に関するスケール効果についてとりまとめの報告があり、熱伝導、単相対流、二相流、沸騰伝熱、多孔質等の基礎現象に対して、無次元数の適用性、スケールが小さい場合の特異な現象と特異でない現象についての研究結果の報告紹介があり、多方面からの今後の研究と検討が必要であることが指摘された。

また、スケール効果の応用についてのとりまとめの報告があった。低レイノルズ数域での金網の抵抗係数、蛇行閉ループ式熱輸送デバイス、LSI チップ冷却用マイクロチャンネルの流動・伝熱特性、マイクロガスタービン、マイクロチャンネル熱交換器、マイクロヒートポンプ等への応用についての紹介があった。この中には蛇行閉ループ式熱輸送デバイスのように実際に応用されているものもある一方で、実際の応用に関して見通しの明確でないものもあり、スケール効果の応用に際しては、利点、欠点を十分に考慮して開発を進めていく必要があり、その意味からも、基礎現象のより一層の理解と、広い方面からの議論が必要であることが指摘された。また、これに関連して生体におけるスケール効果の応用例の重要性についても指摘があった。

テーマの概要

通常スケールにおける伝熱流動現象の多くは無次元相関式を用いて表現されているが、これら相関式の

無次元数に含まれる長さのスケールがどこまで小さくできるかは学問的にも、技術的にも興味深い問題である。しかし現状ではこうした通常スケールの無次元相関式のマイクロスケールへの適用限界についての知見は極めて乏しく代表スケールすら明確でない現象もある。近年、伝熱装置の高度化、高機能化に関連してマイクロチャンネルの伝熱や流動が注目されているが、その現象の解析、応用に際してこのスケール効果が極めて重要となってくる。

本テーマにおいてはマイクロチャンネル流動伝熱に関連した従来の様々な研究分野（マイクロヒートパイプ、極細管内の沸騰、多孔質の流動伝熱等々）における従来の研究結果についての知見を基に、マイクロチャンネルの熱・流動のスケール効果について議論を行い、現象のより高度な解明と予測手法の確立に必要な研究を展望する。

背景となっている研究会

日本機械学会「マイクロチャンネル内の流動と熱伝達」研究分科会

1997 年 6 月より日本機械学会の研究分科会（熱工学部門）として発足、3 年程度の研究期間を目的に、マイクロチャンネル内の流動伝熱現象についての幅広い分野における従来の基礎研究、応用研究、技術開発について調査し、現象の基本的特質を明らかにすると共に、その普遍的なモデル化や予測手法の確立、新たな応用分野の開拓等を目的としている。これまで 3 回の研究会を開き調査研究活動を行っている。

フロンティア・フォーラムの開催予定

時期：平成 12 年度第 37 回伝熱シンポジウムの折りに開催

形態：Frontier Forum B 本テーマに関して講演を事前に募集

「マイクロチャンネル内の流動と熱伝達」研究分科会での研究成果について報告フォーラムの詳細、講演募集の要項については、第 37 回伝熱シンポジウムの開催案内に併せて伝熱研究に掲載予定。

The Frontiers Forum
「分子伝熱のフロンティア研究」準備セッション報告

フロンティアフォーラム

The Frontiers Forum

Frontier Researches for Molecular Dynamics Heat Transfer

企画代表者：井上剛良（東京工業大学）、丸山茂夫（東京大学）、小原拓（東北大学）
Organizer: Takayoshi INOUE (Tokyo Institute of Technology), Shigeo MARUYAMA (Tokyo University) and Taku OHARA (Tohoku University)

工業技術の発展に伴い、分子レベルでの現象の理解が不可欠となる場合が熱流体分野で急増している。これに伴い、伝熱分野でのフロンティアとして、分子スケールの現象を取り扱う研究が急速に発展してきた。しかし、対象とする時空間スケールが極端に異なるなど、従来の伝熱研究と趣を異にする部分があるため、その応用は必ずしも容易ではない。

分子伝熱のフロンティア研究としては、現象の基本的なスケールを見極めるための方法論や分子動力学法などの手法をさらに発展させると共に、マクロスケール現象との有機的接続、量子効果が強い場合の取り扱い、実験的検証の必要性等の難問に取り組んで行かなければならない。

このような認識に基づき、分子伝熱関連の研究を行っているあるいは今後検討している研究者間での議論の場としてフォーラムを開催すべく、準備セッションを企画した。セッションでは、テーマを「界面」に絞って以下の話題提供を行い、研究の現状と今後必要な取り組みについて議論した。

- 1. 気液界面の分子伝熱現象とその解析
..... 鶴田隆治 (九工大)

- 2. メゾスケール界面現象を決定する分子伝熱現象
..... 中別府修 (東工大)
- 3. 機械量子分子工学における界面現象研究の現状と将来
..... 矢部 彰 (機械技研)
- 4. 界面の分子伝熱研究の展開 (まとめ)
..... 丸山茂夫 (東大)

フロンティアフォーラムの開催に向けて、今後このようなスタイルで議論を深める機会を設けてゆきたい。また、今回のテーマであった「界面における分子伝熱現象」について、具体的な研究成果の発表と討議を行うフォーラムを開催すべき、との意見もあった。この点についてはさらに検討の機会をもち、成案を得た段階で改めて広報を行いたい。

分子伝熱現象の研究は、一部で量子分子動力学への展開など先鋭化が進む一方で、様々な伝熱現象への応用を通じて広く発展することが望まれる。多数の研究者がこの分野に参加され、同時に他の伝熱分野との連携が進むことを期待したい。

行事カレンダー

本会主催・共催行事

開催日	行事名 (開催地、開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	掲載号
1998年					
9月	11(金) 中国四国伝熱セミナー・大洲 (愛媛、国立大洲青年の家)	'98.8.27		愛媛大学工学部機械工学科 村上幸一 Tel.: 089-927-9720, Fax.: 089-927-9744 E-mail: kmura@enl.ehime-u.ac.jp http://html4.me.ehime-u.ac.jp/seminar	Vol. 37 No. 146 参照
	25(金) ~26(土) 第9回東海伝熱セミナー「熱工学分野における 数値解析の活用と今後の発展」 (愛知、愛知青少年公園中央管理棟)	'98.9.10		愛知工業大学工学部機械工学科 中原崇文 Tel.: 0565-48-8121, Fax.: 0565-48-4555 E-mail: taka-h@me.aitech.ac.jp	Vol. 37 No. 146 参照
11月	7(土) ~8(日) 東北支部第37期秋季伝熱セミナー (山形、天童温泉パラシオもがみ)	'98.10.20		山形大学工学部機械システム工学科 阿部豊 Tel. & Fax.: 0238-26-3221 E-mail: yutaka@mabeken3.yz.yamagata-u.ac.jp	Vol. 37 No. 146 参照

