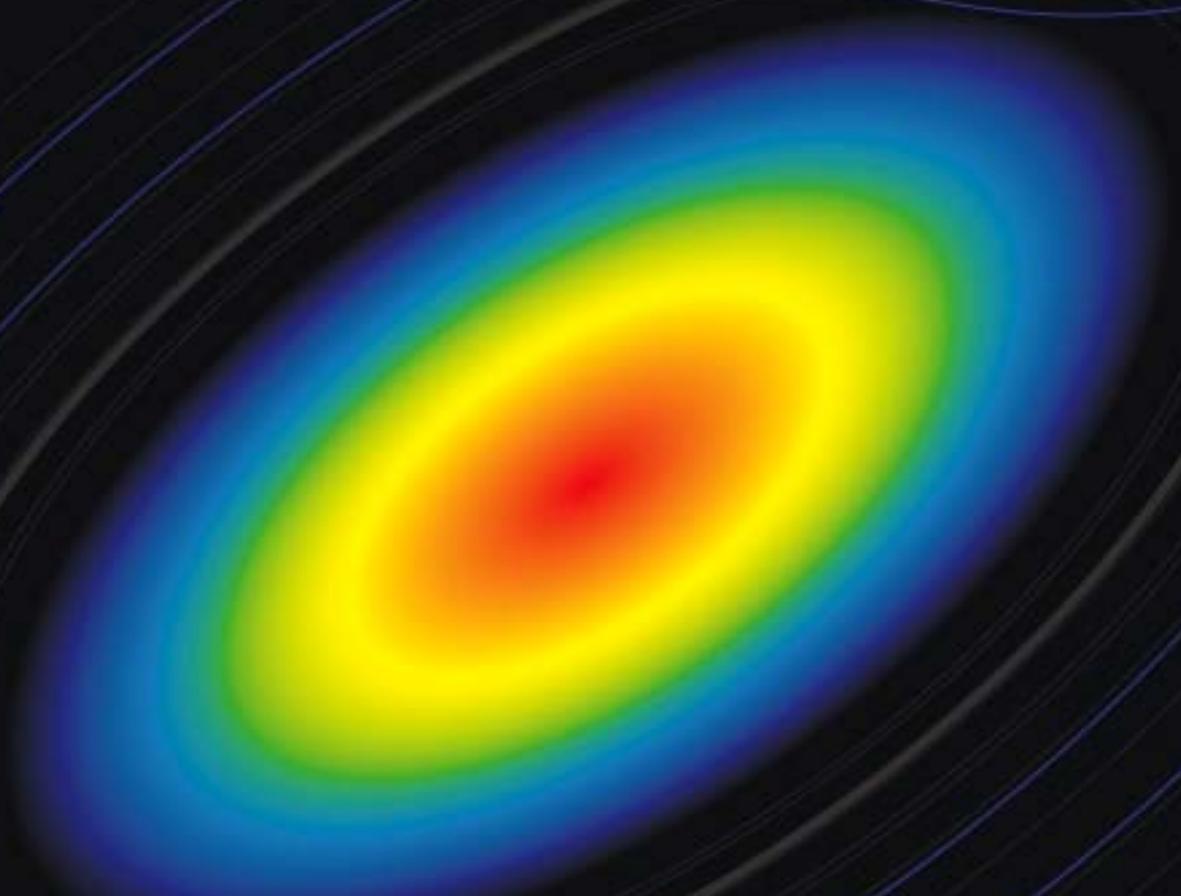


伝 熱

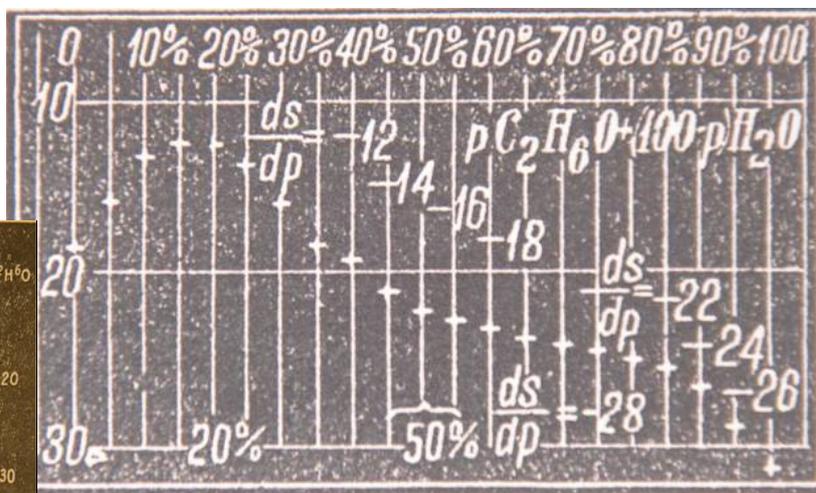
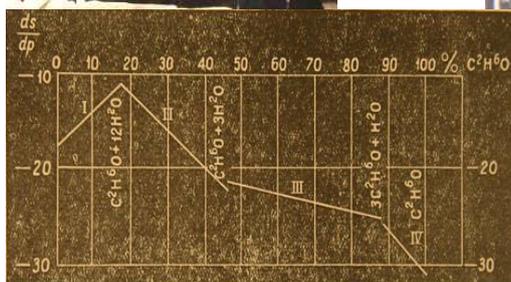
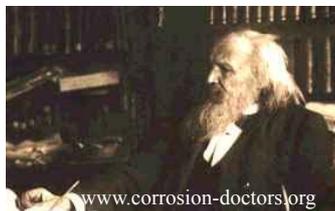
Journal of the Heat Transfer Society of Japan

ISSN 1344-8692 Vol. 46, No. 195
2007. 4



HSTJ

◆特集：生産技術と熱（その2）◆



メンデレーエフ余話 *An Aside on Mendeleev*

丸田 薫 (東北大学), セルゲイ・ミナエフ (理論及び応用力学研究所・露科学アカデミー)
Kaoru MARUTA (Tohoku University), Sergey MINAEV (ITAM, SB, Russian Academy of Sciences)
e-mail: maruta@ifs.tohoku.ac.jp

メンデレーエフ(1834-1907)と言えば、周期表を作成し、未知の元素の存在を予測したロシアの偉大な科学者である。ところでロシアと言えばその酒席では、ウォッカのアルコール度数 40 度は、かのメンデレーエフが「科学的」に決定したものであるという話がたびたび出てくる。真偽は定かでなく、彼の学位論文、“On Combining Alcohol and Waters” [1]に関するメンデレーエフ博物館資料や当時の学術論文を調べてみた。

まず上記の学位論文にも、その後出版された学術論文“The compounds of Ethyl Alcohol with water” [2]にも、ウォッカの最適濃度に関する記述はなかった。しかしエタノール重量濃度 p に対する ds/dp (s はエタノール・水混合物の密度) の変化についての実験結果が示され、上図[1,2]のようにエタノールと水のモル比が 1:12, 1:3, 3:1 (重量濃度で 17.6, 46.0, 88.5%) 付近で傾きが変わることが報告されていた。これらの条件で支配的な水和物の構造が変化することが示唆されるが、アルコール度数 40 度 (重量濃度 p の 34.6% に相当) 付近で特にこれと違って変わった様子は見られない。アルコール度数 40 度で混合による発熱が最大になるとの記述もあったが決定的理由には見えなかった。ただしいずれも味覚との関係は不明であるが。

なお、メンデレーエフが蒸留酒の精製過程における有害成分の除去法を開発したこと、また精製法確立のための皇帝委員会の一員に加わったこと、この委員会は後にアルコール度数 40 度という数値を公認したこと、その後国家が専売権を持つようになりこの濃度が普及したことなどはどうやら確からしい。残念ながら、なぜ 40 度かという最初の疑問は解決せず、ふりだしに戻ってしまった。

ウォッカという語は 17 世紀ころから使われているらしいが、他にも多数の呼称があったそう。起源となったきつい蒸留酒はラテン語で water of life を意味する aqua vitae としてロシアに伝わったそうだし、burning wine とも言われたらしい。そういえば、アルコール水溶液は 40 度を下回ると燃えないので burning でなくなってしまうから 40 度なのだという説もあるらしい。これで真相からさらに遠ざかってしまった。

1. Mendeleev D.I., “O soedinenii spirita s vodoi” dissertation (in Russian) (1865).
2. Mendeleev D.I., “The compounds of Ethyl Alcohol with water” Journal of the Chemical Society vol. LI, pp.778-782 (1887) Transactions.

伝 熱

目 次

〈特集：生産技術と熱（その2）〉

鉄鋼の材質制御における伝熱	芹澤 良洋（新日本製鉄株）	1
溶接と伝熱について	池内 建二（大阪大学接合科学研究所）	6
樹脂機械と伝熱について	田中 達也（同志社大学）	11
プラスチックフィルムの成形加工	伊藤 勝也，野々村 千里（東洋紡績株総合研究所）	19
セラミックスと熱	淡路 英夫（名古屋工業大学）	29

〈特別寄稿〉

Afghanistan - Kabul University Support -	望月 貞成（東京農工大学）	34
--	---------------	----

〈International Letter〉

My Lifework in Microgravity Research	鴨谷 康弘（ケースウェスタンリザーブ大学）	40
--------------------------------------	-----------------------	----

〈博物館めぐり〉

レオナルド・ダ・ヴィンチ記念国立科学技術博物館	吉田 英生（京都大学）	45
-------------------------	-------------	----

〈Library〉

Physical Chemistry 8th Edition by Peter Atkins & Julio de Paula	吉田 英生（京都大学）	48
---	-------------	----

〈巻頭グラビア：heat-page〉

メンデレーエフ余話	丸田 薫（東北大学）	
セルゲイ・ミナエフ（理論及び応用力学研究所・露科学アカデミー）		表紙裏

〈行事カレンダー〉		49
-----------	--	----

〈お知らせ〉

第44回日本伝熱シンポジウムのご案内		51
事務局からの連絡		69
編集出版部会ノート：最後の“The Last Leaf”	吉田 英生（京都大学）	74

CONTENTS

< **Manufacturing Technique and Heat (2)** >

- Heat Transfer Control in the Designing Steel Mechanical Properties
Yoshihiro SERIZAWA (Nippon Steel Co., Ltd.).....1
- Heat Transfer Control in Welding
Kenji IKEUCHI (Joining and Welding Research Institute, Osaka University).....6
- Use of the Conductive Heat in the Process Machinery for Resin
Tatsuya TANAKA (Doshisha University)11
- Polymer Processing for Plastic Films
Katsuya ITO, Chisato NONOMURA (Toyobo Co., Ltd.).....19
- Ceramics and Heat
Hideo AWAJI (Nagoya Institute of Technology)29

< **Contribution** >

- Afghanistan - Kabul University Support -
Sadanari MOCHIZUKI (Tokyo University of A&T).....34

< **International Letter** >

- My Lifework in Microgravity Research
Yasuhiro KAMOTANI (Case Western Reserve University).....40

< **Museum Tour** >

- Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica Leonardo da Vinci
Hideo YOSHIDA (Kyoto University)45

< **Library** >

- Physical Chemistry 8th Edition
By Peter Atkins & Julio de Paula
Hideo YOSHIDA (Kyoto University)48

< **Opening-Page Gravure: heat-page** >

- An Aside on Mendeleev
Kaoru MARUTA (Tohoku University)
Sergey MINAEV (ITAM, SB, Russian Academy of Sciences).....Opening Page

< **Calendar** >49

< **Announcements** >51

- Note from the Editorial Board: The Last “The Last Leaf”
Hideo YOSHIDA (Kyoto University).....74

鉄鋼の材質制御における伝熱

Heat Transfer Control in the Designing Steel Mechanical Properties

芹澤 良洋（新日本製鉄株式会社）

Yoshihiro SERIZAWA (Nippon Steel Co.)

e-mail: serizawa.yoshihiro@nsc.co.jp

1. はじめに

鉄鋼業における材料開発は、最近の地球環境を意識した自動車、造船、油井管など、あらゆる分野での軽量化、高機能化への要請を受け、また、世界鉄鋼業の再編の影響も受けて、ますます進展している。そして、高機能化する鉄鋼材料を製造する条件もプロセス制御範囲の拡大と高精度化を要求されており、その中で伝熱制御の果たす役割も重要になってきている。本稿では、鉄鋼業の材質制御と伝熱制御の関わり、鉄鋼業における伝熱制御技術の進展について紹介する。

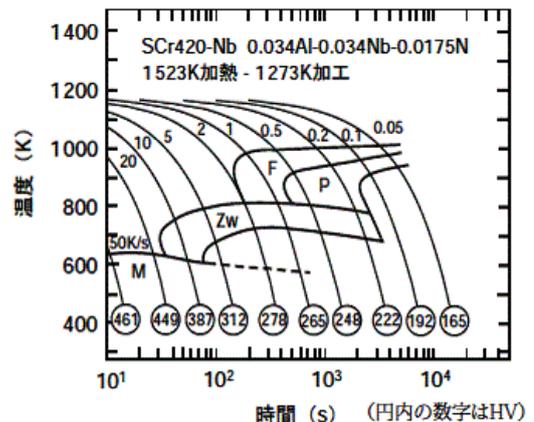


図1 連続冷却変態線図の例

2. 鉄鋼の材質制御と伝熱制御

2.1 材質制御の概要

鉄は相変態組織として、オーステナイト、フェライト、パーライト、マルテンサイト、ベイナイトの単一或いは複合組織からなり、各組織の強度レベルが異なるために、200MPa から 3GPa までの広い強度範囲をカバーできる[1]優れた材料である。このような広い範囲の強度を制御する方法として、図1の連続冷却変態線図[2]に示すように冷却速度の変化により様々な組織を作りこむ方法、合金元素を添加し金属素地の強化・微細析出物の生成により強化する方法、そして、圧延・加熱・冷却制御により組織と結晶粒径制御により強化する方法[1]などがある。以下、薄鋼板の自動車用鋼板と厚鋼板における具体的な材質制御について述べる。

2.2 自動車用鋼板

自動車は、デザイン性を追及するための良成形

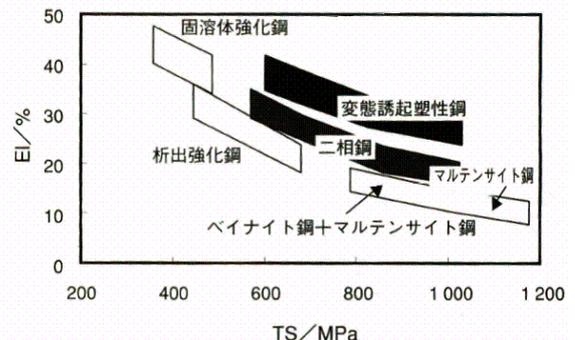


図2 薄鋼板の強化機構と強度延性バランス性、耐蝕性、乗る人を守るための強度や耐衝撃性など様々な特性を備えた鋼板から成り立っている。ここでは、高強度のTRIP鋼(変態誘起塑性鋼)、防錆鋼板について紹介する。

2.2.1 TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼

図2に自動車用鋼板の強度延性バランス[3]を示した。図中 340MPa 以上の強度を有する鋼板は高強

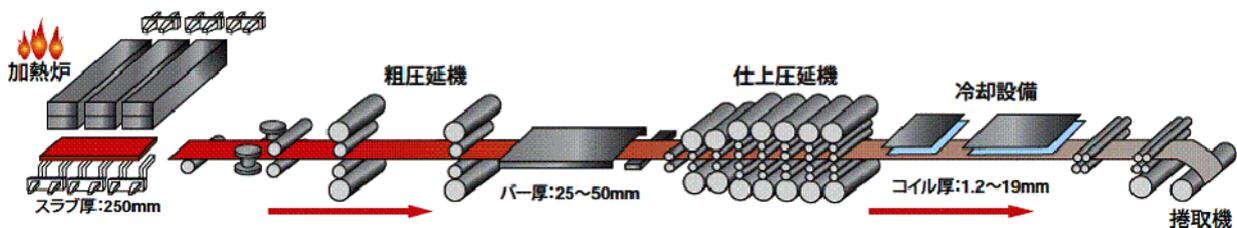


図3 連続熱間圧延ラインの概要

度鋼とされており, 2.1 で述べた様々な強化法を駆使している. TRIP 鋼は, 図 3 に示す連続熱間圧延ラインで製造され, 通常の製造過程では残りにくいオーステナイトを添加元素と冷却時の温度制御により約 10% 残留させた鋼材である. TRIP 鋼では, 図 4 に示すように加工時に残留しているオーステナイトが変形により高強度のマルテンサイトに変態し, 周囲の低強度部に変形が伝播することによって高い加工性を発揮する高強度鋼材[1][3]である. 製造上のポイントは, 組織内での炭素の固溶量が少ないフェライトへの変態を活用して, 未変態のオーステナイト中に炭素を濃化させて安定化させる[4]ことである. このような組織を造りこむためには, 仕上圧延機出側温度と巻取機温度を図 5 の V_γ (オーステナイト比率) >5% 以上となる温度域に制御する必要がある[4]. また, さらにオーステナイト量を増加させるために, 図 6 に示すように冷却設備内で空冷域を設け, 温度履歴を制御すること[4]も行われている.

2.2.2 防錆鋼板

自動車の車体用防錆鋼板の一つに溶融亜鉛めっき鋼板がある. これは, 熱間圧延, 冷間圧延により板厚を整えた後に焼鈍した鋼板を溶融亜鉛の槽に通板浸漬させた後, 窒素ガスの吹付けにより付着亜鉛量を制御して作る鋼板で, 特徴はめっきの厚みを $40\mu\text{m}$ まで厚くできること[1]である. また, めっきした亜鉛を鉄と合金化処理することにより, 鋼板のプレス成形時の金型へのめっき付着を低減させるとともに, めっき層に鉄が加わることから溶接性も向上させた GA (Galvanizing+Annealing) 鋼板も開発されている. 合金化は溶融めっき直後に高周波加熱により行われ, めっき層の性能は適切な加熱条件下での亜鉛めっき層への鉄拡散制御により造りこまれている.

2.3 厚鋼板

厚鋼板の分野においては, 巨大構造物 (船舶, 産業機械, 建築, 橋梁, 油井管など) におけるより高い安全性・溶接性など施工性の向上, 薄肉高強度化による環境負荷低減を図るために鋼材開発が活発に行われている. 厚

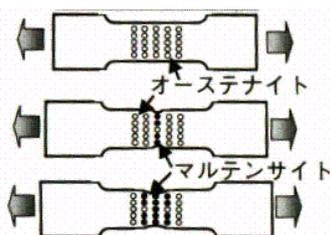


図 4 TRIP 鋼の変形挙動

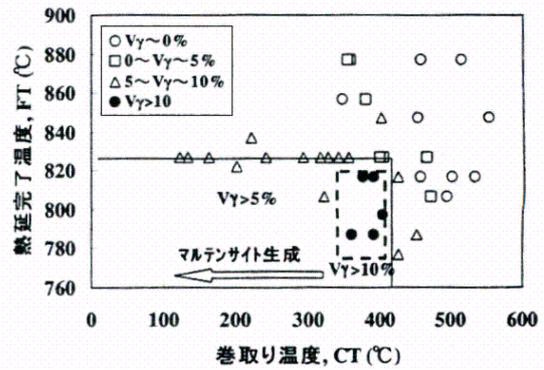


図 5 TRIP 鋼の残留オーステナイト量に及ぼす熱延仕上げ温度と巻き取り温度の影響

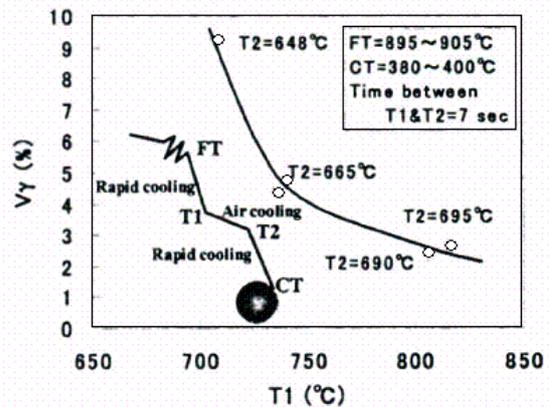


図 6 3 段冷却の概念図と空冷開始温度 T_1 , 空冷終了温度 T_2 と材質の関係

鋼板の代表的な材質制御プロセスに TMCP (Thermo Mechanical Control Process) と呼ばれる技術がある. これは, 圧延温度および圧延量を制御する制御圧延と制御圧延後に強制的に冷却する技術[5]である. 図 7[6]に厚鋼板の組織制御のイメージを示した. 制御圧延は, オーステナイト未再結晶領域と呼ばれる, 変態温度以上の低温域で圧延を行うことによりオーステナイ

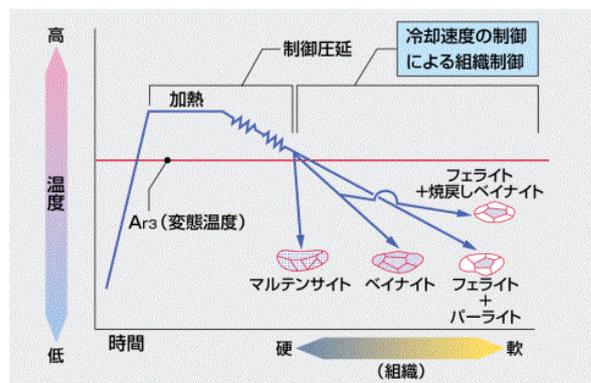


図 7 制御冷却プロセスにおける鋼板の組織制御

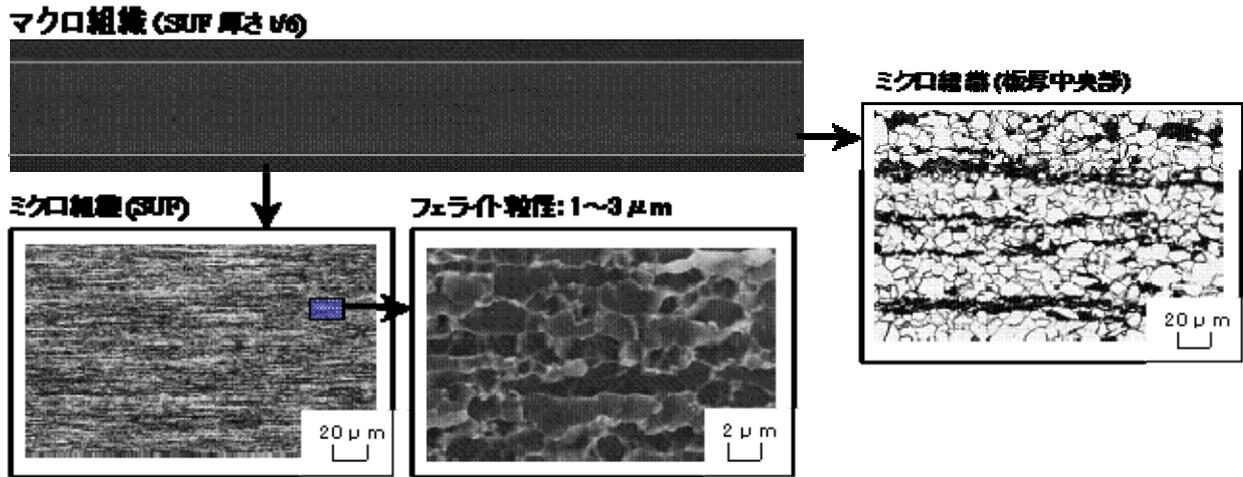


図8 開発鋼のマクロ組織と表層部のマイクロ組織

ト中に変形帯を導入する。その後の冷却においては、多くの変形帯が導入されたオーステナイトから変態が起こるために、生成する種々の複合組織は $5\mu\text{m}$ 以下にまで細粒化が可能になった。

最近の鋼材開発例では、高強度ラインパイプ材において変形特性と靱性を両立させるためにフェライトとベイナイトの複相組織製造に緩冷却を行う[7]ことも報告されており、様々な冷却速度が鋼材製造に用いられている。また、制御圧延、冷却直後に焼き戻しを行い、通常の焼き戻しと比較して、急速に焼き戻すことによりセメンタイトを微細化して高強度鋼の高靱性化を行うプロセス[8]も開発されている。このほか、板厚方向での材質制御を行っている厚鋼板で図8のように表層部の結晶粒径を微細化し、表面付近で発生した亀裂が鋼材内部に広がっていくのを防止する亀裂伝搬停止性能を高めた鋼板[9]も開発されている。表層部の結晶微細化は、圧延中に表層部の冷却を行い、鋼板内部の顕熱による鋼板表層部の昇温過程で圧延する[10]ことによって行われ、結晶粒径は $1\sim 3\mu\text{m}$ にまでなっている。

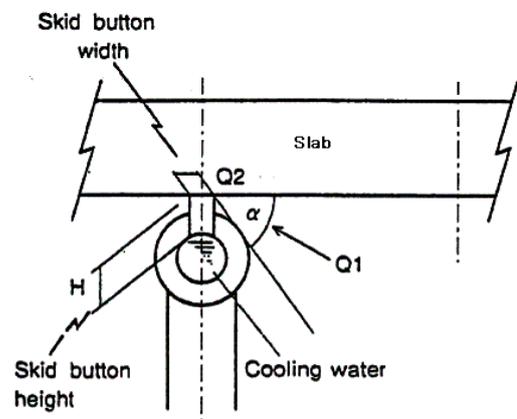
3. 鉄鋼プロセスの伝熱制御技術の進展と課題

これまで代表的な鋼板の製造例を述べてきたが、鋼材の用途・機能は多様性に富んでおり、製造プロセスも同様である。製造プロセスについては、公開されることは少ないが、ほとんどのプロセスで伝熱制御は重要な役割を果たしている。以下に最近の導入技術を紹介する。

3.1 加熱技術

加熱は、圧延整形時のエネルギー削減と連続鋳造後の温度降下で析出した合金成分の固溶、ある

いは焼鈍、熱処理の目的で行われる。圧延ラインの加熱炉における課題は、加熱の均一性、省エネルギー、温度制御性、スケール（酸化鉄）発生の抑制・促進の制御である。加熱時の鋼材温度均一性については以下のような課題がある。加熱炉には鋼材を運搬・保持するためのスキッドと呼ばれる架台があり、スキッド上に乗った鋼材を上下面からバーナー火炎で加熱する。主な伝熱形態はバーナー火炎からの放射伝熱であるため、スキッドとの接触部、スキッドによるバーナー火炎からの放射の影、バーナー火炎の温度分布などが加熱時の鋼材温度均一性の阻害要因となる。特にスキッドと接触する低温部はスキッドマークと称される。これらの課題解決のために、バーナー火炎の均一性・加熱炉温度制御性、省エネルギーを目的としたリジェネレイティブバーナーの導入[11][12][13]、スキッドと鋼材接触部の断熱、放射熱伝達の影となる部分の低減（図9）[14]が行われている。



Q1：加熱炉ガス，壁からの放射伝熱量
Q2：スキッド冷却水への熱量

図9 スキッドと鋼材接触部近傍の熱の流れ

加熱炉を出た後の鋼材は、圧延ライン上で搬送圧延される。薄板製造用の熱間連続圧延ラインでは、仕上げ圧延前に温度均一性を向上させるためのヒーターが導入されている。ヒーターには、スキッドマークの解消と温度調整を行うための鋼材幅方向全体を加熱する誘導加熱装置[15]や、鋼板の端部の過冷却部を加熱する誘導加熱装置（エッジヒータ）がある。エッジヒータは、エッジ部の温度低下に伴う材質の劣化を防止する[16]ために使用されている。

3.2 冷却技術

冷却は、材質制御において鋼材の変態・析出物を制御する重要な工程であり、最近新たな冷却設備が導入されている。冷却媒体は主として水であるが、薄鋼板の連続焼鈍ラインでは、鋼板表面の酸化を防止する目的で図 10[17]に示すような窒素を主体としたガスジェットや固体接触を利用したロール冷却なども行われている[11][17]。連続焼鈍では冷却能力の向上を目的とし、表 1 に示すような水素の高熱伝導率を利用した水素ガスジェット冷却も導入されている[17]。

水を冷却媒体にした際の課題は、鋼板温度の均一性の確保である。図 11[18]に冷却の不均一に伴い発生する鋼板の変形状況を示した。均一性には、上下面の冷却形態の差に基づく上下方向（板厚方向）均一性、板幅方向の水の流動などに伴う幅方向均一性、鋼板の先端尾端部における過冷却領域の均一性などの鋼板の形状・姿勢に起因する課題がある。また、水冷却時の沸騰形態が遷移沸騰域近傍を通過する際に生じる課題がある[19][20]。近年、材質制御上の要請から冷却停止温度が前述した温度のように遷移沸騰域に入る場合があり、製造上の課題となっている。

冷却制御においては、一般に鋼材の温度計算モ

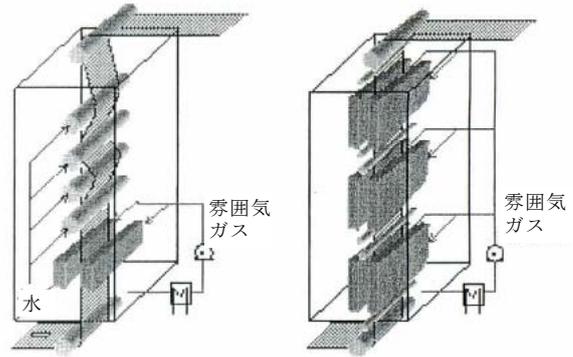


図 10 連続焼鈍ラインのロール冷却（左）とガスジェット冷却（右）

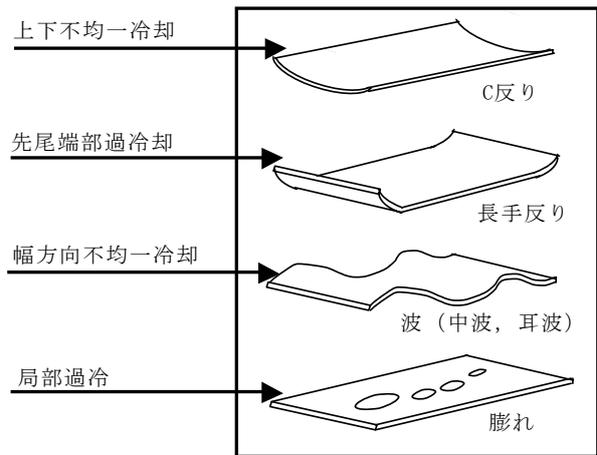


図 11 冷却不均一に伴う鋼板の変形

デルが使用されている。最近では、冷却速度に従って異なる変態潜熱の差異を導入し、温度計算の材料側の計算精度を向上させる試み[21]も見られる。温度計算の境界条件に用いられる熱伝達係数には、種々の操業因子が導入されるべきであるが、従来は計算機能力の制約もあり、導入因子は限定されているようである。今後は温度精度の向上への要請から、冷却現象の基本に立ち返り、温度計算モデルの精度を左右する熱伝達係数の高精度化が重要な課題である。鉄鋼プロセスでは、大容量、

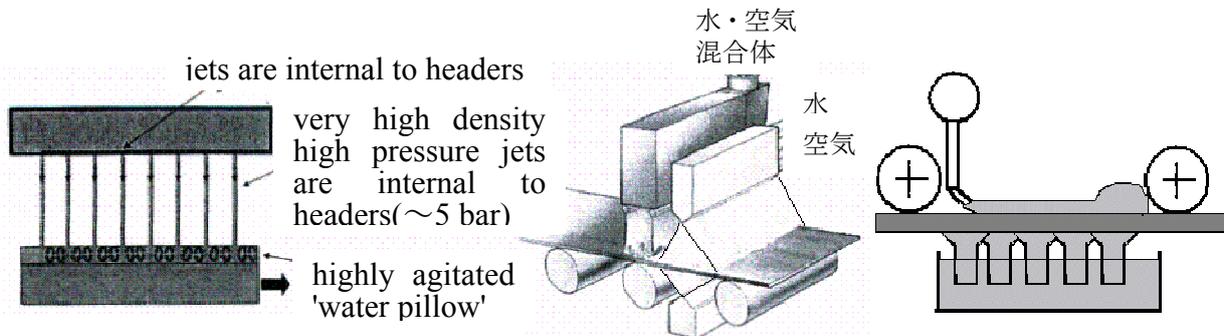


図 12 さまざまな冷却装置，MULPIC（左），ADCO（中），Super-OLAC[24]（右）

高サブクール度の水冷が行われており産学協同での研究も期待される。

3.3 最近の冷却設備

最近導入された冷却設備では、鋼板温度分布の均一性や、材質制御能力の向上を狙った冷却能力の向上・冷却能力制御範囲の拡大を目的として開発されている。

厚鋼板の冷却装置では、気体と水を混合させて使用することによって鋼板温度の均一性を高めた ADCO[22], 高圧多孔噴流を用いて鋼板上の滞留水を攪拌させることにより冷却能力を向上させた MULPIC[22], 鋼板に沿って水流を流して均一に強冷却を行う Super-OLAC[23][24], 冷却均一性の向上と、冷却制御範囲の拡大を同時に達成した CLC- μ (CLC; Continuous on Line Control Process)[6][25] などがある。

薄鋼板を製造する連続熱間圧延ラインでは、仕上げ圧延直後の急速冷却を狙って、MULPICを薄板用に展開した UFC(Ultra Fast Cooling)[26], 近接多孔噴流を用いた Super-OLAC[24], 仕上げ圧延機内で急速冷却を行うカーテンウォール冷却[27]が導入されている。これらは、圧延と急冷を組み合わせることによって結晶組織の微細化を狙っている。

4. おわりに

以上、鉄鋼業における材質制御と伝熱に関してその一端を紹介した。現在でも鋼材開発のニーズへの要求は常に高く、伝熱制御技術が追いつかない場合は材質開発側で伝熱制御への負荷を軽減する方向での開発がなされる場合もある。新材質の製法の困難な点を解明し改善していくという意味で伝熱制御の向上のほうが後れがちであるが、鋼材開発と伝熱制御技術の開発の競争は永久に続くものである。今後とも、常に一步先のニーズを予測し、伝熱制御の高度化を世界に冠たる日本の鋼材開発に反映させ、高機能材料を世に送り出して社会に貢献していきたいと考えている。

参考文献

[1] 新日本製鉄(株), 鉄と鉄鋼がわかる本, 日本実業出版社 (2004).
 [2] 久保田学, 越智達朗, 新日鉄技報, 378 (2003) 72
 [3] 潮田浩作, 日本機械学会誌, 110-1060(2007) 161
 [4] 高橋学, 塑性加工シンポジウム, 237(2005)1

[5] 木下浩幸, 安藤隆一, 和田典巳, 村上弘樹, ふえらむ, 9-9(2004)636
 [6] 新日本製鉄(株), Nippon Steel Monthly, 163 (2006) 39
 [7] 篠原康浩, 原卓也, 朝日均, 寺田好男, 材料とプロセス, 19(2006)1213
 [8] 長尾彰英, 大井健次, 三田尾眞司, 梶田恭之, 杉岡正敏, まてりあ, 44-2 (2005) 148
 [9] 石川忠, 野見山裕治, 吉川宏, 今井嗣郎, 井上健裕, 新日鉄技報, 365 (1997) 26
 [10] 長谷川俊永, 野見山裕治, 石川忠, 材料とプロセス, 8(1995)692
 [11] 和田宏三, 新屋謙治, 工業加熱, 43-3(2006)5
 [12] 高原勉, 江田尚智, 寺内琢雅, 鈴川豊, 森功, 高橋潤, 材料とプロセス, 10 (1997) 1097
 [13] 矢久保剛, 大河内敏博, 村中清志, 神田俊之, 古河嘉之, 野田悦郎, 材料とプロセス, 9(1996)1045
 [14] 篠崎昌斌, 至田喜栄, 工業加熱, 38-1(2001) 33
 [15] 飯島慶次, 水野浩, 横田修二, 本屋敷洋一, 材料とプロセス, 17(2004)188
 [16] 脇田淳一, 土師純治, 河野治, 中本武広, 上尾英孝, 高橋学, 江坂一彬, 鉄と鋼, 81-8(1995)31
 [17] 川邊潔, 大串圭二, 産業機械, 671(2006)30
 [18] 日本鉄鋼協会, 鉄鋼便覧第4版, 日本鉄鋼協会, (2002)
 [19] 日本機械学会編, 沸騰熱伝達と冷却, 日本工業出版社, (1990)
 [20] 大久保英敏, 西尾茂文, 機論 B, 55-517(1989) 2846
 [21] 岡本力, 菱沼紀行, 宮田秀憲, 谷口裕一, 公開特許公報, 2006-193759(2006)
 [22] Evans, J.F. and Clark, M.T., AISE Steel Technol., 79-6(2002)49
 [23] 藤林晃夫, 小俣一夫, JFE 技報, 5 (2004) 8
 [24] 日刊工業新聞, 2003年4月16日記事
 [25] 芹澤良洋, 山本龍司, 日本機械学会誌, 110-1060 (2007) 162
 [26] Cantiniaux, P. et al., *Ultra Fast Cooling on the Carlam Hot Strip Mill*, La Revue de Metallurgie-ATS-JSI, (2000)232
 [27] 角野康治, 倉橋隆郎, 竹士伊知郎, 高橋昌範, 足立明夫, 高岡真司, 材料とプロセス, 15(2002)285

溶接と伝熱について Heat Transfer Control in Welding

池内 建二（大阪大学接合科学研究所）

Kenji IKEUCHI (Joining and Welding Research Institute, Osaka University)

e-mail: ikeuchi@jwri.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

溶接・接合は、冷間圧接、接着、機械的締結などの一部の例外を除き、ほとんど総てが材料の加熱を必要としている。金属材料の溶接法として最も広く用いられているアーク溶接法では、最高 10^4 K 以上にも達する高温のアークプラズマを利用して、被溶接材料の一部および溶加材を溶融させることによって継手を得ている。この過程における伝熱現象の重要さは、例えば銅は鉄鋼に比べて融点が約 500 K も低いにもかかわらず熱伝導率が高いため、予熱温度を高くしないと溶け込みや、濡れの不足による欠陥を発生し易いことから伺い知ることができる。

このアーク溶接における伝熱現象は、生産能率を左右し、材料特性の変化をもたらす、さらに残留歪み・応力の成因となることは古くから良く認識され、関心を持たれてきた。アーク溶接部における伝熱現象の理論的取扱いとして、最も先駆的かつ後世まで利用されているのは、Rosenthal[1]によるもので、薄板および厚板の表面上を一定速度で移動する点熱源

からの熱伝導によって形成される準定常温度場の近似解が得られている。薄板の場合の解析結果の一例を図1に示す（鋼板、入熱=1.7 kJ/mm）。この例に示されるように最高温度まで急速に加熱され、その後かなり遅い速度で冷却される。また熱源の移動速度が一定のため、図の横軸は距離にも比例し、熱源前方に比べて後方が温度勾配が緩やかになることが分かる。このRosenthalの解は、熱伝導度や比熱などの材料特性の温度依存性、および溶融・凝固潜熱を無視し、点熱源と準定常状態を仮定しているなどの欠点があるが、溶接熱源によって形成される温度場の特徴をよく表すものとして現在もよく引用される。近年になって計算機の進歩と共に溶融・凝固潜熱を考慮した溶接温度場の計算が行われたが[2, 3, 4]、Rosenthalの解の特徴を大幅に変更するほどの顕著な影響は認められていない。

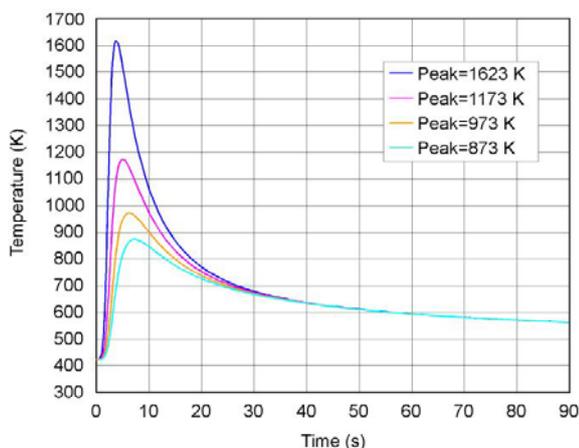


図 1 Rosenthal の理論式による溶接熱履歴. 溶接線からの距離と共に最高加熱温度が低下する.

