

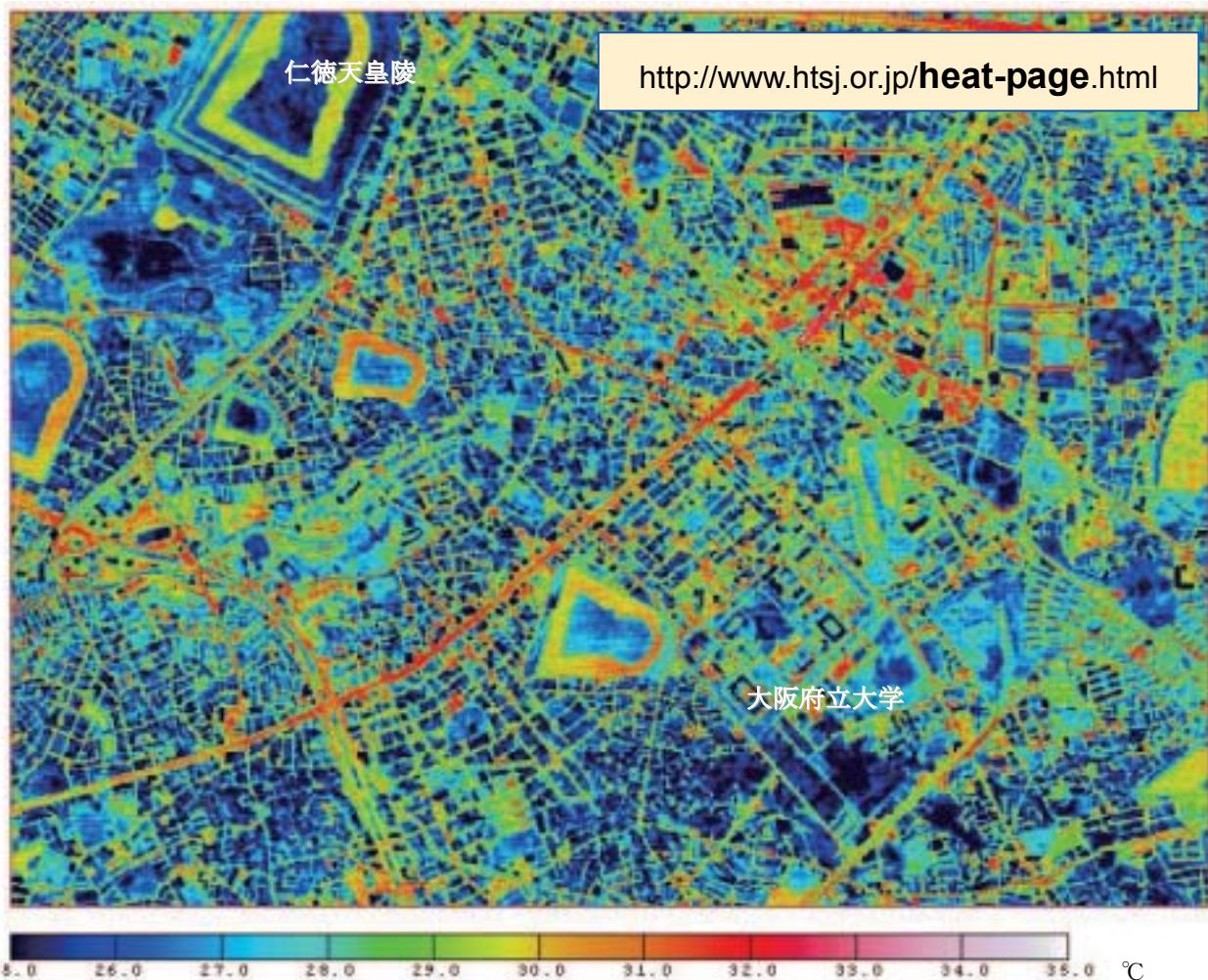
# 伝熱

*Journal of the Heat Transfer Society of Japan*

ISSN 1344-8692 Vol. 46, No. 197  
2007. 10

HJSJ

◆特集：地球環境問題に対する計測・解析・対策技術◆



## 赤外熱画像から見た堺市の夜

*Sakai Night from View of Infrared Thermal Image*

吉田篤正（大阪府立大学） Atsumasa YOSHIDA (Osaka Prefecture University)  
 e-mail: ayoshida@me.osakafu-u.ac.jp