その他の関連行事

開催日	行事名 (開催地、開催国)	申込締切	原稿締切	問合せ先	備考
1998年					
8月	23(日) ~28(金) 第11回国際伝熱会議 (大韓民国、慶州)	Abstract '97.6.2	'97.10.1	九州大学工学部 藤田恭伸	Vol. 36 No. 140 参照
	23(日) Microscale Thermophysical Engineering Workshop in Kyongju (大韓民国、慶州)	Abstract '97.6.2	'97.10.1	工業技術院機械技術研究所 矢部彰 Tel.: 0298-58-7076, Fax.: 0298-58-7091 E-mail: yabe@mel.go.jp	Vol. 37 No. 146 参照
9月	1(火) ~4(金) 8th International Symposium on Flow Visualization (イタリア、ソレント)	Abstract '97.12.22	'98.5.22	Prof. G. M. Carlomagno Facolta di Ingegneria - DETEC Tel.: +39-81-7682178, Fax.: +39-81-2390364 E-mail: carmagno@unina.it http://www.detc.unina.it/8isfv/	
	8(火) 流体科学シンポジウム (宮城、東北大学流体科学研究所大講義室)			東北大学流体科学研究所 小林秀昭 Tel.: 022-217-5272, Fax.: 022-217-5323 E-mail: kobayashi@ifs.tohoku.ac.jp http://www.ifs.tohoku.ac.jp/	Vol. 37 No. 146 参照
	24(木) ~25(金) 可視化情報学会全国講演会 ('98三重) (三重、三重大学講堂)	講演申込 '98.6.5	'98.7.10	三重大学工学部機械工学科 加藤征三、丸山直樹 Tel.: 059-231-9383, Fax.: 059-231-9383 E-mail: seizo@mach.mie-u.ac.jp http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/vsjmie	Vol. 37 No. 146 参照
11月	14(土) ~15(日) 1998年度熱工学講演会 (愛知、名古屋工業大学)	講演申込 '98.6.12	'98.8.14	名古屋工業大学大学院工学研究科 都市循環システム工学専攻 長野靖尚 Tel.: 052-735-5325, Fax.: 052-735-5359 E-mail: tedconf@heat.mech.nitech.ac.jp	Vol. 37 No. 145 参照
	18(水) ~20(金) 第36回燃焼シンポジウム (北海道、グリーンホテル札幌)	講演申込 '98.7.24	'98.9.11	第36回燃焼シンポジウム事務局 Tel.: 011-706-6385, 6784, 6386, Fax.: 011-706-7889 E-mail: combsymp@eng.hokudai.ac.jp	Vol. 37 No. 146 参照
12月	1(火) ~3(木) 第2回高温エネルギー変換システムおよび関 連技術に関する国際シンポジウム (愛知、名古屋大学シンポジオン)			RAN98事務局 Tel.: 052-789-3913, Fax.: 052-789-3910 E-mail: narai@mhlab.nuce.nagoya-u.ac.jp	Vol. 36 No. 142 参照
1999年					
3月	15(月) ~19(金) 第5回ASME-JSME熱工学合同会議 (米国、サンディエゴ)	Abstract '98.3.2	'98.6.15	東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 庄司正弘 Tel.: 03-3812-2111 Ext.6406, Fax.: 03-5800-6987 E-mail: shoji@photon.t.u-tokyo.ac.jp, a-j99@photon.t.u-tokyo.ac.jp (投稿用)	Vol. 36 No. 143 参照
5月	17(月) ~19(水) The 2nd Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-2) (米国、ホノルル)	Abstract '98.8.1	'98.11.10	東京農工大学工学部機械システム工学科 望月貞成 Tel./Fax.: 0423-88-7088 E-mail: psfvip-2@mmlab.mech.tuat.ac.jp http://www.cc.tuat.ac.jp/~psfvip-2	Vol. 37 No. 145 参照
	23(日) ~25(火) 2nd International Symposium on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation (イタリア、ピサ)	Abstract '98.5.15	Mat '99.2.18	Dr. Paolo Di Marco Energy Department, University of Pisa http://docenti.ing.unipi.it/~d6600/pisa99/	Vol. 37 No. 144 参照
7月	18(日) ~23(金) Engineering Foundation Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries (カナダ、バンフ)	Abstract '98.9.18	Mat '99.2.22	九州大学機能物質科学研究所 本田博司 Tel.: 092-583-7787, Fax.: 092-583-7882 E-mail: hhonda@cm.kyushu-u.ac.jp http://www.engfnd.org/	Vol. 37 No. 146 参照

社団法人日本伝熱学会第36期（平成9年度）総会議事録

1. 日 時 平成10年 5月28日（木） 15時20分～16時30分
2. 場 所 名古屋市熱田区熱田西町1-1、名古屋国際会議場
3. 正会員数 1、195名
4. 出席者 507名（うち委任状出席348名）。これは定足数（正会員数の十分の一）を上回り、総会は成立した。

5. 議事経過

議長に長島 昭氏を選出し、次の議案について逐次審議した。

第1号議案 第36期事業報告の件

議長より、社団法人日本伝熱学会第36期（平成9年度）総議案（以下、総議案と呼ぶ）の第1号議案第36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36期会務報告の件

議長より、総議案の第2号議案第36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9年度収支決算の件

議長より、総議案の第3号議案平成9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10年度事業計画および収支予算案の件

議長より、総議案の第4号議案平成10年度事業計画および収支予算案について諮り、満場一致でこれを可決した。

第5号議案 日本伝熱学会賞の授賞の件

議長より、総議案の第5号議案日本伝熱学会学術賞・技術賞・奨励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は、次のとおりに授賞された。

- | | |
|-----------|----------------------------------|
| 日本伝熱学会学術賞 | ・代表研究者 円山 重直氏（東北大学） |
| | 共同研究者 相原 利雄氏（東北大学名誉教授） |
| 日本伝熱学会技術賞 | ・代表研究者 渡邊 激雄氏（中部電力） |
| | 共同研究者 松井 皓氏（神鋼テクノ）・岩本 剛氏（トーエネック） |
| | 松田 則典氏（エナジーサポート） |
| 日本伝熱学会奨励賞 | ・白樫 了氏（東京大学） |
| | ・麓 耕二氏（釧路工業高等専門学校） |
| | ・小川 邦康氏（東京工業大学） |
| | ・芝原 正彦氏（大阪大学） |

第6号議案 名誉会員の顕彰の件

議長より、総議案の第6号議案に基づいて名誉会員の推薦があり、満場一致でこれを可決し、顕彰が行われた。

第7号議案 第37期役員選出の件

議長より、総議案の第7号議案第37期役員選出に基づいて以下のとおりに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条により退任する役員

理事（会長） 長島 昭
理事（副会長） 塩冶 震太郎

理事（副会長） 藤田 恭伸
理事（副会長） 飯田 嘉宏

理事	早坂 洋史	理事	太田 照和
理事	山田 幸生	理事	中島 健
理事	森岡 斎	理事	藤田 秀臣
理事	五十嵐 喜良	理事	松尾 篤二
監事	鳥居 薫		

第37期選任役員

理事（会長）	黒崎 晏夫	理事（副会長）	荒木 信幸
理事（副会長）	柘植 綾夫	理事（副会長）	飯田 嘉宏
理事	黒田 明慈	理事	円山 重直
理事	岡崎 健	理事	平田 雄志
理事	水上 紘一	理事	菱沼 孝夫
理事	渡邊 激雄	理事	菱田 公一
監事	望月 貞成		

第8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当たり、議事録署名人2名を選任いただきたい旨を諮り、協議の結果、藤田 恭伸氏、飯田 嘉宏氏の2名を選任した。

日本伝熱学会東北支部企画

日本伝熱学会東北支部第37期秋期伝熱セミナーのご案内

日本伝熱学会東北支部では、標記セミナーを下記の要領にて開催いたします。奮って御参加下さいますよう、ご案内申し上げます。

日時： 平成10年11月7日(土)～8日(日)、一泊二日

場所： 山形県天童温泉パラシオもがみ

〒994 山形県天童市鎌田二丁目1-19

TEL:0236-54-0906, FAX:0236-54-0797

参加費： 会員および非会員:11,000円、学生:8,000円

(宿泊費、懇親会費、予稿集代を含みます。参加費は当日受付にて集めます。)

日程および講演内容：

11月7日(土)

12:00-13:00 受付

13:00-13:10 開会挨拶

13:10-13:50 「東北地方における温泉の熱利用」 (株)ユアテック 田宮 良一

13:50-14:30 「市場における冷熱利用について」 (株)山形酸素 三沢 弘司

14:40-15:20 「土の伝熱機構-熱伝導率の温度依存性を中心に-」 山形大学 粕淵 辰昭

15:20-16:00 「熱と流れの粒子シミュレーション」 日本原子力研究所 渡辺 正

16:10-16:50 「強力超音波を用いた微小重力環境下での
気泡制御実験」 山形大学 阿部 豊

18:00-20:00 懇親会

申込期限： 平成10年10月20日(火)

申込先： 「東北伝熱セミナー」と標記の上、氏名(ふりがな)、所属、役職等、連絡先住所、電話番号、ファックス番号、E-mailアドレスをご記入の上、下記までお申込下さい。E-mailによるお申込も受け付けます。

〒992-8510

山形県米沢市城南4-3-16

山形大学工学部機械システム工学科

阿部 豊

TEL & FAX: 0238-26-3221

E-mail: yutaka@mabeken3.yz.yamagata-u.ac.jp

日本伝熱学会東海支部企画

第9回東海伝熱セミナー

「熱工学分野における数値解析の活用と今後の発展」

数値解析を抜きにしては進められない企業活動、一方益々発展する数値解析技術とその将来。これらについて専門の立場から現状の説明と将来の展望を披露するセミナーを開催いたします。ふるってご参加下さいますようお願い申し上げます。