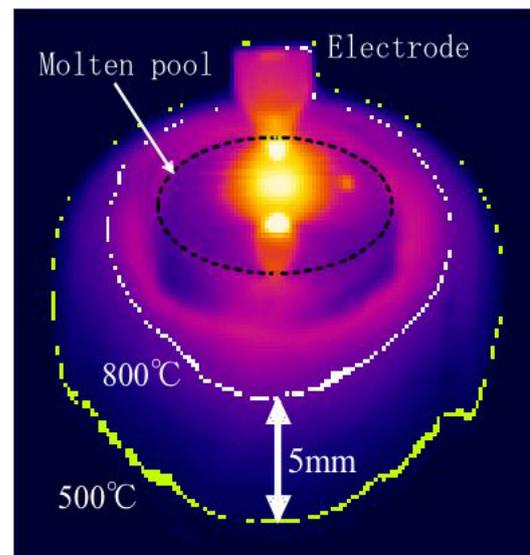


図 2 赤外線温度計による溶接温度分布の測定結果 [5].

一方、実験的には熱電対による温度履歴の測定が一般的に行われてきたが、温度分布を測定するためには多数の熱電対が必要になり限界があるし、また熱電対の固定などの煩雑な工程を要し生産現場で日常的に利用するには必ずしも向いていない。近年は赤外線温度計や、2色温度計などの機器の発展により、温度分布のその場観察が可能になってきた。その観察例を図2 [5]に示す。この図において1073 K (800°C) と773 K (500°C) の等温線が示されているのは、鋼の溶接熱影響部の金属組織がこれらの2温度間の冷却に要する時間によって支配されるためである。ちなみに冷却側の溶融池境界（鋼の融点約1770 Kの等温面に相当）から773 Kの等温線までの距離は約10 mmであり、温度勾配は平均100 K/mmにも達することが分かる。但し、この方法で測定できるのは表面の温度分布だけであり、材料内部については実験・経験的に推測するかあるいは解析的手法によって評価する必要がある。

最近の計算機の急速な発展とともに、様々な溶接現象のシミュレーションが試みられ、それらにおいては高度な伝熱現象の解析が取り込まれている。例えば、溶接ビードの余盛り形状や溶込み形状の計算 [6, 7]においては、溶融・凝固潜熱のみならず溶融池中での液体金属の対流の効果も考慮した伝熱問題が数値的に解かれている。また溶接残留歪み・応力の計算においては複雑な3次元形状の継手や、多層盛溶接時の繰返し入熱に伴う伝熱現象の解析も行われている。これらのシミュレーションで用いられている溶接温度場の計算は、Rosenthalの解およびそれを発展させた従来の取扱いに比べて確実に進歩したものになっている。

本稿においては、溶融池中での液体金属の対流による伝熱を考慮した計算例としてティグ溶接の溶込み形状に対するマランゴニ対流の影響についての研究を紹介し、また伝熱現象が継手特性に顕著な影響を及ぼす例として、溶接熱サイクルが鉄鋼材料の組織・特性に及ぼす影響についても最近の話題を取り上げたい。

2. ティグ溶接の溶込み形状に対するマランゴニ対流の効果 [7]

ティグ溶接はArやHe等の不活性ガス中でタングステン電極と母材（被溶接材）との間にアークプラズマを発生させ、母材を溶融させて接合する方法で、

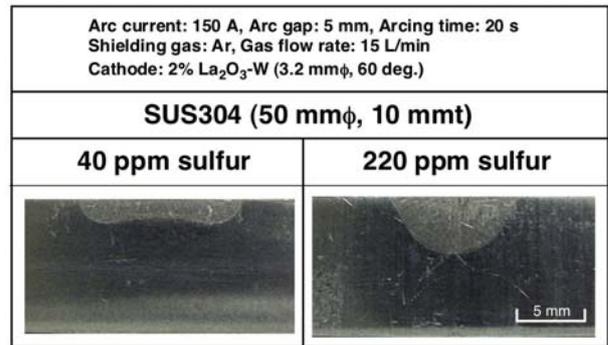


図3 ティグ溶接によるステンレス鋼の溶込み形状に対するSの影響 [7].

溶加材を補給する場合と、溶加材無しの場合がある。図3は、ステンレス鋼のティグ溶接部（溶加材なし）の断面を観察したもので、不純物としてSが僅かに220 ppm含まれるだけで溶込み形状が著しい影響を受けることを示している。この現象は古くから知られ、Sによるマランゴニ対流の方向の変化に起因するものと定性的に説明されてきた。この現象について、ティグ溶接におけるアークプラズマ、陽・陰電極、および溶融池を含む領域における物質およびエネルギー流を数値的に解くことにより検討が加えられている。

図4に、この計算によって考慮された物質とエネルギーの流れを示す。すなわち、アークプラズマからの熱伝導および電子流（プラズマ電流の主体）の入射によって母材に熱が与えられ、逆に放射および

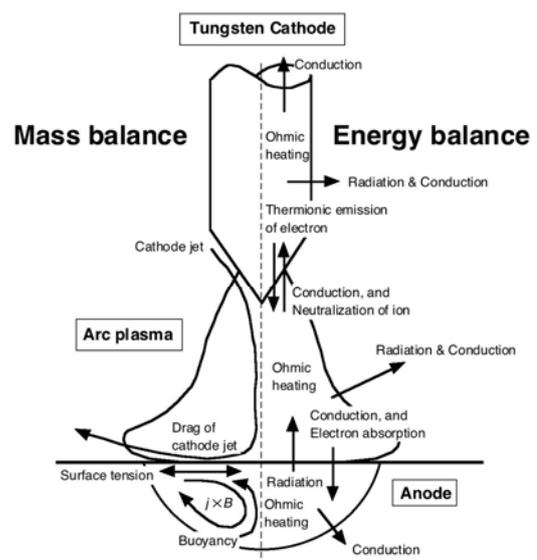


図4 ティグ溶接における物質とエネルギーの流れ [7].

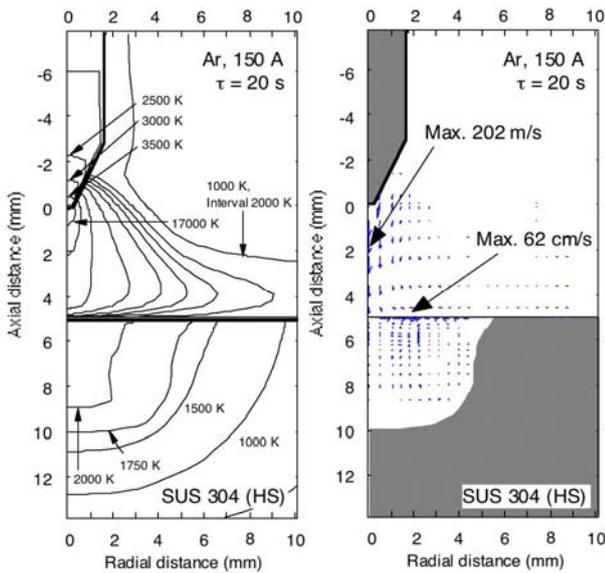


図 5 静止ティグアーク溶接における温度場と物質速度場. 但し, 母材はステンレス鋼, シールドガスはアルゴン, 溶接電流は 150 A である[7].

び母材中への熱伝導によって熱が奪われる. アークプラズマ直下の母材部に十分な熱量が与えられ, 融点以上の温度に達すると溶融池が形成される. この溶融池中の液体金属には 4 種類の駆動力が作用すると考えられている. その一つは, アーク直下の中心部から周辺部へ向かう放射状のプラズマ気流によるせん断力 (摩擦力) で, 溶融池表面に中心部から外向きに向かう流れを発生させる. 次は溶融池中を流れる電流による電磁力で, これは溶融池の中心部への内向きの流れを駆動し, 一方, 溶融池内の液体金属の温度差に起因する浮力は, 外向きの流れを発生させる. 最後に溶融池表面の表面張力の差に起因するマランゴニ力は, 表面張力の低い方から高い方へ向かう流れを発生させる.

一般に液体金属の表面張力は, 温度の上昇と共に低下し, マランゴニ対流の方向は溶融池表面で中心から外向きに向かうものとされてきた. しかし, S のように表面張力を大幅に低下させる元素が含まれる場合は, これらの元素の表面偏析量が高温になるほど低下するため, 表面エネルギーは温度と共に上昇するといわれている. すなわち, 上記の 4 つの対流の内, マランゴニ対流のみは S 濃度によって方向を逆転することができる.

以上の 4 つの駆動力の各々が独立に作用すると仮定して, 発生した対流の流速を比較するとプラズマ

気流によるものが最も高く, 次いでマランゴニ力によるものとなる. すなわち, プラズマ気流自身の流速は最高 200 m/s にも達し, これによって駆動される対流の流速は 470 mm/s と見積もられている. マランゴニ対流の流速は, 低 S 濃度場合 180 mm/s である. これらの対流に比べて, 他の 2 つは非常に弱い. したがって低 S 濃度の場合, プラズマ気流による摩擦力とマランゴニ力が溶融池表面を外向きに向かう対流を強めあい, この対流が溶融池内の熱輸送を支配するため幅広の溶込みが得られるものと説明される.

一方, 高 S 濃度の場合にはマランゴニ力による溶融池表面上の対流の駆動力は, プラズマ気流によるものとは逆に内向きとなり, 両者の干渉によって複雑な対流が生じる. 高 S 濃度の場合のティグ溶接中の温度場と物質流を数値解析した結果が図 5 である. プラズマ気流の流速が遅くなるアーク中心 (よどみ点) と溶融池周辺部でマランゴニ流の影響が強くなる. 特に周辺部でのマランゴニ力による内向きの流れと, プラズマ気流による外向きの流れがぶつかる点で強い深さ方向の流れが発生している. この流れによって深さ方向に熱が輸送され深い溶込みが得られるものと考えられる.

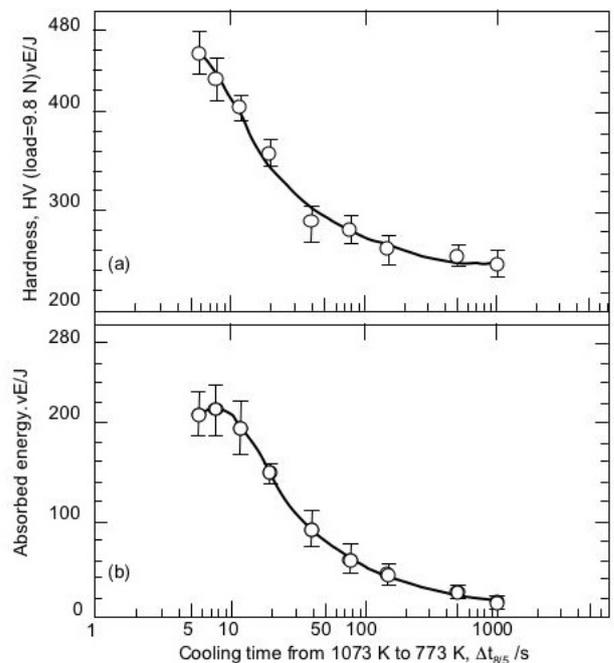


図 6 圧力容器用鋼 SQV2A の硬さおよびシャルピー衝撃吸収エネルギーに対する冷却時間 $\Delta t_{8/5}$ の影響.

以上のようにして、図3に示すティグ溶接によるステンレス鋼の溶込み深さに対するSの影響をマランゴニ対流の効果によって説明できることが示された。図5に示すこの計算結果から明らかなように、アーク溶接においては、プラズマ、気体、液体、固体の物質の4存在形態が全て含まれ、 10^4 Kを越える温度からはほぼ室温までの温度分布があり、さらには流速 200 m/s を越えるプラズマ流や、複数の力によって駆動される液体金属の対流などの物質流が発生し、これらが互いに関係しあいながら僅か $10 \times 10 \times 10$ mm 程度の領域内で共存している。このようにアーク溶接は非常に複雑な対象で、包括的な理論的取扱いは計算機による数値解析に頼らざるを得ない状況にあり、現在も精力的な取組みが行われているが、まだ金属蒸気のアーク中への混入や、溶加材の添加、あるいは溶接欠陥の発生につながる非正常現象の取扱い等まだ多くの課題を残している。

3. 材料組織と特性に対する溶接熱影響

鉄鋼やアルミニウム合金等の金属材料は構造用あるいは機能性材料を問わず、加工や熱処理による材料組織の造り込みによって特性を発現させている。従って図1に示すような融点近傍にも達するような急速加熱・冷却過程からなる熱履歴を受ければ、組織と特性が顕著な影響を受けることは当然である。

金属組織的に重要なのは、熱履歴の最高加熱温度と冷却速度である。鉄鋼材料の溶接熱影響部の場合、冷却速度の影響は 1073 K から 773 K までの冷却に要する時間 $\Delta t_{8/5}$ で整理されるといわれている。図6[8]は圧力容器用鋼 SQV2A の硬さおよびシャルピー衝撃吸収エネルギーに対する冷却時間 $\Delta t_{8/5}$ の影響を示したもので、冷却速度の低下、すなわち $\Delta t_{8/5}$ の増加と共に硬さ、および吸収エネルギーは低下する。鋼材の熱影響部の硬さは水素による遅れ割れの防止のために 350 HV 以下に抑えることが一般に要求されるが、 $\Delta t_{8/5}$ が長すぎると吸収エネルギーの低下が顕著になり、靱性の劣化が問題となる。このため、 $\Delta t_{8/5}$ 、すなわち冷却速度を制御する必要がある。冷却速度は、溶接入熱、母材の板厚、および予熱温度の関数となるため、与えられた板厚および溶接法に対して入熱と予熱温度から冷却時間 $\Delta t_{8/5}$ を求めることのできるノモグラフが従来から用いられてきた。

最高加熱温度の機械的性質への影響の一例として、多層盛り溶接部における2層目の溶接熱履歴が1層

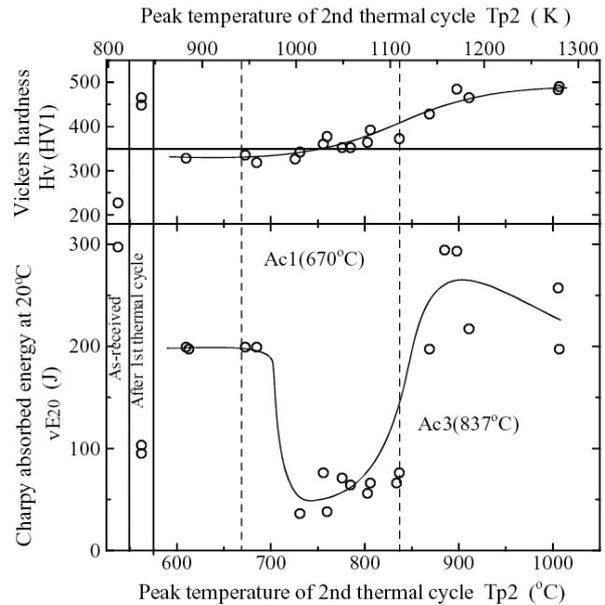


図7 圧力容器用鋼 SQV2A 鋼の2層溶接における熱影響部の硬さおよびシャルピー衝撃吸収エネルギーに対する2層目熱履歴最高温度の影響[9].

目の熱影響部に及ぼす影響を調べた結果を図7[9]に示す。シャルピー吸収エネルギーは2層目の溶接による熱履歴の最高加熱温度によって顕著な影響を受け、700～800°Cにおいては1層目の熱影響を受けたままよりもむしろ低くなる。この温度域と比べて、加熱温度900°C以上では吸収エネルギーが大幅に増加するが、硬さが350 HV以上そのまま、水素による遅れ割れ性の点から好ましくない。これらと比べて2層目の加熱温度が600～700°Cの場合は、吸収エネルギーが1層目の熱影響を受けたままより改善され、硬さも350 HV以下まで低下している。従って、2層目以降の溶接によって600～700°Cの温度域に再熱されるように溶接入熱やパス間温度（予熱温度に相当）を設定しておけば、1層目の熱影響部の特性を後熱処理なしで改善することができる。一方では再熱温度が700～800°Cでは靱性の劣化が著しくなる。前者の効果を利用するのが、テンパービード工法と呼ばれる方法で、後熱処理の困難な大型構造物の補修溶接法として用いられている。その例が図8で、欠陥発生部を削除した後、開先面に3層の溶接ビードがテンパービードの条件を満たすように盛られている。この後、より大入熱の溶接ビードが高効率で盛られて行く。このようにテンパービード工法

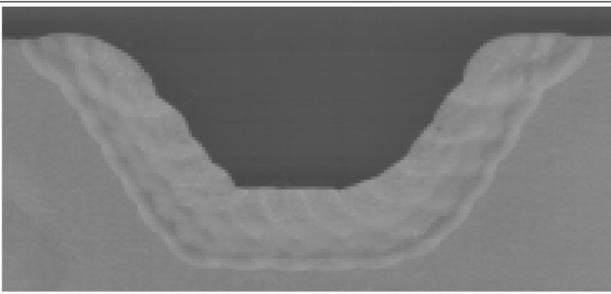


図 8 テンパービード工法溶接部の断面.

は、溶接熱影響を材料特性の改善に積極的に利用しようとするものであるが、溶接条件の選定は経験あるいは実験に基づいて行われているのが現状である。

4. むすび

以上に紹介してきたように、アーク溶接において伝熱現象は、溶込み深さや、材料組織・特性に顕著な影響を及ぼす。これら以外にも、第1章で述べたように溶接ビードの形状や生産能率、溶接欠陥の発生、および残留歪み・応力についても、伝熱によって支配される温度分布とその時間変化が支配的な要因となる。これらの分野では、第2章で紹介したようにアークプラズマ中での発熱と熱平衡、気体・液体の対流と伝導による熱輸送、陽・陰電極表面での熱の出入りなど多数の要因を取り込んだ数値計算に基づく解析が取組まれている。また、溶接部の残留応力・歪みについても、その成因が局所加熱による熱歪みにあるため、3次元の開先や継手形状、また多層・多パス溶接時の複雑な手順をも反映した伝熱現象が理論的にとり扱われている[10]。このように、アーク溶接における伝熱現象の解析は、計算機の発展と共に長足の進歩を遂げつつある。

しかし一方では、第3章に述べたように、材料特性を確保するために溶接熱影響部の最高加熱温度や

冷却速度を所定の値に設定する際には、経験的あるいは実験的に溶接条件の選定が行われている。また溶接変形の制御については、近年は有限要素法による計算の成果がかなり活用されているが、その微妙な矯正等についてはまだ作業者の経験や技能に依存する所が少なくないようである。これらの分野においても、伝熱現象の解析手法の近年の発展が、より広く利用されることが望まれる。

参考文献

- [1] Rosenthal, D., *Weld. J.*, 20(1941), 220-s.
- [2] 牛尾誠夫, 石村勉, 溶接学会論文集, 4-2(1986), 68.
- [3] Paley, Z., and Hibbert, P.B., *Weld. J.*, 54(1975), 385-s.
- [4] Kou, S., *Metall. Trans. A*, 13(1982), 363.
- [5] 水野亮二, 正野進, 松田福久, 溶接部冶金的品質監視手法に関する研究, 溶接学会溶接冶金研究委員会資料, (2001), WM-1783-01.
- [6] 山本剛史, 山崎洋輔, 辻陽子, 宮坂史和, 黄地尚義, 溶接学会論文集, 23(2005), 71.
- [7] 田中学, 溶接学会誌, 74(2005), 113.
- [8] Liao, J., Ikeuchi, K., and Matsuda, F., *Nuclear Eng. Design*, 183(1998), 9.
- [9] Mizuno, R., Brziak, P., Lomozik, M., Kitamura, I., and Matsuda, F., A Study of Thermal Cycle Condition of Temper Bead Welding for SQV2A Pressure Vessel Steel, (2003), IIW Doc. IX-2062-03.
- [10] Itoh, S., Sengel, M.A., Shibahara, M., Serizawa, H., and Murakawa, H., Influence of Various Factors on Distortion of Pipes under Butt and Fillet Welding, 8th International Seminar on Numerical Analysis of Weldability, Graz-Seggau, (Sep. 2006), to be published.

樹脂機械と伝熱について

Use of the Conductive Heat in the Process Machinery for Resin

田中 達也（同志社大学）

Tatsuya TANAKA (Doshisha University)

e-mail: tatanaka@mail.doshisha.ac.jp

1. 高分子材料の加工

高分子材料（樹脂、ゴム、エラストマー）は、重合工程を経て高分子化した原料を冷却あるいは加熱による固化時に賦形化して製品とする。高分子材料の中でもタイヤなどに利用されるゴム材料を除けば樹脂材料の利用が圧倒的に多い。樹脂材料は、固化の仕方の違いにより、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別される。

常温において固体である熱可塑性樹脂の場合、成分調整の方法として、加熱溶融状態での流動性を利用したコンパウンド工程がある。この工程は混練機により行われ、他の樹脂とアロイ化されたり、粒子や繊維と複合化され押出造粒される。図1に示す様に、混練機はバッチ式あるいは連続式に大別され、その機構・構造の違いによって色々な形式の混練機が市場に提案されている。樹脂成分調整後、押出成形機あるいは射出成形機で再度加熱溶融され、金型により最終形状を賦形する。押出機の場合、シートやフィルム、棒形状の製品が、射出成形では複雑な3次元形状の製品が製造される。常温で液体である熱硬化性樹脂の場合、成分調整は液体状態で混合されるため容易である。そして、同時に硬化剤が添加され、熱可塑性樹脂と同様に押出機や射出成形機で賦形され加熱されることで固化し製品となる。熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の違いは図2に模式図で示す[1]。

一般に高分子材料は、固化状態から加熱される（昇温する）につれて軟化し、ガラス状に変化するガラス転移温度 (T_g)、溶融する温度 (T_m : 溶融点) そしてガス化し分解する温度があり、各状態で相変化を起こす。上述したように、幾つかの加工工程を通じて加熱冷却が繰り返される。高分子材料は、モノマーをポリマーに変える化学反応である重合（付加重合と縮合重合に大別される）により所定の機能を発揮する材料になるが、原子同士は共有結合であり、図3に示すように熱可塑性、熱硬化性樹脂共に、一部の樹脂を除いて 400°C ~ 500°C の加熱状態では共有結合が切断され、低分子

化あるいはガス化される [2]。一方、表 1 [3]（各種樹脂材料の融点）に示すように、熱可塑性樹脂の種類によって異なるが、 T_m は $120\sim 320^{\circ}\text{C}$ 程度であり、金属に比べて極めて狭い温度範囲の中で加熱・冷却固化での加工が繰り返されていることが分かる。このことから、高分子材料の成形加工に使用される混練機や射出成形機には、精度の高い温度制御が要求されることが容易に理解できる。

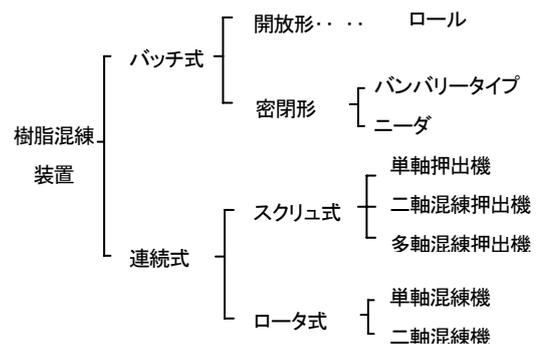


図1 樹脂混練機の分類

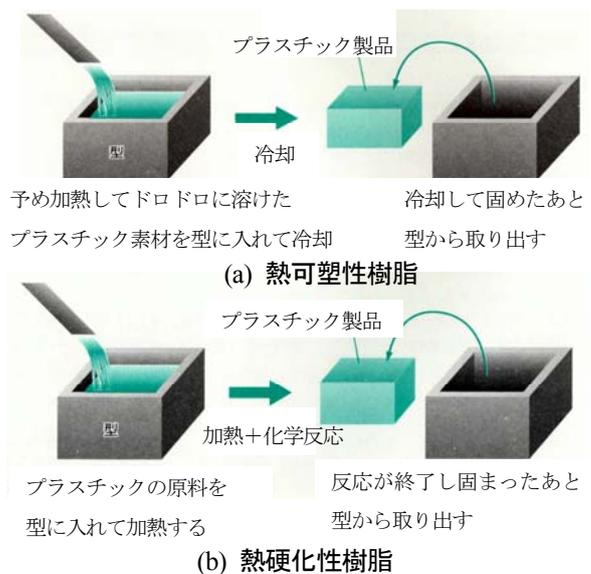


図2 熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の違い

2. 混練造粒から成形工程における省エネルギーと温度制御

2.1 大型混練造粒機によるオレフィン系樹脂の造粒

樹脂材料の分類を図4に示す。熱可塑性、熱硬化性やその組成の違いにより非常に数多くの種類がある。これらが製造・製品化される過程において、組成の調整や造粒あるいは最終製品の成形用として混練押出機が利用される。特に、熱可塑性樹脂の中の汎用樹脂

の代表で生産量が最も多いポリエチレン（PE）やポリプロピレン（PP）（総称してオレフィン系とよぶ）は、特に色々な製品に使用されており、現在の日常生活の中で欠くことの出来ない樹脂材料である。これらは、各種重合方法により高分子化されるが、いずれの場合も、造粒工程では混練押出機によりペレット化される。この工程で多く使用される機械は、図1に示した中の二軸混練押出機と言われるものである。

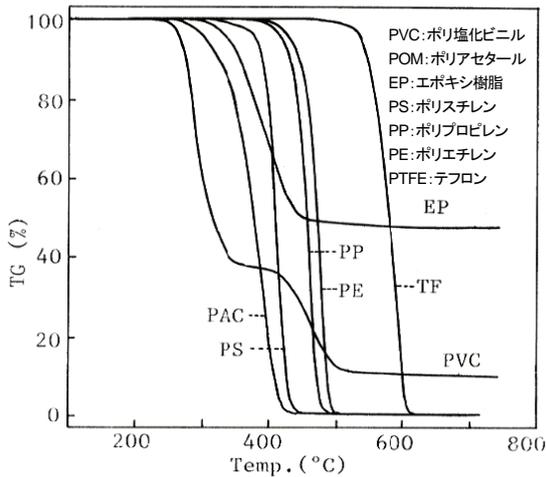


図3 各樹脂のTG測定結果

表1 代表的な結晶性熱可塑性樹脂

樹脂名	略号	ガラス転移温度	融点
		TG	Tm
ポリエチレン	PE	-90~-80	112~135
ポリプロピレン	PP	-18	135~186
ナイロン6	PA6	48	225
ナイロン66	PA66	50	265
半芳香族ナイロン6T	PA6T	125	320
ナイロンMXD	MXD	75	243
ポリブチレンテレフタレート	PBT	22	224
ポリオキシメチレン	POM	-60	167~178
液晶ポリエステル	LCP	-	188~421
ポリフェニレンスルファイド	PPS	85	285
ポリエーテルエーテルケトン	PEEK	143	334

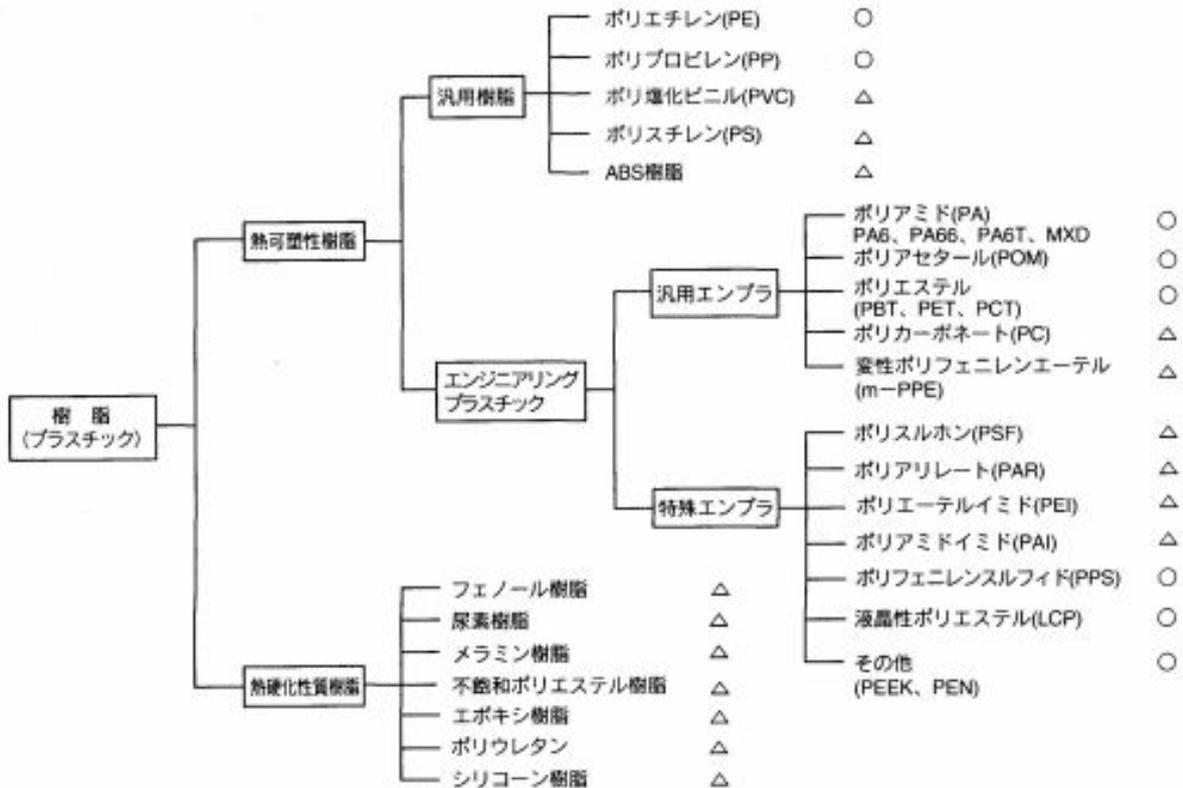


図4 樹脂の分類 (○：結晶性, △：非晶性)

図5には二軸混練機[4]の概略図、図6に二軸混練押出機の写真を示す。内部で回転する二本のスクリュは、その軸が異方向または同方向に回転する連続式が使用される。この軸の回転により作用するせん断応力で添加されたフィラーや薬剤が混練分散される。図5の二軸混練機の場合、混練分散能力は押出機能を持っている図6の二軸混練押出機より優れているものの、滞留時間が短く反応工程に不向きで、また混練した樹脂を連続して造粒機（ペレタイザー）から押出す能力が無いため、以前は押出装置として下流側に単軸押出機が付設されていた。しかし、単軸押出機は消費動力が大きく、また押出するためのスクリュ回転で樹脂はさらにせん断発熱し局所的な熱劣化を起し易くなり樹脂温度の制御が難しかった。生産量の増加に伴いさ

らに大きな押出機が必要となってきたためコンパクトで省エネルギーの押出方法のニーズが高かった。そこで、1980年代に入り、小さなエネルギー消費でせん断応力が作用せず樹脂のせん断発熱も少なく、またコンパクトな装置ながら大きな押出能力で樹脂を押出すことが出来るメルトポンプ（ギアポンプ）が出現し、現在では二軸混練機の後工程の押出方法の主流の装置に利用されている[5,6]。一方、メルトポンプの開発当初は、図6に示す二軸混練押出機には押出能力が備わっているため、下流側の押出機構は不要とされていた。しかし、近年の高品質化を目指した新しい触媒の開発により、押出能力の安定性がより重要となってくる中で、いずれの方式の混練機もメルトポンプは必須となっている[7]。

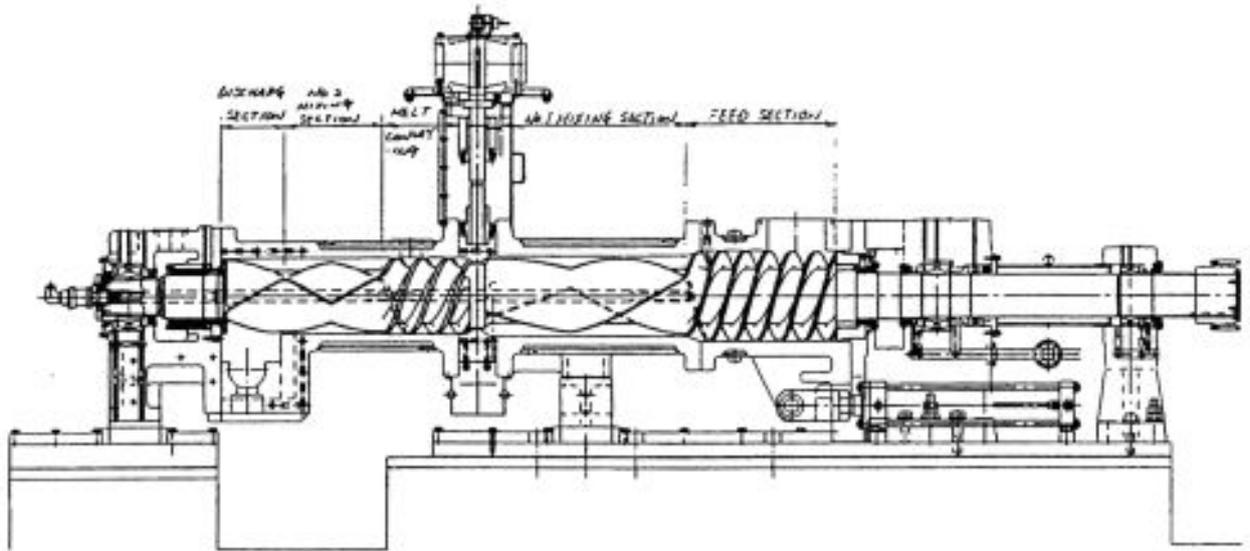


図5 オレフィン系樹脂における二軸混練機概略図（神戸製鋼所製 LCM-H シリーズ）

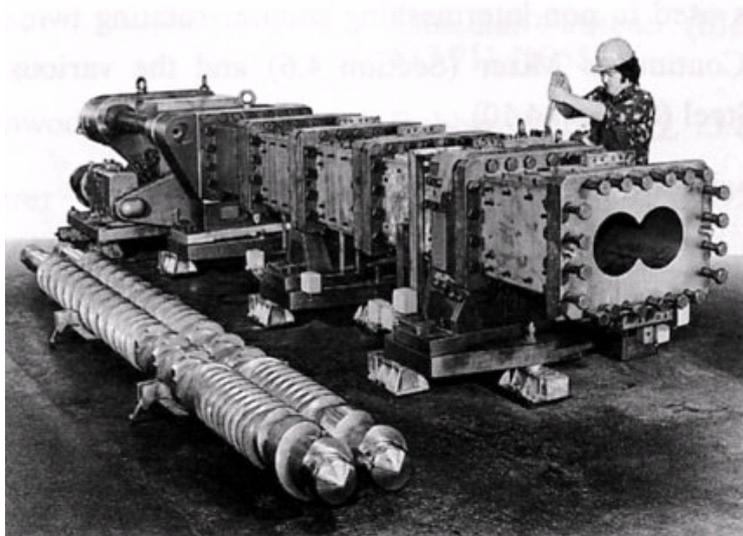


図6 二軸押出機外観写真（Coperion Werner & Pfleiderer ZSK300）

次に、世界の汎用樹脂生産量の推移を図7に示す。国内の生産量は停滞気味であるが世界的には増加傾向にある。また、アジア、欧州、北米三極の生産量は拮抗してきている中で、中国の台頭は著しい。一方、樹脂生産量の増加と共に、混練機1台当たりの生産量は飛躍的に増加し、最近では60ton/h(60万ton/年)以上が製造できる機械が要求され、かつ動力として1万kW以上の電動機が付設されている。ここで、混練押出機的设计には、単位重量当たりの消費電力量(kWh/kg) (すなわち、エンタルピと同等) が重要なファクターとされる。一般に、上記したような汎用樹脂では0.15~0.25 kWh/kgを目安に設計される。ここで、図8にオレフィン系樹脂の比エネルギーと温度の関係であるエンタルピ曲線を示す[8]。PE系で130°C前後、PPで160°C付近では融解潜熱にエネルギーが使われるため傾きが小さくなるが、その後300°Cになるまでに約0.20~0.25 kWh/kgのエネルギーを必要とし、ほぼ混練造粒機的设计データと一致する。このように、混練機中では、モータ動力によるスクリュ回転により、せん断応力が樹脂材料に作用し、発熱・昇温によって樹脂は溶解混練される。混練機のサイズにもよるが、オレフィン系の造粒に使用される大型混練造粒機では、ほぼ断熱状態で運転されるため、モータ動力のほとんどが樹脂の昇温と融解するために使われており、混練機と造粒機であるメルトポンプとの組み合わせは、エネルギーロスの少ない省エネルギーな機械であることが理解できる。