今年の夏は各地で40°Cを超える猛暑日が続いた。気象庁が命名した猛暑日より酷暑日の表現が当てはまりそうであった。地球温暖化との関係も取りざたされているが、多くの人が住む街に目を向けると、街の暑さとしてヒートアイランドに関する話題が取り上げられることも多くなった。

気温に大きく影響するのは地表面温度ということで、2006年8月に堺市およびその周辺地域の表面温度分布の測定を実施した。測定装置をヘリコプターに搭載し、上空より赤外熱画像の撮影を試みた。夜間に撮影された全域の熱画像から大阪府立大学を含む地区を切り出したのが上図である。撮影画像から幾何補正、大気補正などを行い、地上での測定結果を加味して地表面温度に応じた色分けをし、上図を作成している。

堺市では仁徳天皇陵（上図の左上）を中心とした多くの古墳群を見る事ができる。御陵は樹林で被覆されており、表面温度は気温とほぼ同じである。仁徳天皇陵に隣接した公園緑地、大阪府立大学内の農場などでも表面温度が低い。御陵の堀の水面温度は意外と高く、夜間の冷熱源にはなっていない。道路の表面温度が最も高く、街の夜間気温が下がらず熱帯夜が多いことの要因となっていると考えられる。この地区は戸建の住宅が多いが、集合住宅や業務用ビルの屋上の表面温度との違いを読み取ることも可能である。データベースとして整備し、街の環境性能の評価、街づくりに役立てることができればと思っている。

# 伝 熱

## 目 次

### 〈特集：地球環境問題に対する計測・解析・対策技術〉

地球シミュレータで予測した気候の変化

.....	松野太郎（海洋研究開発機構環フロンティア研究センター）	1
越境大気汚染の日本への影響	大原利眞（国立環境研究所）	7
都市環境の数値解析	足永靖信（独立行政法人建築研究所）	12
CO <sub>2</sub> の地中と海洋への隔離	平井秀一郎, 津島将司（東京工業大学） 末包哲也（徳島大学）	19

### 〈特別寄稿〉

セラミックリアクターの開発	藤代芳伸, 鈴木俊男, 山口十志明 淡野正信（産業技術総合研究所）	25
---------------	--------------------------------------	----

### 〈International Letter〉

NIST 滞在報告	錦 慎之助（長岡技術科学大学）	31
-----------	-----------------	----

### 〈国際活動・会議報告〉

第7回日米熱工学合同会議報告	花村克悟（東京工業大学）	35
----------------	--------------	----

### 〈Heart Transfer〉

台所の伝熱	加賀邦彦（三菱電機）	38
-------	------------	----

### 〈巻頭グラビア：heat-page〉

赤外熱画像から見た堺市の夜	吉田篤正（大阪府立大学）	表紙裏
---------------	--------------	-----

### 〈行事カレンダー〉

「伝熱」の著作権の帰属について（公告）	41
---------------------	----

平成19年度日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 募集のお知らせ	42
----------------------------------	----

第45回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集	46
------------------------	----

優秀プレゼンテーション賞（第45回日本伝熱シンポジウム）について	49
----------------------------------	----

第57回理論応用力学講演会	50
---------------	----

事務局からの連絡	51
----------	----

編集出版部会ノート	56
-----------	----

## **Vol. 46, No. 197, October 2007**

### **CONTENTS**

#### **<Special Issue:>**

Climate Change Projection by Use of the Earth Simulator Taroh MATSUNO (FRCGC, JAMSTEC)	1
Impacts of Transboundary Air Pollution on Air Quality in Japan Toshimasa OHARA (National Institute for Environmental Studies)	7
Numerical Simulation of Urban Environment Yasunobu ASHIE (Building Research Institute)	12
CO <sub>2</sub> Sequestration in Underground and Ocean Shuichiro HIRAI, Shoji TSUSHIMA (Tokyo Institute of Technology) Tetsuya SUEKANE (Tokushima University)	19

#### **<Contribution>**

Development of the Advanced Ceramic Reactor Yoshinobu FUJISHIRO, Toshio SUZUKI, Toshiaki YAMAGUCHI, Masanobu AWANO (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)	25
---	----