開催日時：平成10年9月25日（金）12:00から26日（土）13:00まで（昼食後解散）1泊2日

開催場所：愛知青少年公園 中央管理棟 第1会議室 Tel.0561-62-2111 Fax.0561-63-5353

〒480-1101 愛知県愛知郡長久手町大字熊張 <http://www.pref.aichi.jp/youthpark/>

地下鉄東山線「藤が丘」駅から名鉄バスで18分「青少年公園」下車

東名高速道路名古屋インターから瀬戸、豊田、足助方面へ約6 km

参加費用：一般10000円、学生6000円（宿泊、25日夕食、26日朝昼食、懇親会費と資料代を含む）

定員：50名（申し込み先着順に受け付け満員になり次第締め切ります。参加資格は不問）

申し込み：「東海伝熱セミナー参加申込み」と明記の上、申込者氏名（ふりがな）、所属、役職、連絡先住所、Tel、Fax、E-mail アドレスを下記へ郵送、FaxまたはE-mailでお知らせ下さい。

参加費は当日受付にて集めます。参加申し込み後の取り消しはご遠慮下さい。

〒470-0392 豊田市八草町八千草1247 愛知工業大学工学部機械工学科 中原崇文

Tel:0565-48-8121 Fax:0565-48-4555 E-mail:taka-h@me.aitech.ac.jp

申し込み締め切り：平成10年9月10日（木）

日 程：

9月25日（金） 中央管理棟第1会議室

12:00-13:00 参加受付（昼食を済ませてお越し下さい。中央管理棟の食堂を利用できます。）

13:00-13:10 開会挨拶

小テーマ：数値解析をこのように活用しています……………企業側からの提供

13:10-14:00 トヨタ自動車株式会社 F P 部 杉浦繁貴氏 「自動車分野での活用」

14:00-14:50 株式会社東芝 機械システム研究所 石塚 勝氏 「電子機器分野での活用」

14:50-15:10 休憩

15:10-16:00 高砂熱学工業株式会社 総合研究所 孔 鉄男氏 「空調設備分野での活用」

16:00-16:50 三菱重工株式会社 高砂研究所 武石賢一郎氏 「原動機分野での活用」

17:00-17:50 数値解析の活用に関する話題提供者を囲む総合討論

18:00-21:00 夕食 宿泊棟2階 食堂 この間に適宜入浴して下さい。宿泊棟1階。

懇談会 宿泊棟2階 第1および第2研修室 先生方との懇談の場です。

9月26日（土） 中央管理棟第1会議室

小テーマ：数値解析の現状と今後の発展……………大学側からの提供

9:00-9:50 名古屋大学工学部航空工学科 中村佳郎教授 「航空宇宙分野」

9:50-10:40 名古屋工業大学機械工学科 長野靖尚教授 「熱流動分野」

10:40-11:30 静岡大学工学部機械工学科 中山 顕教授 「伝熱分野」

11:30-12:20 数値解析の今後についての総合討論

12:20-12:30 閉会挨拶

12:30-13:00 昼食（中央管理棟 食堂） あと解散

共催行事：9月26日（土）午後にはテニスコートを2面予約しています。希望者は申し込み時に「テニス希望」とご記入下さい。愛知工業大学 櫛田玄一郎 がお世話いたします。

お願い：今回の場所は青少年研修の為の設備です。シーツの片付けなどセルフサービスに協力して下さい。また、身につける寝間着やタオル、洗面道具などは各自ご用意下さい。

日本伝熱学会中国四国支部企画

「中国四国伝熱セミナー・大洲」のご案内

日本伝熱学会中国四国研究グループでは、かつてマスコミを賑わした「超電導」の現状と未来をテーマに、伝熱セミナーを下記要領で開催致します。多数参加下さいませよう、ご案内申し上げます。

記

日時： 平成10年9月11日（金）午後2時～12日（土）午前11時30分
場所： 国立大洲青年の家（〒795-0001 愛媛県大洲市北只1086）
参加費： 一般10,000円、学生6,000円（配布資料代、宿泊代、交流会費を含む。会場にて集金）
テーマ： 「超電導の現状と展望－開発の最前線では－」

プログラム：

9月11日（金）

14:00 開会挨拶

14:05 - 14:45 超電導とは

愛媛大学工学部 村上幸一

14:50 - 15:50 超電導の応用（概論）

四国総合研究所 松永晃治

16:00 - 17:00 超電導フライホイールによる電力貯蔵

四国総合研究所 石川文彦

17:10 - 18:10 4K-GM小型冷凍機の開発

三菱電機 稲口 隆

9月12日（土）

9:00 - 10:20 高温超電導線とその応用開発

住友電気工業 日方 威

10:30 - 11:30 大型ヘリカル装置用超伝導ポロイダル
コイルの開発

核融合科学研究所 高畑一也

参加申し込み・問い合わせ先： 申し込み者氏名、所属、資格（一般、学生）、連絡先（住所、電話、FAX、E-mail）をご記入の上、下記まで郵送、FAXまたはE-mailでお知らせ下さい。

〒790-8577 松山市文京町3 愛媛大学工学部機械工学科 村上幸一（TEL:089-927-9720, FAX:089-927-9744, E-mail:kmura@enl.ehime-u.ac.jp）、インターネットホームページ：<http://hmt14.me.ehime-u.ac.jp/seminar>

申し込み締め切り：8月27日（木）

流体科学シンポジウム「スーパーコンピューティングと計算流体科学」

主催： 東北大学流体科学研究所

共催： 日本機械学会東北支部、ほか

日時： 1998年9月8日（火）9:50～18:00

場所： 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 東北大学流体科学研究所 大講義室

講演： 1. 「渦・衝撃波と音 -直接ナビエ・ストークス・シミュレーション-」
東北大学流体科学研究所 井上 督

2. 「計算科学研究の最近の動向」

東京大学大学院工学系研究科 矢川 元基

一般講演： プログラム詳細は、ホームページ <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/> に掲載

懇親会： 講演会終了後に開催

参加費： 講演会 無料

問い合わせ先： 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 東北大学流体科学研究所 小林 秀昭
Tel: 022-217-5272 FAX: 022-217-5323 E-mail: kobayashi@ifs.tohoku.ac.jp

第36回燃焼シンポジウム論文募集

主 催： 日本燃焼学会
開催日： 平成10年11月18日（水）～20日（金）
会 場： グリーンホテル札幌
〒005-0804 札幌市南区川沿4条2丁目
TEL: 011-571-3111 FAX: 011-572-1775

講演申込締切： 平成10年7月24日（金）（必着）

前刷原稿提出締切： 平成10年9月11日（金）（必着）

講演申込方法：

日本燃焼学会会員は「燃焼研究」4月号をご覧ください。また、<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/csj2/nsymp36/>において上記会告を経由してのOnline登録が可能です。ホームページの閲覧が困難な場合は、下記シンポジウム事務局へE-mail, FAXもしくは文書にて講演申込書をご請求下さい。折り返し申込書をご送付致します。

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学工学研究科機械工学専攻内
第36回燃焼シンポジウム事務局
TEL: 011-706-6385 (伊藤), 6784 (早坂), 6386 (藤田)
FAX: 011-706-7889
E-mail: combsymp@eng.hokudai.ac.jp

ポスターセッションについて

研究討論の活性化を図るために、ポスターセッションを企画しました。全講演の約1/3の80件程度を予定しております。優秀なポスター展示には賞を用意しておりますので、奮って御参加下さい。

《 NO.98-33 講習会 熱工学的設計の最適化—その原理と電子機器冷却設計への応用》

主 催： (社)日本機械学会 熱工学部門
協 賛： (社)日本機械学会, 日本燃焼学会, (社)可視化情報学会, (社)計測自動制御学会
協 力： 東京農工大学工学部機械システム工学科
日 時： 1998年8月20日（木）9:30-17:00
会 場： 東京農工大学工学部11号館5階多目的会議室（東京都小金井市中町4-23-6,
JR中央線東小金井駅下車南口より徒歩7分, 電話0423-88-7088）

プログラム：

9:30 - 12:30 司会 石塚 勝（東芝）

講師 Prof. Avram Bar-Cohen (University of Minnesota)

題目 Design and Optimization of Low-Cost, Air-Cooled Heat Sinks - Thermal, Thermostructural and Manufacturing Consideration.