しかし、この混練造粒工程において、樹脂の温度履歴を追ってみると、混練機で常温から250~300°C程度まで昇温された樹脂は、造粒機でペレット化された時は、水槽中で再び水冷によって冷却固化される。オレフィン系樹脂の大量生産と共に混練造粒システムの

大型化が始まった頃より、この廢熱の有効利用に関する提案が幾つか出されている[8]。図9に典型的な造粒加工時のエネルギーバランスを示す。この中でペレット冷却水の活用が最も有望なであると述べられており、

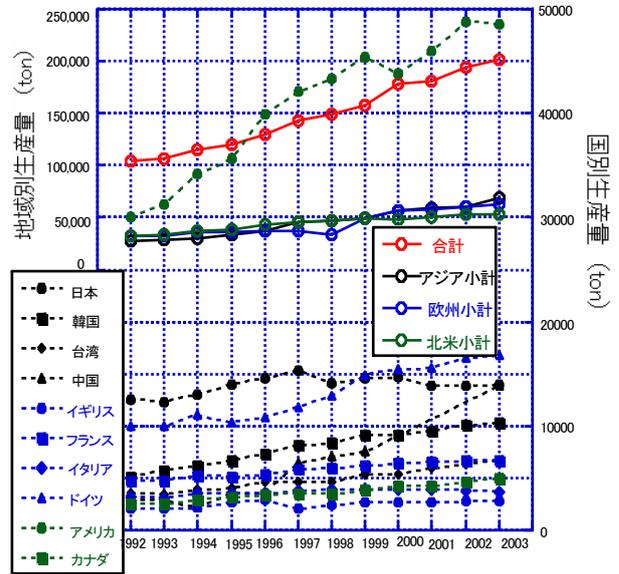


図7 世界の汎用樹脂の生産量の推移

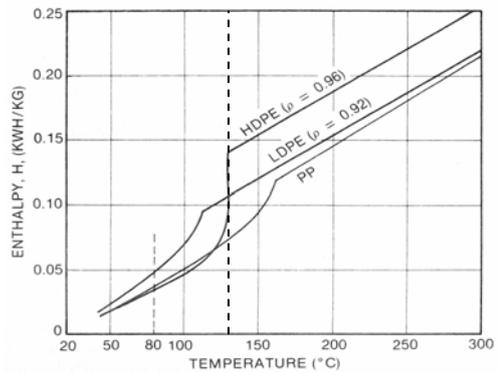


図8 オレフィン系樹脂のエンタルピ曲線

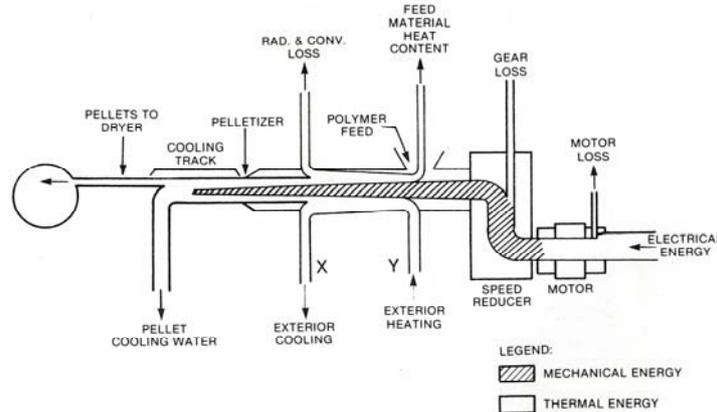


図9 典型的な造粒加工のエネルギーバランス

近年の機械の大型化から見ると合計のエネルギーとしては非常に大きい。しかし、排水温は40～60℃であり、効率よく利用することは難しいエネルギーである。今後、環境対応として有効活用が望まれるところである。

2.2 二軸押出機による成形加工

大型混練造粒機で製造されたペレットは、押出成形や射出成形加工によって製品化される。射出成形加工が3次元形状製品の大量生産に向いており、押出成形はシートやフィルム製品や断面が2次元形状の連続形状製品の大量生産に向いている。先ずここでは、押出成形について記述する。

過去において、押出成形に使用される押出機はほとんどが単軸押出機であった。しかし、近年の多様なニーズに対し、少品種大量生産型から多品種少量生産にその生産方式が変化していく中で、高品質な製品をコストアップせずに対応出来るシステムとして二軸押出機が利用されることが多くなっている。二軸押出機もスクリュの回転方向によって異方向および同方向回転があるが、フィラーや繊維の分散を伴う場合には、一般に同方向回転が利用される。押出成形の場合、エンジニアリングプラスチックとよばれる耐熱性が高い高品質な熱可塑性樹脂を対象とすることが多いために、比エネルギーに換算すると大型混練造粒機より消費されるエネルギーは大きい。また、表1を見ても分かるように、これらの樹脂ほど融点と分解温度の範囲が狭くなるため、樹脂劣化を防ぐためのより高度な温度制御が必要となる。そのため、二軸押出機ではモータ動力からのスクリュ回転によるせん断発熱による昇温だけではなく、バレル外側に付設された加熱ヒータによって制御され、オーバーヒートした場合は、自動的に冷却水をバレル壁面内に流す機構により精

緻に温度制御されている。そして、大きな押出能力が必要な場合は、押出機先端に取り付けられた小型のメルトポンプによって一定圧力を保持しながら、押出用金型内（以下、ダイ）で賦形化され、同時に固化しながら押し出される。この間で溶けた状態から固化した状態への相変化するため、混練工程以上にダイの温度制御は重要となる。ダイを含めた押出機全体の温度制御として、フィードバック制御による幾つかの方法が提案されている。図10に示すシステムでは、温度制御機能として高精度でオーバーヒートすることが少なく、段階的に自動でステップ昇温する機能や温度の立ち上がりに応じて自動的にゾーンを順番に昇温し、全てのゾーンがほぼ同時に昇温を完了する機能などが付いており、バレル、アダプタ、ダイまで成形ライン全体を制御する[9]。さらに、ヒータの制御だけではなく、スクリュによるせん断発熱を抑えるためにモータ駆動の制御、樹脂フィード量の制御等、温度制御と品質に関わる全てのパラメータを管理しており、滞留による樹脂焼けも起こりにくく高品質な製品の製造が可能となると思われる。一方、最近のコンピュータの高性能化に伴う数値解析技術の進歩により、二軸押出機内の流動解析技術は日進月歩進化しているが、特に樹脂が充満している領域内の流動については現実の課題解決ができるレベルにまで完成しつつある[10]。一方、数値シミュレーションの最終目標は、固相から始まる混練溶融工程から押出成形し再固化するまでの一環のプロセス解析を可能にすることである。相変化のモデル化や溶融樹脂の非充満状態に伴う伝熱モデルの構築など、解決されるべき課題も数多く残っている。

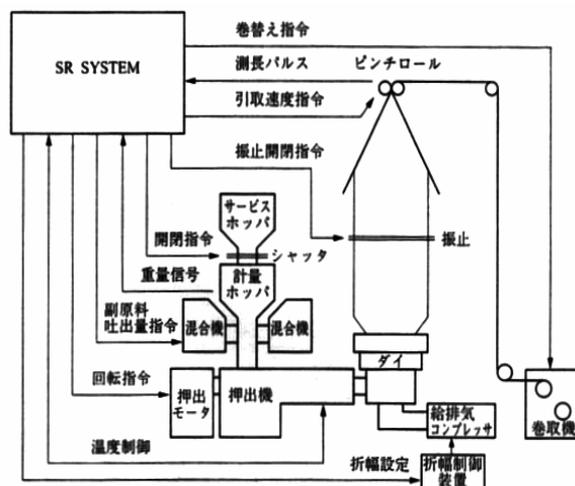


図10 制御システム概要（理化学工業製：SRシステム）

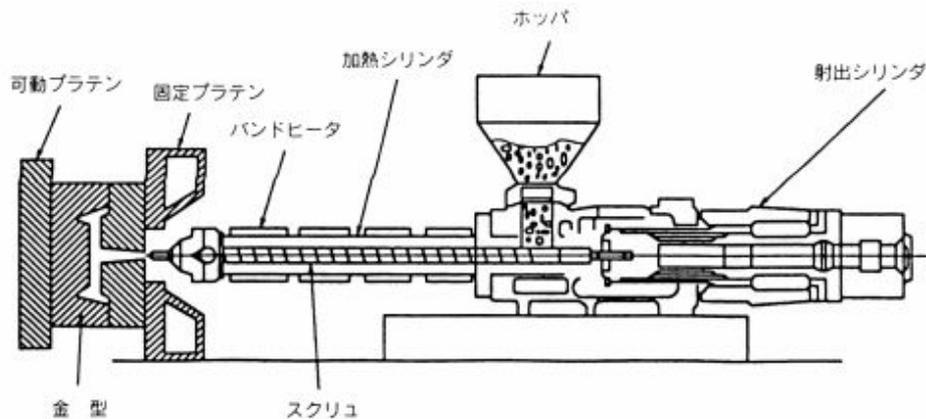


図 11 射出成形機の概要図

このように、樹脂材料の高品質化に伴います樹脂の温度制御技術は重要となっている。一方、古くて新しい技術として誘導加熱技術が挙げられる。樹脂成形加工機への誘導加熱技術の適用は随分前から行われており様々な部位への適用が提案されている。二軸押出機もその例外ではなくバレル加熱等が検討されている[11]。コイルに交流電流を流し磁界を発生させ、コイル中の被加熱物（電気誘導体）の内部に渦電流が誘起し、電流の流れる部分が発熱する原理（電磁誘導加熱）を応用した技術である。しかし、装置が従来の電気式ヒータに比べて高コストになることや温度制御の困難さから押出機へ積極的に採用されることはほとんどなかった。しかし、近年のインバータ等の電気・電子部品の低価格化や大型化しているペレタイザー等に見られる均一に急速加熱冷却する技術へのニーズの高まりから、新技術として実用化への期待も大きい[12]

2.3 射出成形機による成形加工

上記した押出成形の主流はフィルムやシート、あるいは異形断面構造部材（サッシ等のフレーム類）などの2次元的な形状を賦与する大量生産品に用いられる。一方、プラスチック成形品と言えば自動車部品から日用品等までかなりの製品が3次元形状をしており、そのほとんどは射出成形機によって製造される。射出成形機を大別すれば、スクリュウ混練部と射出部を分けたプリプラ式と両機能をスクリュウが兼ね備えたインライン式に分けられるが、現在では生産性の高いインライン式が主流で、プリプラ式は混練が困難な樹脂等、特殊用途への使用に限定されている。インライン式の射出成形機の概略図を図11に示す

射出成形機の温度制御は、押出機と同様にスクリュウ部での混練熔融に加えて、射出成形用金型内（以下、

金型）の均一な温度制御を必要とする。液相（熔融）状態のまま高速高圧でノズルより射出された樹脂が金型内を流動し、金型内壁面より冷却（抜熱）され密度変化を伴いながら相変化し固化する。押出状態との違いは射出圧力の高さ（ $\sim 200\text{MPa}$ ）である。以前は高圧状態での体積および温度（ $\sim 400^\circ\text{C}$ ）の測定は難しかったが、現在では色々な方式の測定装置が研究開発され実用化されている。例えば、図12に示すように各温度と圧力条件下での比容積をPVT測定装置で測定することにより、高圧下の射出成形に関する重要なデータを得ることができる[13]。このデータを使用し数値シミュレーションすることにより、冷却固化時における精緻な温度設定が可能となり、金型内での凝固収縮状態（ひけ、ソリ）が予測できるようになる。最終製品の形状に関わる残留応力によるソリ解析により、寸法精度の高い高品質な製品の成形が可能となっている。

一方、射出成形分野では、従来よりノズル部やホットランナー部の急速加熱方法として誘導加熱技術が利用されていた。最近、3次元的な複雑な形状を成し、上下2面で構成される金型内温度を高精度に制御する方法として、金型への誘導加熱技術の適用が提案されている[14]。これは、電磁誘導加熱を用いた急速加熱・冷却システムで概略を図13に示す。発熱の原理は先に記載したが、この場合上下の金型内部に組み込まれたコイルに電流を流し、磁界を発生させ、その電磁誘導によって金型表面のみを加熱するため、短時間での加熱が可能である。また、冷却は、金型表面の真下を通るパイプに冷却水を通すことによって行うが、加熱部の体積が小さいため短時間で冷却でき、ハイサイクル成形が可能となる。

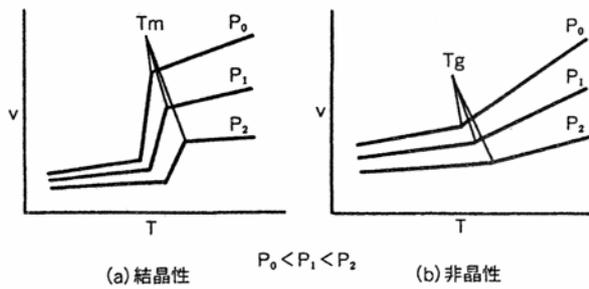


図 12 PVT の模式線図

最後に、射出成形分野の最近の傾向として、欧州を中心に図 14 に示すような押出機と射出成形を複合化した装置の開発が盛んである [15]. これは、10 年以上前から提案されていた技術だが、最終製品までに 2 度の熔融と固化を繰り返す、樹脂劣化が生じ易い従来の製造方法に対して、オンラインでコンパウンドしたまま射出成形することが可能で、成形品に対する熱劣化を少なくしかつオーダーメイドな機械的性質を得ることができる。また、国内でも「製造工程省略による省エネ型プラスチック製品製造技術開発の開発事業」として新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の補助金事業として委託を受ける中で、重合後の熱可塑性樹脂粉体を造粒することなく最終製品を製造する技術開発が再び見直されている [16].



Inductors

Cold water

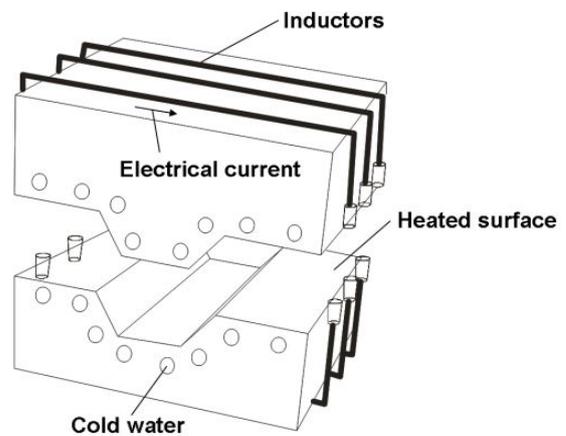


図 13 誘導加熱方式による金型の急速加熱技術

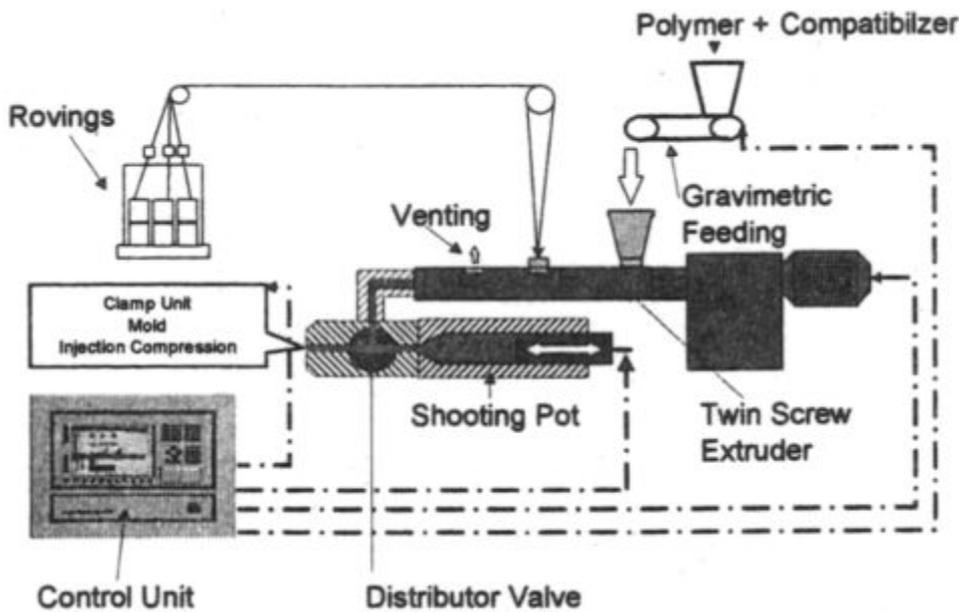


図 14 複合射出成形機

3. まとめ

以上、高分子成形加工に関して、高品質化に欠かせない温度制御の重要性と現状について記述した。最近の温度計測技術およびシミュレーション技術の進歩から、試作段階を経ずに数値シミュレーションのみで製品化することも少なくない。しかし、高分子材料のようにせん断発熱や壁面からの熱伝達により相変化を常に伴う加工では、壁面との摩擦係数や熱伝達係数の入力データによって結果が大きく異なることがある。一方、このような摩擦係数や熱伝達係数あるいは熔融樹脂の比熱データは、実験的にも精度良く測定することは難しい係数である。そのため、熱移動に関するより一層精度の良い各係数の測定技術の確立が望まれるところである。

参考文献

- [1] 桑島, 木原, 工藤, 最新プラスチックの仕組みとはたらき, 株式会社秀和システム, (2005), pp. 24
- [2] <http://www.siint.com> より抜粋
- [3] 産業調査会 辞典出版センター, 実用プラスチック成形加工辞典, (1999), pp. 39-41
- [4] M. Kashiwa, T. Tanaka, etc., Development of New Continuous Mixer LCM-H, Society of Plastic Engineers Polyolefins XIII International Conference, (1999) pp. 269-278
- [5] Andreas Imthurn, Jorge Guzman, etc., An Economic and Technical Overview Retrofitting Pelletizing Lines with Gear Pumps, Society of Plastic Engineers Polyolefins IX International Conference, (1995) pp. 271-286
- [6] McKelvey J. M., New Data Show How Gear Pumps Boost Extrusion Productivity, *Plast Technology*, Vol.28, No.10, (1982) pp. 45-47
- [7] McKelvey J. M., Energy Utilization in Extrusion., *Advanced Polymer Technology*, Vol.3, No.3, (1983) pp. 205-211
- [8] Edmund W. Schuler, Energy Efficiency in High Volume Plastic Compounding Operations, *Advanced Polymer Technology*, Vol. 3, No.3, (1983) pp. 281-287
- [9] 本多, 押出成形機における温度制御と自動化・省力化, *プラスチックエージ*, (2001), pp. 95-99, 3月号
- [10] 石川健, 田中達也他, 二軸押出機ニーディングブロックのチップクリアランスと混合性能, 成形加工シンポジア, Vol.2002, (2002) pp. 309-310
- [11] 特許公開平 7-1554, “押出機のシリンダの加熱方法および装置”, 日本製鋼所
- [12] 特許公開平 9-201822, “押出機のダイスの加熱方法, ダイスおよび押出機”, 日本製鋼所
- [13] 島津 p-v-T 測定装置 PVT-200 とその測定例, 岩本剛, 井上政明他, Vol. 46, No. 3, pp. 101-108 (1994)
- [14] 偏平断面ガラス長繊維熱可塑性樹脂の射出成形, 田中和人, 田中達也他, *JCOM-36*, II-18 (2007)
- [15] Billiet, J., Leng, T., Kapfer, K. and Schwendemann, D. : *SPE ANTEC '01*, pp. 573 (2001)
- [16] 特許公開平 5-131509, “連続可塑化式射出成形方法”, 特許公開 2007-7864, “オンラインブレンド射出成形機の可塑化装置”, 東芝機械他

プラスチックフィルムの成形加工 Polymer Processing for Plastic Films

伊藤 勝也, 野々村 千里 (東洋紡績(株)総合研究所)
Katsuya ITO, Chisato NONOMURA (Toyobo Co., Ltd.)
e-mail: katsuya_ito@kt.toyobo.co.jp

1. はじめに

プラスチックフィルムは、基材となる熱可塑性樹脂の熱的、力学的および化学的性質を駆使して、様々な加工が施され、また多くの分野で使用されている。本説では、近年のフィルム分野における製膜加工技術および製品に関して解説する。

2. 延伸成形技術

2.1 押出し・キャスト

ポリエチレンテレフタレート(PET)やポリプロピレン(PP)、ナイロン(NY)などの汎用熱可塑性樹脂は、逐次二軸延伸法により作製される。この方法により作製されたフィルムは、平面性、力学的特性および耐熱性などに優れたものとなる。

図1には、フィルムの逐次二軸延伸の基本工程を示す。押出機で熔融されたPET樹脂は、押出し・キャスト(CA)工程を経て未延伸シートが作製され、周速差のある過熱ロール上で縦延伸(MD)される。そのフィルムは引き続きテンターに導かれ両端を把持され、横延伸(TD)および熱固定(TS)される。その後、両端を落とすトリミング(TM)工程を経て、ワインダー(TW)で巻き上げられることによりフィルムが得られる。

押出し、キャストの工程は生産と並んで、フィルムの表面状態を決定する工程でもあり、さまざまな工夫がなされている。

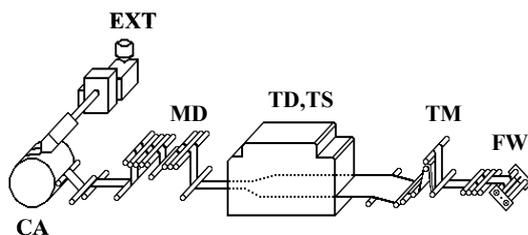


図1 フィルム製膜工程の概略図

まず、最初の押出し・キャスト工程では、ワイヤー電極と回転する冷却ドラムの間に直流高電圧を印加し、フラットダイから押出された熔融ポリマーを冷却ドラム上にキャスト・静電密着・急冷・固化させる。この工程では、均一密着が得られる最高速度がフィルムの生産性を律することから、高速キャストへのアプローチも盛んである。原料面ではポリマーの熔融比抵抗の制御、設備面ではリボン電極の採用[1]などである。また、縦延伸の高倍率化の検討も行われている。

一方、延伸の前処理工程あるいはフィルム物性制御手段としてのキャスト工程への取り組みも見られる。例えば、延伸性の優れた未延伸物を得るために、押出し工程で炭酸ガスを圧入・溶解させてポリマーを可塑化する方法(PET)[2]、キャスト後に吸水処理を施して可塑化させる方法(NY)[3]などがある。

また、冷却ドラム上に水膜を介してキャストすることにより、フィルム表面の耐摩耗性を向上させる方法[4]、キャスト後に加熱結晶化させた後に延伸して高剛性低収縮フィルムを得る方法[5]、高速キャスト時のドラム表面へのオリゴマー付着を防止するため、加温冷却ドラムの表面を平滑化する方法[6]などがある。

2.2 逐次二軸延伸プロセス

次に、延伸技術について述べる。先に述べた通り近年のフラット法延伸成形は極めて多様化してきており、縦延伸、横延伸、同時二軸延伸、熱処理、緩和処理といった要素技術の複雑な組合せが試行されつつある。また実際の工業生産設備においても、PETフィルム一つをとっても、フィルム厚みや用途に応じて多様な延伸プロセスが採用されている。

2.3 縦延伸(ロール間延伸)

少なくとも現時点では、フラット法延伸フィルムの工業生産は、その多くが逐次2軸延伸法によるものである。そして縦延伸は、高生産性・分子配列制御・品位向上のいずれの側面からも、逐次2軸延伸においては極めて重要なプロセスである。

T-ダイより押出された無配向の未延伸フィルムが周速差のある多数本の加熱されたロール間で縦延伸され、分子配向することにより縦方向の力学的特性が向上する。縦延伸では多数のロールに連続接触しながら高速(数 10~数 100m/min)で走行する工程であるとともに、その走行中に 300%以上の大変形と数 10°Cの急激な温度変化を伴う。このような過酷な条件下で厚みムラ(延伸ムラ)や擦りキズのないフィルムを得ることは、高度な技術を要する。よって各ロールの目的に応じた材質選択[7]やロール配列の決定[8]などが重要である。

2.4 横延伸・熱処理(テンター法)

横延伸工程とは、クリップにて縦延伸されたシートの両端を把持し、上下面より熱風を吹きつけながら横方向に延伸(横延伸)することである。さらにそのままテンター内で熱固定する。テンターから出てきた二軸延伸フィルムの両端を切り取り、ワインダーで巻き上げることにより、PET フィルムが作製される。

テンター延伸の本質的な問題点として、横延伸時に発生するボーイング現象により、フィルムの横方向における中央部と端部とで分子配向状態が異なり、フィルムの力学的特性の異方性の程度や主軸方向の分布が生じて品質が低下することが知られているが、その詳細については後述する。

2.5 同時二軸延伸

同時二軸延伸法は、分子配向と力学的性質の面内バランスに優れた延伸法であり、またナイロン6(NY6)等結晶化が速いポリマーに有効な二軸延伸法であるとされている。

このように、分子配列制御という観点からは理想に近い延伸法であるが、パンタグラフやスクリー等を用いる複雑なクリップ搬送機構のために、これ

まではライン速度や装置の信頼性に不十分な面があった[9]。

しかし、リニアモーターテンターの登場は、従来のフラット法同時二軸延伸の概念を変えた。この装置では、クリップがリニアモーターで直接駆動され、その走行はコンピュータ制御される。これにより、超高速かつ製造条件設定の自由度が非常に大きい同時二軸テンターが得られるようになった。この技術は、これまでのところ、従来逐次二軸延伸法で延伸成形されてきたポリマーへの適用が主体であり、その検討目的も高速化による生産性向上、従来テンターでは設定不可能な製造条件への期待(物性の極限化)およびキズゼロ化などが多いようである。

3. ボーイング現象の解析

前述した逐次二軸延伸法におけるテンター法には種々の問題点があり、その中でボーイング現象と呼ばれる大きな問題点がある。このボーイング現象により、フィルムの横方向における中央部と端部とで分子配向状態が異なり、フィルムの力学的特性の異方性の程度や主軸方向の分布が生じて品質が低下することが知られている。

3.1 PET フィルム

PET フィルムを対象としたボーイング現象の発生メカニズムを詳細な実験解析[10, 11]で解明し、製膜条件とボーイングひずみとの関係についての検討がなされている。このフィルムの変形挙動が二軸延伸フィルムの物性値の異方性に大きく関与している。横延伸に用いられるテンターの概略図を図2に示す。テンター内におけるフィルムの変形挙動は、図3の

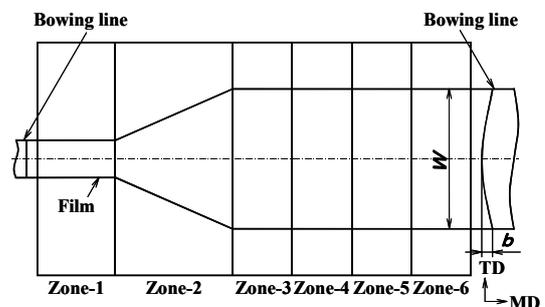


図2 テンターの概略図

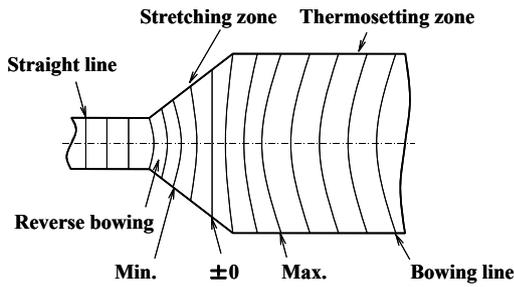


図3 テンター内における変形挙動（ボーイングひずみの変化）の模式図

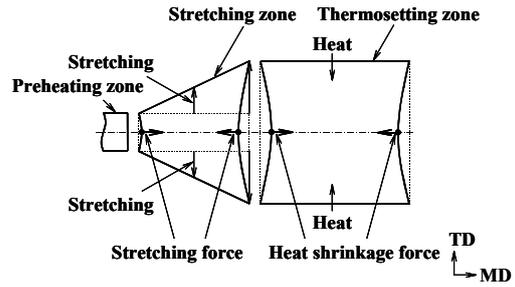


図4 ボーイング現象の発生メカニズムの模式図

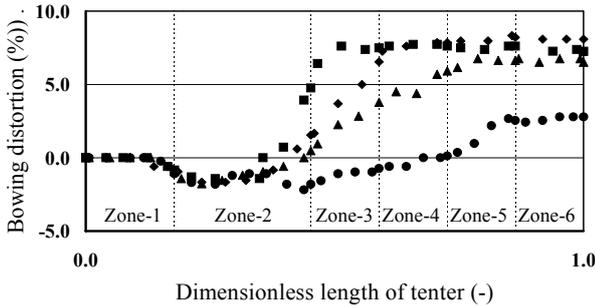


図5 第一冷却工程の製膜条件によるテンター内における変形挙動の変化、
 ■：Case-01
 ◆：Case-02 ▲：Case-03 ●：Case-04

テンター内における変形挙動(ボーイングひずみの変化)の模式図に示すように、一旦逆ボーイング(進行方向に対して凸型の変形)が発生して、その後、正ボーイング(進行方向に対して凹型の変形)へと変化することが報告されている。ここでは、テンター各ゾーンの温度とボーイングひずみの関係が検討されており、図4に示すように、横延伸工程で発生する延伸力と熱固定工程で発生する熱収縮力のバランスでボーイング現象の発生メカニズムが説明されてい

る。また、このようなボーイング現象の発生メカニズムから、横延伸工程と熱固定工程間に冷却工程(第一冷却工程)を設置するという具体的なボーイングひずみの低減策[12, 13]が提案されている。ここでは、第一冷却工程の長さやボーイングひずみの関係が検討されており、その第一冷却工程の温度と長さによってボーイングひずみが顕著に変化する。第一冷却工程の製膜条件を変化させた場合の実験条件を表1に示す。表1の製膜条件におけるテンター内での変形挙動の変化(Case-01~04)を図5に、ボーイングひずみの低減結果(Case-01~07)を表2に示す。なお、図5の縦軸の負値は、逆ボーイングを意味し、横軸は、図2のテンターの長さに対応する。第一冷却温度がガラス転移点以下の時にはボーイングひずみの低減効果が大きく、その第一冷却工程の長さが長いほどボーイングひずみの低減効果が大きい。第一冷却工程を設けた場合には、後の熱固定工程の温度が変化しても、ボーイングひずみはほとんど変化しない(Case-04, 05, 07)ことが報告されている。また、テンターの全体の長さは限られており、フィルムの要求される物性を得るために必要な熱固定ゾー

表1 第一冷却工程における製膜条件

Case No.	Stretching ratio in TD	Temperature						Relaxation ratio in TD
	S_{TD}	Zone-1	Zone-2	Zone-3	Zone-4	Zone-5	Zone-6	R_{TD}
	(-)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)
Case-01	3.7	90	100	200	200	100	Cooling	0
Case-02	3.7	90	100	100	200	100	Cooling	0
Case-03	3.7	90	100	100	100	200	Cooling	0
Case-04	3.7	90	100	50	60	200	Cooling	0
Case-05	3.7	90	100	60	200	200	Cooling	0
Case-06	3.7	90	100	50	60	225	Cooling	0
Case-07	3.7	90	100	50	60	250	Cooling	0

表2 第一冷却工程設置によるボーイングひずみの低減結果

Case No.	Thermosetting temperature T_{Ther} (°C)	1st Cooling temperature T_{1stC} (°C)	Dimensionless length of cooling zone L_c (-)	Bowing distortion B (%)
Case-01	200	----	----	7.8
Case-02	200	100	1.19	7.8
Case-03	200	100	2.37	6.5
Case-04	200	50,60	2.42	2.8
Case-05	200	60	1.20	3.8
Case-06	225	50,60	2.40	2.8
Case-07	250	50,60	2.40	2.8

ンの長さ(時間)を考慮すると、第一冷却工程の長さを長くとれないのが現状である。すなわち、第一冷却工程を設けたことによって熱固定工程が短くなり、そのために生ずるフィルムの熱固定不足を解消する必要がある。このような場合には、熱固定温度を従来よりも高温に設定して熱固定不足を解消する方策も提案されている。第一冷却工程における製膜条件を一定にし、熱固定温度をさらに高温にした場合には、ボーイングひずみはほとんど変化しておらず、二軸延伸後のフィルムにおける横方向の熱収縮率を測定した結果から、ある一定以上の温度での熱固定では、ボーイングひずみは変化せず、熱収縮率のみが低減するので、第一冷却工程を設け、十分に冷却した後、熱固定工程での温度を従来よりも高温に設定して、熱固定不足を解消する方策は、ボーイングひずみの低減とフィルムの物性の改善を同時に実現できる有効な方策で[14]であると報告されている。さらに、ボーイングひずみとマイクロ波により計測した分子配向との関係についての報告[15]もなされている。

3.2 ナイロンフィルム

さらに、PETフィルム以外のボーイング現象を対象とした報告例として、NY6フィルムを対象としたボーイング現象に関する報告[5]もなされており、ここでは、NY6フィルムの熱収縮挙動についての検討もなされている。二軸延伸後に熱固定を行っていないNY6フィルムの平衡状態に達するまでの熱収縮挙動を検討し、熱処理温度によって異なった挙動を

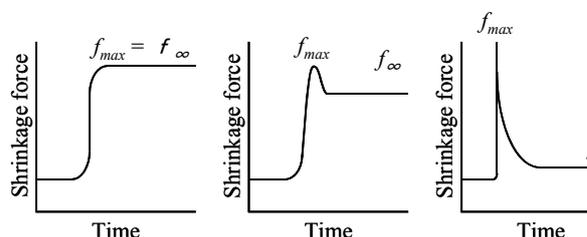


図6 熱処理温度を変化させた場合における熱収縮力と時間の関係

140~200°Cの範囲で瞬間的にNY6フィルムを加熱して、熱収縮が平衡状態に達するまでの熱収縮力を測定している。その間の最大の熱収縮力を最大収縮力と、平衡状態に達したときの熱収縮力を平衡収縮力として検討を行っている。熱収縮力と熱処理温度(瞬間的に加熱する温度)との関係を概念的に表したものを図6に示す。なお、熱処理温度が140°Cでは、最大値を持たず、最大収縮力と平衡収縮力はほぼ等しい。これは、この熱処理温度より高温において熱処理を施すと、再度熱収縮を起こすことを意味する。熱処理温度が175°Cでは、平衡収縮力は最大収縮力よりわずかに小さい。これは、ある程度の熱固定が行われているが、この熱処理温度よりさらに高温で熱処理を施すと、熱収縮が起こることを意味する。さらに、熱処理温度が200°Cでは、平衡収縮力は最大収縮力よりかなり小さい。これは、熱固定が十分に行われていることを意味する。すなわち、ある一定の温度以上で熱固定することにより、最大収縮力はほとんど一定となる。したがって、フィルムの熱収縮力が、ある一定の熱処理温度以上ではほとんど

変化しないという結果から、第一冷却工程を設け、熱固定温度を通常の製膜条件よりも高温に設定して、熱固定不足を解消する方策が有効であると報告されている。実際のテンター内では、第一冷却温度から熱固定温度にフィルムの温度を瞬時に昇温することは不可能であり、フィルムが熱固定温度に達するまでには多少のゾーンの長さ(時間)が必要となる。そこで、通常の製膜条件より熱固定温度の設定温度を高くしておくことは、熱固定ゾーンを通過するフィルムに対して、フィルムの温度を高温にすることができ、十分な熱固定が行える現実的な製膜条件であると考えられている。

以上のように、ボーイング現象はテンター法の本質的な問題点であり、テンターによって横延伸・熱固定工程を行う限り、フィルムの両端部はクリップによって把持されているため、第一冷却工程を設けることにより、横延伸後の延伸応力によるボーイング現象を低減させることは可能であっても、熱固定工程で発生するボーイング現象を回避することは困難であると考えられている。

4. ボイド含有ポリエステルフィルム

近年、情報記録分野を中心として、天然パルプを原料とする紙では得られがたい特性(耐水性、表面平滑性、強度、無塵性)を必要とする媒体の需要が大きくなっている。その一つとして、PETを基材樹脂とするボイド含有ポリエステルフィルムについて述べる。

このフィルムは、基材となるPETなどのポリエステルに白色無機顔料、有機充てん剤および異種の熱可塑性樹脂をブレンドしたものを押出、延伸、製膜することによりフィルム内部に無数の微細なボイドを形成し、このボイドによる光散乱を利用してフィルムを白色不透明化する方法により製造される。この方式には、東洋紡績(株)製“クリスパー[®]”(PETベース)[16, 17]のほかに、東洋紡績(株)製“トヨパール[®]”およびユポ・コーポレーション(株)製“ユポ[®]”(PPベース)[18]が知られている。

4.1 ボイド形成技術

フィルムの延伸過程において形成されるボイドが、

クッション性や不透明性および生産性と関連するため、ボイドの形成技術は重要である。

ボイド形成技術を理解するためには、ボイド発現の機構を理解する必要がある。以下にフィルム製膜工程でのボイド発現機構を説明する[19-22]。原料は、ボイドを発現させるきっかけとなる粒子(ボイド発現剤)をPET中に添加したものをを用いる。その未延伸シートを縦延伸することにより、基材PETとボイド発現剤がはく離し、ボイドが発現する。さらに、横延伸することにより、横方向にボイドが拡大する。そのため、添加するボイド発現剤の種類や大きさにボイドは影響される。