#### **<International Letter>**

Report from NIST Shinnosuke NISHIKI (Nagaoka University of Technology)	31
---	----

#### **<Report on International Conference>**

Report on the 2007 ASME-JSME Thermal Engineering Conference and Summer Heat Transfer Conference /IntePACK'07 Katsunori HANAMURA (Tokyo Institute of Technology)	35
--	----

#### **<Heat Transfer>**

Heat Transfer in a Kitchen Kunihiro KAGA(Mitsubishi Electric Corporation)	38
--	----

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

Sakai Night from View of Infrared Thermal Image Atsumasa YOSHIDA (Osaka Prefecture University)	Opening Page
---	--------------

#### **<Calendar>** 39

#### **<Announcements>** 41

## 地球シミュレータで予測した気候の変化

### Climate Change Projection by Use of the Earth Simulator

松野 太郎（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター）

Taro Matsuno (FRCGC, JAMSTEC)

e-mail: matsuno@jamstec.go.jp

#### 1. はじめに

今年（2007年）2月以来「気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」の3つの作業部会による第4次評価報告書（Fourth Assessment Report, AR4）が相ついで完成・発表された。IPCC報告書は1990年に最初のものが発表されて以来、1995年、2001年と過去3回発表されているが、今回は今までになく大きな関心を呼び注目を浴びていると思う。第3次報告以降、2002年のヨーロッパの洪水、2003年のフランスはじめ南欧の熱波、2004年に日本、2005年にアメリカに大きな被害をもたらした熱帯低気圧活動の強化、そしてその間の各地での豪雨と洪水など、極端な気象が最近次々と起こり、多くの人が「気象・気候が今までと違って来ている」と実感するようになって来たためであろう。こうして社会全体が「地球が温暖化する」事に対してほとんど疑いをもたなくなり、各国のリーダー達も問題を真剣にとらえ、具体的対応策を提案するようになって来た。地球温暖化と気候変化の予測は、このような対応策の科学的基礎をなすものとして極めて重要なものとなって来ている。

私は、今回のIPCC報告書作成において気候変化の自然科学的研究の最新知見をまとめた第1作業部会の「政策立案者向け要約（Summary for Policymakers, SPM）」の執筆チームに参加して來た。そこで本稿ではIPCC報告書の概要をかいつまんで紹介する。また、今回の報告書では日本の研究陣が「地球シミュレータ」と名付けられた世界最大級のスーパーコンピュータを活用して実行した将来の気象のシミュレーションが重要な役割を果たしているので、それにも触れたい。

#### 2. IPCC報告書の概要

##### 2.1 観測された変化

第4次報告書の一つの特色は、観測事実の文献

を広く詳しく調べた点にある。つまり、「今、地球はどのようにになっているか？」という問い合わせに詳しく答えることを試み、その結果は、「地球全体が温暖化していることに疑問の余地はない」と表現された<sup>[1]</sup>。その内容は、(図1参照)

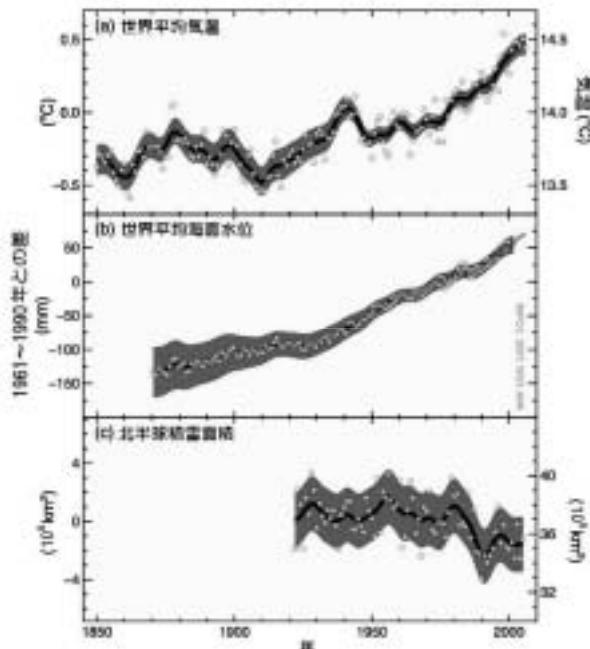


図1 過去約100年間の全球平均地表面気温（上）、全球平均海面水位（中）および3-4月の北半球積雪面積（下）の変化（IPCC AR4<sup>[1]</sup>）