12:30 - 14:00 昼休み

14:00 - 17:00 司会 望月 貞成（東農工大）

講師 Prof. Adrian Bejan (Duke University)

題目 Thermodynamic Optimization: From Design in Engineering to Predicting Shape and Structure in Nature.

定 員： 100名

聴講料：会員（協賛学会を含む） 20,000円（学生員 5,000円）

会員外 30,000円（一般学生 7,000円）

申込問い合わせ先： (社)日本機械学会 事業課 熱工学部門担当 川崎さおり

〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦館

TEL: 03-5360-3506 FAX: 03-5360-3508 E-mail: kawasaki@jsme.or.jp

可視化情報学会 全国講演会（'98 三重）のお知らせ

開 催 日：平成10年9月24日（木）～9月25日（金）
 会 場：三翠ホール（三重大学講堂） 三重県津市上浜町 1515 TEL: 059-232-1211(代)
 講演申込み締切：平成10年6月5日（金）
 原稿締切：平成10年7月10日（金）
 予約参加申込み締切：平成10年7月31日（金）
 連絡先：三重大学工学部機械工学科 〒514-8507 三重県津市上浜町 1515
 加藤 征三 Tel: 059-231-9383 Fax: 059-231-9383 E-mail: seizo@mach.mie-u.ac.jp
 丸山 直樹 Tel: 059-231-9386 Fax: 059-231-9663 E-mail: naoki@mach.mie-u.ac.jp
 ホームページ：http://www.es.mach.mie-u.ac.jp/vsjmie/
 参加費：可視化情報学会，協賛学会会員および論文投稿者 予約 5,000円 当日 6,000円
 学生 予約 1,000円 当日 1,000円， 非会員 予約 6,000円 当日 6,000円
 特別講演：妹尾 允史 教授（三重大学・前副学長，マリオニクス研究会主査）
 演題：光のこころ・電子のこころ
 見学会：NHK津製作所および技術研究所
 スケジュール

		午 前		午 後		夕 刻
9/24 (木)	ロビー	受付			特別講演	ポスター発表&質疑 懇親会
	A 室		一般発表	一般発表		
	B 室		一般発表	一般発表		
9/25 (金)	A 室		一般発表	一般発表		
	B 室		一般発表	一般発表		
	その他				見学会	

分子伝熱懇話会（富山）
 クラスタ・核・薄膜・界面にかかわる分子熱流体现象

半導体デバイス，機能性材料などのナノテクノロジーの急速な進展にともない，原子・分子レベルの理解が熱流体分野において重要になってきています。このようなレベルの理解のために，分子動力学などの手法を用いた研究発表が急増しています。これらの手法で取り扱われる時・空間の大きさは極めて小さいため，工業的に制御できる物理量の時・空間の大きさと比べて大きな相違があり，また実験による検証も必ずしも容易ではありません。公式な場で発表される研究は，発表時間の制限から，成果を中心としたものになり，時・空間の大きさや実験という観点から，十分に議論が尽くされたとは言い難いところがあると思われま

この研究会は，クラスタ・核・薄膜・界面を取り上げて，上に述べたところを補うために計画されたものです。また，成果とともに，公式な場では省略されがちな計算技術，考察の不十分なデータ，意味不明な結果などを持ち寄り討論することは，分子動力学などの手法の着実な発展のためには不可欠と考えられます。この分野に関心のある方々が集まり，大学の研究室のように制約の少ない議論の場になるように，下記のように行いたいと考えています。多数のご参加をお待ちしております。

記

日 時：平成10年10月6日（火）13:30～7日（水）15:00
 会 場：富山県厚生年金休暇センター 930-14 富山県上新川群大山町粟巣野
 Tel: 0764 81 1126 Fax: 0764-81-1255
 JR富山駅（12:30）から富山空港を経由して会場まで無料送迎バス
 発表：1人120分以内
 会費：1泊2食，税金，サービス付きで15,000円
 申込：9月3日（木）まで世話人にご連絡下さい。発表を希望される方は題目とおおよその発表時間をあわせてお知らせ下さい。
 世話人：富山大学工学部 岩城敏博 Tel&Fax: 0764-45-6796
 E-mail: iwaki@eng.toyama-u.ac.jp

MICROSCALE THERMOPHYSICAL ENGINEERING WORKSHOP IN KYONGJU

Date: August 23 (Sun.), 1998, 8:30 a.m. - 5:00 p.m.

Location: Kyongju, Kyongju Hilton Hotel, Korea

Workshop Organizers:

Mansoo Choi (Associate Professor, Seoul National University, Korea)

Arun Majumdar (Associate Professor, University of California, Berkeley, U.S.A.)

Chang-Lin Tien (Professor, University of California, Berkeley, U.S.A.)

Akira Yabe (Division Head, Mechanical Engineering Laboratory, AIST, MITI, JAPAN)

PURPOSE OF THE WORKSHOP

"Microscale Thermophysical Engineering" field has become one of the most promising emerging topics of heat transfer. The study of microscale phenomena and devices is an unmistakable trend towards miniaturization in engineering. As part of this trend microscale thermophysical engineering has the potential for breakthroughs and major contributions in several areas such as energy, environment, electronics, optoelectronics, and micromachines. In view of the current interest and promising prospects of this field, several workshops, meetings and seminars are held every year in many countries.

This "Microscale Thermophysical Engineering Workshop in Kyongju" is being organized to provide the chance for international exchange of the latest results and the cross-disciplinary discussion for the microscale heat transfer researchers who will gather to 11th International Heat Transfer Conference in Kyongju, Korea.

The workshop covers the following topics:

- # Thermophysical phenomena in nanostructure, microstructure, mesoscopic structure, thin film and interfaces
- # Short time scale thermophysical phenomena
- # Molecular dynamics and quantum molecular dynamic simulations
- # Microscale experimental techniques
- # Thermophysical phenomena in microsensors and microdevices:
 - fluidic, thermomechanical, electromechanical, optomechanical, thermoelectric, optoelectronic
- # Microscale thermophysical phenomena relating to chemical reactions, plasma, electric fields and magnetic fields

CALL FOR SPEAKERS AND PARTICIPANTS

You are invited to participate in this workshop as either of the following types of participants: (1) Speaker, or (2) Non-presenting Participant.

If you wish to make a presentation, please submit an extended abstract of 500 words with references and figures by August 7 (Friday), 1998. Please try to meet the deadline since there are only a limited number of presentation spots (max. 25). The abstract should not contain more than 10 references or 2 figures.

All speakers will have about 16 minutes for presentation including discussion. After each session there will be about 7 minutes for discussion of the major issues relevant to the session.

Acceptance of presentation and the workshop schedule will be informed by August 12 (Wed.), 1998.

The submitted abstracts as well as the list of participants will be available during workshop registration.

Furthermore, all speakers are encouraged to bring their written paper for review and possible publication in the *Journal of Microscale Thermophysical Engineering* (Taylor & Francis). Instructions on how to prepare the manuscript can be found in <http://www.tandf.co.uk/JNLS/MTE.HTM>.

In case you do not intend to make a presentation, you can still attend the workshop as a non-presenting participant and will be encouraged to activate the discussion.

To facilitate the participation, the workshop is being held on August 23 (Sunday) 1998, just before the 11th International Heat Transfer Conference in Kyongju, Korea (August 23-28). The workshop will end at 5:00 pm and the IHTC reception will start at 6:30 p.m. on the same day in the same hotel.

However, since there are limited number of seats in the meeting room and at the lunch banquet, pre-registration is strongly encouraged and consideration will be given on a first come first served basis.

REGISTRATION

A registration fee of 50,000won (about \$38) [1 U.S. dollar was 1332 won as of July 2] will be charged to all attendees including graduate students, which will cover workshop extended abstracts, a buffet style lunch banquet and refreshments. Only cash is acceptable.

Please fill out the enclosed form and return it to the given address by August 7 (Friday), 1998.

As for the hotel and travel information, please refer to the homepage: <http://ihtc.snu.ac.kr>.

REGISTRATION FORM

"Microscale Thermophysical Engineering Workshop in Kyongju"

Date: August 23 (Sun.), 1998, 8:30 a.m.-5:00 p.m.