ボイド発現剤の種類としては基材樹脂に溶解せず、また、熱によって融解もしない微粒子(二酸化チタン、二酸化ケイ素、硫酸バリウム、炭酸カルシウム、タルク、カオリンなどの無機粒子)[23]基材樹脂に非相溶の熱可塑性樹脂(ポリアクリレート、ポリアリレート、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリプロピレンなど)[24, 25]が挙げられる。いずれの微粒子および非相溶樹脂においても、適切なボイド発現のためには基材PET中への分散技術や得られた未延伸シートの延伸技術などが必要になる。

4.2 ボイド含有ポリエステルフィルムの特性

これまで述べてきたようなボイド形成技術により、図7に示すような断面構造を有するボイド含有フィルムが得られる。このフィルムは、内部に多数の微細なボイドを含有することから



図7 ボイド含有ポリエステルフィルムの断面写真

- ①白色・不透明である(図8)
- ②クッション性を有する(図9)
- ③エンボス適性がある
- ④密度が低い
- ⑤熱伝導率が低い

という特徴を有する。ボイドによって、屈折率の変化する界面がフィルム内部に多量に存在するために、光線透過率を下げ、紙に似た風合いを出す。また、軽量化が可能となり、クッション性が発現する。

一方、ポリエステル系の二軸延伸フィルムベースであるため、

- ⑥空洞含有構造であるにも関わらず腰がある
- ⑦耐熱性がある(温度による寸法変化が小さい)
- ⑧耐水性、耐薬品性、耐候性がある
- ⑨表面が平滑である
- ⑩クリーン性がある(粉塵が少ない)

という特徴を有する。

さらに、ボイド含有構造とポリエステル系の二軸

延伸フィルムベースの相乗効果により

⑩折り曲げ適性、打抜き適性があるという特徴を有する。

図10、11にボイド含有ポリエステルフィルムのボイド含有率(体積%)に対する比重その他の特性変化を示す。なお、ボイド含有率は次式によるものとした。

$$V=1-(r_1/d_1+r_2/d_2)\rho \quad (1)$$

ただし、 V はボイド含有率、 r_1 はPETの重量含有率、 d_1 はPETの密度(1.40g/cm³)、 r_2 は非相溶樹脂の重量含有率、 d_2 は非相溶樹脂の密度、 ρ は系全体の見かけ密度から求める。また、たわみはJIS規定[26]による方法で求め、さらに曲げこわさを求めた。諸特性はボイド含有率の増加に伴い、ほぼニアに変化する。つまり、このボイドの過度の増大は、ボイド含有フィルムのもつ本来の目的である紙とプラスチックフィルムの長所をあわせ持つ、という特徴を損なうことにつながる。そこで、ボイド形成による

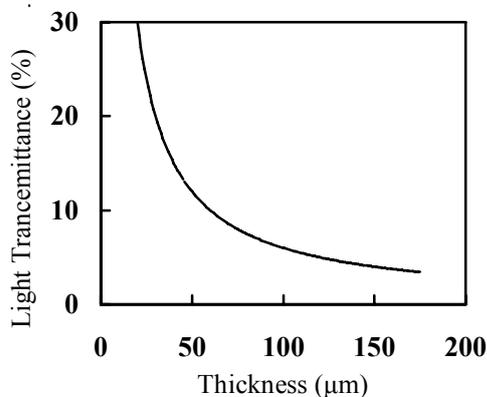


図8 フィルム厚みと光線透過率の関係

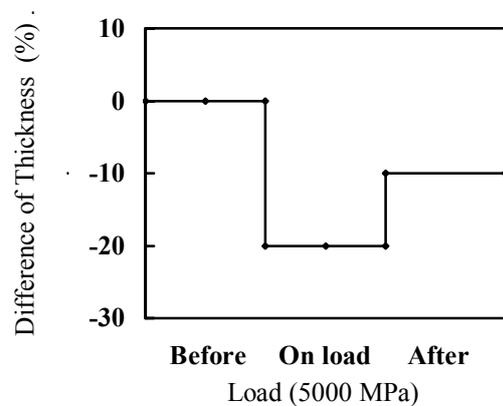


図9 負荷および除荷による厚さ変化

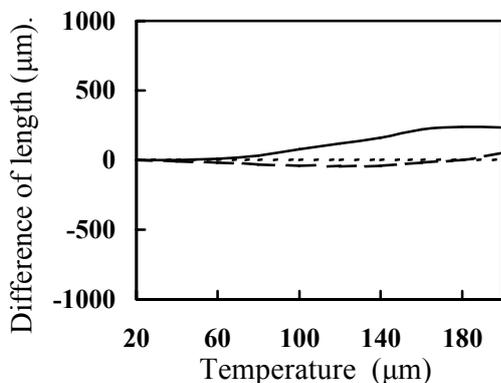


図10 ボイド率と比重、圧縮率との関係
波線：横方向、実線：縦方向

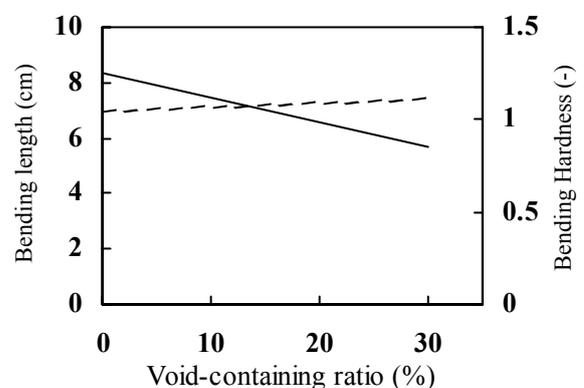


図11 ボイド率とたわみ量(実線)、曲げこわさとの関係(波線)、厚み50μm

フィルムの特性変化をいかに制御し均衡を保つことがボイド含有フィルムのポイントの一つとなり、これらを留意した設計が必要である。

表3に通常のPETフィルムとボイド含有ポリエステルフィルム “クリスパー[®]” との特性の比較を示す。

表3 ボイド含有ポリエステルフィルムの特性

項目	単位	クリスパー	PETフィルム	測定方法
厚み	μm	50	50	JIS Z-1715
密度	g/cm ³	1.1	1.4	JIS K-7112
光線透過率	%	12	88.7	JIS K-7105
引張強度 (MD/TD)	MPa	130/150	186/235	JIS K-7127
伸び率 (MD/TD)	%	115/55	130/90	JIS K-7127
加熱収縮率 (MD/TD)	%	1.2/0.2	1.1/0.3	JIS Z-1715

5. 熱収縮性フィルム

熱収縮プラスチックフィルムを素材として形成されるチューブ状体は、例えば容器、瓶(プラスチックボトル、缶棒状物(パイプ、棒、木材、各種棒状体)等の被覆用或は結束用として、特に、これ等のキャップ、肩部、胴部等の一部又は全面を被覆し、標示、保護、結束、商品価値向上等を目的として広く使用されており、収縮性及び収縮応力を利用した用途展開が期待される。その素材としては、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリプロピレン、ポリスチレン(PS)などが用いられている。またボトルの再生品のコンタミを減少させるために PET ボトルと同系統の材料である共重合ポリエステルも多く用いられている。要求特性としては、低温で高収縮性を有すること、透明性及び光沢に優れること、経時変化が少ないこと、収縮した後の厚みの均一性があることなどが挙げられる[27]。

近年、飲料用などの PET ボトル用のラベルとして、ポリスチレンおよびポリエステルを基材とした熱収縮フィルムが増加している。ラベル用フィルムをボ

トルに装着するためには、熱収縮させる前のフィルムをボトルの周囲に円筒状に置き、その後に加熱されたトンネル内を通過させることにより、フィルムが熱収縮し、装着される。この加熱トンネルでの装着を容易にするため、また装着後の美観を良好にするためには、比較的低温での収縮が開始されることが必要となる。二軸延伸で汎用的に使用される単一モノマーからなるポリスチレンや代表的なポリエステルである PET は、ガラス転移点(Tg)がそれぞれ約 90℃、70℃であり、この温度以下では分子の運動性が低くなるため、収縮の開始温度が必然的に高くなる。そのため、単一モノマーに他のモノマー成分を共重合化することや、ゴムなどの異種成分をブレンドすることにより、Tg を下げることが行われている。

延伸条件としては、原料の Tg が低いと延伸温度を低く設定して行う。また、一方に収縮させるという特徴から 2.2 項で示した製膜工程における MD または TD どちらかの工程のみを主体的に使用して延伸製膜が行われることが多い。延伸直後に行われる TS 工程でも通常の二軸延伸方式で製膜したフィルムよりも低温で処理が行われる。ただし、処理が不十分であると熱収縮加工前の運送、倉庫での保管時に自然収縮が発生するため、そのバランスをとることが重要となる。

共重合ポリエステルからなる熱収縮性フィルムの特徴として、

- ①低温収縮性がある
- ②透明性、光沢に優れ、フィッシュアイが少なく鮮明な多色印刷が可能
- ③優れた剛性を持ち、薄肉化が可能
- ④寸法安定性に優れている

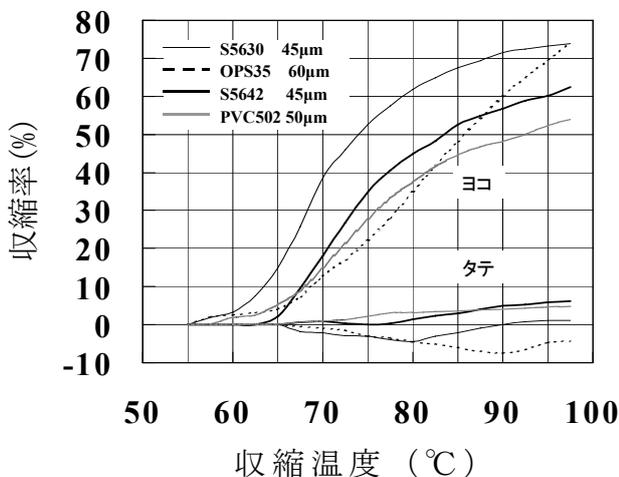


図12 収縮フィルムの収縮特性 S5630, S5642：ポリエステル、OPS35：ポリスチレン、PVC502：ポリ塩化ビニル

⑤焼却時の発熱量が小さく、塩素ガスが出ないなどが挙げられる。

ポリエステル、PVC および PS の各収縮性フィルムの収縮特性を図 12 に表す。

6. ガスバリアフィルム

6.1 序

プラスチックフィルムにガスバリア性を付与する手段はよく知られているように、バリア性能をもつ高分子を直接フィルムに製膜する、あるいはガスバリア性能を保有する材料をプラスチックフィルム上になんらかの方法で積層する、の2通りがある。前者には原料樹脂として、ポリビニルアルコール(PVA)、エチレンビニルアルコール(EVOH)、ポリ塩化ビニリデン(PVDC)、ポリアクリロニトリル(PAN) および NY6、メタキシレンジアミン共重合ナイロン(MXD6)がある。後者はそれらの樹脂と PP、NY6 および PET などの基材樹脂と共押出することによりフィルムが得られる。

また、ガスバリア性能を保有する材料をフィルム上に積層する方法は数多く知られ、ガスバリア材料の性質、要求性能などによりウェットプロセスとドライプロセスが使い分けられているのが現状である。ウェットプロセスには PVA や PVDC をコートしたものがあげられる。ドライプロセスに関しては、以下で詳細に述べる。

無機材料コートによるガスバリア性能付与においてもウェットプロセスによるものとドライプロセスによるものがあるが、最近特に注目をあびているドライプロセス(無機物蒸着)によるものである。

ドライプロセスを用いて無機材料をフィルム上にコートする技術は古くから実用化されており、その代表的なものにアルミニウム(Al)蒸着フィルムがある。Al 蒸着フィルムは優れたガス、水蒸気のバリア性能に加え、金属であることから内容物に有害な光線遮断性をもつという特徴がある。しかしながら、昨今の PL 法と関連して、内容物管理は重要となるばかりであるが、Al 蒸着フィルムを用いた食品包装材料は金属探知機での内容物管理を行ないにくい、という一面も持ち合わせている。

一方、Al 金属の代わりに金属酸化物をコートした

ガスバリアフィルムも使われ始めている。このフィルムは Al 蒸着では本質的に保有することができない透明性、マイクロ波透過性を持ち、耐レトルト性の付与も可能であるうえ、環境に優しいという利点がある。金属酸化物として、アルミナ、シリコン酸化物を用いたバリアフィルムは、昨今深刻な環境問題となっている焼却時のダイオキシン発生を避けることができるため、ここ数年さらに大きく注目を集めることとなり急速な利用の拡大が進んでいる。

6.2 コーティング技術と材料

食品包装用フィルムは人体内に入る可能性が高いために、使用できる材料は比較的限定されており、Si、Al の酸化物を主体に開発されている。

ドライプロセスで金属酸化物を高分子フィルム上にコートする手段にはいくつか考えられるが、包装用を考えたとき大きな面積に高速で薄膜を形成する必要がある。大きく分けると蒸着法と化学蒸着法(CVD 法)の2通りの方法が現実的であり、それらの中身を細かく見ていくと加熱/分解のエネルギーおよび出発原料で様々な工夫がされていることがわかる。

6.2.1 蒸着法

蒸着法とは、原料物質を高真空中で加熱し蒸発させ、真空度から決まってくる平均自由行程以内の距離におかれた基板上(ここではプラスチックフィルム)に堆積させて、通常はサブミクロンの厚さの薄膜を得る製造法である。したがって、蒸発原子は熱エネルギーを主としてもつことになる。ここが他のドライプロセス、例えばスパッタ法あるいは後述の CVD 法と異なる点である。

蒸着法はこのように原料物質の蒸発によるため、急速に加熱することにより蒸発量を多くする、すなわち速い製膜速度が得られるという特長を有するが、基板との付着力の発現は物理的要素によるものが強く、スパッタ法のような強固な付着力を得るのが困難という弱点があり、プラスチックフィルム表面の様々な工夫がポイントとなる。

ガスバリア性薄膜材料としては、 SiO_x および AlO_x を挙げるができる。 SiO_x 薄膜を成膜するために

は、出発材料として SiO , Si+SiO_2 などを用い、抵抗あるいは電子ビームにより加熱蒸発させる方法が一般的である。この SiO_x 薄膜はガスバリア性能と着色の程度は x の値に対して相反関係にあり、通常 1.5 ~ 1.8 程度に選ばれることが多い。この x の値は蒸着中にチャンバー内に導入される O_2 ガスによりコントロールされる。したがって、厳密には反応性蒸着が起きているが反応量が微量のため通常は蒸着法と呼ばれることが多い。この方法の欠点は、 SiO が高価であることと、薄膜が黄色に着色していることであるが、ガスバリア性能を得ることが比較的容易であることから、無機ガスバリアフィルムの開発初期はほとんどが SiO_x を用い、今日でもなお主要なバリア材料である。

もう一方の AlO_x 薄膜は、金属 Al 蒸着の手法で蒸着時に酸素を吹き込むことにより酸化を促進する方法で成膜する。この方法の最大の利点は材料が安価であることである。また完全酸化状態の Al_2O_3 は無色透明であり、バリア性能との関係もあるが AlO_x はほとんど無色となる。また製膜速度は金属 Al の蒸発速度および酸化速度が律速であり、酸化促進のため活性化した酸素を供給することにより非常に速い製膜速度が得られたとの報告もある[28]。一方、ガスバリア性能は SiO_x と比較してよいものが得られ難く、また脆い傾向があるため、プラスチックフィルムに様々な工夫がされている

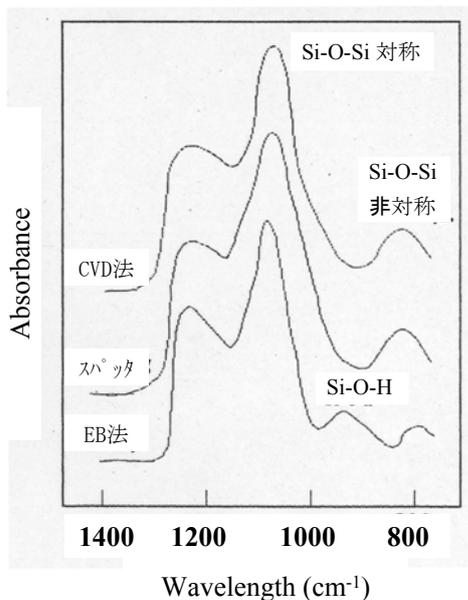


図 13 SiO_2 薄膜の赤外線吸収スペクトル

6.2.2 CVD 法

一方、大きな面積に薄膜を堆積させる方法として半導体分野などでは広く使われているのが CVD 法である。堆積させたい分子を構造中にもつ原料ガスをプラズマなどで分解し、必要な薄膜を得る方法である。この方法は分解時に活性種が存在するため蒸着と比較して原子のもつエネルギーが大きく、基板との結合も化学結合が存在し高い付着力が期待できる。また堆積速度は分解速度に依存し分解ガスを効率よく排気する必要があるが、未分解物質が薄膜に残りやすいため製膜速度をあげるのが難しい。原料ガスとしては、シラン、テトラメチルジシロキサン (TMDSO)、ヘキサメチルジシロキサン (HMDSO) などが用いられる。また分解を起こさせるためのプラズマの種類として高周波、マイクロ波などがあり、それぞれの特長がある。得られる薄膜としては、残留ひずみも少なく良質な膜が得られやすい。

6.3 二元蒸着透明ガスバリア薄膜 [29]

SiO_2 は蒸着法ではバリア性能が発現しないことはよく知られている。これは蒸着時の雰囲気中の水分に起因する H 原子で Si が終端されやすく、原子間ネットワークが分断されポーラスな膜が生成されているものと推定される。このことは SiO_2 薄膜の赤外線吸収スペクトル(図 13)および成膜方法と薄膜比重のデータからも裏付けできる。そこでわれわれは、この水素原子を引き抜き他の一価でない原子で Si をつなぐことを検討した。

電子線加熱においては蒸着材料近傍にプラズマが発生し、 H_2O 、あるいは添加元素がさまざまな種に分解、活性するため、蒸着材料から薄膜構造を予測するのは大変複雑であり、電子ビームの加熱条件などでも大きく左右される。さまざまな添加元素の検討を行った結果、 Al_2O_3 を蒸発材料としたときが最も良い結果が得られた。 SiO_2 に Al_2O_3 を添加していくと、図 14 のように薄膜の比重がバルクの値に近づいていくことがわかる。これに従って、ガスバリア特性も向上し、 Al_2O_3 が 30wt% 以上で SiO_x 並のバリア性能を示す(図 15)。

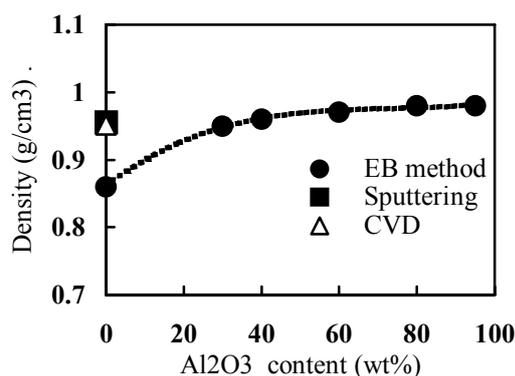


図 14 蒸着膜の相対密度の Al₂O₃ 依存性

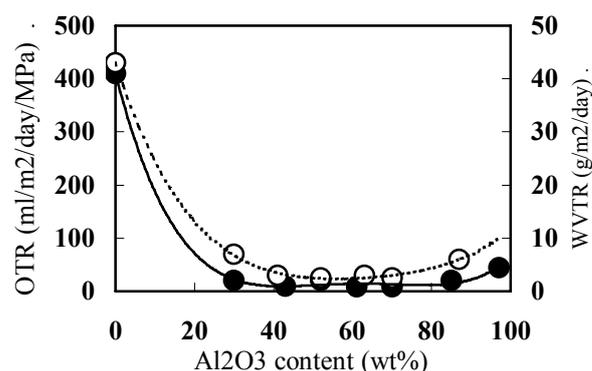


図 15 酸素透過度(OTR)と水蒸気透過度(WVTR)との Al₂O₃ 依存性, ●:OTR, ○:WVTR

7. おわりに

最近のフィルム成形加工に関する技術およびそれらを駆使することにより得られるフィルムの構造と物性に関していくつか紹介してきた。今後はさらに高機能化と高生産性を追求した開発が、ポリマーとプロセス両面からの検討で行われるものと思われる。

参考文献

- [1] 特開平 1-156036 号公報(ダイアホイール)
- [2] 特開平 11-10727 号公報(東レ)
- [3] 特開平 10-6394 号公報(ユニチカ)など
- [4] 特公平 7-8529 号公報(東レ)など
- [5] 特開平 7-125063 号公報(東レ)など
- [6] 特開平 10-109353 号公報(東レ)
- [7] 網島研二, 二軸延伸フィルムの押出成形加工, 成形加工, **7** (1995) 4.
- [8] 特公平 7-71821 号公報(ダイヤホイールへキスト), 特開平 8-224777 号公報(東レ)など
- [9] 南智幸, 小坂田篤, 工業用プラスチックフィルム, 加工技術研究所(1991) 150.
- [10] 野々村千里, 山田敏郎, 松尾達樹, 成形加工, **4** (1992) 312.
- [11] Yamada, T. and Nonomura, C., *J. Appl. Polym. Sci.*, **48** (1993) 1399.
- [12] 野々村千里, 山田敏郎, 成形加工, **5** (1993) 703.
- [13] Yamada, T. and Nonomura, C., *J. Appl. Polym. Sci.*, **52** (1994) 1393.
- [14] Yamada, T., Nonomura, C. and Matsuo, T., *In tern. Polym. Proc.*, **10** (1995) 334.
- [15] 藤田伸二, 野々村千里, 石原英昭, 山田敏郎, 成形加工, **8** (1996) 605.
- [16] 松井武司, 濱野明人, 紙パ技協誌, **45** (1991) 1341.
- [17] 伊藤勝也, 繊維機械学会誌, **55** (2002) 31.
- [18] 豊田昂, プラスチックエージ, **36-5** (1990) 199.
- [19] 伊藤勝也, 野々村千里, 鈴木利武, 石原英昭, 材料, **49** (2000) 1270.
- [20] 伊藤勝也, 野々村千里, 鈴木利武, 石原英昭, 山田敏郎, 成形加工 **13** (2001) 408.
- [21] Ito, K. Yamashita, K. Nonomura, C. Suzuki, T. Ishihara, H. Nakai, A. and Yamada, T., *Plast. Rub. Compo.*, **31** (2002) 151.
- [22] Ito, K. Yamashita, K. Nonomura, C. Suzuki, T. Ishihara, H. Chinwanitcharoen, C. and Yamada, T., *J. Appl. Poly. Sci.*, **92** (2004) 1243.
- [23] 特開平 3-50241 号公報 (東レ)
- [24] 特開昭 49-134755 号公報(ICI)
- [25] 特公平 5-63492 号公報(東洋紡)
- [26] 日本工業規格 JIS-P8143-1996.
- [27] 特許 2943178 号公報(東洋紡)など
- [28] Package Plan Service Report, 東洋紡パッケージプランサービス, **54** (1995) 7.
- [29] 大谷寿幸, 伊藤勝也, 石原英昭, 成形加工, **13** (2001) 665.

セラミックスと熱 Ceramics and Heat

淡路 英夫（名古屋工業大学）

Hideo AWAJI (Nagoya Institute of Technology)

1. はじめに

セラミックスは強い原子結合であるイオン結合や共有結合により構成されている。このことがセラミックスの耐熱性・化学的安定性・難加工性などという特性を決める。特に耐熱性に優れるということから高温下で使用されることが多く、伝熱特性と熱応力との関連がしばしば問題となる。

セラミックスの脆さは、強固な原子結合であるということと同時に、転位を生成しにくい原子配列であることに起因する[1]。そのため、き裂先端に形成される損傷域は主として微小き裂によるものと考えられており、損傷域の大きさは金属に較べると極端に小さくなる。従って、き裂の進展に要するエネルギー（破壊エネルギー）も小さくなり、セラミックスの破壊靱性は金属よりもひと桁以上も低い値となる。

このように、高温環境下で用いられるセラミックスは熱衝撃をうける機会が多い上に脆いため、熱衝撃破壊現象の解明は長年の課題であった。熱衝撃破壊は温度勾配の急変する過渡的状況下で生じる現象であり、一般に急激に変化する非定常熱応力によって破壊することから、試験片に生じる熱応力を正確に把握することは難しくなる。しかし材料の熱衝撃破壊特性を明らかにするためには、破壊時の熱応力の値を正確に求めることは基本的に重要となる[2]。

ここでは、高温材料としてのセラミックスと熱との関係、特に熱衝撃試験法と熱衝撃パラメータについて説明する。

2. セラミックスの物性

2.1 転位

まず、セラミックスの脆さを支配する転位について述べる。図1に、(a) 金属と(b) マグネシア (MgO) の刃状転位をモデル化して示す。(a)の金

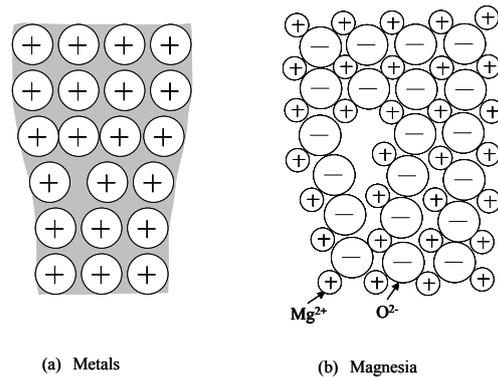


Fig. 1 Edge dislocations in (a) metals and (b) magnesia.

属結合では、最外殻の電子を自由電子として放出するために、金属イオンは密に配列しやすい。このことから、転位構造は極めて小さくなり、小さな応力でも転位は生成する。一方、セラミックスではイオン結合や共有結合という性質上、原子配列は通常は密な構造をとらない。しかし、そのような材料について転位を描くことは困難であるので、ここでは NaCl 構造をもつマグネシアについて描いたものを(b)に示した[1]。これより、セラミックスの中で最も塑性変形しやすいマグネシアであってもその転位構造はかなり大きくなることがわかる。

図2に、Lagerlöfら[3]による α -アルミナ単結晶の臨界分解せん断応力の測定結果を示す。これより室温の臨界分解せん断応力は、プリズム面すべりに対して約 4 GPa という極めて大きな値となることがわかる。

以上のことから、セラミックスが破壊する際の、き裂先端の損傷域は金属に較べて極端に小さくなること、その結果、セラミックスの破壊靱性は金属よりもかなり小さくなることが理解される。従って、セラミックスを高靱化するためには、損傷域を大きくして破壊エネルギーを高めるような材料設計が重要となる[1, 4]。

2.2 熱伝導率と強度

セラミックスの熱伝導率は広範囲である。ダイヤモンドのように固体中で最も高い熱伝導率をもつものや、金属に匹敵するもの（SiC, AlN）もある。しかし、熱のキャリアはフォノンであり、通常多結晶セラミックスでは粒界において格子振動が大きく阻害されること、焼結後の残留応力によって格子振動の拘束を生じることなどによって、金属より低い値をもつものが多い。

ここで、アルミナ多結晶の強度について考える。例えばアルミナの粒径をサブミクロンに制御すると、曲げ強度は1 GPaほどに強くなる。しかし、通常は400 MPa程度である。このように粒子移動が容易となる程度に粒径を小さくすると強度は大幅に高くなるという現象は、寸法効果のみでは説明がつかない。その理由は次のように考えられる。通常多結晶アルミナには焼結後の熱収縮によって、結晶粒ごとに異なる残留応力を生じる。図3はそれを模擬したものである[4]。結晶粒が大きい場合には隣接する粒による拘束を生じ、ある粒子に引張り応力が生じるとその隣の粒には圧縮応力を生じるという自己平衡状態になる。従って、図3のように大きな空隙が粒界三重重点にあり、たまたま周りの粒子に大きな引張り残留応力を生じたとすれば、その空隙からき裂が進展し、外力が働かなくてもき裂は粒径程度に大きくなると考えられる。そのため、強度は見かけ上大幅に低下する。多結晶アルミナの強度の粒径依存性は顕著に表れることはよく知られているが、強度を決める最弱欠陥が粒径程度に成長したき裂であると考えればこのことは納得される。ただし現在のところ、多結晶の各粒子内の残留応力を個々に測定する手段はない。

粒内ナノ複合材料とは、マトリックス粒内にナノ寸法の第2相粒子を分散したものであり[5]、ほんの少しの第2相粒子を粒内に分散することによって強度も破壊靱性も大幅に向上する[4]。その高強度化メカニズムは次のように考えられる。ここではマトリックスをアルミナとすると、アルミナと、粒内に分散したナノ粒子との熱膨張差によって分散粒子のまわりに転位を生じる。そのため、アルミナ粒内の残留応力が消えることから、図3に示す空隙の大きさはもとの大きさのままとなり、強度は大幅に向上する[4]。また、少しのナノ粒子

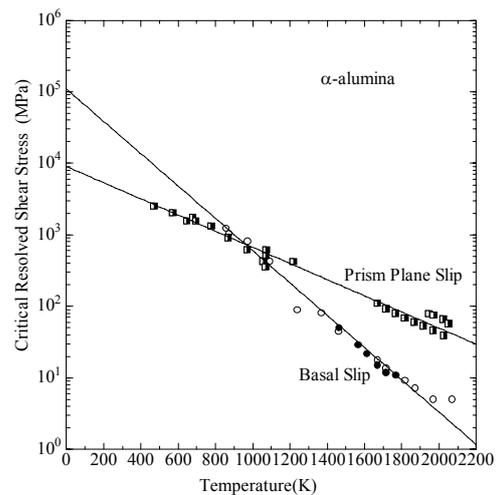


Fig. 2 Critical resolved share stress vs. temperature in a single α -alumina crystal (Lagerlöf et al.[3])

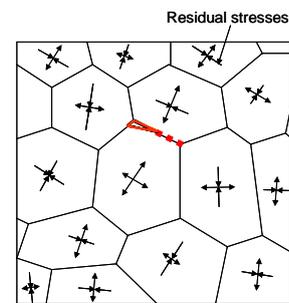


Fig. 3 Schematic explanation of strength degradation in polycrystalline alumina.

を分散させたアルミナでも、焼結残留応力が消えることによりフォノンの拘束が減少し、熱伝導率は向上する[6]。

3. 熱衝撃試験法

3.1 急熱法

セラミックスの熱衝撃試験法には急熱法と急冷法とがある。ここでは急熱法として、円板中央を急速に加熱する赤外線放射加熱法[7]を紹介する。その実験の様子を図4に、概念図を図5に示す。赤外線放射加熱装置（サーモ理工、IR-200）を2台用いて、円板試験片の中央部を両側から加熱する。図5に示すように、内部を金メッキした楕円反射体の1つの焦点にハロゲンランプを設置する。そのランプから放射された光は他の焦点に集光され、石英棒内を全反射して試験片表面に導かれる。試験片の破壊は加熱後2~4秒で起こるように加熱電力量を調節する。

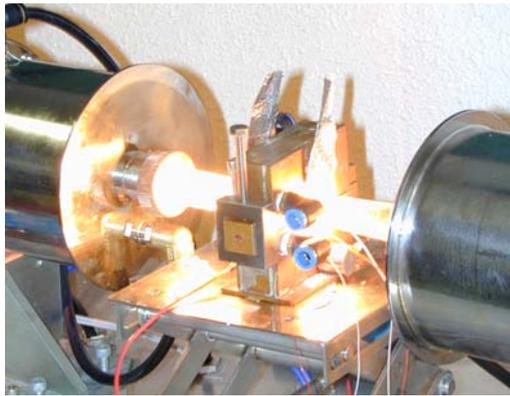


Fig. 4 Infrared radiation heating technique for thermal shock of ceramics.

試験片形状を図6に示す。セラミックスの熱物性は一般に顕著な温度依存性を示すので、それを考慮した熱応力解析を行う必要がある[8]。また、破壊靱性試験の場合には、円板の縁にノッチを加工した試験片を用いる。試験片の破壊開始時刻またはき裂伝播時刻を AE（アコースティックエミッション）により計測し、破壊時の熱応力またはき裂伝播時の応力拡大係数を数値解析する。

3.2 急冷法

急冷法として水中急冷法が広く使われている。この方法は、加熱した試験片を冷水中に投入して損傷の程度を調べるというものである。しかしこの方法の問題点は、試験片表面の熱伝達係数が急冷中に急激かつ大幅に変動することであり、そのために試験片の熱応力を正確に捉えることが困難となる。そこで我々は、この熱伝達係数の変動を抑制する新たな方法として「流水急冷法」を考案した[9]。この方法の概略を図7に示す。電気炉内で加熱された試験片の下面のみを一定流速の冷水により冷却するように、エアシリンダを用いて流水面上に降下・接触させる。その結果、破壊時の熱応力を正確に求めることができるようになった。

3.3 FGMの熱衝撃

セラミックスと金属を連続的に傾斜させた傾斜機能材料(FGM)は、セラミックスの耐熱性と金属の高靱性という優れた特性を効果的に利用する材料である。そのセラミックス面の耐熱衝撃性を評価する方法を図8に示す[10]。ここではまず、アルミナからニッケルまでの組成を段階的に傾斜させた FGM 円板を作製した。その材料を、セラミック面を赤外線放射加熱法によって加熱し、同時

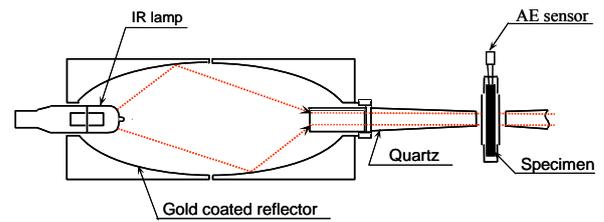


Fig. 5 Schematic of the infrared radiation equipment.

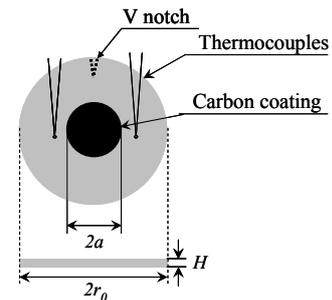


Fig. 6 A disk specimen for the thermal shock test.

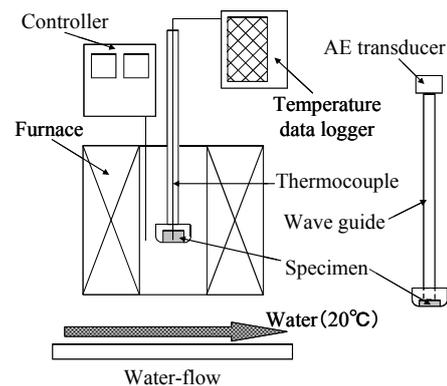


Fig. 7 Schematic of the water flow test.

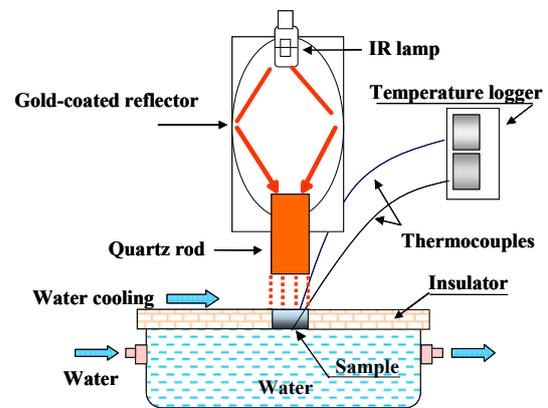


Fig. 8 Schematic of the thermal shock test for FGMs.

に金属面を流水で冷却して平衡状態に保つ。その後、セラミック面を流水で急冷する。これによってセラミック面にはき裂を生じるが、FGM 効果によってき裂は浅いところで停止する。同時に、き裂を生じる臨界温度差は向上する。セラミック面上に生じたき裂の発生状況を図9に示す[11]。

4. 熱衝撃パラメタ

従来の熱衝撃試験法を概観すると、耐えうる温度差を基準にして材料間の相対評価を行うという例がほとんどである。このことを例えるならば、引張り試験により材料の強さを決める場合に、応力の臨界値を求めずに引張り破断荷重を用いるというようなものである。耐えうる温度差や破断荷重は試験片の寸法に依存するので、それらは物性値となり得ないことはいうまでもない。

平板の急冷などにおける温度差と最大熱応力との関係は Manson およびその他の研究者により明らかにされているが[12]、Kingery[13]は過去の熱応力解析結果から試験片の最大熱応力と温度差の関係式をまとめ、熱環境、試験片形状に応じたいくつかの熱衝撃パラメタを提案している。また、Hasselmann[14]はその考えをもとに、新たなパラメタとして「熱衝撃損傷抵抗係数」を提案している。しかし、これらのパラメタは材料の熱衝撃破壊挙動を表す物性値として定義することを意図したものではない。また、これらのパラメタを実験によって直接に求めることはできない。

筆者らは、熱衝撃問題においてもさほど急激な熱衝撃でなければ(非連成問題として扱える場合)、応力が臨界値に達すれば破壊し、応力拡大係数が破壊靱性に達すればき裂は伝播すると考えられるとして、材料の強度と破壊靱性に対応して、物性値として定義される「熱衝撃強度」と「熱衝撃破壊靱性」を提案した[1, 15]。その考えは以下のように説明される。

部材が温度差による熱衝撃をうけるときの、耐えうる温度差の大きさは、その熱環境によって決まる因子、部材の形状による因子、並びに材料物性による因子の積として表される。従って、熱衝撃強度を物性値として評価するためには、試験環境に依存する因子と試験片形状による因子を除いた、材料物性のみを熱衝撃パラメタとして定義する必要がある。例えば、ピオ数の比較的小さな



Fig. 9 Cracks on the ceramic surface of the alumina/nickel FGM disk.