- i. 全地球平均気温の過去100年間のトレンドは0.74°C上昇であった。これが前回報告の0.6°Cに比べ大きくなっているのは、最近の顕著な高温年が含まれたためであり、温暖化が加速していることを示している。
- ii. 過去50年間海洋も同時に温暖化した。（このことは、近年の温暖化が自然の内部変動ではないことを示すものと解釈できる。）
- iii. 海水位の上昇は過去100年余で17cmにも達した。最近10年程の人工衛星からの観測データは予想以上の上昇スピードを示している。
- iv. 温暖化に伴い、当然、雪や氷が減少する。人

工衛星観測が可能になった 1970 年代以降のデータでは、北極海の海氷面積は 10 年につき 2.7% の割合で減少し、夏季には更に著しく 10 年につき 7.4% の割合で減少している。北半球大陸上の積雪面積も図 1(c)に示されるように減少している。

v. 地域的変化や極端な気象の出現頻度なども詳しく調べられた。地中海周辺をはじめ熱帯・亜熱帯の一部地域の雨量減少とユーラシア・北米大陸の北部その他の雨量増加が明らかにされた。また、平均雨量の増減とは別に強い雨や干ばつの発生頻度が増えた地域もある。熱帯低気圧が強くなつたかどうかはホットな議論の的であるが、2005 年のカトリーナを含め北大西洋のハリケーンについては、その傾向が認められるとしている。

## 2.2 変化は人為起源か

第二のポイントは、以上のような変化が人為的原因によるかどうかという点で、これまでも議論が絶えなかった。争点の中心は、「現在の温暖化は温室効果ガスではなく、太陽活動の変化によるものだ」との主張が科学者の間にあるからで、第一作業部会の報告書を承認するパリの会議でもそれが問題となっていた。太陽活動の影響は直接の証拠がないにもかかわらず完全否定することもできないので難問である。実際、温室効果ガス濃度がほぼ一定であった歴史時代の気候変化については、例えば小氷期と呼ばれる 17-18 世紀の寒冷気候は太陽活動の弱まりによる日射の減少が原因と考えられているし、次に示す図 2 の計算にも、専門家により推定された過去の日射変動が取り入れられている。しかし、近年、人工衛星によって大気圏外で日射強度を直接測れるようになり、その結果日射の変化は、あたたとしても温室効果ガス増加による加熱効果の 1/5 を越えない程度と見つめられるようになった。今回 AR4 では「20 世紀半ば以降の温暖化は、人為起源温室効果ガスが原因である可能性が非常に高い」と前回より一段強い表現をとることにしたがその根拠とされるものは、モデルを用いた過去の気候の再現実験である。図 2 は東京大学、国立環境研究所、海洋研究開発機構の共同研究の結果で<sup>[3]</sup>、人間活動の効果を取り入れないと 20 世紀後半の昇温は説明できることを示している。同

様の結果は世界中の研究グループで得られている。

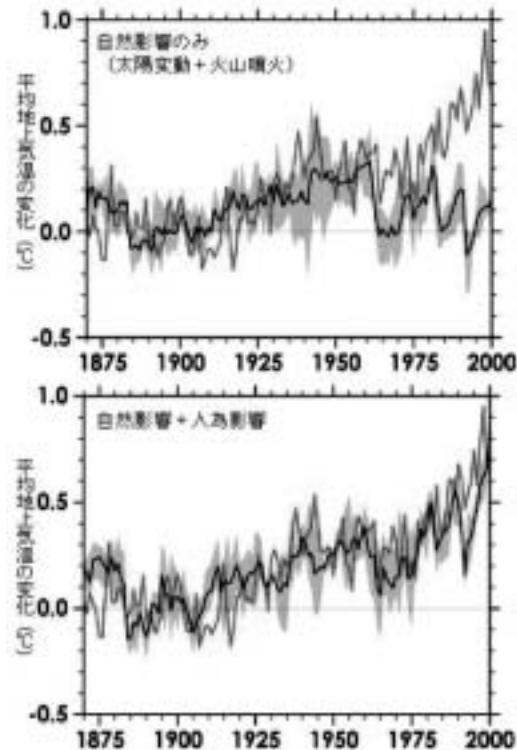


図 2 過去の全地球平均気温変化（赤実線）とその気候モデルによるシミュレーション結果（黒実線）。上図は自然の放射強制力のみを考えた場合、下図は人間活動の影響を加えた場合<sup>[3]</sup>