Kyongju Hilton Hotel, Korea

Name: _____
Title: _____
Affiliation: _____
Address: _____
Country: _____
Phone: _____
Fax: _____
E-mail: _____

(1) Speaker

Title: _____

(2) Non-presenting Participant

Please complete this form and mail/fax/e-mail to the following address by August 7 (Friday), 1998.

If you want to make a presentation, please submit your 500 words abstract with references and figures by mail before August 7, 1998.

Please pay by cash at the workshop site.

Dr. Akira YABE
Nanotechnology Division, Department of Advanced Machinery,
Mechanical Engineering Laboratory, AIST,
Ministry of International Trade and Industry,
1- 2, Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305-8564, JAPAN
Tel: 81-298-58-7076, Fax: 81-298-58-7091, E-mail: yabe@mel.go.jp

Pre-Registration Due: August 7 (Friday), 1998
500 Words Abstract with References and Figures Due: August 7 (Friday), 1998
Authors Notified of Acceptance and the Schedule Announcement: August 12 (Wednesday), 1998

If you have any question, please contact the above address.

Engineering Foundation Conference on Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries

July 18-23, 1999 *Banff Centre for Conferences, Banff, Canada*

The drive to minimize capital investment and improve the energy efficiency of process industry plants has led to a reassessment of the desirability and practicality of incorporating compact heat exchangers (CHEs) and heat transfer enhancement technology into process plants. The first International Conference on Compact Heat Exchangers for the Process Industries was held during June 22-27, 1997 in Snowbird, Utah. The conference was attended by 79 participants from 13 countries. With the high success of the first Conference, this second Conference is organized with an extended scope that includes enhancement technology. The organizers of this Conference intends to bring together a select group of users, manufacturers, designers, contractors, consultants and researchers to share their knowledge, experience, and ideas to support the theme of the Conference.

DEADLINES

September 18, 1998	Three copies of abstracts due
November 2, 1998	Full manuscript due
January 29, 1999	Notification of the manuscript acceptance
February 22, 1999	Author-prepared mats due

Organizing Committee Members (Japan): Mr. H. Aoki (Toyota Central R&D Labs., Inc.), Prof. H. Honda (Kyushu Univ.), Dr. M. Ishizuka (Toshiba Corporation), Mr. K. Kasano (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), Dr. K. Torikoshi (Daikin Industries, Ltd.), Dr. A. Yabe (Mechanical Engineering Laboratory).

詳細は <http://www.engfnd.org> をご覧になるか、下記宛お問い合わせ下さい。
〒816-8580 春日市春日公園6-1 九州大学機能物質科学研究所 本田博司
Tel: 092-583-7787, Fax: 092-583-7882, E-mail: hhonda@cm.kyushu-u.ac.jp

「研究会」の設置申請募集のご案内

日本伝熱研究会で設置が認められております「研究会」は、伝熱のアナリシ的またシンセシ的基盤を充実させる上で、会員諸氏にご利用いただける制度です。伝熱研究に関する到達点の総括や今後の展望あるいは技術的展開などに関する調査・論争の場として、本制度を一層ご活用下さいますようご案内申し上げます。なお、各研究会の設置期間は2年（但し1年毎の延長可）であり、本会より若干の運営費を交付いたします。

「研究会」設置申請方法

A4用紙に「研究会設置申請書」と題記し、①研究会名称、②主査、幹事、委員の名前、所属、役職（但し、幹事、委員は本会会員であることを要しない）、③主査および幹事の連絡先、④研究会の目的・意義（400字程度）、⑤設置時期、設置期間を記し、下記までお送り下さい。特に締め切り期限はありませんが、設置には企画部会の認可および理事会の承認が必要ですので、平成11年度に設置を希望される場合は平成10年10月中旬を目処として下さい。

問合せ・申込先

〒106-8558 東京都港区六本木七丁目2-1
東京大学 生産技術研究所 第二部 西尾茂文
TEL/FAX 03-5411-0694（直通）

平成10年5月28日

日本伝熱学会学会賞制度の改訂について

社団法人日本伝熱学会 第36期会長 長島 昭

〔経緯〕

社団法人日本伝熱学会では日本伝熱学会賞として第27期より学術賞と技術賞を、また第33期より奨励賞を個人または法人の寄付により運営してきたが、学術賞と技術賞の寄付の元本が消滅または減少する事態となった。学会賞に関する従来の内規によれば、「7. 設置された学会賞は元本の消滅をもって廃止する」とあるので、第36期においては内規通りに廃止を前提として学会賞そのものの在り方を含めた諸問題について、学会賞検討ワーキンググループを設置すると共に理事会で慎重に検討を行うこととした。

一方、社団法人日本伝熱学会定款では「第2章目的及び事業」の中で「研究の奨励及び研究業績の表彰」を事業として行うこととしているため、表彰事業そのものが一時中断されることは、学会としてあってはならないことである。そこで、これまで運営された学術賞および技術賞の各精神と一般的名称のみを継続させることを確認すると共に、これまで個人あるいは法人からの寄付により運営されたこれらの賞を別の形で発展させるための方策を検討し、学会賞ワーキンググループの検討結果を基に理事会で十分に議論を尽くし、以下の趣旨に基づいて制度および内規を改訂した。

〔学会賞制度改訂の趣旨〕

学会賞が個人または法人からの寄付で創設されて、これまで多くの優れた受賞者を輩出した事実は高く評価され、寄付者各位には学会として深く謝意を表するものである。同時に、学会賞は各会員の学会に対する貢献と、各会員の学会賞に対する意識とで成り立つものであるから、社団法人となった現在はこの趣旨を尊重すべきものと思われる。そこで、個人または法人からの寄与で運営された従来の方式と相違して、新たに不特定の会員から寄付を募り、あるいは学会の事業費を充てることなどにより学会賞を運営して、個々の会員が自分達の賞であるとの意識を持てることが重要であると考えられる。今後はそのような各会員の貢献と意識により、さらに永続的で各方面からも認められる賞として存続するものと理解される。その方策として、学会賞を運営するために新たに学会賞基金を設け、不特定の会員有志からの寄付および学会活動に基づく収益の一部等を学会賞基金の源資とし、また、学会事業費をもって補助しながら、新たな永続的な学会賞としてこれまでの学術賞および技術賞を発展させることとする。さらに、これまでのように特定の個人あるいは法人からのまとまった寄付により、ある特定の対象に対して学会賞を設けて運営する制度も並行して設置可能とする。現時点で元本の残る奨励賞はこの場合の例で、寄付者名を冠した賞として存続させる。

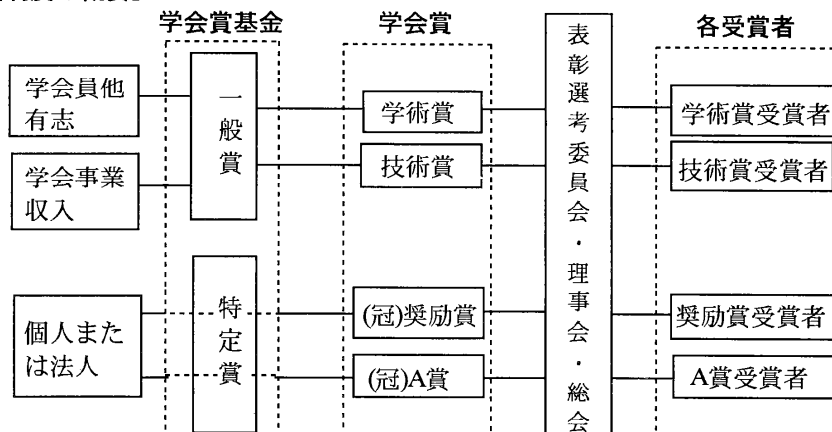
また、学会賞に関わる経費について再検討し、経費の多少にかかわらず学会内外から評価される学会賞とするよう努力する。

以上の趣旨にのっとり、学会賞の制度および内規を改訂した。

(参考：学会賞検討ワーキンググループ、(主査)長島 昭 (委員)飯田嘉宏、藤田恭伸、塩冶震太郎、西尾茂文、山田幸生)

以下に、新学会賞制度の概要図を示す。

[新しい学会賞制度の概要]