平板の水中急冷問題では、試験片に与えられる温度差と、発生する最大熱応力との関係は次のように表される[12]。

$$\Delta T = \frac{\lambda \sigma_{\max}}{E \alpha} \frac{3.25(1-\nu)}{hl} \quad (1)$$

ここに、 ΔT : 温度差、 λ : 熱伝導率、 σ_{\max} : 最大熱応力、 E : ヤング率、 α : 熱膨張率、 ν : ポアソン比、 h : 熱伝達係数、 l : 試験片代表寸法である。ここで式(1)の中で、熱的環境因子である熱伝達係数と応力の二軸性によるポアソン比の項、並びに試験片寸法および定数を除いた残りの項の臨界値を次のように定義する。

$$R_{1C} = \frac{\lambda \sigma_c}{E \alpha} \quad (2)$$

ここに、 R_{1C} : 熱衝撃強度、 σ_c : 材料の強度である。これより、 R_{1C} は ΔT の臨界値を定める物性値となることがわかる。これを「熱衝撃強度」とする。

き裂のある平板試験片に温度差を与える場合も同様な扱いを行うと、「熱衝撃破壊靱性」は次のように定められる[1]。

$$R_{2C} = \frac{\lambda K_{IC}}{E \alpha} \quad (3)$$

ここに、 K_{IC} : 破壊靱性である。

以上のように、「熱衝撃強度」は、材料が負荷としての温度差をうけるときの臨界温度差の大きさを表す材料物性となり、「熱衝撃破壊靱性」は、き裂のある部材が温度差をうけるときの、き裂が進展するときの臨界温度差の大きさを表す材料物性となる。しかし、これらが従来のパラメタのように、構成する個々の物性値の組み合わせによってのみ評価されるというものであればその価値は小さくなる。また、これらのパラメタが実験により

直接求められなければ物性値としての意義は薄れるが、例えば赤外線放射加熱法では次のように R_{1C} 、 R_{2C} を直接求めることができる[7].

$$R_{1C} = S \frac{\eta W}{\pi H (a/r_0)^2} \quad (4)$$

$$R_{2C} = N_I \sqrt{\pi c} \frac{\eta W}{\pi H (a/r_0)^2}$$

ここに、 S ：無次元熱応力， N_I ：無次元応力拡大係数， η ：熱効率， W ：加熱電力である．また，図6に示すように， H ：円板試験片厚さ， a ：加熱半径， r_0 ：円板試験片半径， c ：縁き裂長さである．

実験例として，図10に高熱伝導率の窒化アルミニウム(AlN)と通常のア루미ナ(Al_2O_3)について，赤外線放射加熱法により求めた熱衝撃破壊靱性 ($\text{Exp.}R_{2C}$)と，式(3)に示すような物性値の組み合わせから計算された値($\text{Cal.}R_{2C}$)を比較したものを示す[16]．これより，両者はよく一致することがわかる．このことから，耐火物のように熱衝撃試験の困難な材料の場合には，式(3)の各物性値の組み合わせによって熱衝撃パラメタを推定することも可能であることがわかる．

5. おわりに

セラミックスと熱に係わる話題として，転位・強度・熱伝導率と熱衝撃破壊試験について述べた．少しでもお役に立てれば幸いである．

参考文献

[1] 淡路英夫，セラミックス材料強度学，コロナ社 (2001).
 [2] 淡路英夫，セラミックスの熱衝撃試験，材料，**48-1** (1999) 1.
 [3] Lagerlöf, K. P. D. et al., Slip and twinning in sapphire α -(Al_2O_3), J. Am. Ceram. Soc., **77** (1994) 385.
 [4] 淡路英夫，他，セラミックスの強度，破壊靱性と臨界損傷域寸法の関係，金属学会誌，**70-1** (2006) 59.
 [5] Niihara, K., New design concept of structural ceramics – ceramic nanocomposites, J. Ceram. Soc. Jpn., **99** (1991) 974.
 [6] 松永拓也，名古屋工業大学修士論文(2005).

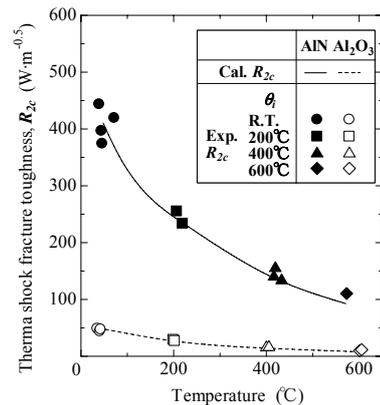


Fig.10 Experimentally obtained R_{2C} ($\text{Exp.}R_{2C}$) and calculated R_{2C} ($\text{Cal.}R_{2C}$) for AlN and Al_2O_3 materials[16].

[7] 淡路英夫，赤外線放射加熱による熱衝撃破壊靱性試験，日本機械学会論文集 A 編，**62-595** (1996) 700.
 [8] Awaji, H. et al., Analysis of temperature/stress distributions in thermal shocked ceramic disks in relation to temperature-dependent properties, J. Ceram. Soc. Jpn., **106-4** (1998) 358.
 [9] Tanaka, H. et al., Thermal shock test for ceramics by a water-flow cooling method, **112-5** (2004) S299.
 [10] Jin, G. et al. Thermal shock testing on mullite/Mo FGM disks using an infrared radiation/water flow technique, J. Ceram. Soc. Jpn., **112-5** (2004) S286.
 [11] 竹中宏光，名古屋工業大学修士論文 (2000).
 [12] 鶴戸口英善，V-1 熱衝撃，川田雄一他編，材料強度工学ハンドブック，朝倉書房 (1966) 591.
 [13] Kingery, W. D., Factors affecting thermal shock resistance of ceramic materials, J. Am. Ceram. Soc., **38** (1955) 3.
 [14] Hasselman, D. P. H., Unified theory of thermal shock fracture initiation and crack propagation in brittle ceramics, J. Am. Ceram. Soc., **521** (1969) 600.
 [15] Sato, S. et al., Evaluation of the thermal shock fracture toughness of reactor graphites by arc discharge heating, Carbon, **16** (1978) 103.
 [16] Honda, S. et al., Thermal shock testing of ceramics for circuit substrates, Advanced Materials Research, Vols. 11-12 (2006) 31.

Afghanistan Kabul University Support

望月 貞成 (東京農工大学)

Sadanari MOCHIZUKI (Tokyo University of A&T)

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

1. はじめに

編集部長吉田先生より、会員諸氏を鼓舞するような原稿を何か学会誌に寄稿せよとのご注文を頂いた。日ごろ会員諸氏から逆に元気の素を頂いている身としては、ご期待に応える内容の文はとも書けそうもない。ここでは、伝熱とは全く関係のない話をするのでお許しをいただきたい。

2002年5月にアフガニスタンの首都カブールを訪れた。アメリカ同時多発テロに端を発した米軍のアフガニスタン侵攻によりタリバンが崩壊して数ヶ月後のことであった。訪問の目的は、カブール大学を頂点とするアフガニスタンの高等教育の状況視察である。国際社会がアフガニスタンの再生に向けて協力すべく、小泉首相(当時)が音頭を取り東京で国際会議が開かれ、日本はアフガニスタンの復興支援のために多額の支援をすることを世界に約束した。それを受けて、日本政府の各省庁も動き始め、文部科学省は当時の岸田文部科学副大臣を団長とする視察団を派遣することにした。東京農工大学も教授4名からなる調査団を独自に編成した。筆者は団長を仰せつかり、文科省視察団と同行するかたちでカブールを訪れた。これを契機に、東京農工大学は、カブール大学復興支援室なるものを設け、以後今日に至るまで文部科学省の支援の下に毎年カブール大学より特別枠の国費留学生(大学院博士前期および後期課程)および研修教員を受け入れている。また、カブール大学の歴代学長や高等教育大臣などの本学来訪も11名に及び、東京農工大学はアフガニスタンの高等教育復興支援にささやかながらも貢献してきている。

2. 成田からカブールへ

日本とアフガニスタンの間に直行便はない。成田からバンコックおよびイスラマバード経由でカブールまで機中泊を含め3日ばかりであった。

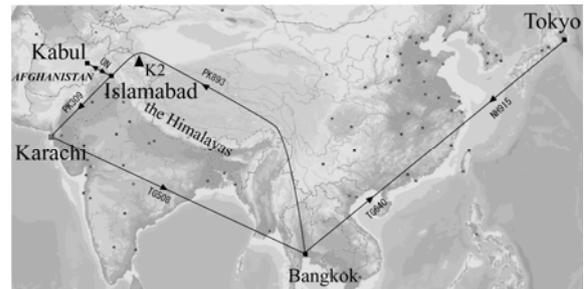


図1 カブールまでの経路

深夜バンコックを離陸したパキスタン航空機(PK893)は、はじめ北に向かって飛び続けた。本来北西に向かう筈なのに何故だろうと思った。後から知ったのだが、カシミール地方の帰属を巡る問題でパキスタンとインドの関係が当時極端に悪化し、パキスタン航空機のインド上空飛行が許されなくなったためであった。飛行経路は、概ね図1に示されるようにヒマラヤ山脈の北側を回り主として中国領空を飛ぶもので、かなりの遠回りであった。しかし、そのおかげで通常であれば決して観ることができない景色を楽しむことができた。明け方、パキスタン人の機長が操縦席に我々を特別に招き入れ、窓越しに見える文字通り息を呑む



写真1 世界で2番目の高峰K2。8611m

ような光景についていろいろと説明してくれた。万年雪に覆われた世界最高クラスの峰々が朝陽を浴びて聳え立つ光景には身震いするほどの神々しさを覚えた。写真1は、筆者が機窓から撮影した、ヒマラヤ山脈の西の端に位置する世界で2番目に高い峰K2である。

イスラマバードに一泊した後、カブールに向かった。2002年5月の時点では、イスラマバード-カブール間の民間航空路線はまだ復活していなかったため、国連機（といっても人と荷物を積むいわば貨客機）で飛んだ。着陸時に機窓から飛び込んできた、カブールで最初に眼にした光景は、それは凄まじいものであった（写真2および3）。滑走路の両側の飛行場全体がいわば墓場同然であった。航空機、格納庫、様々な施設、どれもまともなものはない、焼け爛れた残骸が累々と放置されていた。これは大変なところに来てしまったものだと思わずにはいられなかった。

3. 二十年余りにわたる戦乱

アフガニスタンは、1979年ソ連の軍事介入に反抗するムジャヒディーン・ゲリラ勢力の戦い、ソ連軍の撤退後に始まったムジャヒディーン各派間の主導権争いによる内戦、次いで、タリバンの支配と米軍侵攻によるその崩壊に至るまでの間、実に20年余に渡り絶え間なく戦乱が続いた。その結果、多くのものが破壊され、国は疲弊し、多数の難民が国外に流出した。2002年6月ようやくカルザイ暫定政権議長を大統領とする移行政権が成立し、2004年1月に新しい憲法が制定された。同年10月の大統領選挙を経て、カルザイが大統領に就任したことは記憶に新しい。

4. まるでモヘンジョダロ

カブール国際空港から宿泊先のホテルまでの道路の両側もまた、ことごとく破壊されており、その光景は高等学校の世界史の教科書で見たモヘンジョダロの遺跡と見紛うばかりであった。カブール市内も一面の廃墟で（写真4）、終戦直後の東京の状況にも似ていた。それゆえ、まともなホテルなどはない。唯一インターコンチネンタルという名前の、ホテルの基本機能をかろうじて有していた比較的大きな古いホテルがあったが、そこは戦乱終結直後のアフガニスタンの状況取材するた



写真2 カブール国際空港。累々と横たわる航空機の残骸。



写真3 カブール国際空港。焼け爛れた格納庫。



写真4 カブール市内の惨状。市内いたるところが似た状況にあった。

めの外国からのマスコミ関係者の先約で一杯で、日本の文部科学省の副大臣（閣僚）でさえも部屋を予約することはできなかった。我々が宿泊したところは、カブールの金持ちの民間人が宿泊施設不足を見込んでビジネスのために自宅を修理改造した急ごしらえの小さな宿であった。

5. 一人一泊数十米ドル、シャワーからは冷水

何しろ電力事情が悪く、一日のうち限られた時間しか電力は供給されない。アフガニスタンでは発電はもっぱら水力に頼っているのだが、老朽化した電力施設は十分に機能せず、さらにその年は旱魃が追い討ちをかけたため、電力事情は極めて悪かった。ホテルのシャワーへの給湯には、投げ込み式の電気ヒータを貯湯タンクに入れただけの手軽な湯沸かし器が用いられていたが、何しろ電気が滅多にこないで、シャワーからはほとんど冷水しか出てこない。あらゆる点において、ホテルと呼ぶには程遠いにもかかわらず、宿泊料は一人一泊数十米ドルであった。これは、当時のカブールの中学校教員の月給にほぼ等しかった。需要と供給の関係とはいえ、あまりにも人の足元を見たあこぎな商売に思えた。聞いたところによると、大きな家を持っているような金持ち達の多くは戦乱状態が始まると国外に逃げ出しており、そのうちの少なからぬ人たちは、戦乱終結後も帰国せずに国外から指示を出しこのようなビジネスを行っているとのことで、一般のアフガニスタン人からは必ずしも快く思われていないようであった。

6. カブール大学

カブール大学は、1932年に創立された。嘗ては西南アジアでも有数の規模と質を誇る名門大学の一つであった。14もの学部（法学、イスラム学、文学、ジャーナリズム、教育学、社会学、農学、獣医学、理学、工学、薬学、経済学、地質学、芸術）を有する総合大学であり、広大な敷地に建物がゆったりと配置されている。しかし、長い内戦の間、カブール大学も部族間対立の戦場になり、破壊と略奪に遭った。換金できるものはすべて持ち去られ、実験室・講義室を含めすべての部屋は全くの空っぽとなった。図書館の書籍さえも炊飯の燃料や兵士の暖を取るために燃やされた。内戦とともに多くの教員は大学を離れ、地方または海外に難を逃れたという。

内戦の間、ほとんどマヒ状態に陥っていたカブール大学は、2002年5月に復興の第一歩として、久しぶりに新生を受け入れた。その数およそ4,000名で、タリバンにより勉学を禁じられていた女子学生も何年かぶりに入学した。我々が訪れたのは、ちょうど新学期が始まったところでキャンパ



写真5 工学部における講義の状況。黒板とチョーク、ノートと鉛筆、寄せ集めの椅子しかない。しかし、学生は教師の一言も聞き逃すまいと熱心に耳を傾ける。

スには多くの学生が見られ、活気に満ちていた。

7. 本当に勉強したい学生たち

学部長の案内で工学部内を見て回った。建物は鬱蒼とした木々に囲まれ、環境はすばらしい。しかし建物内は電気が来ないために薄暗く、破壊に遭った実験室は修復されつつあるものの、その内部はガラクタが雑然と残されているのみであった。それゆえ、実験や実習を行うことは出来ず、授業は講義のみであった。授業中の教室を4つほど見学した。それぞれ黒板に書いてある内容から、電気回路、材料力学(弾性線の微分方程式)、宗教(おそらくダリ語)及び物理学(相対運動、座標系)の講義であった。宗教以外は、日本その他の先進国で教えている内容と変わらない。どの部屋にも、黒板と不ぞろいで粗末な椅子以外には何も無い。教科書もまた印刷物の配布も無い。正に、チョークと黒板と学生の持つノートのみである(写真5)。しかし、講義を聴く学生の態度は極めて熱心である。教室の後ろのほうで眠っている学生などは皆無である。皆、目が輝いている。教師の一言一言が学生に吸い込まれてゆく様子が強く感じられる。教室の外には凄まじい現実があり、彼らは衣食住すべてにおいて極めて困難な状況に置かれている。そのような逆境下において、いまこの教室に集まっているのは、本当に勉強したいと思っている若者たちで、文字通り本物の「学生」である。良い意味でのハングリー精神がここにはある。最近の

日本では残念ながらあまり観ることが出来なくなった、このような強い勉学意欲を持った若者達の熱気に圧倒された。講義をちょっと中断してもらい学生たちと話をした。彼らは東京が焼け野原であったことや、日本の目覚ましい戦後復興について良く知っていた。

ここで受けた強い印象が、その後東京農工大学がアフガニスタンの高等教育支援を行う原点となった。

8. 衛星電話と大学間交流協定書調印

実はこの視察に際して、カブール大学と東京農工大学との間の大学間交流（いわゆる姉妹校）協定の締結に必要な書類を日本から携えてきていた。カブール大学にそれらの書類を置いて帰り、後日協定を結ぼうと考えていた。しかし、e-mailはおろか電話やFAXも無く、また郵便事情も全く当てにならないアフガニスタンの現状を目の当たりにして、「できることならこの場で協定を結ぶほうがよい。」と判断した。大学間交流協定締結には、通常であれば学内のしかるべき委員会や最終的には評議会での審議が事前に必要である。アフガニスタンの治安の悪さを心配した大学事務局が万々に備えて衛星電話を持たせてくれていた。それを用いて日本に残っていた学長に状況を説明し、決断を仰いだところ、即座にゴーサインが得られた。評議会などへの説明は学長にお願いすることとして、学長の代理として筆者が協定書に署名することで調印式を行うこととした。その旨カブール大学側に申し入れたところ相手側もすぐに同意した。翌日、農工大学の4名はカブール大学を訪れ、署



写真6 協定書調印

名式に臨んだ。急ではあったが、アフガニスタンの高等教育省の大臣代理(大臣は海外出張中で不在)が同席した本格的なものであった(写真6)。テレビの取材もあり、その日の夕方のニュースで放映された。これにより、東京農工大学はカブール大学と大学間協定を結んだ日本最初の国立大学となった。

9. カブール大学復興支援室

大学間交流協定を締結して帰国後、状況を学長および評議会に報告した。その結果、アフガニスタンの復興支援に対し本学として何ができるかを具体的に検討しプロジェクトを立ち上げるために、「カブール大学復興支援室」なるものを全学組織として設置した。小回り・融通が利くように学長直属の組織とし、アフガニスタンと一緒にいった4名の教授を含む教官および事務官(当時の呼称)総勢10名で構成し、筆者が室長を仰せつかった。

文科省との何回にもわたる交渉の結果、カブール大学から留学生および短期研修研究者をそれぞれ10名程度ずつ受入れることから我々のプロジェクトをスタートさせることとし、カブール大学の学長に候補者の推薦を依頼した。郵便事情が悪いため、応募書類等は在アフガニスタン日本大使館のお世話をいただき、大使館経由の外務省ルートで送受した。

10. 一抹の不安

5月にカブール大学を訪れた際に、我々は学生の勉学に対する強い熱意に打たれた。しかし、アフガニスタンから日本の国立大学への留学生あるいは研究者の受け入れは今回が最初の試みであるため、過去に参考例が無い。候補者を書類だけで選考するとなると不安が生じてきた。長い間の戦争で研究はおろかまともな教育さえもなされていなかった現実を思うと、果たしてそれらの研究者、とりわけ留学生が、日本の教育に耐えられるだけの基礎学力・知識およびコミュニケーション能力(英語)を持っているか心配になってきた。

11. カブール再訪

われわれは意を決して再度カブール大学に赴き、候補者と面接することにした。電話を始めカブール

ルの通信事情が極めて悪いため、カブール大学側と面接のための事前調整や諸連絡などを直接行うことができない。それゆえ、この計画は本来実行不可能とも思えるものであった。しかし、大変有難いことに、前回の訪問の折に親しくなった在アフガニスタン日本大使以下大使館の方々の全面的なご協力を頂くことができた。日本大使館の方が、カブール大学と大使館の間を行き来して、我々とカブール大学の間を取り持って下さったのである。事が順調に運んだのは偏にそのおかげであった。

1 2. 候補者と面接

2002年11月、復興支援室メンバーの教授3名と事務官1名でカブール大学を再訪した。学長をはじめ農、工、獣医学部長と会った後に、留学生候補者および短期研修候補者との面接を学長室において2日間にわたり実施した。

留学生候補者はすべて、カブール大学の農・工・獣医各学部の現役の若手教員であった。長期に及ぶ戦乱のため、カブール大学は後継教員を育成できなかった。それゆえ、現在の若い教員達は、博士はおろか修士の学位も持たないまま教壇に立っている。カブール大学はそれらの現役若手教員を東京農工大学への最初の留学生候補者として推薦してきた。日本の国費留学生への応募資格は35歳以下であるが、応募者の中には30歳以上の者も何人かいた。

面接では、一人一人に十分な時間をかけ、様々な角度からの質問に答えてもらった。その結果、いずれの応募者も、新しい知識を吸収したいという強い意欲を持ち、日本への留学あるいは短期研修を極めて真摯に考え希望していることが改めてわかった。

留学生候補者は皆それぞれの分野における基本的専門知識については学部卒業程度以上のものを有していると判断された。短期研修応募者の中には、欧米の大学の修士・博士課程を修了した者や欧米の大学で教鞭をとった経験を持つ者もあり、往年のカブール大学教員の質の高さがうかがえた。英語によるコミュニケーション能力は、個人差はあるが総じてかなり高く、特に短期研修希望者の多くは流暢な英語を話すことがわかった。面接した候補者から、留学生9名、研修教員10名を選んだ。我々の当初の心配は、杞憂に終わった。

1 3. これまでに4名がカブール大学の教壇に

2003年以後今日に至るまで文部科学省の支援の下に、毎年カブール大学より特別枠の国費留学生（大学院博士前期および後期課程）および研修教員を受け入れてきた。現在までに、それぞれの総計は、22名および25名に達した。第1期生9名のうち4名は、修士取得とともにカブール大学に戻り、現在教壇に立ち後進の指導に当たっている。残りの5名は博士後期課程に進学した。現在18名が本学の大学院に在学中で、最初の博士の学位取得者は来年の3月に出る予定である。

1 4. カブール大学学長

昨年の暮れに国連事務総長候補に5名の名が挙がり、最終的には韓国のパン・ギムン氏が選ばれたが、実はカブール大学の新しい学長 Dr. Ashraf Ghani Ahmadzai も5名の候補者の一人であった。去る2月に同氏が来日した折に、東京農工大学にもお越しいただいた。米国コロンビア大学で修士・博士の学位を取得し、国連のアフガニスタン問題アドバイザーやカルザイ政権の大蔵大臣を務めた経験を持ち、その洗練された物腰の柔らかさは、我々がこれまでに接してきたアフガニスタン人の平均的イメージとはかなり異なるものであった。アフガニスタン人は一般に誇り高く、自説を曲げて譲ることをあまりしないようにみえる。ある問題が生じ、カブール大学からの留学生達といういろと話をしなければならぬことがあったが、「それを認めるくらいならば死んだほうがましだ」とはっきり言う。頑固なところがある。時としてそれは長所であり、また短所でもある。

1 5. 大統領が学長を指名する

先に「新しい学長」と書いたが、実は、カブール大学の学長が代わったことの知らせなどは、カブール大学から我々のところには来ない。学長は選挙によって選ばれるのではなく、カルザイ大統領が指名する。それゆえ、在日アフガニスタン大使館から、カブール大学学長 Dr. Ashraf Ghani Ahmadzai が東京農工大学訪問を希望しているが、との急な打診を受けて初めて我々は新しい学長の名前を正式に知ったのであった。大学内にしっかりした事務組織があり、誰が学長になろうとも基本的なところは滞りなく機能するのが当然という

社会では必ずしもないようである。

16. 飲酒は許されるか？

筆者が滞在したことがあるイスラム教徒の国の中で一番戒律に厳しいのは、「政教一致」のサウジアラビアではないかと思う。サウジアラビアの1月は、さわやかな晴天が続きわめて快適である。そのような一日の夕方に、ビールの一杯もやりたくなるのだが、それが許されない。外国人でさえも酒類を飲むことは時と場所を問わず許されないのである。これはかなりきつい。とても長くは居られないと思った。飲酒はかなりの重罪で、禁を犯すと鞭打ちの刑に処せられる。同じイスラム教徒の国でも、インドネシアやマレーシアやトルコでは飲酒は自由だし、女性はミニスカートを着ることも許される。国の正式名称にわざわざ「イスラム」を入れているアフガニスタン (Islamic Republic of Afghanistan) でさえも、外国人がアルコールを飲むことは特に罪にはならない。ただし、アルコール類を手に入れるためには大枚を払わなければならない。質の良くないウォッカ1本が20米ドル以上もした(2002年11月)。パキスタンでは、一般の人々が酒を飲むことは許されないのにビールを輸出用に製造しており、外国人であれば、ホテルの部屋からそのパキスタン製のビールを注文できる。ただし、パスポートを提示し、書類にサインするという手続きが求められる。味のほどは絶賛というわけにはいかない。

「何故イスラム教徒は酒を飲んではいけないのか？」これまでに留学生を始め何人かのイスラム教徒に質問したことがある。ほとんど異口同音に、「コーランに書いてあるから」と答える。ところが、「なぜコーランは飲酒を禁じているのか」と言うさらなる問に対しては、なるほどと思える答をいまだ得ていない。これこそいわゆる「文化の違い」なのだろう。そしてその違いは寛容をもって互いに受け入れなければならないのであろう。

17. あとがき

廃墟と化したカブール市街地の惨憺たる有様の中で、子供たちの笑顔に出会うと本当に救われる思いがする(写真7)。アフガニスタン支援の基本は、想像を絶するほど悲惨な状況下で復興に向けて懸命に努力している人々に援助の手を差し伸べ



写真7 下校途中の少女の笑顔。無残な周囲とのあまりにも強烈なコントラスト。

たいという一点にある。多くの若者が志を抱いて先進国に留学した時代が日本にもあった。彼らは日本の現在の繁栄の礎を築くのに大きな貢献をした。今度は、日本が援助をする番であろう。東京農工大学が受け入れている留学生および短期研修教員は、それぞれ留学および研修終了後はカブール大学に戻り、日本で得た知識・経験を基に学生の教育を行い、それを通じてアフガニスタンの再建に貢献したいとの強い意志を持っている。このような人的支援は、留学生および研修者本人達にとっても、また国としてのアフガニスタンにとっても意義があるのみならず、日本にとっても政策的に重要かつ必要である。国際機関を通じて金や物を提供する形の支援も意味があるが、アフガニスタンの将来の指導者を育てるカブール大学の教員を育成・支援することは、長い眼で観るとより高い効果を生むと期待される。

最初にアフガニスタンを訪れてからほぼ5年が経とうとしているが、東京農工大学のカブール大学復興支援計画は、どうやら軌道に乗り始めたように思える。教育には時間がかかる。長期的な展望の下での継続にこそ意味があろう。

カブール大学を訪れたときに土産として額を持参した。それには、中国の古い諺が記されている。

If you plan for a year, plant rice

If you plan for ten years, plant trees.

If you plan for a century, educate your children.

My Lifework in Microgravity Research

鴨谷 康弘 (ケースウェスタンリザーブ大学)
Yasuhiro KAMOTANI (Case Western Reserve University)
e-mail: yxk@case.edu
http://mae1.cwru.edu/mae/Pages/Faculty_Staff/Faculty/Kamotani/Kamotani.htm

1. Introduction

Professor Koyama of Kyushu University asked me to write an article for the International Letter section of *Dennetsu*. I was told I can write on any subject. Since I have been working mainly in the area of microgravity research for a long time, I thought I can write about my research related to microgravity. First about myself and our school: I teach at Case Western Reserve University (CWRU for short) in Cleveland, Ohio. This long name is a result of merger in 1967 between the neighboring Case Institute of Technology (founded in 1880) and the Western Reserve College (founded in 1882). It is a private university near the shores of Lake Erie (one of the Great Lakes) with student enrollment of about 9,600, of which 3,600 are undergraduate students (Fig. 1). It is a research-oriented university. The famous Michelson-Morley experiment, which measured the speed of light, was conducted at our school in 1887. We are fortunate to have the world-renowned Cleveland Orchestra Concert Hall and the Cleveland Museum of Art practically on campus.



Fig. 1 Kelvin Smith Library of CWRU

2. Early Days

I came to the Case Institute of Technology (before the merger) in 1966 as a graduate student. I worked for Toshiba in Japan before I came here. At that time Japan was still developing technologically and the US was well advanced. So as a young engineer I wanted to get trained at a US university and be exposed to new technologies. At that time, the US industries, such as the auto and steel industry, were doing very well. Since it was next to Detroit, Cleveland was closely tied to the auto and steel industries, so I could feel the sense of pride by talking to people working in those industries. They knew very little about Japan in those days in Cleveland. Most important to me was that at that time NASA was in the middle of the Apollo project, which aimed at sending humans to the moon. NASA Lewis Research Center (now Glenn Research Center) is located in Cleveland and our department has a close tie with the center. NASA Lewis was known for its aeronautics work at that time rather than aerospace work. So, this association gave our department ample research grants related to aeronautics. My Ph.D. work was concerned with the mixing of hot combustor gas with wall injected cool air jets, which was an aeronautics subject and supported by NASA. Even now I still remember my excitement as a graduate student when finally the Apollo-11 spacecraft landed on the moon in July 1969. I wanted to work some day in a space related area.

3. Post Doc Days

After graduating from CWRU in 1971 I stayed as a postdoctorate to continue the work I did for my Ph.D. thesis. I went to NASA Lewis often, so I continued to

get information about NASA's aerospace and aeronautics projects. The Skylab space station was launched in 1973. Now scientists had opportunities to perform scientific experiments under an extended period of microgravity. Although the scientific experiments performed aboard the Skylab were rather crude, they showed us a different and exciting environment to perform experiments and eventually do manufacturing. Professor Simon Ostrach in our department was involved in the Skylab experiments, so he showed us interesting videos of the Skylab experiments. After some time I was offered the chance to work at NASA Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Maryland. I worked on heat pipes for spacecraft temperature control. So this was my first chance to work in space related areas and conduct independent research work. At NASA Goddard I learned various aspects of space activities.

4. Active Research Period

The job at NASA Goddard was a temporary one, so I was looking for an opportunity to continue my space related research. When I called Professor Ostrach, he said he was looking for someone to do just that, so I came back to CWRU in 1976, this time as a faculty member. Teaching undergraduate students for the first time in this country is a challenging job but that is another story. Professor Ostrach is well-known for his work in natural convection. I did some work with him on this subject. We investigated natural convection in enclosures driven by temperature and/or concentration gradients. We investigated thermal instabilities in boundary layer flows. They are not related to space projects.

Natural convection is very much suppressed in space. Therefore, a process that is affected by buoyancy in normal gravity would perform very differently in microgravity. One such process is materials processing. A substantial reduction of buoyancy was considered to be beneficial for manufacturing high quality crystals for various high-tech applications. For this reason, materials processing in space was an important activity since the

early days of space flight. However, in order to fully utilize this new environment, we have to understand the mass and heat transfer phenomena in the process. That was the reason Professor Ostrach and I got involved in the NASA microgravity activities.

Even though we can suppress natural convection in space, other types of convection become important. One such convection is Marangoni convection. Marangoni convection is driven by temperature and/or concentration gradients along a liquid interface. Marangoni convection exists in the case of containerless processing of materials, such as a zone melting technique called float-zone process. More generally, Marangoni convection could become important in microgravity in many systems with free surfaces involving heat and mass transfer. Thus, the study of Marangoni convection in space became our main research area. We did drop tower tests at NASA but we felt we needed a much longer duration of microgravity to investigate Marangoni convection.

The first Space Shuttle, Columbia, was launched in 1981 and opened a new era for microgravity research. Around that time we proposed to NASA a relatively simple experiment on Marangoni convection aboard a Space Shuttle and NASA was receptive to the idea. However, after the Conceptual Design Review in 1983, since it was quite expensive to conduct an even simple experiment in space, we were told to expand the scope of the experiment and also to make it more quantitative. We had no objection and in fact we were glad to have a chance to conduct a better experiment. But this delayed our project. Then NASA had the Challenger accident in 1986, which stopped the Shuttle activities until the return to space flight of Discovery in 1988. In the meantime we developed our experiment. In the experiment, silicone oil was placed in an open circular container and heated by a cylindrical heater at the center or a CO₂ laser beam to generate Marangoni convection. The velocity and temperature fields were to be measured in details. Finally, we had a Preliminary Requirements Review in 1988.

We wanted to perform our space experiments just like we did in our lab. After all we send astronauts into

space to perform experiments. Because of the interactive nature of our experiment, NASA thought it was a good opportunity to try this type of operation in space. For this we must wait for a Spacelab mission, which is basically an orbiting laboratory aboard the Shuttle to conduct scientific experiments. Because of this opportunity of an interactive experiment our experiment became extensive and complex. At one time more than fifty NASA engineers were involved full-time in our project. We spent endless hours of design changes and discussions.

We had to go through a series of reviews before we were allowed to fly. The reviewers were knowledgeable and really tough, so we had to prepare very well for each review. I still remember those tough reviews more than the experiment itself. After all, NASA spent about 35 million dollars on our experiment (most likely the most expensive, single-investigator space experiment at NASA), so they had to be tough on us and they were. We passed the final review in 1989.

Our experiment was conducted in the USML-1 (US Microgravity Lab -1) Spacelab aboard Columbia in 1990. Our experiment performed almost perfectly, thanks to the tremendous efforts by the NASA engineers and astronauts. During the tests we got frustrated at times because we could not make them truly interactive due to various NASA protocols. From the experiment we learned about steady Marangoni convection in large scale containers, which could not be done in normal gravity. The velocity and temperature results agreed well with our numerical simulation results [1, 2]. Based on the ground-based work by us and by others, we knew that the flow became time oscillatory under certain conditions but the cause of the instability was not fully understood. Since the flow did not become oscillatory in this experiment, we planned the second experiment.

We thought things would become easier in the second experiment, but we were wrong. We had to start almost from a scratch and had to go through the tough reviews again. But since we knew the space environment better by this time, the NASA engineers felt much better about modifying the design of the first

experiment. We performed our experiment in 1995 in the USML-2 Spacelab. In this experiment our objective was to study flow instabilities, so we had to perform a careful experiment in our lab. Therefore, this time our experiment was very interactive. The astronauts spent about 80 hours just to perform our experiment, almost eight hours every day for the duration of the flight! As a result, we performed the experiment as if we were conducting it in the next room. Because of this we were able to obtain valuable information on the Marangoni convection instability [3, 4].

Looking back that was the time when NASA was interested in large science experiments in space. After that time, the thinking at NASA has changed. More and more microgravity experiments were selected by NASA in many areas. NASA decided to perform more experiments rather spending big money on a fewer experiments. After the second flight NASA gave the flight hardware to us. So now this hardware for the very expensive experiments (a total of fifty million dollars were spent on our two experiments) sits in our lab (see Fig. 2). Eventually it will go to a museum. I started working on our Marangoni convection experiment design around 1978 and we finished our data analysis from the second flight around 1998. So I spent almost twenty years of my productive years on the experiments. The space hardware in my lab reminds me of those days almost everyday. A sad note is that our two experiments were performed aboard the Columbia Space Shuttle but it is gone now.



Fig. 2 Flight hardware for microgravity experiment on Marangoni convection

5. Involvement in Japanese Space Activities

The construction of the International Space Station (ISS) began in 1998. The ISS is the most complex international scientific project in history, involving 16 nations including Japan. As the construction proceeded, they started looking for experiments to be performed aboard the ISS. I was approached by NASDA (now JAXA) around 1997 to become involved in their Marangoni convection research project. Recognizing the fact that NASA's microgravity research depended mainly on the principal investigators' interests, NASDA decided to choose the subjects first and then assemble expert investigators to study them from various angles in preparation for the coming ISS era. One subject chosen was Marangoni convection. NASDA wanted to perform a comprehensive study of the oscillation phenomenon in Marangoni convection covering a wide range of Prandtl number. Since I felt that there were some unanswered questions on the subject even after our Spacelab experiments, I agreed to join the NASDA research group. This approach of assembling experts to focus on a given subject was effective, and much was accomplished by the group before NASDA reorganized as JAXA in 2003. We now know more about oscillatory Marangoni convection than when we did our space experiments.

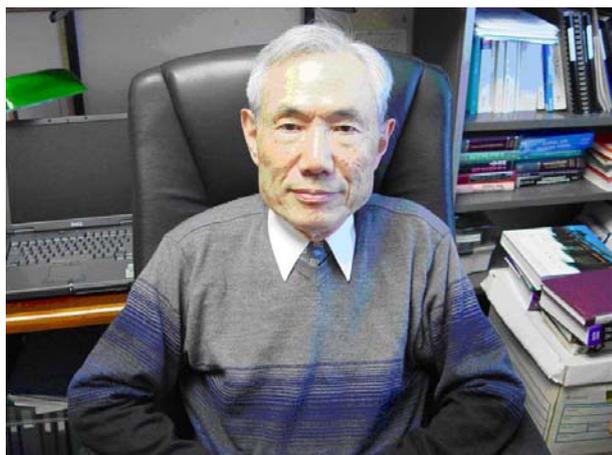
Before this reorganization we submitted a proposal, based on this group work, to conduct Marangoni convection experiments aboard the ISS responding to the Microgravity Science Research International Announcement of Opportunity in 2000. The proposal was selected as a preliminary theme for ISS utilization in 2002, so the group's focus now is to perform the experiment in the near future. So for me, it is back to space again. I am fortunate enough to perform experiments on both the Shuttle and the ISS. The Japanese Experiment Module "KIBO" is scheduled to be ready around 2008. If everything goes well, our experiment is to be conducted sometime in 2009-2010. This makes microgravity research truly my life work.

6. NASA's Human Space Exploration

The main activities of NASA are now directed towards human space exploration. The US is planning to send humans again to the moon and later to Mars. Due to the budget constraint at NASA, basic scientific experiments aboard the ISS were very much curtailed. This is the beginning of a new era for space activities in the US. However, this environment is different from the environment in which I worked for many years. This is not a good time for academic people like us to become involved in NASA activities. We need to build our knowledge-base concerning reduced gravity (microgravity, moon and Mars gravities) in order to develop efficient technologies for future space activities. We are hoping that NASA will eventually come back to support more basic scientific research. At present we are just waiting to see how it evolves.

References

- [1] Kamotani, Y., Ostrach, S. and Pline, A., Analysis of Velocity Data Taken in Surface Tension Driven Convection Experiment in Microgravity, *Physics of Fluids*, **6-11** (1994) 3601.
- [2] Kamotani, Y., Ostrach, S. and Pline, A., A Thermocapillary Convection Experiment in Microgravity, *Journal of Heat Transfer*, **117** (1995) 611.
- [3] Kamotani, Y., Ostrach, S., and Masud, J., "Oscillatory Thermocapillary Flows in Open Cylindrical Containers Induced by CO₂ Laser Heating," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **42** (1999) 555.
- [4] Kamotani, Y., Ostrach, S., and Masud, J., "Microgravity Experiments and Analysis of Oscillatory Thermocapillary Flows in Cylindrical Containers," *Journal of Fluid Mechanics*, **410** (2000) 211.