## 2.3 温度上昇と海水位上昇の予測

さて、IPCC 報告の最大の目的は、温暖化と気候変化の将来予測である。将来の気候変化を推定するには、その原因となる温室効果ガス排出の将来見通しが必要である。IPCC の要請により、異なる社会の発展の形を想定した幾通りかのシナリオが社会科学者により作られ（排出シナリオのための

表1. 21世紀末における全地球平均地表面気温上昇と海水位上昇 (IPCC AR4<sup>[1]</sup>に2100年のCO<sub>2</sub>濃度をIPCC TAR<sup>[2]</sup>より追加)

2100年でのCO <sub>2</sub> 濃度	気温変化 (°C)		モデルによる推定の幅 ただし急速な氷床融解の可能性含まず
	Bernモデルによる	最良の推定	
2000年濃度一定	370	0.6	0.3-0.9 データ無し
B1シナリオ	540	1.8	1.1-2.9 0.18-0.38
A1Tシナリオ	575	2.4	1.4-3.8 0.20-0.45
B2シナリオ	611	2.4	1.4-3.8 0.20-0.43
A1Bシナリオ	703	2.8	1.7-4.4 0.21-0.48
A2シナリオ	836	3.4	2.0-5.4 0.23-0.51
A1FIシナリオ	958	4.0	2.4-6.4 0.26-0.59

特別報告、SRES) A1FI, B1 等記号が付けられている。詳細は省略するが、2100 年時点での二酸化炭素濃度は B1, A1B, A2, A1FI の順にそれぞれ自然状態 (280ppm) の約 2 倍、2.5 倍、3 倍、3.5 倍となっている (表 1)。

これらのシナリオをもとに世界中の研究機関で行った温暖化実験によって得られた 21 世紀末の全地球平均温度上昇 (詳しくは、2090-99 年の平均と 1980-99 年の平均との差) と海水位上昇をまとめたのが表 1 である。また、わかりやすくするため、CO<sub>2</sub> 排出量 (したがって温度上昇) が中位の A1B と下位の B1 を代表として選び、CO<sub>2</sub> 排出量と全球平均温度の時間変化を図 3 に示した。

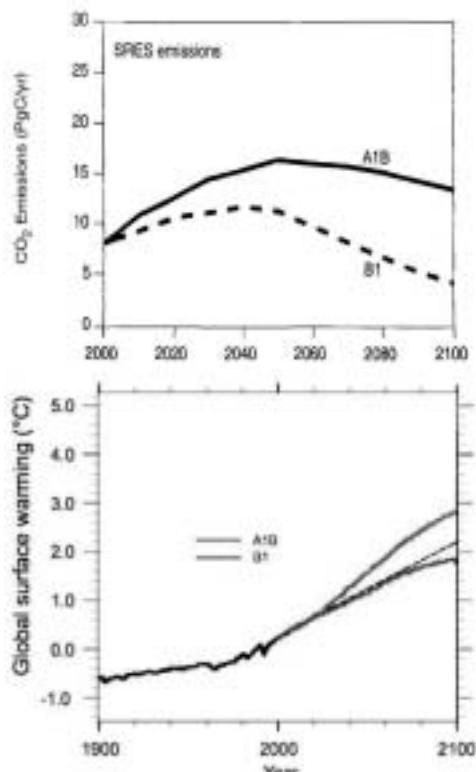


図 3 (上) SRES による CO<sub>2</sub> 排出シナリオ A1B と B1, (下) それぞれについてモデルで計算された全球平均気温の変化予測。細破線は 10 年につき 0.2°C の昇温を示す。(上は IPCC TAR<sup>[2]</sup>, 下は IPCC AR4<sup>[1]</sup>より抜粋, Pg=10<sup>15</sup>g=Gt(ギガトン))