(注) 奨励賞については経過措置として特定賞とするが、基金が消滅した時点で一般賞に移行するかどうかを検討する。

(社) 日本伝熱学会
会員有志 各位

学会賞基金への寄付のお願い

(社) 日本伝熱学会総務部会

上記の「日本伝熱学会学会賞制度の改訂について」でご説明致しました通り、(社)日本伝熱学会の学会賞はこれまでの学術賞、技術賞の精神と一般的名称を引き継ぐと共に、不特定の学会員他有志による寄付に基づいて主として運営する新たな学会賞の制度を発足させました。つきましては、学会員有志におかれましては、趣旨にご賛同いただき、学会賞基金(上記概要図では一般賞に充当する)へのご寄付をお願いする次第です。

本基金への寄付の窓口は、永続的な学会賞運営を目標としておりますので、今後常に開いていることを付け加えます。趣旨にご賛同いただいた節に随時お申し込み下されば幸いです。

ご寄付の方法につきましては、以下の2通りのいずれでも結構です。なお、当学会への寄付につきましては当学会が公益法人の指定を受けておりませんので税金控除の対象にはなりません。

1. 申込書にご記入の上、学会事務局へお送り頂ければ、郵便振替用紙をお送り致しますのでそれによりご送金下さい。
2. 下記の郵便振替口座に直接お振り込み下さい。

=====切====り====取====り====線==== (または コピー) =====

学会賞基金への寄付申込書

下記により、学会賞基金への寄付を申し込みます。

ご氏名(ご所属)	
ご連絡先	
ご寄付金額	
事務局記入欄	

[申込書送付先] 〒113-0034 東京都文京区湯島2-16-16 (社) 日本伝熱学会事務局
(Tel/FAX: 03-5689-3401, e-mail: htsj@asahi-nct.email.ne.jp)

[郵便振替口座] (口座名称) 社団法人 日本伝熱学会学会賞基金
(口座番号) 00180-1-43169

「学会賞基金」へのご寄付に対するお礼とご報告

本年5月28日日本伝熱シンポジウム時の総会においてご報告いたしましたように、新たな学会賞の制度が始まりました。新制度では、特定の個人からのご寄付が当面存続している奨励賞以外の学術賞と技術賞（一般賞）の経費を、多くの会員で支えていこうとするものであります。

そこで新たに設けた学会賞基金に対して、不特定の会員有志各位にご寄付をお願いしておりましたが、短期間に拘わらず6月24日現在で、下記の方々よりご醸金の送付または寄付のお申し込みをいただいております。「日本伝熱学会賞に関する内規」（平成10年4月18日改訂）の3.に基づき、お礼かたがたご報告する次第です。

飯田嘉宏、	塩冶震太郎、	奥山邦人、	河村 洋、	熊田雅弥、
辻 俊博、	長島 昭、	西尾茂文、	平田雄志、	藤田恭伸、
牧野俊郎、	円山重直、	水上紘一、	森 康夫、	森岡 斎、
矢部 彰、	山田辛生			

（敬称略）

おかげを持ちまして、現時点にて学会賞（一般賞）基金総額 565,000円（申込分含む）となっていることを、併せてご報告いたします。

東洋大学工学部機械工学科教員公募要領

1. 公募人数 教授1名
2. 所属 機械工学科
3. 専門分野 機械工学および関連分野。特に分野を特定しませんが、エネルギー、制御、設計および生産の分野が望ましい。
4. 応募条件
 - (1) 博士の学位を有し、教育・研究に熱意がある方。
 - (2) 学科運営に積極的に参加する方。
 - (3) 学部および大学院博士後期課程の教育および研究指導を担当できる方。
5. 着任時期 平成11年4月1日
6. 提出書類
 - (1) 履歴書（写真張付、学歴、職歴、教育・研究歴、賞罰、その他特記事項）
 - (2) 研究業績リスト
 - (3) 最近5年間の論文の別刷り（コピー可）各1部
 - (4) これからの教育と研究に対する抱負（1000字程度）
 - (5) 健康診断書
7. 応募締切 平成10年8月31日（月）
8. 書類提出先
〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100
東洋大学工学部機械工学科
主任 井内 徹
提出書類は簡易書留で郵送して下さい。（提出書類は返却致しません）。
9. 問い合わせ先
機械工学科主任 教授 井内 徹 大学院専攻主任 教授 前川 透
電話 0492-39-1324（学科教務室） FAX：0492-33-9779
電話 0492-39-1326（学科主任） e-mail: iuchi@eng.toyo.ac.jp
電話 0492-39-1335（専攻主任） e-mail: trmkw@eng.toyo.ac.jp
なお、本学機械工学科に関しては、本学ホームページでもご覧いただけます。
<http://www.mech.eng.toyo.ac.jp>

「伝熱研究」会告の書き方

印刷は原稿からそのままオフセット印刷を行いますので、鮮明な原稿にして下さい。大きさは、この外枠に入るように縦 115 mm 以内、横 170 mm 以内に収まるようにして下さい。この範囲に入らないものは、「伝熱研究」原稿の書き方に従って下さい。

115 mm

170 mm

「伝熱研究」原稿の書き方

伝熱 太郎 (伝熱大学)

(1行)
(2行)
(3行)
(4行)
(5行)
(6行)
(7行)
(8行)

42 mm

1. 「伝熱研究」用原稿の標準形式

用紙サイズ：A4 縦長 (210mm × 297mm)，横書き
余白サイズ：上余白 30 mm，下余白 30 mm
左余白 20 mm，右余白 20 mm

コ ラ ム：2 段組とします。

1 コラム 80 mm，コラム間隔 10 mm

活字サイズ：10ポイント(10×0.3514=3.514mm)の全角文字を標準とします。英文字・数字には半角文字が好ましい。

1 行の字数：1 段あたり 23 文字程度

行 送 り：15 ポイント(15×0.3514=5.271 mm)
1 頁あたり 45 行となります。

2. 「伝熱研究」用原稿作成上の注意

(1)印刷は原稿からそのままオフセット印刷で行いますので、この点を考慮の上、写真・図表等には特に注意して鮮明なものをご使用下さい。

(2)原稿枚数は原則として最大 10 枚 (図表込み) を越えないで下さい。

(3)原稿は出力フォーマットに従って作成の上編集委員会までご送付下さい。

(4)図表は、原稿内に直接張り込んで下さい。

(5)原稿の頁数は各頁の上すみに青鉛筆で薄く 1/8, 2/8 のように記入して下さい。

(6)本手引きの各種寸法及び文字数等は、お手持ちのワープロの機能によっては、必ずしもこれらを満足できないかもしれません。このような場合には適宜これにできるだけ近くなるように、原稿をお作りくださいますようお願い申し上げます。

(7)本文の体裁・項目の分け方などは、自由にお書き下さい。

15 ポイント行間

15 ポイント行間

題目の部分は、編集委員会で作成いたしますので、8行の空白(=42 mm)を用意しておいてください。また、表題・氏名・所属の和文および英文は別紙にご用意下さい。なお、2頁以降は、最初の行から2段組で本文をお書きください。

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

22.5 ポイント行間あるいは半行を挿入

その他の事項

・可能ならば、字体に関しては、本文には明朝体を使用し、見出しにはゴシック体を使用してください。

20

20

30

事務局からの連絡

1. 学会案内と入会手続きについて

【目的】

本会は、伝熱に関する学理技術の進展と知識の普及、会員相互及び国際的な交流を図ることを目的としています。

【会計年度】

会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日までです。

【会員の種別と会費】

会員種別	資格	会費(年額)
正会員	伝熱に関する学識経験を有する者で、本会の目的に賛同して入会した個人	8,000円
賛助会員	本会の目的に賛同し、本会の事業を援助する法人またはその事業所、あるいは個人	1口 30,000円
学生会員	高専、短大、大学の学部および大学院に在学中の学生で、本会の目的に賛同して入会した個人	4,000円
名誉会員	本会に特に功勞のあった者で、総会において推薦された者	8,000円 但し、 70才以上は0円
推薦会員	本会の発展に寄与することが期待できる者で、当該年度の総会において推薦された者	0円

【会員の特典】

会員は本会の活動に参加でき、次の特典があります。

- 「伝熱研究, THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」を郵送します。
(本年度発行予定: 4月号, 7月号, 10月号, 1月号)
・正会員、学生会員、名誉会員、推薦会員に1冊送付
・賛助会員に口数分の冊数送付
- 「日本伝熱シンポジウム講演論文集」を無料でさしあげます。
・正・学生・名誉・推薦の各会員に1部、賛助会員に口数分の部数(但し、伝熱シンポジウム開催の前年度の3月25日までに前年度分までの会費を納入した会員に限る)