Yasuhiro KAMOTANI

M.S. (1968) and Ph.D. (1971) in mechanical engineering from Case Western Reserve University
Faculty member (currently professor) at Mechanical and Aerospace Engineering Department, Case Western Reserve University since 1976

AIAA Associate Fellow

Current research interest: microgravity fluid mechanics, heat transfer, bio-fluid mechanics

レオナルド・ダ・ヴィンチ記念
国立科学技術博物館
*Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica
Leonardo da Vinci*

吉田 英生 (京都大学)
Hideo YOSHIDA (Kyoto University)
e-mail: yoshida@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

Leonardo da Vinci (1452-1519)の名画“受胎告知”が Firenze のウフィチ美術館(Galleria degli Uffizi)から東京国立博物館に移送され、3月20日から公開されて話題となっている¹。Renaissance期の万能の天才 Leonardo については膨大な研究や文献があるので、専門家でもない筆者が取り上げることは避けたいが、その名前を冠する博物館(伊：<http://www.museoscienza.org/default.asp>, 英：<http://www.museoscienza.org/english/Default.asp>：もちろん伊の方が充実しているが英の方でも相当な充実度である)を2007年3月末に訪問することができたので、この機会にご紹介させていただく。



図1 正面玄関

2. 生誕500年記念の博物館

この博物館は Leonardo da Vinci の生誕500年を記念して、1953年に Milano の Olivetan 修道院の建物を利用して開館した。博物館は、やはり Leonardo の“最後の晩餐”で有名なサンタ・マリア・グラッツェ教会 (Santa Maria delle Grazie) の南方400mほどのところに位置する。図1のように入り口は控えめだが、広大な敷地内に3つの建物が配置され(図2, 図3), 太古から現代に至る広範囲な科学技術に関して展示がなされている。鉄道、船、潜水艦、飛行機などの実物の展示も数多い。古代ローマから中世の Renaissance にかけて世界をリードしてきたイタリアならではの博物館の味わいがある。図1にも写っているように、小・中学生さらに高校生の社会見学の集団に数多く遭遇したことから、この博物館は国民に広く愛されて活用されていることが理解できた。



図2 入口の案内板



図3 中庭を望む

¹ Mussolini 時代の1935年にパリで“イタリア美術展”と1939年にミラノで“レオナルド・ダ・ヴィンチ展”に国威発揚をねらって出展されたのを除けば、これまで館外不出だったという。(ダ・ヴィンチの秘密, 上, 朝日新聞2007年3月13日, 朝刊)



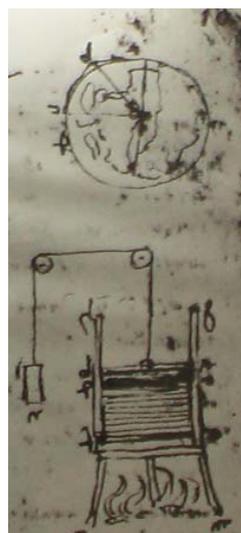
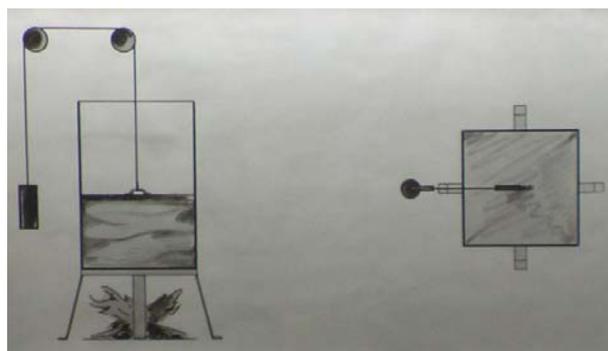
図4 Leonardo Gallery

3. Leonardo Gallery

Firenze 近郊の Vinci 村で生まれた Leonardo は 14 歳で Firenze の Verrocchio 工房に入った後、30 歳で Milano に移る。そして 60 歳で Milano を去るまで Leonardo の活動拠点はまさしく Milano であった。そのような縁で、この博物館の圧巻は、なんといっても“Leonardo Gallery”である。入り口の左側には図 4 のように、ウィトルヴィウスの人体図 (De mens van Vitruvius) があり、壁の向こう側には最後の晩餐の大きな複製図が掲示されている。“Leonardo Gallery”の詳細については博物館 HP から引用しよう。

One of the main attractions of this great Museum is its display of over one hundred models illustrating the work of Leonardo, foremost engineer and technologist of his era. The models depicting Leonardo's designs are of educational value first and foremost, since they allow the non-specialist public, particularly schoolchildren, to appreciate an interpretation of drawings which in themselves are not always easy to comprehend. Most of the models were constructed for the exhibition of 1952 organised by the National Committee honouring Leonardo in the fifth centenary of his birth (1452). Every Sunday starting from June 18 till Sept. 10 an english speaking guide will be available at the entrance of the Science Museum for free guided tours of the Museum, particularly of the Leonardo section.

いうまでもなく Leonardo は、画家 (ただし完成品は数えるほど)、建築・土木・機械工学、さらに解剖学などのあらゆる分野に第 1 級の仕事をした天才である。工学の中でも、とりわけ飛翔に関する研究は先駆的で、また渦の図などもよく描いて流体力学に深い関心を寄せていた。その Leonardo



Device for measuring water turning to steam

The instrument devised by Leonardo was used for carrying out experiments and measuring the expansion and pressure of steam. The device consists of a container filled with cold water. The container has a lid with a weight attached to it. When the fire is lighted, the water is heated and it gradually increases in volume. The weight outside tends to fall, thus measuring the pressure exerted by steam against the lid of the container. The whole experiment could be watched through a membrane stretched tightly over the lid of the container.

(展示説明文をそのまま引用)

図5 水蒸気の圧力を測定する装置

と熱の接点はあるのかどうかというのが、筆者の素朴な疑問であった。

Leonardo Gallery には、Leonardo が設計・考案した機械や装置の模型が 20 点ほどゆったりと展示されている。博物館の所蔵品は膨大であるので、この展示はおそらくときどき入れ替えられるのであろうと思われるが、筆者が訪問した際には、幸い熱に関する展示を二つみつけることができた。

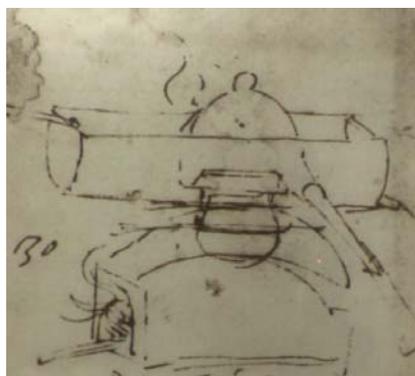


図7 イタリアでは、何でもローマ風に
上図：蒸気機関(1850年ころ)の柱に注目
下図：鉄道の父 Stephenson の像

Continuous cooling distiller

The characteristic feature of this alembic was a very broad condensing surface. The section in which the fire was produced was separated from the one containing the cooling water by a central section exposed to air. This system was designed to reduce the sudden change in temperature, which would damage the glass and ceramic containers.

The folio comprises the drawing of an alembic and the inscription referring to it: *How to obtain a clearly distilled liquid. Make sure that the water flows throughout the alembic.*

(展示説明文をイタリックを含めてそのまま引用)

図6 蒸留器

一つは図5に示す水蒸気の圧力測定装置，もう一つは図6に示す蒸留器である。さらに，燃焼にまで対象を拡張すると Conducted-flame furnace という模型も展示されていた。やはり万能の天才 Leonardo は熱にも関心を寄せ，独創的な発明をしていたのだ！ 今さらながら Leonardo の多才ぶりに感嘆させられた瞬間であった。

4. おわりに

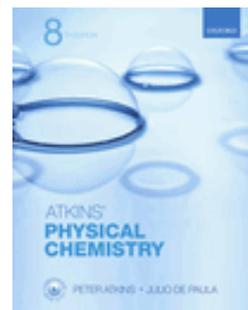
イタリアではローマ帝国以来の遺産があらゆるところに分布しており，2000年以上の歴史の重みが人々の心の底にしっかりと宿っているように思われる。図7もその一例であろう。

ローマの遺跡では卓越した土木・建築技術，また中世の石造りの大聖堂や鐘楼などでは巨大さと途方もない労力のすごさと技術の高さに圧倒される。このような建築に関する展示説明だけは当博物館には少ない(ほとんどない?)ように思われる。あえて博物館内に模型を展示しなくても現物がイタリア国内にいくらかでも存在しているのだから必要ないのかもしれないが，イタリア国内を旅して大聖堂などの威容に圧倒された筆者は，時間を見つけて別途調査したいと思っている。

なお，Leonardoに関するイタリア語・英語の資料(さらに解剖図については厳密な日本語訳も入手可)は，当博物館よりもスフォルツァ城(Castello Sforzesco <http://www.milanocastello.it/intro.html>)の正面左側にある Book Shop に比較的多数揃えられており，旅行者には便利であることを付記する。

Physical Chemistry 8th Edition

著者 : Peter Atkins & Julio de Paula
 発行 : Oxford University Press
 総ページ : 1096 ページ
 本体価格 : £39.99 (Paperback)
<http://www.oup.com/uk/orc/bin/9780198700722/>



吉田 英生 (京都大学) *Hideo YOSHIDA (Kyoto University)*
e-mail: yoshida@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp



Peter Atkins, Professor of Chemistry, University of Oxford and Fellow of Lincoln College, Oxford

1978, 1982, 1986, 1990, 1994, 1998, 2002, 2006— サッカーファンにはワールドカップの開催年と真っ先に映るであろうが、これらは“アトキンスの物理化学”が発行・改訂されてきた年でもある。世界的に有名なこの教科書は定期的に4年毎に改訂を重ね、昨年で第8版に至った。邦訳の方は、東京化学同人から初版が1年遅れの1979年に出たが、現在は第6版が2001年に出たところどまっている。

この大部の教科書の美質を、不勉強な筆者が本会の会員諸賢に今さら説明することもないとは思いますが、大学院学生のとくに初版に接してから、ずっと魅せられてきた本書の進化の歴史、とりわけインターネット時代の教科書のあるべき姿を示してくれる最新版の特徴を多少なりともお伝えできたらと考えた次第である。

Part 1. Equilibrium, Part 2. Structure, Part 3. Change という大枠だけは初版から不変である。しかし、改訂毎に方法論においても取り上げるトピックスにおいても新たな試みを導入し、教科書として理想の姿を追求してきた。そして第7版からは **Julio de Paula** (Professor and Dean of the College of Arts and Sciences, Lewis and Clark College, Portland, Oregon) が共著者として加わった。

ひとつ前の第7版を購入して利用したわけではないので、今回新たに加わった内容だけとはいえないかもしれないが、第8版での **electronic resources** に焦点を絞って説明しよう。本書を購入すると同時に eBook の **Activation Code** が入手でき、これをホームページから入力することで、**Online Resource Centre** が提供するサービスを利用できるようになる。そのメリットは、パソコンさえあれば、どこでも勉強できるというだけにとどまらない。本書の **Preface** から以下に引用する。
 “We are, of course, alert to the developments in electronic resources and have made a special effort in this edition to encourage the use of the resources on our Web site (at www.whfreeman.com/pchem8) where you can also access the eBook. In particular, we think it important to encourage students to use the **Living graphs** and their considerable extension as **Explorations in Physical Chemistry**. To do so, wherever we call out a **Living graph** (by an icon attached to a graph in the text), we include an **Exploration** in the figure legend, suggesting how to explore the consequences of changing parameters.”

すなわち **Living Graph** という機能では、Excel がリンクして入力済のデータを用いて理解を促進する図が描ける。また **Note** という機能では、自分がメモとして書き込んだ内容を、**Public**・**Shared**・**Private** などの開示範囲の区分けをして多目的に役立てることができる。一方、教師が本書を教材として用いることを登録して許可されると、**Lecturer resources** としてパワーポイント等も利用できる(ようである)。

Acknowledgements にリストアップされた全世界からの96名の **colleagues** の名前を見るだけでも、この書が **Atkins** 教授の偉大な才能と努力と、そして多くの協力者の英知の賜であることが実感できる。本書は、人類が創出した教科書として、今日におけるひとつの到達点といえるのではないだろうか。

行事カレンダー

行事カレンダー

本会主催行事

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
2007年						
5月	22日(火) ～ 25日(金)	第44回日本伝熱シンポジウム 長崎ブリックホール	'07.1.19	'07.3.12	第44回日本伝熱シンポジウム実行委員会 長崎大学工学部 機械システム工学講座内 TEL&FAX: 095-819-2527 E-mail: nhst44@celcius.mech.nagasaki-u.ac.jp http://nhst44.mech.nagasaki-u.ac.jp 委員長 茂地 徹, 庶務幹事 桃木 悟	2006.10 2007.1 2007.4

本会共催, 協賛, 後援行事

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
2007年						
4月	17日(火) 10:00- 18:00	日本混相流学会 レクチャーシリーズ(気液混相流の計測技術～基礎と応用) 東京海洋大学 越中島キャンパス			〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6 波津久 達也 E-mail: JSMF-LS2007@m.kaiyodai.ac.jp TEL: 03-5245-7727, FAX: 03-5245-7410 http://ring-me.eng.hokudai.ac.jp/~jsmf2007/	
4月	18日(水) ～ 20日(金)	第7回2007 熱設計・対策技術シンポジウム 幕張メッセ 国際会議場	'07.3.17		(社)日本能率協会 開発・技術振興本部熱設計・対策技術シンポジウム事務局 中沢・加藤 〒105-8522 港区芝公園 3-1-22 TEL: 03-3434-1410, FAX: 03-3434-3593	
4月	18日(水) ～ 20日(金)	第41回空気調和・冷凍連合講演会 東京海洋大学 越中島キャンパス			〒160-0016 東京都新宿区信濃町 35 信濃町 35 煉瓦館 5F 社団法人 日本機械学会 宮原 ふみ子 TEL: 03-5360-3505, FAX: 03-5360-3509 E-mail: miyabara@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/	
5月	10日(木) 11日(金)	可視化情報学会講習会: 可視化フロンティア「PIV(粒子画像流速計)とLIF(レーザー誘起蛍光法)の基礎と応用」 筑波大学	'07.5.1		可視化情報学会事務局 〒114-0034 北区上十条 3-29-20-103 TEL: 03-5993-5020, FAX: 03-5993-5026 E-mail: info@vsj.or.jp http://www.vsj.or.jp	
5月	22日(火) ～ 24日(木)	第12回 日本計算工学会講演会 国立オリンピック記念青少年総合センター	'07.1.31	'07.4.10	〒101-8449 千代田区神田錦町 3-24 住友商事神保町ビル(株)JCS コンベンションデザイン 日本計算工学会講演会事務局 TEL: 03-3219-3541, FAX: 03-3292-1811 E-mail: jsces@jcs-inc.co.jp	
5月	24日(木) 25日(金)	日本機械学会関西支部第289回講習会 「表面分析・表層構造分析の原理・方法と適用事例 - 分析実習付き-」 (株)イオン工学研究所	'07.5.17		(社)日本機械学会関西支部 〒550-0004 大阪市西区靱本町 1-8-4 大阪科学技術センタービル内 TEL: 06-6443-2073, FAX: 06-6443-6049 E-mail: jsme@soleol.ocn.ne.jp	
6月	23日(土)	第26回混相流シンポジウム 札幌コンベンションセンター	'07.2.28	'07.4.20	〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学 工学研究科 機械宇宙工学専攻 日本混相流学会講演会 2007/第26回混相流シンポジウム実行委員会 藤川重雄 TEL: 011-706-6429, FAX: 011-706-7889 E-mail: fujikawa@eng.hokudai.ac.jp http://ring-me.eng.hokudai.ac.jp/~jsmf2007/	
6月	22日(金) ～ 24日(日)	日本混相流学会 年会講演会 2007 札幌コンベンションセンター	'07.2.28	'07.4.20	〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学 工学研究科 エネルギー環境システム専攻 日本混相流学会年会講演会 2007 実行委員会事務局 村井 祐一 TEL: 011-706-6372, FAX: 011-706-7889 E-mail: murai@eng.hokudai.ac.jp http://ring-me.eng.hokudai.ac.jp/~jsmf2007/	
7月	24日(火) ～ 26日(木)	第35回可視化情報シンポジウム 工学院大学 新宿校舎	'07.3.2		〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 流体工学研究室 藤原 暁子 E-mail: fujiwara@fel.t.u-tokyo.ac.jp TEL: 03-5841-6287, FAX: 03-5841-8542 http://www.visualization.jp/	
8月	6日(月) ～ 8日(水)	日本実験力学学会 2007年度年次講演会 埼玉大学東京ステーションカレッジ	'07.4.16	'07.6.8	〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 225 埼玉大学大学院理工学研究科 富岡 了 TEL: 048-858-3459, FAX: 048-858-9197 E-mail: toyooka@env.gse.saitama-u.ac.jp	

行事カレンダー

9月	23日(日) ～ 26日(水)	No.07-201 国際会議 第13回国際スターリングエンジン会議 早稲田大学国際会議場	'07.2.15	'07.5.15	ISEC2007 実行委員会事務局 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 システム工学部機械システム工学科 香川 澄 TEL: 046-841-3810, FAX: 046-844-5900 E-mail: isec2007@isec-info.org http://www.isec-info.org/isec2007/
9月	26日(水) ～ 27日(木)	可視化情報学会全国講演会(岐阜 2007) 岐阜大学			〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 山下 新太郎 E-mail: yamasita@visualization.jp TEL: 058-293-2431, FAX: 058-230-1892
11月	23日(金) 24日(土)	日本機械学会熱工学部門 熱工学コンファレンス 2007 京都大学 吉田キャンパス	'07.7.7	'07.10.10	〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 熱工学研究室内 E-mail: tedconf07@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp TEL: 075-753-5255, FAX: 075-753-5203 http://www.jsme.or.jp/ted/thermal07/
12月	2日(日) ～ 7日(金)	第9回国際ガスタービン会議 京王プラザホテル	'06.12.31	'07.4.30	Gas Turbine Society of Japan Fax: +81-3-3365-0387 E-mail: igtc@rainbow.dti.ne.jp http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/igtc/

第 44 回日本伝熱シンポジウムのご案内

開催日： 平成 19 年 5 月 22 日（火）～ 5 月 25 日（金）
5 月 22 日（火） 16:00 参加者受付開始, 17:00～20:00 ウェルカムパーティー
5 月 24 日（木） 19:00～21:00 懇親会（会場：グラバー園）
会場： 長崎ブリックホール（〒852-8104 長崎市茂里町 2-38, TEL:095-842-2002）
シンポジウムホームページ： <http://nhts44.mech.nagasaki-u.ac.jp>

シンポジウムの形式：

- ・今回のシンポジウムでは、特別にオーガナイズされたセッションを除いて、すべての一般講演発表をポスターセッション形式で実施します。1つのセッションの基本的な構成は次の通りです。15件の発表を A,B 2つのグループに分け、A グループ（8件）のショートプレゼンテーション（各3分）、A グループの総合討論（8分）、B グループ（7件）のショートプレゼンテーション（各3分）、B グループの総合討論（7分）を実施します。その後 90 分のポスター発表を実施します。（詳細はウェブページをご参照ください）

参加登録と参加費用等：

- ・シンポジウム Web ページで ID 番号とパスワードを取得後、それらを用いて Web 上で参加登録をおこなってください。例年のように、シンポジウム当日の参加申込みもできます。
- ・事前申込期限の 4 月 13 日（金）以降でも、Web ページからの参加登録にご協力をお願いいたします。
- ・シンポジウム開催日前に参加登録された方を対象に、開催日 1 週間程前から開催期間中まで、講演論文集 CD-ROM 版と同等の内容をシンポジウムホームページで閲覧できるようにします。
- ・シンポジウム参加費：
一般（事前申込：8,000 円、会場申込：10,000 円）、学生（事前申込：4,000 円、会場申込：5,000 円）
- ・講演論文集：
伝熱学会会員：無料（CD-ROM 版、冊子版共にシンポジウム参加者に当日手渡しいたします。参加されなかった会員へは、後日、CD-ROM 版のみを郵送いたします。）
非会員：8,000 円（CD-ROM 版＋冊子版、会場受付で伝熱学会に入会申込される場合は無料になります。）
- ・懇親会参加費：
一般（事前申込：8,000 円、会場申込：10,000 円。夫婦同伴者 1 名無料）
学生（事前申込：4,000 円、会場申込：5,000 円）
※ 事前申込は 4 月 13 日で締め切りました。

交通と宿泊について：

- ・シンポジウム開催時期は修学旅行シーズンと重なり、直前の宿の予約が困難になると予想されます。お早めの手配をお勧めいたします。交通と宿泊につきましては、シンポジウムウェブページをご参照ください。

講演者へのお願い

【ポスターおよびショートプレゼンテーション】

- ・ショートプレゼンテーション用のスライドは PDF ファイルでご用意ください。ショートプレゼンテーション用の液晶プロジェクタとパソコンは実行委員会で用意します。講演を円滑に実施するため、ショートプレゼンテーション用の PDF ファイルを予め提出していただきます。
- ・ポスターおよびショートプレゼンテーションの詳細はシンポジウムホームページに掲載しています。

【その他】

- ・研究発表の取消および締め切り後の論文原稿の差替は、準備と運営に支障をきたしますのでご遠慮ください。

- ・論文原稿の返却，別刷の配布はいたしません。
- ・論文整理費，参加登録費，懇親会費等は取消の場合でも返金いたしません。
- ・その他ご不明な点がありましたら，実行委員会まで FAX または E-mail でお問い合わせください。

お問い合わせ先：

〒852-8521 長崎市文教町 1-14, 長崎大学工学部 機械システム工学講座内
 第 44 回日本伝熱シンポジウム実行委員会 庶務幹事 桃木 悟
 Fax: 095-819-2527 / E-mail: nhts44@celcius.mech.nagasaki-u.ac.jp

第 44 回日本伝熱シンポジウム タイムテーブル

(暫定版です。最新の情報はウェブサイトをご覧ください)

[第 1 日目: 5 月 23 日(水)]

A 室	B 室	C 室	D 室
A111-A124 強制対流 1 9:30-12:00	B111-B124 混相流 1 9:30-12:00	C111-C123 物質移動 1 9:30-12:00	D111-D122 熱物性 1 9:30-12:00
A131-A144 強制対流 2 13:00-15:30	B131-B144 混相流 2 13:00-15:30	C131-C143 物質移動 2 13:00-15:30	D131-D144 熱物性 2・融解・凝固 1 13:00-15:30
A151-A168 優秀プレゼンテーション賞 1 15:40-18:10	B151-B168 優秀プレゼンテーション賞 2 15:40-18:10		

[第 2 日目: 5 月 24 日(木)]

A 室	B 室	C 室	D 室
A211-A224 燃焼 9:00-11:30	B211-B227 OS: エネルギー変換システム 9:00-11:30	C211-C222 熱伝導・熱機器 1 9:00-11:30	D211-D223 融解・凝固 2 9:00-11:30
A231-A245 沸騰 1 12:20-14:50	B231-B245 強制対流 3 12:20-14:50	C231-C244 熱機器 2 12:20-14:50	D231-D245 分子・マイクロ 1・反応 12:20-14:50
特別講演 会場: A 室 (大ホール) 15:00-16:00			
総会 会場: A 室 (大ホール) 16:10-17:40			
懇親会 会場: グラバー園 19:00-21:00			

[第 3 日目: 5 月 25 日(金)]

A 室	B 室	C 室	D 室
A311-A325 沸騰 2 9:00-11:30	B311-B323 分子・マイクロ 2 9:00-11:30	C311-C324 熱交換 9:00-11:30	D311-D324 熱機器 3 9:00-11:30
伝熱学会賞受賞者講演 会場: A 室 (大ホール) 13:00-14:00			
A331-A344 沸騰 3・凝縮 14:10-16:40	B331-B342 分子・マイクロ 3 14:10-16:40	C331-C344 自然対流 14:10-16:40	D331-D343 ふく射 14:10-16:40

第 44 回日本伝熱シンポジウムプログラム

(以下のプログラムは 4/5 時点での暫定版です。最新版はウェブサイトをご覧ください)

第 1 日 5 月 23 日(水)

<A 室>

【A111-A124 強制対流 1】 9:30-12:00

強制対流 1 座長：村田 章 (東京農工大)

- A111 電車用全閉外扇形モータの冷却性能評価
*小山 泰平 (東芝), 野田 伸一, 白石 茂智, 永山 孝
- A112 衝突噴流熱伝達の制御に関する研究 (ミストを伴う場合)
*檜和田 宗彦 (岐阜大), 金森 梓, 堀尾 幸加, 三松 順治, 親川 兼勇 (琉球大)
- A113 マイクロ円形液体衝突噴流の熱伝達特性
*方 亮 (東京大), 笠木 伸英
- A114 平面及び凹面における多孔衝突噴流の熱伝達特性に関する研究
*吉田 直樹 (大阪大), 武石 賢一郎, 小田 豊, 伊藤 竜太
- A115 複数の旋回衝突噴流における熱伝達と流動特性
*松本 一彦 (同志社大), 釣谷 翔, 千田 衛, 稲岡 恭二
- A116 ミスト冷却とレーザ加熱を併用した薄板ガラスの熱応力割断
*本村 文孝 (長崎大), 今井 康文, 才本 明秀
- A117 原子炉給水流量計のための高レイノルズ数実流校正設備
*古市 紀之 (産総研), 佐藤 浩志, 寺尾 吉哉, 高本 正樹

強制対流 1 座長：古市 紀之 (産総研)

- A118 導電性薄膜を伝熱面とした乱流熱伝達測定 (時空間分布の復元)
*中村 元 (防衛大)
- A119 強制対流場における有限縞干渉法を用いた曲面温度分布計測の精度向上の検討
*平野 峻之 (東京工大), 川口 達也, 齋藤 卓志, 佐藤 勲
- A120 過渡応答法によるディンプル面の乱流熱伝達率計測
*齋藤 博史 (東京農工大), 村田 章, 望月 貞成, 下川 哲
- A121 内側壁面が回転する環状曲面拡大流路内不安定流れの 2 次元 PTV 計測
*筈見 元紀 (東京農工大), 村田 章, 齋藤 博史, 望月 貞成
- A122 高レイノルズ数領域におけるペブル充填管

の熱伝達特性

- *瀬戸 奈央 (東北大), 結城 和久, 橋爪 秀利, 相良 明男 (核融合科学研究所)
- A123 ナノ・マイクロ多重多孔質層の伝熱促進効果の定量的検討
功刀 資彰 (京都大), *植木 祥高, 向 創太 (伊勢屋機械), 若森 聖三
- A124 ナノ粒子層を用いた高温溶融塩の伝熱促進技術に関する実験的研究
*山岸 瑛 (東北大), 結城 和久, 佐藤 友彰, 橋爪 秀利, 功刀 資彰 (京都大), 若森 聖三 (伊勢屋機械), 向 創太, 相良 明男 (核融合研)

【A131-A144 強制対流 2】 13:00-15:30

強制対流 2 座長：廣田 真史 (名古屋大)

- A131 生体伝熱の体積平均基礎方程式の導出
*中山 顕 (静岡大), 桑原 不二朗, 本山 英明
- A132 エネルギー方程式の構成と表面力仕事の保存と散逸過程
*越後 亮三
- A133 流動抵抗低減効果による有機系ブライン (プロピレングリコール) 水溶液の流動抵抗および熱伝達特性
*春木 直人 (岡山大), 稲葉 英男, 堀部 明彦, 兒玉 友
- A134 矩形管内脈動流の熱・物質輸送特性 (第 1 報 脈動周波数が管内に設置された平板面の熱伝達に及ぼす影響)
*齊藤 弘順 (崇城大), 内田 浩二
- A135 回転二円板間流れの周方向モードについて
*坂本 昭彦 (同志社大), 古江 正人, 舟木 治郎, 平田 勝哉
- A136 ヘリウムガス中の水平平板発熱体における強制対流過渡熱伝達
*柴原 誠 (神戸大), 劉 秋生, 福田 勝哉
- A137 超臨界流体層流熱伝達特性に関する研究
*党 超鋌 (東京大), 飛原 英治

強制対流 2 座長：平田 勝哉 (同志社大)

- A138 成層流体中を鉛直移動する球周りの流れ
*柏本 和俊 (京都大), 清水 孝彦, 花崎 秀史
- A139 ワイヤ型挿入物体が管内伝熱流動に及ぼす影響
一宮 浩市 (山梨大), *深澤 尊幸
- A140 多孔渦発生体による伝熱促進と熱交換器流

- 路への応用
*西岡 侑作 (同志社大), 朝比奈 寛之, 稲岡 恭二, 千田 衛
- A141 2次元加熱丘周りの乱流温度場の構造に関する研究
*保浦 知也 (名古屋工大), 安藤 佳洋, 田川 正人, 長野 靖尚
- A142 矩形ダクトの不等流量分配流れの流動特性
伊藤 紘二 (岐阜大), *池田 雅弘, 八賀 正司 (富山商船高専), 熊田 雅彌 (岐阜大)
- A143 直交形 T 字合流管における乱流混合機構の実験的解析
後藤 裕樹 (名古屋大), *廣田 真史, 中山 浩 (大同工大), 浅野 秀夫 (デンソー)
- A144 二重円管内熱交換の直接数値シミュレーション
*鈴木 友行 (フタバ産業), 服部 博文 (名古屋工大), 田川 正人, 長野 靖尚

【A151-A168 優秀プレゼンテーション賞 1】

15:40-18:10

バイオ・燃焼・燃料電池 座長:佐藤 勲 (東京工大)

- A151 腹部温熱制御機器を用いた生体内伝熱に関する研究
円山 重直 (東北大), *高島 茂, 武田 洋樹, 岡島 淳之介, 小宮 敦樹, 関 隆志, 山家 智之
- A152 肺癌腫瘍凍結を想定した熱伝導解析
中山 顕 (静岡大), *桑原 悠介, 岩田 完成 (dgs コンピュータ), 中塚 誠之 (慶應大), 八代 英樹, 泉 陽太郎, 川村 雅文
- A153 木質バイオマスへの金属の担持とその応用上野 祐輔 (群馬大), 松岡 成樹, 星 達也, *中川西 学, 稲田 茂昭
- A154 有機溶媒中におけるマイクロ波プラズマの挙動特性
*服部 吉晃 (愛媛大), 向笠 忍, 野村 信福, 豊田 洋通
- A155 水/n-ドデカンエマルジョン燃料液滴の温度および初期液滴径が二次微粒化に及ぼす影響
*原田 拓自 (東北大), 渡部 弘達, 松下 洋介, 丹野 庄二, 青木 秀之, 三浦 隆利
- A156 超臨界水中での化学反応熱の時間変化測定
*堀本 太一 (広島大), 松村 幸彦, 菊地 義弘
- A157 半導体レーザー吸収分光法による発電モード燃料電池チャンネル内ガス濃度の非接触計測
*藤井 義喜 (東京工大), 津島 将司, 平井 秀一郎
- A158 中性子ラジオグラフィによる固体高分子形

- 燃料電池内の発電時水分布の同時計測
*植田 忠伸 (神戸大), 吉田 壮寿, 竹中 信幸, 浅野 等, 杉本 勝美, 谷本 一美 (産総研), 松林 政仁 (原研)
- A159 氷点下における固体高分子形燃料電池の起動特性と凍結挙動
*福井 薫 (北海道大), 中宮 弘満, 田部 豊, 近久 武美, 高橋 真一 (日産自動車), 吉澤 幸大

熱物性・マイクロ・計測技術

座長: 稲田 茂昭 (群馬大)

- A160 リプロンを利用したポリマー溶液表面物性の動的測定 (第3報 表面粘弾性率の温度依存性)
上野 嵩 (慶應大), *神津 崇, 長坂 雄次
- A161 固液界面の熱伝達に及ぼすナノ微細構造の影響
*川越 政子 (九州工大), 長山 暁子, 鶴田 隆治
- A162 アモルファスカーボンナノ構造体に関する実験的研究
高橋 厚史 (九州大), *ノルシャズワン ヒルミ, 甲斐 聡, 生田 竜也, 西山 貴史, 永山 邦仁, 藤井 丕夫
- A163 3 ω 法を用いた薄膜の熱伝導率計測
*田中 三郎 (九州工大), 滝石 誠, 高尻 雅之, 宮崎 康次 (九州工大, JST), 塚本 寛 (九州工大)
- A164 基板上にある蒸発高分子溶液滴の内部流動 (温度差及び濃度差の影響)
*高尾 裕 (九州大), 百田 健太郎, 金田 昌之, 深井 潤
- A165 干渉画像法を用いたマイクロバブル溶解挙動の計測
*出川 貴雅 (東京工大), 川口 達也, 佐藤 勲, 齊藤 卓志
- A166 マイクロチャンネル壁面極近傍速度およびゼータ電位同時計測法の開発
*宮川 修 (慶應大), 嘉副 裕, 佐藤 洋平
- A167 CO₂ ハイドレート膜の構造特性に関する研究
*安部 裕一 (筑波大), 阿部 豊, 山根 健次 (海上技術安全研究所), 綾 威雄
- A168 近赤外光を用いた非接触型微量流量計の研究
*山下 健作 (電通大), 久保田 壮一, 大川 晋平, 有本 英伸 (産総研), 落合 洋 (東京計装), 山田 幸生 (電通大)

< B 室 >

【B111-B124 混相流 1】 9:30-12:00

- 混相流 1** 座長：太田 淳一 (福井大)
- B111 離散要素法による衝突支配微粒子流れの伝熱解析
*山口 朝彦 (長崎大), 金丸 邦康, 古川 重信
- B112 楕円形断面を持つ液噴流の壁面衝突によって生成する液膜流動の理論解析
*稲村 隆夫 (弘前大)
- B113 電着塗装工程におけるエアポケットの数値シミュレーション(第3報: 吊下げ姿勢の影響)
*小森谷 徹 (富士重工)
- B114 ドライアウトを伴うマイクロ管内二相流熱伝達のフェーズフィールド法シミュレーション
*賀 群武 (東京大), 深淵 康二, 笠木 伸英
- B115 格子ボルツマン法による PEFC セパレータチャンネル内の気液二相流シミュレーション
*田部 豊 (北海道大), 木保 康介, 菊田 和重, 近久 武美, 小境 正也 (日立)
- B116 高速二相流中に発生する2次元膨張波に関する研究
*中川 勝文 (豊橋技科大), 原田 敦史
- B117 細管内鉛直上昇流中における気泡成長の研究
*藤井 嘉治 (京都大), 熊谷 健治, 岩井 裕, 吉田 英生

- 混相流 1** 座長：吉田 英生 (京都大)
- B118 電場を付与した液-液界面における滴生成の安定化
*藤本 雅則 (金沢工大), 棚谷 吉郎
- B119 不溶性液滴を含む円管内水乱流の温度・速度計測
中村 信哉 (キヤノン), *北川 石英 (京工繊大), 萩原 良道
- B120 レーザ干渉画像法による液滴径及び3方向速度成分の計測(旋回噴流中の噴霧液滴群の流動特性)
*堀江 修一 (慶應大), 杉本 大典, 菱田 公一
- B121 水中の油滴の流動抵抗に及ぼす油滴の粘性の影響
*麻島 哲郎 (北海道大), 高原 雅俊, 工藤 一彦, 黒田 明慈
- B122 パラフィン粒子の冷水による混相流輸送
*長谷川 浩也 (千葉大), 小野 誠, 田中 学, 菱田 誠
- B123 矩形容器内の粒子軌道および滞在時間のアクティブ制御
今関 雅巳 (慶應大), *山本 和之, 菱田 公一
- B124 分岐管を用いた固液二相流の分離特性 (鉛

直姿勢の場合)
*奥井 隆宗 (福井大), 二宮 洋介, 太田 淳一

【B131-B144 混相流 2】 13:00-15:30

- 混相流 2** 座長：鹿園 直毅 (東京大)
- B131 微細気泡注入法を用いた自然対流場の伝熱促進
*内田 健司 (京工繊大), 小菅 桂太 (デンソー), 北川 石英 (京工繊大), 萩原 良道
- B132 層流自然対流熱伝達に対する伝熱面付着微細気泡の影響
*北田 賢司 (京工繊大), 内田 健司, 小菅 桂太 (デンソー), 北川 石英 (京工繊大), 萩原 良道
- B133 液相粘性の変化による鉛直管内単一大気泡周囲の流れ場への影響
*南川 久人 (滋賀県立大), 中澤 喜之, 美馬 興己, 山田 哲史, 塩見 洋一 (龍谷大)
- B134 オリフィスで発生する気泡音に対する上流側諸因子の影響
*塩見 洋一 (龍谷大), 中西 重康 (元龍谷大), 小池 聡 (龍谷大), 平國 悟 (三菱電機), 野口 佳樹 (龍谷大)
- B135 超音波振動による気泡の形状振動励起
*上野 一郎 (東京理大), 古城 達則, 片瀬 周平
- B136 蒸気インジェクタ内の水噴流の伝熱流動特性 (I. インジェクタ性能)
*高橋 優輝 (工学院大), 小泉 安郎, 大竹 浩靖, 宮下 徹, 森 治嗣 (東京電力)
- B137 蒸気インジェクタ内の水噴流の伝熱流動特性 (II. 噴流の熱伝達機構)
*小泉 安郎 (工学院大), 大竹 浩靖, 高橋 優輝, 宮下 徹, 森 治嗣 (東京電力)

混相流 2 座長：大竹 浩靖 (工学院大学)

- B138 表面張力を用いた気液分離器の相分離特性に関する研究
*東 隆平 (東京大), 鹿園 直毅, 岩田 博 (日冷工業), 度会 和孝
- B139 プラント内の曲がり配管における温度変動現象に関する研究
*山本 泰大 (神戸大), 斎藤 敦, 小野島 大介, 竹中 信幸, 大厩 徹 (INSS), 中村 晶
- B140 稠密三角格子サブチャンネル内気液二相流における壁面摩擦力の構成式の検討
*川原 顕磨呂 (熊本大), 佐田富 道雄, 白井 浩嗣 (テプコシステムズ)
- B141 表面張力の低下が水平ミニチャンネル内気液二相流の流動特性に及ぼす影響