【入会手続き】

正会員または学生会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局宛にファックスまたは郵送で送り、郵便振替にて当該年度会費をお支払い下さい。賛助会員への入会の際は、入会申込用紙にご記入の上、事務局宛にファックスまたは郵送でお送り下さい。必要があれば本会の内容、会則、入会手続き等についてご説明します。賛助会員への申込みは何口でも可能です。

(注意)

- ・申込用紙には氏名を明瞭に記入し、難読文字にはJISコードのご指示をお願いします。
- ・会費納入時の郵便振替用紙には、会員名(必要に応じてフリガナを付す)を必ず記入して下さい。会社名のみ記載の場合、入金の取扱いができず、会費未納のままとなります。
- ・学生会員への入会申込においては、指導教官による在学証明(署名・捺印)が必要です。

2. 会員の方々へ

【会員増加と賛助会員口数増加のお願い】

個人会員と賛助会員の増加が検討されています。会員の皆様におかれましても、できる限り周囲の関連の方々や団体に入会をお誘い下さるようお願いいたします。また、賛助会員への入会申込み受付におきまして、A(3口)、B(2口)、C(1口)と分けております。現賛助会員におかれましても、できる限り口数の増加をお願いします。

【会費納入について】

会費は当該年度内に納入してください。請求書はお申し出のない限り特に発行しません。会費納入状況は事務局にお問い合わせ下さい。会費納入には折込みの郵便振替用紙をご利用下さい。その他の送金方法で手数料が必要な場合には、送金額から減額します。フリガナ名の検索によって入金事務処理を行っておりますので会社名のみで会員名の記載がない場合には未納扱いになります。

【変更届について】

(勤務先、住所、通信先等の変更)

勤務先、住所、通信先等に変更が生じた場合には、巻末の「変更届用紙」にて速やかに事務局へお知らせ下さい。通信先の変更届がない場合には、郵送物が会員に確実に届かず、あるいは宛名不明により以降の郵送が継続できなくなります。また、再発送が可能な場合にもその費用をご負担頂くことになります。

(賛助会員の代表者変更)

賛助会員の場合には、必要に応じて代表者を変更できます。

(学生会員から正会員への変更)

学生会員が社会人になられた場合には、会費が変わりますので正会員への変更届を速やかにご提出下さい。このことにつきましては、指導教官の方々からもご指導をお願いします。

(変更届提出上の注意)

会員データを変更する際の誤りを防ぐため、変更届は必ず書面にて会員自身もしくは代理と認められる方がご提出下さるようお願いいたします。

【退会届について】

退会を希望される方は、退会日付けを記した書面に退会届(郵便振替用紙に記載可)を提出し、未納会費を納入して下さい。会員登録を抹消します。

【会費を長期滞納されている方へ】

長期間、会費を滞納されている会員の方々には、至急納入をお願いします。特に、平成9年度以降の会費未納の方には「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」の送付を停止しており、近く退会処分が理事会で決定されます。

3. 事務局について

次の業務を下記の事務局で行っております。

事務局

(業務内容)

- 入会届、変更届、退会届の受付
- 会費納入の受付、会費徴収等
- 会員、非会員からの問い合わせに対する対応、連絡等
- 伝熱シンポジウム終了後の「講演論文集」の注文受付、新入会員への「伝熱研究・THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING」発送、その他刊行物の発送
- その他必要な業務

(所在地)

〒113 東京都文京区湯島2-16-16
社団法人日本伝熱学会
TEL/FAX: 03-5689-3401
(土日、祝祭日を除く、午前10時～午後5時)

(注意)

- 事務局への連絡、お問い合わせには、電話によらずできるだけ郵便振替用紙の通信欄やファックス等の書面にてお願いします。
- 学会事務の統括と上記以外の事務は、下記にて行なっております。

〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
横浜国立大学 大学院 工学研究科
人工環境システム学専攻 飯田 嘉宏
TEL:045-339-4010 FAX:045-339-4010 (又は4012)

日本伝熱学会正会員・学生会員入会申込み・変更届用紙

(右の該当に○を記入) 1. 正会員・学生会員入会申込書

2. 変更届 (書面による届出のみ受け)

(注意)

- ・楷書体で明瞭に記入
- ・氏名にふりがなを付す
- ・通信文は余白に記入
- ・申込み時に郵便振替にて会費納入

0	申込年月日	1	9	9	年	月	日					
1	会員資格	正・学										
2	氏名											
3	ふりがな											
4	生年月日	1	9		年		月		日			
5	* 勤務先・学校	名称										
6												
7		〒										
8		所在地										
9												
10		TEL										
11		FAX										共通・専用
12	電子メール											
13	自宅	〒										
14		住所										
15												
16		TEL										
17		FAX										
18	通信先 **	勤務先・自宅				自宅情報を会員名簿に掲載しない ****						<input type="checkbox"/>
19	学位											
20	最終出身校											
21	卒業年次	T・S・H										
22	専門分野	基礎的分野										← (下記の専門分野の番号)
23		応用分野										
24	学生会員の場合: 指導教官名 ****										印	

※専門分野

基礎的分野

- | | | | | | |
|------------|----------------|----------------|-----------|-----------|----------|
| 1: 強制対流 | 2: 自然対流 | 3: 高速気流 | 4: 沸騰・蒸発 | 5: 凝縮 | 6: 混相流 |
| 7: 融解・凝固 | 8: 熱伝導 | 9: 接触熱抵抗 | 10: 放射 | 11: 反応・燃焼 | 12: 物質移動 |
| 13: 多孔質伝熱 | 14: 直接接触伝熱 | 15: 電場・磁場・電荷移動 | 16: 分子動力学 | 17: 極低温 | 18: 熱物性 |
| 19: 計測・可視化 | 20: 数値シミュレーション | 21: その他 () | | | |

応用分野

- | | | | | |
|---------------|------------|-------------|-------------|----------------|
| 1: 熱交換器 | 2: 蓄熱 | 3: 冷凍・空調 | 4: 電子機器 | 5: ヒートパイプ・熱パイプ |
| 6: 航空・宇宙機器 | 7: 海洋機器 | 8: 海水淡水化 | 9: 火力発電プラント | 10: ガスタービン |
| 11: 内・外燃機関 | 12: 地熱 | 13: 燃料電池 | 14: 熱電変換 | 15: 熱貯蔵 |
| 16: 原子力発電プラント | 17: 化学プラント | 18: 建築・土木 | 19: 製鉄 | 20: 材料・加工 |
| 21: 流動層 | 22: 廃棄物処理 | 23: 住環境 | 24: 都市環境 | 25: 地球環境 |
| 26: 生体・人間熱科学 | 27: バイオ・食品 | 28: その他 () | | |

*) 学生会員入会申込者は学校名, 学部, 学科, 研究室名, 学年 (M2, D3など) を記す.

**) 郵送物発送先として通信先を必ず記入する.

***) 学生会員入会申込者は, 指導教官の署名・捺印を受ける.

****) 会員名簿等作成時に自宅情報の掲載を希望しない場合は, レ印を付ける.

日本伝熱学会 賛助会員新規入会申込み届用紙

0	申込年月日	1	9	9	年		月		日
---	-------	---	---	---	---	--	---	--	---

※ご記入に際しての注意

日本伝熱学会からの郵送物は代表者にお送りしておりますので、代表者の所属に変更がありましたら、書面にて事務局宛ご連絡下さるようお願いいたします。

1	会員資格	賛助会員							
2	代表者氏名								
3	ふりがな								
4	代 表 者	名称 (所属)							
5									
6		〒		-					
7	勤 務 先	所在地							
8									
9		TEL							
10		FAX							共通・専用
11	口数								口

日本伝熱学会入会のご案内

1. 本学会の会計年度は毎年4月1日から翌年3月末日までです。
2. 賛助会員の会費は1口30,000円/年で、申し込みは何口でも結構です。申し込み口数により、次のように分けております。
A (3口), B (2口), C (1口)
3. 会員になりますと「伝熱研究」をお申し込み口数1口につき1部お送りします。「日本伝熱シンポジウム講演論文集」等をお申し込み口数1口につき1部無料でさしあげます。
この伝熱研究は通常、年4回(4, 7, 10, 1月号)発行しております。
但し、日本伝熱シンポジウム講演論文集につきましては、前年度の会費を年度末までに完納された会員に限り当該年度のものを無料でさしあげます。
尚、年度途中でご入会の方には残部の都合でお送りできない場合もありますので、あらかじめご承知おき下さい。
4. 本学会では、事務作業簡素化のために会費の領収書の発行は郵便振替や銀行振込の控えをあてております。簡単な書式の領収書はご用意できますが、それ以外の場合には貴社ご指定の書式をご送付下さいますようお願いいたします。

申込書送付先：〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

社団法人日本伝熱学会事務局 TEL & FAX : 03-5689-3401

会費の払込先：

- (1) 郵便振替の場合—郵便振替口座 00160-4-14749 社団法人日本伝熱学会
- (2) 銀行振込の場合—第一勧業銀行 大岡山支店 普通預金口座 145-1517941
社団法人日本伝熱学会
- (3) 現金書留の場合—上記の事務局宛に御送金下さい。

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。なお、著作物の転載・翻訳のような複写以外許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
学協会著作権協議会 (TEL/FAX: 03-3475-5618)

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.(CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

The Copyright Council of the Academic Societies (CCAS)
41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan
TEL/FAX : 81-3-3475-5618

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone : (978) 750-8400 FAX : (978)750-4744

伝 熱 研 究

ISSN 0910-7851

(Journal of The Heat Transfer Society of Japan)

Vol. 37, No.146

1998年7月発行

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

ISSN 0918-9963

Vol. 6, No. 3

July, 1998

発行所 社団法人 日 本 伝 熱 学 会

〒113 東京都文京区湯島2-16-16

電話 03(5689)3401

Fax. 03(5689)3401

郵便振替 00160-4-14749

Published by

The Heat Transfer Society of Japan

16-16, Yushima 2-chome, Bunkyo-ku,

Tokyo-113, Japan

Phone, Fax: +81-3-5689-3401

広幅鋼材加熱炉のための純酸素燃焼技術の開発 村上英樹、齋藤俊明、林順一（新日本製鐵（株）プロセス技術研究所）、 長谷政孝（新日本製鐵（株）プラント事業部） .....48	
加圧型内部循環流動床ボイラの開発とガス化炉への展開 橋本裕（（株）荏原製作所環境開発センター環境エネルギー開発部） .....54	
セメント製造装置への燃焼シミュレーションの応用 佐藤昌弘（出光興産株式会社、石炭研究所）、氏川淳一（秩父小野田株式会社、技術部） .....60	
〈提案：「伝熱研究」の編集方針〉	
「伝熱研究」の編集における問題点 第37期編集出版部会長 熊田雅弥（岐阜大学） .....66	
「伝熱研究」と「TSE」 小竹進（TSE チーフエディター） .....68	
企業の研究者・技術者からの「TSE」論文投稿 小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所） .....70	
「日本伝熱学会」に求めること 西尾茂文（東京大学） .....75	
〈論壇：「熱」に係わる科学・工学と研究・開発の新展開に向けて〉	
〈論壇：「熱」に係わる科学・工学と研究・開発の新展開に向けて〉の編集にあたって 小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所） .....79	
「熱」に係わる科学・工学における新しい分野の開拓	
「燃焼・ふく射」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 花村克悟（岐阜大学） .....81	
「二相流」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 芹澤昭示（京都大学大学院工学研究科） .....83	
「冷媒・冷凍」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 勝田正文（早稲田大学理工学部機械工学科） .....86	
「生体・代謝」に係わる「熱」科学・工学の新展開に向けて 谷下一夫（慶応大学） .....91	
技術開発から見た「熱」に係わる基礎研究への期待	
「空調」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割 蛭子毅（ダイキン工業） .....95	
「半導体製造」に係わる温調機器の開発における基礎研究の役割 門谷暎一（コマツ） .....98	
「蓄熱」に係わる機器・システム開発における基礎研究の役割 渡辺裕（東芝） .....103	
「伝熱問題に関する未成功研究のまとめ」	
「伝熱研究の光と影」－研究に関して思うこと、気楽にのびのびと、そして个性的に－ 庄司正弘（東京大学） .....106	
「熱」に係わる技術開発・基礎研究の融合に向けての提言 中原崇文（愛知工業大学） .....109	
「熱」に係わる研究・開発における失敗の克服に向けての一提言 小澤由行（高砂熱学工業（株）総合研究所） .....111	
〈世界のホットユース〉	
メリーランド大学を訪問して 長谷川雅人（筑波大学大学院工学研究科） .....118	
〈委員会報告〉	
大学と企業の研究交流推進への提案 – FILGAP 委員会報告 – FILGAP 委員会委員長 松尾篤二（三菱重工） .....121	
〈フロンティアフォーラム〉	
The Frontiers Forum 熱・流動におけるスケール効果 準備状況と開催のご案内 芹澤昭示（京都大学）、西尾茂文（東京大学）、石塚勝（東芝）片岡勲（大阪大学） .....125	
The Frontiers Forum 「分子伝熱のフロンティア研究」準備セッション報告 井上剛良（東京工業大学）、丸山茂夫（東京大学）、小原拓（東北大学） .....126	

伝熱研究 VOL.37, NO.146

〈新旧会長挨拶〉

会長就任のご挨拶 — 新分野における伝熱主導型の新技術の創成に期待 —

.....	第37期会長 黒崎晏夫 (電気通信大学) .....1
会長退任のごあいさつ	第36期会長 長島 昭 (慶應義塾大学) .....2

〈顕彰〉

名誉会員の顕彰	副会長 飯田嘉宏 (横浜国立大学) .....3
---------------	--------------------------

〈第10回日本伝熱学会賞〉

第10回日本伝熱学会賞の報告	藤田恭伸 (九州大学) .....4
第10回日本伝熱学会学術賞を受賞して	円山重直 (東北大学) .....6
日本伝熱学会技術賞を受賞して	渡邊激雄 (中部電力)、松井皓 (神鋼テクノ)、 岩本剛 (トーエネック)、松田則典 (元エネルギーサポート) .....8

〈随想〉

伝熱学と伝熱技術	小林清志 (豊田工業大学) .....10
----------------	-----------------------

〈第35回日本伝熱シンポジウム〉

第35回日本伝熱シンポジウムを振り返って	準備委員長 藤田秀臣 (名古屋大学) .....12
----------------------------	----------------------------

〈会議報告〉

沸騰および凝縮熱伝達のフィジックスに関する国際シンポジウム

(1997年5月21～24日, ロシア・モスクワ) の印象

..... 深野徹 (九州大学工学部機械工学科)、大田治彦 (九州大学工学部機械エネルギー工学科)14
---	---------

〈特集：最近の燃焼技術あれこれ〉

特集〈最近の燃焼技術あれこれ〉の編集にあたって

..... 第36期編集委員会 青木秀之 (東北大学大学院工学研究科化学工学専攻) .....	.....16
五十嵐喜良 (東北電力株式会社火力部)	

最近の天然ガス燃焼技術	雫石伸 (東京ガス株式会社エネルギー事業部) .....17
-------------------	--------------------------------

コージェネレーション用排気再燃焼技術の開発

..... 小倉啓宏、田中康郎 (大阪ガス (株) エネルギー技術部)24
---	---------

低NO_x蓄熱式バーナシステムの開発

..... 中川二彦 (川崎製鉄 (株) 水島製鉄所設備技術部 熱・流体研究室)33
--	---------

製鉄所における酸素利用の燃焼技術

..... 鈴木豊、岡田誠司 (住友金属工業 (株) 総合技術研究所)40
---	---------

(裏面に続く)

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING Vol.6, No.3

1. Formation of NO in Laminar Premixed Flames of Propane, Ethane and Methane (in Japanese).....1	
Sano, T. and Yamashiro, R.	
2. Molecular Dynamics Study on Self-Diffusion of Liquid.....11	
Iwaki, T.	
3. Enhancement and Stability of Heat Transfer from a Superheated Surface by Mist Flow .....19	
Kosaka, A., Takegoshi, E., Takimoto, A. and Hayashi, Y.	
4. Development of a Function-integrated Decentralized Air-conditioning System (in Japanese) .....25	
Kozawa, Y., Kikuchi, S., Masuda, M., Fujimoto, M., Saitoh, H. and Kohda, K.	