- B142 *佐田富 道雄 (熊本大), 川原 顕磨呂, 堀田和宏, 松尾 雅俊
多孔質体内気液二相流の圧力損失の測定と予測方法
- B143 *森 英夫 (九州大), 濱本 芳徳, 岩村 直樹
多孔質内水平気液二相流に関する研究 (低クオリティでの流動様式)
*高津 康幸 (広島国大), 増岡 隆士 (北九州市大), 竹原 健 (広島国大)
- B144 CO₂ 地下貯留における岩石内二相流動現象のMRI計測
*古川 直人 (東京工大), 末包 哲也, 津島将司, 平井 秀一郎

【B151-B168 優秀プレゼンテーション賞 2】

15:40-18:10

沸騰・二相流 座長：中川 慎二 (富山県大)

- B151 垂直細管内流の沸騰熱伝達と圧力損失
*宮田 一司 (九州大), 森 英夫, 濱本 芳徳, 大石 克巳
- B152 炭酸ガス二相流ノズルの減圧沸騰に関する研究
中川 勝文 (豊橋技科大), *原田 敦史, 飯田裕文
- B153 微細管および拡大・縮小部気液二相流の流動特性と摩擦圧力損失に関する研究
*大瀧 秀恭 (工学院大), 大竹 浩靖, 小泉安郎
- B154 マイクログループ蒸発器のグループ熱物質輸送特性に関する研究
*萩谷 功 (東京大), 西尾 茂文, 白樫 了
- B155 MEMS 技術を用いて作製した人工キャピタリ付き伝熱面による核沸騰現象の実験的研究 (沸騰現象の時系列カオス解析)
*佐藤 隆登 (工学院大), 小泉 安郎, 大竹浩靖
- B156 離型剤を含む水滴と高温金属面の固液接触 (ライデンフロスト温度の測定)
*松村 武紀 (福井大), 岩本 晃和, 永井 二郎, 後藤 昌央 (日華化学), 前田 康幸
- B157 高温面上に落下するサブクール液滴の挙動と冷却特性に関する実験的研究
*徳永 将貴 (長崎大), 桃木 悟, 西橋 知博, 茂地 徹
- B158 ベーパーチャンバーの熱輸送特性に関する基礎実験と3次元数値解析 (熱源位置の影響)
*宿利原 俊 (熊本大), 小糸 康志, 中島 哲平, 井村 英昭, 望月 正孝 (フジクラ)
- B159 相変化を伴う二本の並行細管よりなる熱輸送デバイス (Part II)
*Adina Cirtog (東京農工大), 望月 貞成, 村

田 章, Jaroslav Hemrle

- 対流 座長：白樫 了 (東京大)
- B160 浮力によって誘起される拡散火炎の非定常挙動に及ぼす回転流の影響
後藤田 浩 (立命大), *浅野 佑太, Keng Chuah (ケンタッキー大), 榎田 玄一郎 (愛知工大)
- B161 HZ 液柱内温度差マランゴニ対流における動的粒子集合現象 (体積比による表面温度変化の影響)
*安部 裕喜子 (東京理大), 上野 一郎, 河村洋
- B162 液体金属の密閉容器内自然対流におけるヒステリシス現象
*鹿島 淳 (広島大), 菊地 義弘
- B163 垂直チャンネル型電子機器モデル内の自然対流に関する研究
*西野 泰史 (富山県大), 今井 亮児, 中川慎二, 石塚 勝
- B164 一様磁場下における液体金属中を上昇する単一気泡の三次元数値シミュレーション
*柴崎 陽介 (首都大), 田川 俊夫
- B165 コンポスト発酵過程の二次元数値シミュレーション
*佐野 吉彦 (静岡大), 深澤 辰徳, 桑原 不二朗, 中崎 清彦, 中山 顕
- B166 透過性壁面乱流境界層を考慮した解析的壁関数乱流モデル
*西口 彰一 (大阪府大), 須賀 一彦
- B167 ガスタービン翼前縁シュラウド付け根部における伝熱特性に関する研究
*焼野 藍子 (大阪大), 武石 賢一郎, 小田豊, 熊谷 尚憲
- B168 矩形オリフィス後流における乱流熱伝達の直接数値シミュレーション
*牧野 総一郎 (東京理大), 岩本 薫 (東京農工大), 河村 洋 (東京理大)

<C室>

【C111-C123 物質移動1】 9:30-12:00

物質移動1 座長：平井 秀一郎 (東京工大)

- C111 PC-3 細胞の凍結損傷に及ぼす細胞基質接着の影響
*深川 正樹 (九州大), 吉森 崇志, 内田 悟, 高松 洋
- C112 水中浮遊菌の非加熱殺菌に関する研究
庄司 龍太 (群馬大), 中川西 学, 上野 祐輔, *稲田 茂昭
- C113 巨大リポソームと細胞の電気融合による非膜透過性の凍結・乾燥保護物質の高効率膜

- 輸送
*白樫 了 (東京大), 山内 一弘, ロイス ランドルフ (ビュルツブルク大), ツィンマーマン ウルリッヒ, スコルコフ ウラジミール
- C114 高密度培養バイオリアクターの物質代謝解析に関する研究
*白樫 了 (東京大), 高野 清, プロバン クリストフ, 酒井 康行, 藤井 輝夫
- C115 人工血小板の半径方向の輸送と粘着
鈴木 健一 (慶應大), 土橋 直樹, 武岡 真司 (早稲田大), 池田 康夫 (慶應大), *谷下 一夫
- C116 Effect of Drying on Freezing Quality of Foods
*Nurkholis Hamidi (九州工大), 鶴田 隆治
- C117 靴内換気の工夫
*薩本 弥生 (横浜国大), 竹内 正顯 (桐蔭横浜大)
- 物質移動 1** 座長: 鶴田 隆治 (九州工大)
- C118 単一空気マイクロバブルの水中への溶解
*石原 勲 (関西大), 宮永 智明, 山本 拓, 松本 亮介
- C119 MRI を用いた燃料電池電解質膜内水分輸送律速過程の検討
*瀧田 晋平 (東京工大), 津島 将司, 平井 秀一郎, 久保 則夫 (日産自動車), 青谷 幸一郎
- C120 電気浸透現象を利用した含水粒子充填層の脱水
*赤堀 匡俊 (長岡技科大), 青木 和夫, 小濱 孝夫
- C121 Heat transfer over reactive rugosities in rocket nozzles
*Veran Stephanie (東北大), 円山 重直, Quintard Michel (IMFT), 櫻井 篤 (東北大)
- C122 研削加工時における水ミスト冷却が被加工物へ及ぼす効果に関する研究 (水ミスト成分と測定温度の関係について)
*磯部 佳成 (山口産技センター), 加藤 泰生 (山口大)
- C123 溶解および残留ガストラップに基づいた漏洩リスクの無い CO₂ 地下貯留に関する研究
*末包 哲也 (東京工大), 信宗 知寿, 平井 秀一郎
- 【C131-C143 物質移動 2】** 13:00-15:30
- 物質移動 2** 座長: 長崎 孝夫 (東京工大)
- C131 燃料電池用ガス拡散層の含水状態における酸素拡散特性
王 世学 (日産自動車), 宇高 義郎 (横浜国大), 田崎 豊 (日産自動車), *持丸 雅典 (横浜国大), 岩崎 大剛
- C132 アルカリ金属熱電変換のカソード電極内の物質移動
*田中 耕太郎 (芝浦工大), 樋山 剛
- C133 PEFC 用電解質膜における水蒸気透過現象の解析
勝田 正文 (早稲田大), 田村 健, *平井 隆之, 笹部 崇, 原 巧, 久保 則夫 (日産自動車), 青谷 幸一郎
- C134 固体高分子形燃料電池疎水性ガス拡散層における水分透過現象の解析
*武岡 聖五 (北海道大), 工藤 一彦, 黒田 明慈, 柴谷 章仁
- C135 Hele-Shaw セル中でのプロトン移動反応を伴う不安定熱・物質移動
*田之上 健一郎 (山口大), 池本 浩久, 渡辺 孝, 西村 龍夫
- C136 水分子核ラベリング MRI による PEFC 電解質膜内水分輸送に及ぼす生成・加湿の影響の分離
*小高 敏和 (東京工大), 津島 将司, 平井 秀一郎
- C137 MRI と In-line 微量ガス分析に基づく PEFC 水素クロスリーク機構の解明
*津島 将司 (東京工大), 南條 崇徳, 藤井 義喜, 平井 秀一郎
- 物質移動 2** 座長: 宇高 義郎 (横浜国大)
- C138 低温下における熱交換器伝熱面に塗布した有機系収着剤の水蒸気収着特性
*小松 富士夫 (岡山大), 稲葉 英男, 堀部 明彦, 春木 直人, 町田 明登 (前川製作所)
- C139 粉末状有機系収着剤流動層の冷却管群による水蒸気収着促進
稲葉 英男 (岡山大), 堀部 明彦, 春木 直人, *白神 浩平
- C140 粒子懸濁液膜によるガス吸収促進 (II. 流下液膜中における粒子挙動)
*佐藤 広美 (能開総大), 望月 高昭 (学芸大), 梶 信藤 (日本電産)
- C141 水平円管外を流下する LiBr 水溶液への水蒸気吸収促進
*長崎 孝夫 (東京工大), 外園 豊, 伊藤 優, 和田 哲典
- C142 拡散係数測定による溶液中への炭酸ガス吸収メカニズムに関する研究
鈴木 孝啓 (東北大), *小宮 敦樹, 丸田 薫, 仲野 是克, 橋田 俊之
- C143 エレクトロウェットティングにおける液滴の飽和接触角の拡張
*上田 暁彦 (東京工大), 倉林 活夫 (ミシガン大), 井上 剛良 (東京工大)

<D室>

【D111-D122 熱物性 1】 9:30-12:00

- 熱物性 1 座長：長坂 雄次 (慶應大)
- D111 シリコングリスの熱伝導率に及ぼすカーボンナノ物質添加の影響
*富村 寿夫 (九州大), 野村 征爾, 奥山 正明 (山形大)
- D112 モデル準結晶のマイクロ熱伝導
河内 星子 (京都大), *松本 充弘
- D113 フォノン放射輸送方程式を用いたナノ・マイクロスケール熱伝導シミュレーション
*櫻井 篤 (東北大), 円山 重直, 宮崎 康次 (九州工大), 小宮 敦樹 (東北大)
- D114 低温プラズマ照射による吸水性促進効果
*庄司 龍太 (群馬大), 大野 慶詞, 上野 祐輔, 稲田 茂昭, 山本 修平 (平泉)
- D115 セラミックス繊維及び金属材料の表面改質とその応用
大野 慶詞 (群馬大), *後上 典彦, 稲田 茂昭
- D116 液体ナノジェット形成過程におけるノズル出口面濡れ性の影響
*出口 拓利 (大阪大), 竺原 利明 (三菱電機), 山口 康隆 (大阪大), 稲葉 武彦

熱物性 1 座長：宮崎 康次 (九州工大)

- D117 MEMS 技術の熱工学への応用
*中別府 修 (明治大)
- D118 吸着剤の水分吸着熱の測定
*平澤 良男 (富山大), 浦上 航, 小坂 暁夫, 喜多野 一幸
- D119 平板直接法による小さい試料の熱伝導率測定に関する実験と数値計算
*藤野 淳市 (福岡大), 本田 知宏
- D120 ボイドスラブの有効熱伝導率の測定
*濱本 芳徳 (九州大), 森 英夫, 江藤 淳朗, 山崎 賢治 (ダイサン), 峠元 幹也, 柳 謙一 (九州大)
- D121 近接場サーモリフレクタンス法を用いたナノスケール熱物性値分布測定法の開発(3次元スキャンシステムによる温度分布測定)
石川 慶太 (慶應大), *笠掛 利彰, 田口 良広, 斎木 敏治, 長坂 雄次
- D122 HeI の線強度比法を用いた 4 チャンネル高速ビデオカメラによるプラズマダイナミクスの 2 次元計測
*宮本 健司 (名古屋大), 山本 則正, 北川 邦行, 大野 哲靖, 岡本 征晃, 梶田 信

【D131-D144 熱物性 2・融解・凝固 1】

熱物性 2 座長：岡田 昌志 (青山学院大)

- D131 近赤外光を用いた微小生体試料の温度測定(試料厚さが測定精度に与える影響)
*角田 直人 (九州大), 尾崎 敦之, 李 富国 (電通大), 有本 英伸 (産総研), 山田 幸生 (電通大)
- D132 レーザー誘起表面波による血液粘性率センシングに関する研究(第 2 報, ヒト血液への適用)
*高橋 直広 (慶應大), 鎌田 奈緒子, 長坂 雄次
- D133 光音響法を用いた人体皮膚の熱浸透率の測定技術の開発
*吉田 篤正 (大阪府大), 加賀田 翔, 山田 哲也
- D134 皮膚の見え方に与える表面のキメと内部のふく射性質の影響
山田 純 (芝浦工大), *中村 嘉恵, 山路 尚孝, 大野 和久 (資生堂), 三浦 由将, 高田 定樹
- D135 誘導加熱を用いた薄板材料の温度伝導率測定法に関する実験
*松島 栄次 (大阪工大), 北條 勝彦
- D136 動的格子加熱法による鉛フリーはんだの温度伝導率測定
*岸本 匡弘 (慶應大), 田口 良広, 長坂 雄次
- D137 レーザフラッシュ法による異方性ポーラス銅の熱拡散率測定
*阿子島 めぐみ (産総研), 田中 隆 (住友金属テクノロジー), 手嶋 康介 (京都電子工業), 中嶋 英雄 (大阪大), 鳥居 薫 (横浜国大), 小野 文夫 (大阪科学技術センター)

融解・凝固 1 座長：山田 純 (芝浦工大)

- D138 チルド・冷凍温度帯における霜層の成長に関する研究
*山下 浩司 (三菱電機), 濱田 守, 伊勢 伸介, 大久保 英敏 (玉川大)
- D139 組立式家庭用雪箱(HSB-5 型)の製作と運用法(積雪寒冷地生活の快適化)
*菅野 他人男 (尾花沢市役所), 安原 薫 (山形大), 吉高神 達, 松本 大典, 北山 雅大, 阿部 大佑, 横山 孝男, 池田 隆紀 (東北産業)
- D140 氷粒子充填層の融解過程に対する不均一性の影響
*小澤 充央 (青山学院大), 岡田 昌志, 寺岡 嘉和
- D141 潜熱蓄熱槽における直接接触熱伝達による

第2日 5月24日(木)

<A室>

【A211-A224 燃焼】 9:00-11:30

- 融解および凝固
堀部 明彦 (岡山大), 稲葉 英男, 春木 直人,
東 康夫 (神戸製鋼所), 高橋 和雄, ト平
(岡山大), *水澤 賢亮
- D142 パラフィンエマルジョンの熱流動特性に関する研究
*馬場 俊也 (神戸大), 牛場 剛史, 浅野 等,
杉本 勝美, 竹中 信幸
- D143 水和塩蓄熱マイクロカプセルを用いた機能性流体の最大密度
山口 義幸 (兵庫県大), *中村 義樹
- D144 水溶液の凝固による微粒子の捕捉・掃き出し現象
*青木 和夫 (長岡技科大), 赤堀 匡俊, 鷺
奈央也

- 燃焼 座長：深井 潤 (九州大)
- A211 マイクロセラミック燃焼器における表面温度均一化のための触媒配置に関する研究
*岡政 敬之 (東京大), 鈴木 雄二, 笠木 伸英
- A212 ウォーターミスト雰囲気における拡散火炎の挙動および構造
*木下 進一 (大阪府大), 辻 真人, 吉田 篤正
- A213 水素・空気乱流予混合火炎の着火及び火炎伝播の DNS
*松浦 真悟 (東京工大), 寺門 貴芳, 店橋 護, 宮内 敏雄
- A214 酸素付加燃焼における火炎片ライブラリに対する拡散係数の影響
*二宮 尚 (宇都宮大), Dahm Werner (ミシガン大)
- A215 CH DPPLIF/OH PLIF 及び Stereoscopic PIV 同時計測による乱流予混合火炎の動的特性に関する研究
高 翔平 (東京工大), *平山 哲, 店橋 護, 宮内 敏雄
- A216 横風を受ける火炎後流に発生する竜巻状の渦の構造
*篠原 雅彦 (消防研), 松島 早苗
- A217 Experimental investigation on flame pattern regime in a radial microchannel with temperature gradient
*Fan Aiwu (東北大), 横森 剛, 長谷川 進, Minaev Sergey (KITAM), Liu Wei (Huazhong Univ.), 丸田 薫 (東北大)

燃焼 座長：鈴木 雄二 (東京大)

- A218 加熱された微小流路内における着火と安定燃焼限界に関する研究
*坪井 陽介 (東北大), 横森 剛, 丸田 薫
- A219 強制加給による多炎孔バーナの加熱効率向上に関する研究
森田 慎一 (米子高専), *神園 理史, 早水 庸隆
- A220 DME を用いたリバーニング脱硝法における NO 還元経路の検討
*梶村 周平 (九州大), 執行 泰宏, 山本 剛, 深井 潤, 中川 二彦 (JFE 技研)
- A221 浮力により誘起される拡散火炎の非定常挙動に及ぼす酸素濃度の影響
*川口 慎太郎 (立命大), 三宅 政行, 佐宗

- A222 祐子 (消防研), 後藤田 浩 (立命大)
イオン付着質量分析法による DME 火炎中の化学種の計測
*鳥居 孝洋 (名古屋大), 松本 幸三, 北川 邦行
- A223 ヘプタン・空気混合気の着火及び火炎伝播における化学反応モデルの検証
*佐藤 允 (東京工大), 店橋 護, 宮内 敏雄
- A224 LES による微粉炭燃焼解析
*山本 研二 (日立), 岡崎 輝幸, 室田 知也, 谷口 正行
- 【A231-A245 沸騰 1】 12:20-14:50**
- 沸騰 1 座長: 原村 嘉彦 (神奈川大)**
- A231 乳化流体の伝熱特性に対する界面活性剤の影響
*山崎 博司 (日本大), 大橋 篤, 氏家 康成
- A232 下向き面からのプール核沸騰熱伝達における局所熱伝達の測定
*赤木 翔太 (九州大), 伊藤 祐太, 佐藤 洋一 (宇宙機構), 大田 治彦 (九州大)
- A233 低濃度アルコール水溶液の核沸騰における伝熱促進と劣化に関する研究
*酒井 崇 (九州大), 山口 茂則, 伊藤 好彦, 新本 康久, 大田 治彦, 阿部 宜之 (産総研)
- A234 アンモニア/水混合媒体のプール沸騰熱伝達の促進 (第 2 報) (界面活性剤の効果)
*井上 利明 (久留米工大), 門出 政則 (佐賀大), 上村 宙 (久留米工大), 照屋 義雄
- A235 鉛直平板におけるアンモニアおよびアンモニア/水混合媒体の局所強制対流沸騰熱伝達
*有馬 博史 (佐賀大), 岡本 明夫, 金 政焄, 秋山 泰有, 池上 康之
- A236 二成分混合溶液による限界熱流束促進機構の研究
*中林 勇太 (北海道大), 小野 綾子, 坂下 弘人
- A237 非線形ブタノール水溶液の沸騰と限界熱流束
*西口 昇太郎 (神奈川大), 三田村 和広, 庄司 正弘, 小野 直樹 (芝浦工大), 吉田 貴洋, 渡辺 誠 (東京大)
- 沸騰 1 座長: 大田 治彦 (九州大)**
- A238 高速液膜流の限界熱流束特性
*櫻井 久 (工学院大), 小泉 安郎, 大竹 浩靖
- A239 短い垂直円管内水の強制対流サブクール沸騰限界熱流束 (その 8. 過渡 CHF 表示式)
*畑 幸一 (京都大), 塩津 正博, 野田 信明
- (核融合研)
- A240 水平極細線の限界熱流束 -系圧力及びサブクールの影響-
*柴田 宗孝 (神奈川大), 庄司 正弘, 渡辺 誠 (東京大), 原村 嘉彦 (神奈川大)
- A241 水平極細線の限界熱流束 -細線径と材質の影響-
*庄司 正弘 (神奈川大), 若沢 巧, 飯島 正隆, 塩崎 雅俊, 原村 嘉彦, 渡辺 誠 (東京大)
- A242 膜沸騰蒸気膜の崩壊温度に対する水和塩の種類および濃度の影響
*新井 崇洋 (電中研), 古谷 正裕
- A243 半球状の凸底面を有する垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達の実験
*山田 たかし (長崎大), 豊田 香, 茂地 徹, 桃木 悟, 金丸 邦康, 山口 朝彦
- A244 超音波による気泡微細化沸騰の促進
*佐用 泰啓 (東京理大), 鈴木 康一, 上野 一郎
- A245 高圧域におけるマクロ液膜形成機構の検討
*小野 綾子 (北海道大), 坂下 弘人
- 【特別講演】 15:00-16:00**
司会: 茂地 徹 (長崎大)
- 核の時代と長崎
—放射線人体影響研究から被ばく医療まで—
*大津留 晶 (長崎大), 山下 俊一
- <B 室>**
- 【B211-B227 OS:エネルギー変換システム】**
9:00-11:30
- エネルギー変換システム 座長: 花村 克悟 (東工大)**
- B211 NMR センサーによる PEM 内を流れる電流と含水量の計測手法の開発
*横内 康夫 (慶應大), 小川 邦康, 拝師 智之 (MRTechnology), 伊藤 衡平 (九州大)
- B212 近赤外レーザーを用いた高分子電解質型燃料電池における Nafion 膜中水分子の一次元分布測定
*田中 悠樹 (名古屋大), 北川 邦行, 松本 幸三, 山本 則正
- B213 固体高分子形燃料電池における電極内水分挙動の発電特性に及ぼす影響
*谷川 洋文 (九州工大), 鎌田 昌志, 鶴田 隆治
- B214 PEFC 内部の膜厚方向のエントロピー生成と温度の分布の解析
古賀 達郎 (九州大), *伊藤 衡平, 佐々木 一成

- B215 小型 NMR センサーを用いた高分子電解質膜内メタノール濃度計測法の開発
*小川 邦康 (慶應大), 伊藤 衡平 (九州大), 拝師 智之 (MRTechnology)
- B216 固体高分子形燃料電池における触媒インク溶媒が触媒層構造に与える影響
*千坂 光陽 (東京大), 大宮司 啓文
- B217 電極分割による SOFC アノード性能の相対評価法
岩井 裕 (京都大), 犬山 健二, *黒柳 篤史, 齋藤 元浩, 吉田 英生, 小谷 和史 (大日本印刷), 芳片 邦聡
- B218 ミニセル連結型平板 SOFC の発電実験
*岩井 裕 (京都大), 平田 和久, 倉貫 芳紀, 齋藤 元浩, 吉田 英生, 小谷 和史 (大日本印刷), 芳片 邦聡
- エネルギー変換システム** 座長: 伊藤 衡平 (九州大)
- B219 超音波ソノケミストリー効果を利用する BDF の高効率合成および応用
朱 寧 (静岡理工科大), 土屋 高志, *名波 大徳
- B220 アルコール燃料の噴霧混合気形成および自己着火現象に関する研究
*内田 浩二 (崇城大), 齊藤 弘順
- B221 マイクロプローブ・レーザ 2 焦点流速計による噴霧液滴の速度とサイズの計測
坂口 大作 (長崎大), *中川 将之, 石田 正弘, 植木 弘信
- B222 液滴の速度とサイズの計測データに基づく噴霧燃焼の数値シミュレーション
坂口 大作 (長崎大), *アミダ オルウォレ, 植木 弘信, 石田 正弘
- B223 固定層における木質バイオマスの水蒸気ガス化に関する研究
*青木 一晃 (東京工大), 花村 克悟
- B224 高温水蒸気を用いた廃棄物からの水素リッチガス製造システムの研究開発
*吉川 邦夫 (東京工大)
- B225 過熱蒸気を用いた高含水廃棄物再燃料化システムの構築と環境性
*丸山 直樹 (三重大), 市橋 勇介, 西村 顕, 加藤 征三
- B226 水熱酸化反応による発電システムのエネルギー効率の検討
*廣坂 和馬 (名古屋大), ユバミッタラ コラコット, 石田 康行, 長谷川 達也
- B227 Technical Potential of Energy Saving in a Hospital by Cogeneration System
*岡本 覚 (島根大)
- 【B231-B245 強制対流 3】** 12:20-14:50
- 強制対流 3** 座長: 河村 洋 (東理大)
- B231 下向き一様流中に置かれた加熱球まわりの流れのカオスへの遷移
*小泉 博義 (電通大), 鈴木 孝太郎, 梅村 勇貴, 山田 典功, 松田 和也
- B232 LBM によるフィルター集塵過程のシミュレーション
*桑原 不二郎 (静岡大), 浅井 祐樹, 石黒 俊輔, 中山 顕
- B233 チャネル乱流の再層流化現象の解析
*福留 功二 (名古屋工大), 飯田 雄章, 長野 靖尚
- B234 同軸二重噴流を対象とした Large Eddy Simulation の解析結果に及ぼす計算格子数の影響
*渡部 弘達 (東北大), 松下 洋介, 青木 秀之, 三浦 隆利
- B235 内側壁面が回転する環状曲面拡大流路内乱流熱伝達の LES 解析
*村田 章 (東京農工大), 望月 貞成
- B236 異なるプラントル数流体の自然対流乱流境界層の直接数値解析
*木村 肇 (名古屋工大), 辻 俊博, 井本 由然
- B237 LES による 2 次元変形チャンネルの乱流熱解析
*江原 真司 (九州大), 横峯 健彦, 清水 昭比彦
- 強制対流 3** 座長: 桑原 不二郎 (静岡大)
- B238 チャネル乱流内スカラー拡散の DNS (乱流モデルの検証)
*松原 幸治 (新潟大), 川畑 拓也, 小林 睦夫
- B239 平行平板間乱流熱伝達の DNS による異なるレイノルズ数でのプラントル数の影響の研究
*小塚 信 (東京理大), 関 洋治, 河村 洋, 岩本 薫 (東京農工大)
- B240 遷移レイノルズ数域の平行平板間流れにおける乱流熱伝達の DNS
*塚原 隆裕 (東京理大), 河村 洋
- B241 メゾスケール複雑乱流温度場に適する LRN 型温度場 2 方程式モデル
*服部 博文 (名古屋工大), 上野 真, 長野 靖尚
- B242 直接数値シミュレーションによる温度成層乱流境界層の乱流構造解析
*山崎 聖 (名古屋工大), 宮本 望, 服部 博文, 田川 正人, 長野 靖尚
- B243 水平円管内超臨界 CO₂ の流動と伝熱挙動
*張 信榮 (同志社大), 山口 博司
- B244 超臨界 CO₂ 平行平板間乱流の直接数値シミュレーション

- シミュレーション
 *山本 義暢 (名古屋大), 功刀 資彰 (京都大), 佐竹 信一 (東京理大)
 B245 波面上に発達する乱流の可視化計測と数値シミュレーション
 *堀内 学 (富山県大), 中川 慎二, 山内 寿晃, 石塚 勝

<C室>

【C211-C222 熱伝導・熱機器 1】 9:00-11:30

熱伝導 座長：宗像 鉄雄 (産総研)

- C211 一方向熱流定常比較法(試験片厚さ変化法)による熱伝導率測定法の検討
 *千葉 博 (三菱電機), 大串 哲朗, 鳥居 薫 (横浜国大), 富村 寿夫 (九州大), 中嶋 英雄 (大阪大), 小野 文夫 (ニューマテリアルセンター)
 C212 ナノ流体を用いたマイクロヒートパイプの熱伝達特性に関する研究
 勝田 正文 (早稲田大), 池田 匡視 (古河電工), 篠原 健朗 (早稲田大), *吉川 和喜
 C213 サブミクロン Si MOSFET の熱・電気連成解析におけるチャンネル部での最適メッシュサイズ
 *畠山 友行 (東京工大), 伏信 一慶, 岡崎 健
 C214 過渡レンズ効果における光・物質・温度場相互作用の基礎研究
 *山崎 公晴 (東京工大), 徳重 雅哉, 伏信 一慶, 岡崎 健
 C215 基板上に実装された電子素子の発熱量簡易推定法
 *梶田 欣 (名市工研), 辻 俊博 (名古屋工大), 竹内 彰彦
 C216 抵抗線センサを使用した温度測定の補償法
 *太田 益隆 (神奈川大), 原村 嘉彦

熱機器 1 座長：富村 寿夫 (九州大)

- C217 リザーバ内蔵ループ型ヒートパイプ (RELHP)蒸発器内ベイオネット管外液膜形成可視化微小重力実験
 *大串 哲朗 (三菱電機), 石川 博章, 野村 武秀, 吉瀬 孝司, 梅本 俊行, 川路 正裕 (トロント大)
 C218 リザーバ内蔵ループ型ヒートパイプの熱特性(ETS-8搭載展開型ラジエータの熱真空/熱平衡試験)
 *石川 博章 (三菱電機), 大串 哲朗, 野村 武秀, 野田 浩幸 (宇宙機構), 川崎 春夫, 矢部 高宏
 C219 Self-rewetting 流体を用いた薄型ヒートパイ

- プ
 *阿部 宜之 (産総研), 堀内 康洋 (フジクラ), 齊藤 祐土, 望月 正孝
 C220 フレキシブルヒートパイプの低重力下での性能評価試験
 *石塚 多恵 (芝浦工大), 田中 耕太郎, 阿部 宜之 (産総研), 中川 政之 (NTスペース), Chiara Piccolo (MARS Center), Raffaele Savino (Univ. Naples)
 C221 自励振動型ヒートパイプのウィック効果の影響
 *虫賀 健太郎 (東京工大), 井上 剛良, 鈴木 祐二
 C222 高熱流束除熱用小型吸収冷凍機の開発
 *松本 壮平 (産総研), 竹村 文男, 瀬川 武彦, 菊島 義弘, 市川 直樹, 宗像 鉄雄, 庄司 正弘 (神奈川大)

【C231-C244 熱機器 2】 12:20-14:50

熱機器 2 座長：工藤 一彦 (北海道大)

- C231 曲状炭素繊維を集熱材とした空気式太陽集熱器に関する研究
 *三木 康臣 (北見工大), 野村 卓司 (カネカ)
 C232 真空式太陽熱コレクターの管内沸騰実験および集熱効率解析
 *谷口 昌弘 (神戸大), 平澤 茂樹, 中内 俊作 (国際技術開発), 田中 忠良 (産業技術振協)
 C233 発熱変動ある平板の温度変化を最小にする熱制御技術の検討 (2次元熱制御の場合)
 *平澤 茂樹 (神戸大), 伊藤 心也
 C234 Experimental study on evaporation from superheated water jet for spray flash desalination
 池上 康之 (佐賀大), *Mutair Sami M., 和嶋 隆昌, 麻生 裕之
 C235 実在気体の定常絞り過程における温度変化
 *上宇都 幸一 (大分大), 花島 公太, 斎藤 晋一
 C236 オリフィス付き二重管を用いた脈動流による熱輸送
 *満野 亮 (千葉大), 張 曉錦, 石井 義久, 田中 学, 菱田 誠
 C237 シェル&チューブ型潜熱エネルギー貯蔵タンクの放熱性能試験
 *星 朗 (一関高専), 山田 昇 (長岡技科大), 田村 顕雄 (サピオ)

熱機器 2 座長：平澤 茂樹 (神戸大)

- C238 家庭用コージェネレーション向けケミカル

- ヒートポンプシステムの開発
*藤岡 恵子 (ファンクショナル・フルイット), 鈴木 洋 (神戸大), 田中 聡, 久角 喜徳 (大阪ガス), 竹森 利和, 岸本 章, 中山 賢一 (ノーリツ), 安孫子 哲男 (住友精密工業)
- C239 凝縮器が劣化した空調機のサイクルシミュレーション
*大内田 聡 (名古屋大), 長谷川 達也
- C240 500W 級室温磁気冷凍機の開発
森 裕司 (東京工大), *岡村 哲至, 良知 玲生奈, 平野 直樹 (中電), 長屋 重夫
- C241 再生磁気冷凍サイクルを用いた室温磁気冷凍機の冷却特性
*川南 剛 (北海道大), 櫻井 康平, 山田 圭吾, 池川 昌弘, 平野 直樹 (中電), 長屋 重夫
- C242 携帯用小型冷却機の開発
工藤 一彦 (北海道大), 黒田 明慈, 村上 大, *橋本 昌樹
- C243 Two Phase Flow Behaviour in Herringbone Microfin Tubes
*Islam Mohammad A. (佐賀大), 椿 耕太郎, 宮良 明男
- C244 Prediction of friction factor for single-phase flow inside microfin tubes
*Afroz Hasan M. (佐賀大), Islam Mohammad A., 椿 耕太郎, 宮良 明男

<D 室>

【D211-D223 融解・凝固 2】 9:00-11:30

融解・凝固 2 座長：矢部 彰 (産総研)

- D211 CZ 酸化物単結晶成長時の固液界面形状に及ぼす 3 次元非定常融液内対流の影響
敬 成君 (阪府大), 猪原 俊介, 杉岡 健一, *塚田 隆夫, 小林 正樹 (八戸工大)
- D212 マランゴニ対流による融液流動下での凝固過程の実験
*渡辺 隆正 (東京理大), 河村 洋
- D213 カーボンナノファイバー混合水の凍結現象
*豊田 明弘 (信州大), 平田 哲夫, 熊野 寛之, 平林 正貴
- D214 製氷過程におけるエタノール水溶液の蒸発特性に関する研究(水溶液表面における氷の昇華の影響)
*泉 直樹 (東京工大), 浅岡 龍徳, 齋藤 彬夫, 大河 誠司, 熊野 寛之 (信州大), 宝積 勉 (東京工大), 氏 仁宏 (関西電力)
- D215 微小領域における氷結晶成長に及ぼす不凍化タンパク質の影響
*櫻井 亮 (京工繊大), 中西 力也, 森兼 悠介 (アイシン精機), 萩原 良道 (京工繊大)

- D216 膜を用いた水溶液の過冷却解消
*大東 真由子 (東京工大), 大河 誠司, 齋藤 彬夫, 門磨 義史

融解・凝固 2 座長：萩原 良道 (京工繊大)

- D217 高含水率 W/O 型エマルションを用いた氷スラリーの連続生成 (ステンレス製容器内での製氷)
*菌田 俊介 (クボタ), 松本 浩二 (中央大)
- D218 高含水率 W/O 型エマルションを用いた氷スラリーの生成 (氷核を投入しないで過冷却を解消する方法の検討)
*榮 一騎 (ソニー), 松本 浩二 (中央大), 山内 裕文
- D219 水和物付着固相の剥離特性に及ぼす水溶液濃度の影響
*大徳 忠史 (横浜国大), 宇高 義郎, 荒川 康平
- D220 フッ化テトラ n-ブチルアンモニウムクラスレート水和物の融解特性
*水島 隆成 (東京理大), 稲田 孝明 (産総研), 竹村 文男, 矢部 彰, 河村 洋 (東京理大)
- D221 クラスレート水和物生成に及ぼす界面活性剤の効果 (非攪拌気-液系における生成挙動について)
奥谷 和典 (慶應大), *桑原 唯, 森 康彦
- D222 水噴霧による冷却固体面上でのクラスレート水和物生成(疎水性冷却液による固体面被覆の効果)
渡邊 邦義 (慶應大), *藤田 真也, 森 康彦
- D223 液・液界面におけるクラスレート水和物の結晶成長に及ぼす界面活性剤の影響
*岩淵 渉 (慶應大), 大村 亮, 植田 利久

【D231-D245 分子・マイクロ 1・反応】 12:20-14:50

分子・マイクロ 1 座長：松本 充弘 (京都大)

- D231 マイクロチャネル表面改質パターンニングによる電気浸透流動への影響
*一柳 満久 (慶應大), 佐々木 誠一, 佐藤 洋平, 菱田 公一
- D232 ナノチャンネル流れの流動特性
井上 剛良 (東京工大), *松野 雄史
- D233 レーザーを用いた多成分系ポリマー溶剤液の表面挙動の観察
*沖 和宏 (慶應大), 長坂 雄次
- D234 FT-ICR による触媒金属クラスターと炭化水素の化学反応
小泉 耕平 (東京大), *佐々木 洋介, 丸山 茂夫
- D235 Pt(111)および Pt₃Cu(111)表面における酸素

第3日 5月25日(金)

<A室>

- 還元反応経路
*市屋 卓 (東京工大), 小岩 信基, 多田 茂, 伏信 一慶, 岡崎 健
- D236 酸化チタンを含む粒子充填層を用いた大気圧放電プラズマによるオゾン生成の特性
*石丸 和博 (岐阜高専), 清水 大介
- D237 マイクロプラズマによる可視発光シリコンナノ粒子合成
*野崎 智洋 (東京工大), 佐々木 健二, 荻野 智久, 岡崎 健
- 反応 座長: 光武 雄一 (佐賀大)
- D238 多目的GAを用いたプラズマCVDプロセスの最適化
*横野 泰之 (東芝), 宇井 明生, 市川 尚志, 古川 亮
- D239 酸化マグネシウム/水系ケミカルヒートポンプ用固定層型反応器の伝熱促進評価
*加藤 之貴 (東京工大), 関口 稔也, 劉 醇一
- D240 水素吸蔵合金粒子充填層内の伝熱(計算と実験の比較)
*北里 優介 (九州大), 重永 亮介, 中曾 浩一, 深井 潤
- D241 水素吸蔵合金を用いたアルミドロス由来のG水素精製・貯蔵法の開発
勝田 正文 (早稲田大), 山川 量大, *狭田 晃司, 清水 貴光
- D242 銅メッキによる二つの金属水素化物粒子層の伝熱促進
裴 相哲 (佐賀大), *小松 倫太郎, 柴山 拓也, 門出 政則
- D243 低温起動時におけるPEFCカソード電極内水分の凝縮・凍結挙動の可視化計測
*西田 耕介 (京工繊大), 村上 毅, 小林 和貴, 津島 将司 (東京工大), 平井 秀一郎
- D244 In-situ Visualization of Temperature Distribution in Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFC) at Low Humidities
*Wacker Manuel P. (東京工大), Saiful Hasmady, 伏信 一慶, 岡崎 健
- D245 PEFCカソード用Pt系合金触媒の反応活性評価と負荷変動に対する耐久性評価
村井 淳平 (東京工大), 伏信 一慶, *岡崎 健
- 【A311-A325 沸騰2】 9:00-11:30
- 沸騰2 座長: 神永 文人 (茨城大)
- A311 垂直銀円柱周りのプール過渡膜沸騰冷却における固液接触様相の観察
*桃木 悟 (長崎大), 山田 たかし, 茂地 徹, 山口 朝彦
- A312 自発的蒸気爆発の開始段階のマイクロ構造
*高島 武雄 (小山高専)
- A313 気泡の非線形生成と相互干渉(一沸騰現象の理解のために一)
*山本 千博 (神奈川大), 鳥羽 裕将, 庄司 正弘, 木村 達人
- A314 液滴の加熱面衝突時に示す巻き込み空気及び自発核生成気泡の挙動
*石毛 忠弘 (郡馬大), 川島 久宜 (群馬大), 稲田 茂昭
- A315 加熱面に衝突する液滴の飛散挙動に関する研究
品川 和明 (群馬大), スハイミ イリヤス, *川島 久宜, 内山 茂, 高橋 義光, 稲田 茂昭
- A316 二段高パルス加熱沸騰による微小ノズルからの液滴噴射の挙動
*奥山 邦人 (横浜国大), 市川 正樹, 森 昌司
- A317 スプレーによる高温面のぬれ開始温度特性(固液接触状況の観察について)
*光武 雄一 (佐賀大), 門出 政則, 穴井 喬
- A318 逆問題解の不確定の推定について
*ウッドフィールド ピーター (産総研), 門出 政則 (佐賀大)
- 沸騰2 座長: 奥山 邦人 (横浜国大)
- A319 高熱流束蒸発器における冷却水流量制御(伝熱面形状の影響)
*佐々木 一裕 (筑波大), 丹下 学 (東京大), 竹村 文男 (産総研), 庄司 正弘 (神奈川大)
- A320 微細流路における強制対流および強制流動沸騰冷却特性
*岩崎 秀夫 (東芝), 久野 勝美
- A321 水平沸騰型マイクロチャンネルヒートシンクの開発
*金子 真徳 (山形大), 鹿野 一郎, 高橋 一郎
- A322 非線形サーモキャピラリ溶液のミニ・マイクロチャンネル内流動沸騰における伝熱特性と流れの観察
*吉田 貴洋 (芝浦工大), 小野 直樹, 西口 昇太郎 (神奈川大), 庄司 正弘
- A323 極細円管内強制流動沸騰熱伝達特性の実験

- 的研究 (流量変動の影響)
 *渡辺 圭 (九州大), 安藤 麻紀子, 伊藤 祐太, 井上 浩一, 大田 治彦
 A324 狭あい流路内強制流動沸騰による高熱流束下での大伝熱面の冷却
 *三浦 進一 (九州大), 有木 香菜子, 稲田 幸博, 新本 康久, 大田 治彦
 A325 低流量条件での狭隘矩形管内対流沸騰熱伝達に関する研究
 *神永 文人 (茨城大), 熊崎 昭人, 松村 邦仁

【伝熱学会賞受賞者講演】 15:00-16:00
 司会：佐藤 勲 (東京工大)

【A331-A344 沸騰 3・凝縮】 14:10-16:40

沸騰 3 座長：加藤 泰生 (山口大)

- A331 核熱結合安定性試験設備 SIRIUS-F を用いた MOX 燃料装荷 ABWR 炉心の安定性評価
 *古谷 正裕 (電中研), 深堀 貴憲 (GNF-J), 溝上 伸也 (東京電力), 横谷 淳 (電源開発)
 A332 鉛ビスマス-蒸気・水直接接触二相流の沸騰熱伝達特性 (第 1 報 実験)
 *ノビトリアン (東京工大), ドスタル ヴァツラフ, 高橋 実
 A333 鉛ビスマス-蒸気・水直接接触二相流の沸騰熱伝達特性 (第 2 報 解析)
 *山田 由美 (新型炉技術開発), 高橋 実 (東京工大)
 A334 強制循環沸騰冷却装置の最適流量検討モデル
 *堀内 敬介 (日立), 大橋 繁男
 A335 CO₂ の水平内面ら旋溝付管内沸騰蒸発熱伝達係数の整理
 *東井上 真哉 (九州大), 桑原 憲, 小山 繁
 A336 二酸化炭素の水平溝付管内蒸発熱伝達
 相吉澤 和俊 (東京大), 原口 昇, 党 超鋌, *飛原 英治
 A337 臨界圧近傍における R-134a 冷媒水平管内蒸発熱伝達に関する研究
 中原 大輔 (東京大), 名越 敬介, *党 超鋌, 飛原 英治

凝縮 座長：桑原 憲 (九州大)

- A338 管群を用いた水蒸気-空気混合気の凝縮熱伝達実験
 *藤本 卓也 (九州大), 井上 浩一, 有木 香菜子, 南 裕喜, 大田 治彦
 A339 鉛直平滑平板上でのアンモニア/水二成分凝縮の伝熱特性と可視化

- *秋山 泰有 (佐賀大), 柳 廷泰, 有馬 博史, 池上 康之
 A340 紙の蒸気加熱特性に対する初期水分率の影響
 *川水 努 (三菱重工), 鈴木 節夫, 平野 宏 (九州工大), 鶴田 隆治
 A341 多孔質体内における水平平板伝熱面上凝縮現象 (加湿空気の場合)
 *加藤 泰生 (山口大), 栗間 諄二, 山口 俊輔
 A342 水平微細径円管への凝縮熱伝達に及ぼす濡れ性の影響
 *寺西 恒宣 (富山高専), 安田 賢生, 瀧本 昭 (金沢大)
 A343 縦板上凝縮熱伝達の促進 (熱伝達特性における離散フィン長さの影響)
 *儲 仁才 (コマツ), 畠中 勉, 西尾 茂文 (東京大)
 A344 矩形閉領域内における 2 次元蒸発・凝縮流れ- 気体論方程式系に基づくシミュレーション
 *大西 善元 (鳥取大)

<B 室>

【B311-B323 分子・マイクロ 2】 9:00-11:30

分子・マイクロ 2 座長：丸山 茂夫 (東京大)

- B311 ナノ細孔内における DNA 塩基の運動特性の比較
 福井 武生 (富山大), *ゾロツキヒナ タチアナ
 B312 脂質二重膜の熱エネルギー輸送特性
 *中野 雄大 (東北大), 小原 拓, 菊川 豪太
 B313 アルカン液体中における熱エネルギー伝搬特性
 *鳥居 大地 (東北大), 小原 拓, 松坂 岳廣
 B314 気液界面における水分子および L-J 流体の微視的構造とダイナミクス
 *菊川 豪太 (東北大), 高木 周 (東京大), 松本 洋一郎, 小原 拓 (東北大)
 B315 Tight-Binding 法と古典分子動力学法による炭素クラスター成長過程の比較
 *山口 康隆 (大阪大), コロンボ ルチアーノ (カリアリ大), ミラニ パオロ (ミラノ大)
 B316 気体分子の解離確率に対する分子の熱運動の影響
 *徳増 崇 (東北大), 伊藤 大吾

分子・マイクロ 2 座長：小原 拓 (東北大)

- B317 ナノポーラス Si の熱伝導分子動力学計算
 *宮崎 康次 (九州工大), 飯田 良純, 氏福

- B318 信禎, 塚本 寛
イオン表面衝突過程における2次電子へのエネルギー伝達に関する量子分子動力学解析
*芝原 正彦 (大阪大), 佐竹 信一 (東京理大), 谷口 淳
- B319 界面のナノ構造間隔が熱抵抗に及ぼす影響に関する分子動力学解析
芝原 正彦 (大阪大), *井上 浩介
- B320 微小気泡の表面張力のサイズ依存性
*田中 康太郎 (京都大), 松本 充弘
- B321 分子動力学-連続体力学連成計算による振動気泡の解析
*池本 尚史 (京都大), 松本 充弘
- B322 分子動力学法を用いた気泡核挙動に及ぼす気泡内圧力の影響の検討
井上 昌幸 (広島大), *松村 幸彦, 菊地 義弘
- B323 Simulation of Rayleigh instability of lying liquid nanocolumn on the solid surface by classical molecular dynamics
*大澤 琢真 (東京理大), 上野 一郎

- の制御
*エリック エイナルソン (東京大), 門脇 政幸, 小倉 一晃, 大川 潤, 丸山 茂夫
- B338 単層カーボンナノチューブ CVD 生成における触媒反応機構の考察
*西井 俊明 (電源開発, 東京大), 榊山 直人 (電源開発), 石川 桂 (東京大), 野田 優, 丸山 茂夫
- B339 金属触媒からの単層カーボンナノチューブの CVD 成長の分子動力学
平間 慎一郎 (東京大), *伊豆 好史, 塩見 淳一郎, 丸山 茂夫
- B340 レーザー蒸発 CCVD 法による単層カーボンナノチューブ生成において触媒金属種がおよぼす影響
*大仲 泰憲 (九州大), 谷 啓太, 山本 蒼馬, 高田 保之, 鈴木 信三 (京産大), 洪田 靖 (東京大), 丸山 茂夫, 河野 正道 (九州大)
- B341 単層カーボンナノチューブ生成における触媒金属の電子状態に関する考察
*井上 修平 (広島大), 菊地 義弘
- B342 カーボンナノチューブ生成の触媒担持材の考察
*野村 和也 (広島大), 中島 武, 井上 修平, 菊地 義弘

【B331-B342 分子・ミクロ3】 14:10-16:40

分子・ミクロ3 座長: 井上 修平 (広島大)

- B331 トルエン低圧予混合燃焼におけるフラレン・PAHの生成機構に関する研究
*清水 翼 (大阪大), 芝原 正彦, 高田 敬士 (ブリジストン)
- B332 TAD法によるC84フラレンの異性体間構造遷移と生成比率に関する研究
*村田 雄介 (大阪大), 山口 康隆, 稲葉 武彦
- B333 カーボンナノチューブの準弾道的熱伝導
*塩見 淳一郎 (東京大), 丸山 茂夫
- B334 カーボンナノチューブによるNEMS流体センサーの高感度化
*樋口 琢 (九州大), 伊藤 洋平, 山田 陽一, 生田 竜也, 高橋 厚史
- B335 垂直配向単層カーボンナノチューブ膜面への金属の真空蒸着
*石川 桂 (東京大), Hai Duong, 塩見 淳一郎, 丸山 茂夫
- B336 垂直配向単層カーボンナノチューブ膜面上への金属蒸着と金属面への接着
*渡辺 誠 (東京大), 石川 桂, Hai Duong, 小倉 一晃, 大川 潤, 丸山 茂夫

分子・ミクロ3 座長: 芝原 正彦 (大阪大)

- B337 垂直配向単層カーボンナノチューブ膜合成

<C室>

【C311-C324 熱交換】 9:00-11:30

熱交換 座長: 横山 孝男 (山形大)

- C311 熱交換器の性能解析における対数平均温度差法の一般化
*宇多村 元昭 (東京工大), Konstantin Nikitin, 加藤 恭義
- C312 クロスフィンチューブ式熱交換器のフィン効率の検証
*近藤 智恵子 (日立 AP), 小国 研作, 千秋 隆雄 (山口大)
- C313 フィンカラーと伝熱管の接触形状が伝熱性能に及ぼす影響
*椿 耕太郎 (佐賀大), 宮良 明男, 永井 雄磨, 佐々木 直栄 (住軽金), 水田 貴彦
- C314 DFR熱交換器の特性とフィン付与による空気-水系の高性能化
*千葉 陽一 (日本パルスモーター), 埜上 洋 (一関高専), 三浦 隆利 (東北大)
- C315 空調機用フィン表面における湿り空気の凝縮に及ぼす濡れ性の効果
*岡部 明吉 (九州大), 竹村 竜太, 日高 澄具, 河野 正道, 高田 保之, 早瀬 岳 (サムスン電子)
- C316 フィンレス管型熱交換器による耐着霜性向上に関する研究

- C317 *大西 元 (金沢大), 高橋 暁人, 御堂 翔太, 瀧本 昭
フィンチューブ型吸着器の熱・物質移動に関する数値解析
小山 繁 (九州大), *仮屋 圭史, 立石 亮, 桑原 憲

熱交換 座長: 寺西 恒宣 (富山高専)

- C318 切欠きフィン付設流路内の熱流動特性 (第3報 切欠き配列傾斜角の影響)
*巽 和也 (京都大), 松崎 慎太郎, 中部 主敬

- C319 Effect of Different Flow Arrangement on Effectiveness of Four-Fluid Heat Exchangers
*Heryanto Dwi (長岡技科大), 青木 和夫, 石川 信幸 (宮城高専), Borrás Alcaraz Isaac (長岡技科大)

- C320 融雪を兼ねた木材乾燥システム
*長谷川 拓也 (山形大), 千葉 智徳, 沼田 敏文, 安原 薫, 横山 孝男, 沼澤 貞義 (沼澤工務店)

- C321 スパイラル管による大地採熱促進とヒートパイプ融雪
*三上 俊 (山形大), 戸津 広司, 横山 孝男, 安原 薫, 志賀 均 (ジャスト), 前田 健作 (前田技術), 普輪崎 賢彦 (カナイワ)

- C322 大地への不飽和浸透と採熱解析
*横山 孝男 (山形大), 安原 薫, 郡 裕道 (J.Pec)

- C323 雪山内採熱室周りに形成される空洞化対策
*松本 大典 (山形大), 阿部 大佑, 佐藤 重光 (尾花沢市), 安原 薫 (山形大), 横山 孝男

- C324 内部加温による排水性舗装の伝熱特性
*山口 正敏 (日本地下水開発), 横山 孝男 (山形大), 堀野 義人 (日本地下水開発), 沼澤 喜一, 安彦 宏人, 安原 薫 (山形大)

【C331-C344 自然対流】 14:10-16:40

自然対流 座長: 姫野 修廣 (信州大)

- C331 通気層付き外断熱建築構造物の熱的制御に関する研究
*稲垣 照美 (茨城大), 沢部 秀明, 大野 慎吾, 中村 聡 (東急建設)

- C332 放射性廃棄物の自然冷却システムにおける自然対流挙動の研究
*岩城 智香子, 池田 達實, 中田 耕太郎, 正木 嘉一

- C333 IH 調理器上部に発達する浮力プルームのラージ・エディ・シミュレーション (解析結果の精度評価)

- *須藤 仁 (電中研), 服部 康男, 田村 英寿, 宮永 俊之, 占部 亘

- C334 磁気熱風の流動不安定性
*小笠原 仁 (秋県大), 平川 泰裕, 赤松 正人 (山形大), 日向野 三雄 (秋県大)

- C335 熱対流周波数応答の高速予測法
*中村 憲通 (同志社大), 平田 勝哉, 舟木 治郎, 谷川 博哉 (舞鶴高専)

- C336 水熱合成法によるバルク単結晶育成時のオートクレーブの熱解析
*増田 善雄 (産総研), 鈴木 明, 三川 豊 (福田結晶技研), Valery Chani (東北大), 横山 千昭, 塚田 隆夫 (阪府大)

- C337 臨界点近傍における二酸化炭素の自然対流熱伝達
*加智 良介 (関西大), 石原 勲, 松本 亮介, 福井 滋仁

自然対流 座長: 石原 勲 (関西大)

- C338 垂直冷却平板における自然対流熱伝達の抑制
*酒井 祐典 (群馬大), 川島 久宜, 稲田 茂昭

- C339 垂直加熱平板列まわりの自然対流の流動と伝熱 (空気の場合)
*北村 健三 (豊橋技科大), 井尻 順章, 宮武 利幸

- C340 二重円管内密度成層中での自然対流熱伝達に及ぼす内管径と初期温度の影響 (内管径が小さい場合の検討)
*姫野 修廣 (信州大), 辻井 隆也, 玉木 和孝

- C341 加熱回転円板上の共存対流熱伝達

- *小野寺 高之 (岩手大), 廣瀬 宏一
C342 高アスペクト比液柱内温度差マランゴニ対流場における Hydrothermal Wave の研究
*北條 晃 (東京理大), 河村 洋

- C343 ナノリットル液滴形成におけるマランゴニ対流の影響
*植村 豪 (東京理大), 河村 洋

- C344 低 Pr 数液柱マランゴニ対流の振動流遷移挙動
*松本 聡 (宇宙機構), 佐々木 宏衛 (千葉工大), 益子 岳史 (宇宙機構), 大平 博昭, 依田 眞一, 依田 英里香 (AES), 今石 宣之 (九州大)

<D 室>

【D311-D324 熱機器 3】 9:00-11:30

熱機器 3 座長: 宮良 明男 (佐賀大)

- D311 空冷電子機器設計用ファンモデルの検証

- D312 池川 昌弘 (北海道大), *後藤 真司
薄型傾斜電子機器筐体に付加した異なる煙突の影響
*北村 陽児 (富山県大), 石塚 勝, 中川 慎二
- D313 スイッチング電源装置の熱解析における部品損失推定
*小泉 雄大 (コーセル), 石塚 勝 (富山県大), 中川 慎二
- D314 鉄道車両用電力変換装置の自然空冷
*西原 淳夫 (日立)
- D315 熱音響現象における自励振動の発生に関する数値解析
*小清水 孝夫 (北九州高専), 久保田 裕巳 (九州大), 高田 保之, 伊藤 猛宏 (東亜大)
- D316 ダイナミック PIV による管楽器内の音響振動計測
*染矢 聡 (東京大), 岡本 孝司, 飯田 将雄
- D317 細線熱電対群の適応応答補償と変動温度場の2次元可視化
山上 洋介 (名古屋工大), 加藤 健次, 貝吹和秀, *田川 正人

熱機器 3 座長：石塚 勝 (富山県大)

- D318 超小型過熱蒸気発生器の開発
*飯尾 剛範 (関西大), 寺田 真也, 松本 亮介, 小澤 守, 竹森 利和 (大阪ガス), 久角喜徳, 毛笠 明志
- D319 含水多孔質を利用した急速過熱水蒸気生成装置
*森 昌司 (横浜国大), 奥山 邦人
- D320 密閉容器内に高圧気体を充てんする場合の対流熱伝達について
*門出 政則 (佐賀大), ウッドフィールド ピーター (産総研), 光武 雄一 (佐賀大)
- D321 フィン付回転ドラムの対流熱伝達 (流れの可視化によるフィン間流れの観察)
伊崎 崇博 (九州大), 田坂 誠均 (住友金属), *吉田 敬介 (九州大), 斎藤 晃 (住友金属)
- D322 熱交換器一体型遠心ファンの局所熱伝達特性における内部流れの影響
*川口 清司 (富山大), 三村 直史
- D323 内燃機関の燃焼室壁面熱伝達に関する基礎研究
高野 孝義 (豊田工大), *鳥野 裕介
- D324 NH₃-CO₂ クーリングシステムの開発
寺島 巖 (前川製作所), *ムガビ ネルソン, 町田 明登, 赤星 信次郎, 吉川 朝郁

【D331-D343 ふく射】 14:10-16:40

ふく射 座長：円山 重直 (東北大)

- D331 Emission characteristics of open-cellular porous materials at hightemperatures
*クリタコム ブンディト (大分大), 上宇都 幸一
- D332 周期的微細構造面から放射される熱ふく射の数値解析
*平島 大輔 (東京工大), 花村 克悟
- D333 シリカマイクロ粒子最密構造の熱ふく射拡散反射特性の測定
*木原 正裕 (九州工大), 宮崎 康次, 塚本 寛
- D334 石炭チャー粒子群の輻射特性に与える粒子構造の影響
*板谷 義紀 (名古屋大), 上杉 幸弘, 阿蘇谷 利光, 小林 信介, 小林 潤, 羽多野 重信, 森 滋勝 (名大名誉教授)
- D335 放射体表面近傍におけるふく射の電磁分子動力的研究
*増原 鉄平 (東京工大), 川口 卓志, 花村 克悟

ふく射 座長：上宇都 幸一 (大分大)

- D336 高温物体の分光垂直放射率計測に関する研究
*田中 貴博 (IHI), 石川 温士, 水野 昌幸
- D337 表面の半球反射率と放射率の同時測定のための広波長域高速ふく射スペクトル測定装置の開発
*若林 英信 (京都大), 鶴飼 賢, 牧野 俊郎
- D338 熱ふく射に関する Kirchhoff の法則の電磁波レベルでの実験的検証
*牧野 俊郎 (京都大), 若林 英信
- D339 材料の光・熱刺激による物性変化を利用した選択加熱手法の検討
*西 智規 (東京工大), 斉藤 卓志, 川口 達也, 佐藤 勲
- D340 補助試料を用いたマイクロ波加熱の高効率化
青木 和夫 (長岡技科大), 赤堀 匡俊, *安嶋 千尋, 上杉 憲央
- D341 森林火災の衛星による検知方法の問題点
*早坂 洋史 (北海道大), 福田 正己, 串田 圭司, 中右 浩二, プートラ エリアント, ファルク ムラッド
- D342 霧層の発達を考慮した夜間大気のみく射伝熱数値解析
*酒井 清吾 (横浜国大), 大野 裕美, 円山 重直 (東北大)
- D343 可逆展開ラジエータを用いた宇宙機自律熱制御 (金星探査機搭載時の放熱・保温効果)
*松本 貫 (東海大), 長野 方星 (宇宙機構), 大西 晃

入会手続きについて

学会HP <http://www.htsj.or.jp/index-j.html>

から申込み用紙をダウンロードして下さい。詳細はHPを参照願います。

事務局

《業務内容》

- i) 入会届, 変更届, 退会届の受付
- ii) 会費納入の受付, 会費徴収等
- iii) 会員, 非会員からの問い合わせに対する応対, 連絡等
- iv) 伝熱シンポジウム終了後の「講演論文集」の注文受付, 新入会員への学会誌「伝熱」, 論文集「Thermal Science and Engineering」発送, その他刊行物の発送
- v) その他必要な業務

《所在地》

〒113-0034 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, E-mail: office@htsj.or.jp, HP: <http://www.htsj.or.jp>

(土日, 祝祭日を除く, 午前10時～午後5時)

(注意)

1. 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・E-mail等の書面にてお願いします。
2. 学会事務の統括と上記以外の事務は, 下記(総務担当副会長)にて行っております。

〒152-8550

東京都目黒区大岡山2-12-1-I1-54

東京工業大学大学院理工学研究科

機械宇宙システム専攻

宮内 敏雄

Tel/Fax: 03-5734-3183, E-Mail: tmiyauch@mes.titech.ac.jp

45・46期新入会員 (2007. 1. 10～2007. 4. 9) 正 10名・学生 21名・賛助 1社

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	雨海 正純	日本テキサスインスツルメンツ(株)	学	萩谷 功	東京大学
学	佐藤 隆登	工学院大学	学	横内 康夫	慶應義塾大学
学	飯尾 剛範	関西大学	学	宮川 修	慶應義塾大学
学	大瀧 秀恭	工学院大学	学	仮屋 圭史	九州大学
学	宿利原 俊	熊本大学	学	西口 彰一	大阪府立大学
学	川越 政子	九州工業大学	正	山縣 利貴	電気化学工業(株)
学	山下 健作	電気通信大学	正	弓倉 恒雄	三菱電機冷熱プラント(株)
学	柴田 宗孝	神奈川大学	正	福田 健一	島根県産業技術センター
学	西口 昇太郎	神奈川大学	正	菊川 豪太	東北大学
学	山本 千博	神奈川大学	正	野澤 正和	東北大学
学	西野 泰史	富山県立大学	正	辻森 淳	関東学院大学
学	原田 敦史	豊橋技術科学大学	正	松野 孝充	トヨタ自動車(株)
学	鹿島 淳	広島大学	正	鈴木 尚子	(株)イノアック技術研究所
学	佐竹 正哲	東北大学	学	中村 嘉恵	芝浦工業大学
学	原田 拓自	東北大学	正	池内 正毅	関西電力(株)
学	柴崎 陽介	首都大学東京	賛	三桜工業(株)	

45期寄付会費 (2007. 1. 10~2007. 4. 9) 4名 8,000円

資	氏名	所属	資	氏名	所属
名	藤田 恭伸		正	井出 英夫	鹿児島大学
正	西村 龍夫	山口大学	正	長谷川浩巳	電力中央研究所

速報

平成19年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰
日本伝熱学会推薦の3件に 科学技術賞

表彰選考委員会

平成18年5月に標記の表彰候補者の公募があり、本学会は表彰選考委員会での選考を経て候補を推薦した。その結果、下記の3件について科学技術賞の受賞が決定された：

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/04/07040520.htm

表彰式は、平成19年4月17日に東京で行われる。賞の概要は、次号に紹介する。

【科学技術賞 (開発部門)】

高効率 HFC-134a ターボ冷凍機の開発

青木素直 (三菱重工業(株))
川上 孝 (三菱重工冷熱システム(株))
入谷陽一郎 (三菱重工業(株))
関 亘 (三菱重工業(株))
上田憲治 (三菱重工業(株))

【科学技術賞 (技術部門)】

点接触式固体熱物性テスターの開発

高橋一郎 (山形大学)
熊坂利治 (米沢電線(株))

【科学技術賞 (理解増進部門)】

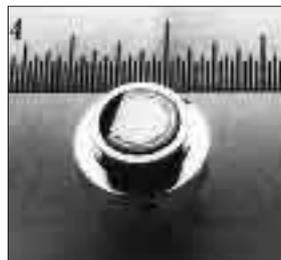
全世代を対象とした熱現象や環境エネルギー問題の理解増進

永井二郎 (福井大学)

熱流束センサー

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

熱流束マイクロセンサー



特徴

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

使用例

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

ガードン型円形フォイルセンサー



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

使用例

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

シート状熱流束センサー



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

使用例

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

熱流束センサー 校正サービス

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

センサテクノ株式会社

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

URL

www.senstech.jp

E-mail

senstech@td6.so-net.ne.jp

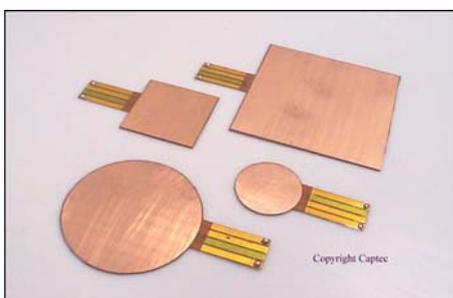
テクノオフィスは、独自の高度技術を持つ海外メーカーの

熱流計／熱流束センサーをご紹介します。

CAPTEC 社 (フランス)

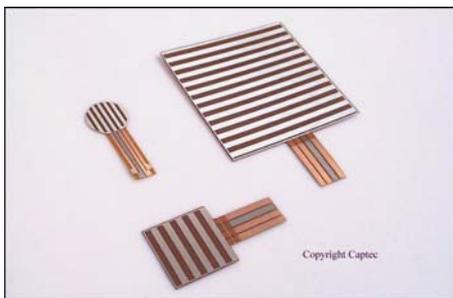
CAPTEC 社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

熱流束センサー



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

輻射センサー



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

【アプリケーション】

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

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

有限会社 テクノオフィス (CAPTEC 社日本総代理店)

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

- 本社: 〒225-0004 神奈川県横浜市青葉区元石川町 3712-3-206
- 神戸出張所: 〒655-0031 兵庫県神戸市垂水区清水が丘 3-14-15-208

TEL. 045 (901) 9861 FAX. 045 (901) 9522
 TEL. 078 (787) 4351 FAX. 078 (787) 4352



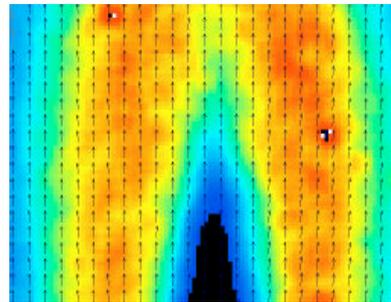
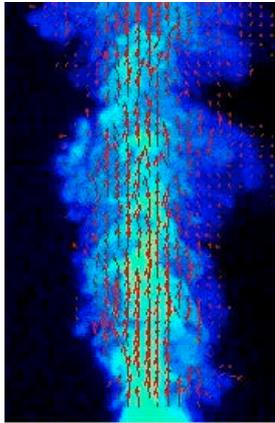
LAVISION GMBH

WE COUNT ON PHOTONS

Get The Whole Picture!

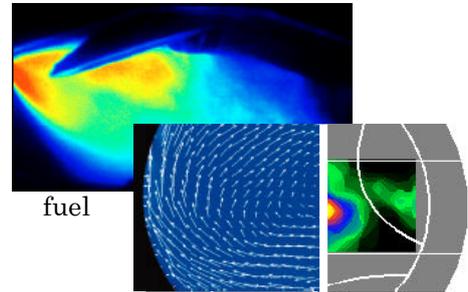
PIVをアップグレードして、LIF、Raman、Rayleigh、LII、等の技術と組み合わせた複合計測システムを構築し、種々のアプリケーションでのソリューションを提供します。

gas mixing + velocity



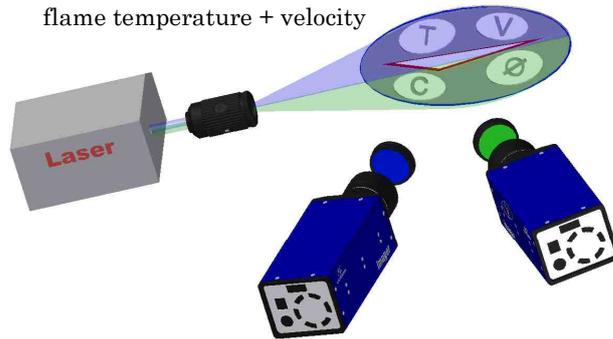
flame temperature + velocity

in-cylinder imaging

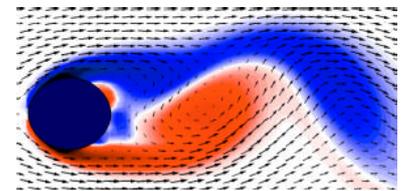


fuel

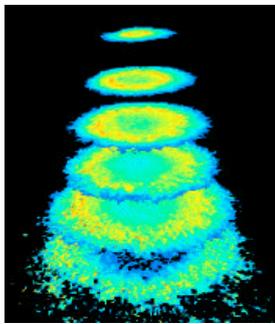
velocity + soot



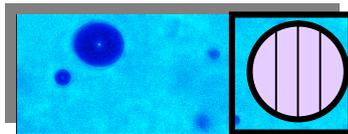
laser light sheet imaging



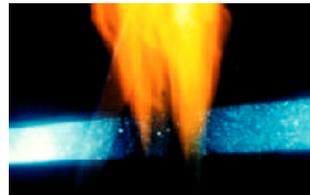
velocity imaging



spray imaging



high resolution particle imaging



combustion imaging

Multi-Parameter Laser Imaging

アプリケーション	Laser Imaging Techniques						計測システム
	Mie	LIF	PIV	Raman	Rayleigh	LII	
流れ 流体力学	流れ構造 パターンション	流れの可視化 ミキシング	流れ場	組成 温度	気体濃度 気体温度		FlowMaster FluidMaster
噴霧	液滴 パターンション	液体(燃料)質量 液体/蒸気	流れ場	液体/蒸気 温度			SprayMaster SizingMaster
	プレーナー液滴サイズ計測		質量流束				
燃焼 エンジン	粒子 液滴	ラジカル、燃料 化学プロセス	流れ場	ガス組成 温度	気体濃度 気体温度	すす	FlameMaster EngineMaster
プラズマ	粒子 生成	種 反応画像	流れ場				PlasmaMaster
材料試験 表面変形	高度画像関連						StrainMaster
	2次元&3次元の変形、歪み場、応力						
上記全ての アプリケーション	(超)高速イメージング						High-Speed MasterSystem
	過渡現象、時-空間相関の時系列過程						

LaVision社 FlowMaster PIV 日本総代理店

本広告の製品仕様は改善のため予告無く変更する場合があります



KANOMAX
日本カノマックス株式会社

本社 T565-0805 大阪府吹田市清水2番1号

流体計測ディヴィジョン

□東京事務所 TEL. (03)6825-9090

□大阪事務所 TEL. (06)6877-8679

<http://www.kanomax.co.jp/fgroup.html>

お問い合わせ先

TEL: 03-6825-9090

E-mail: fluids@kanomax.co.jp

編集出版部会ノート：最後の“The Last Leaf”

Note from the Editorial Board: The Last “The Last Leaf”

編集出版部会長を2年間担当させていただきましたが、本号をもって、次期部会長にバトンタッチさせていただきます。

この2年間には伝熱誌とTSE誌にとっていくつかの大きな変化がありました。まず、2006年1月号から、発行が隔月から再び季刊に、また伝熱誌とTSE誌は再び合本となりました。これにより、2ヶ月に一度の編集作業が3ヶ月に一度となって内容を検討する時間的余裕が増したことは大変ありがたいことでした。分量的にも、単なる発行間隔の増大に伴う1.5倍以上の伸びとなり、さらにTSE誌の論文増加も加わって、第13回国際伝熱会議の報告も兼ねた2006年10月号では、伝熱誌史上、最多内容号を記録しました。もちろん量的のみならず質的にも幾多の優れた記事をご執筆いただいた結果、伝熱誌はアーカイブとして末永く記録されるべき記事に満ち満ちていると思います。

充実した内容にふさわしい見栄えについての改善も進みました。予算的制約のため全ページカラーとまではいきませんが、ぜひともカラーでお伝えしたい図や写真のページはできるだけカラー化しました。加えて2007年1月号からは表紙のフィルムコート化や本体部分の紙質の変更も行い、手にとっていただくと従来の伝熱・TSE誌との差は歴然とご理解いただけるのではないのでしょうか。

“博物館めぐり”の拙文(2006年10月号)でもご紹介したThe British Libraryのリーフレットに記された文言OUR MISSION: Helping people advancing knowledge to enrich lives.を見つけたときには、大げさかもしれませんが、われわれ編集出版部会のMISSIONもこれではないかと思いました。ただ、編集の仕事はどうしても執筆者という相手のあることですので、編集出版部会委員各

自の人脈等に依存する面が強く、よくもわるくも偏りがあることを否定できないことはお許しを乞う次第です。

言えて妙だと以前感心した言葉があります：“原稿依頼と言うのは、捕手がへろへろ球を投手に返し、さあ来いと身構えるまでの動作に似ている。そのミットに向かって〇〇投手は、凄まじい「ストレート」をど真ん中に投げ込んでくれた。”(京大広報、2001年11月、No. 562、編集後記)この2年間、実際にこのようなストレートを受けたことも数多く、まことに編集者冥利に尽きるといえます。一方、私自身がコーナー導入を提案した“博物館めぐり”などは、なかなか執筆者が見いだせなかったこともあり、捕手であるはずの自らが球威・制球力とも甘い投手として何度も登板する結果となったことをお詫び申し上げます。

最後に、この2年間、伝熱誌の編集をご支援いただきました皆様、とりわけ、ボランティアで貴重な記事をご執筆いただきました著者の皆様、興味深い編集企画だけでなく最後の最後の校正に至るまで目を皿のようにしてご協力いただいた(その校正作業の厳しさをご覧になられたら誰しも驚かれることでしょう!) 献身的な編集出版部会委員の皆様にお礼申し上げます。また、当部会のイニシヤチブを尊重してやりたいようにやらせて下さった庄司正弘前会長・望月貞成現会長・宮内敏雄副会長・理事会の皆様にもお礼申し上げます。最後に、伝熱誌・TSE誌の激変時代に常に沈着冷静な河村洋TSE Editor-in-Chiefのご指導をいただいたことを幸せに思い、心から感謝する次第です。

吉田 英生 (京都大学)

Hideo YOSHIDA (Kyoto University)

e-mail: yoshida@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

副会長 牧野俊郎 (京都大学) 部会長 吉田英生 (京都大学)

委員

(理事) 辻 俊博 (名古屋工業大学) 村上幸一 (愛媛大学) 小山 繁 (九州大学)
(評議員) 近久武美 (北海道大学) 丸田 薫 (東北大学) 杉山智之 (日本原子力研究開発機構)
中込秀樹 (千葉大学) 加藤之貴 (東京工業大学) 黒坂俊雄 (神戸製鋼所)
永井二郎 (福井大学) 加賀邦彦 (三菱電機)

TSE チーフエディター 河村 洋 (東京理科大学)

編集幹事 佐竹信一 (東京理科大学) 岩本 薫 (東京農工大学)

編集出版事務局：京都大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 吉田英生・犬山健二

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel/Fax：075-753-5255 yoshida@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

複写される方へ

社団法人 日本伝熱学会は有限責任中間法人 学術著作権協会（学著協）に複写に関する権利委託をしていますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、学著協より許諾を受けて複写して下さい。但し、社団法人日本複写権センター（学著協より複写に関する権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（注意：社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

有限責任中間法人 学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3 階

Tel : 03-3475-5618 Fax : 03-3475-5619 E-mail : info@jaacc.jp

注意：複写以外の許諾（著作物の転載・翻訳等）は、学著協では扱っていませんので、直接、社団法人 日本伝熱学会へご連絡ください。

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

Notice for Photocopying

If you wish to photocopy any work of this publication, you have to get permission from the following organization to which licensing of copyright clearance is delegated by the copyright owner.

<All users except those in USA>

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)

6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

Phone 81-3-3475-5618 FAX 81-3-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

<Users in USA>

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

伝 熱

ISSN 1344-8692

Journal of the Heat Transfer Society of Japan

Vol. 46, No. 195

2007 年 4 月 発行

THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING

ISSN 0918-9963

(日本伝熱学会論文集)

Vol. 15, No. 2

April, 2007

発行所 社団法人 日本伝熱学会

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

Tel : 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 113-0034, Japan