まず、当面 20-30 年間は、どのシナリオでも余り違いはなく (A1B,B1 以外は省いてあるが)、10 年につき 0.2°C の割合で温暖化が進行する。この昇温スピードは過去 10 年とほぼ同じで、従って先に記した最近見られ始めた多くの変化がさらに拡大して現れて来るであろう。今世紀半ばになるとシナリオ間の差が出てきて、2100 年時点での温度上昇の予測は、表 1 に示されている最良の推定を中

心に示された幅の中に入る確率が高い。

B1 と A1B に着目すると、排出量が 2040 年でピークとなり、以後減少して現在より低くなる B1 では、昇温スピードが当初 (10 年につき 0.2°C) より緩やかになるのに対し、今世紀後半に現在より大きな排出を続ける A1B では昇温が加速する。その結果 21 世紀末に CO<sub>2</sub> 濃度がそれぞれ自然状態の 2 倍、2.5 倍となり、現在からの温度上昇は約 2°C, 3°C になる、という大枠が見て来る。

海水位の上昇は地球温暖化の影響の中でもとりわけ重大な問題として強い関心が持たれているが、未知の要素が多く IPCC の第 1 回の報告書では 2100 年での海水位上昇の予測として最大 1m 以上まで考えられていた。第 3 次報告書でも A1B シナリオに対して 0.1-0.7m と不確定の幅が大きかったが今回は表 1 に見られるように 0.21-0.48m とファクター 2 程度の不確定幅に抑えられるようになった (他のシナリオも同様)。海水位上昇の原因となる海水の熱膨張その他のプロセス一つ一つの理解と定量化が進んだためである。素人考えながら、この不確定幅ならば、例えば堤防を造るなどの対応をとるのに (大変な事だろうけれど) 具体的計画を考えられるのではないだろうか。

### 3 地域的変化・極端現象の変化

#### 3.1 気候モデルの進歩

今回の IPCC 報告の特色は、全地球平均の温度上昇ばかりでなく、亜大陸規模での降水量の変化にある程度信頼できる予測を行った事、また、熱波・豪雨・干ばつなど短期間の「気象」の変化についての予測も行ったことである。その背景は気候モデルそのものの進歩と共に、コンピュータ能力の向上により計算のメッシュを細かくして小スケールの現象をもシミュレート出来た事である。気候モデルの大気の部分は、日々の気象変化を予測する数値天気予報モデルと同じものだが、天気予報と違って 100 年、200 年の超長期にわたる積分が必要なので計算量の制約から低い解像度、すなわち地球を覆うメッシュ (=格子) の間隔が粗いもので我慢せざるを得ない。第 3 次報告では世界中の研究機関のモデルの多くは 500km 程度の格子間隔を用い、300km 以下は 30% に過ぎなかつたが、今回は 75% のモデルが 300km 以下となった。実は、数値天気予報の経験により、300km 以下にしないと温帯低気圧の振舞いが正しく表現されず

実用にならないことが分かっている。したがって今回の報告の基礎となった数値実験ではじめて「気候」を日々変化する「気象」の平均として表わす事が出来るようになったと言ってよい。

先に記したように、今世紀に入ってから世界各地で地域的な異常気象や極端な現象が起り始め、地球温暖化との関連そして将来どうなるかが問われている。今漸くそれに答える条件が整い、部分的ながら最初の回答を第4次報告書に間に合わせる事が出来た。特に我々日本の研究者は2002年に完成し「地球シミュレータ」と名付けられた世界最高速のコンピュータを使い世界で最も詳細なモデルによる予測実験を行い、それに貢献した。

### 3.2 地球シミュレータと共生プロジェクト

気象・気候のシミュレーションと将来予測は全科学・技術分野中で最も大量の計算機資源を必要とし、コンピュータの能力向上と共に発展してきた。日本ではコンピュータの能力（およびそれを利用する環境）が十分でないため、1980年代まで気象庁での数値天気予報を除き、気象・気候のコンピュータを用いた研究は事実上無いに等しかった。80年代から90年代にかけ日本のスーパーコンピュータが世界の先頭レベルになり、同時に地球温暖化が社会的重要問題と認識されるにつれこの状況は少しづつ変わって来た。それでも2001年のIPCC第3次報告書の時に日本の2つの研究グループで行われた温暖化予測では大気モデルの格子間隔が500km程度であり、モデルの性能も漸く世界の中位に達する程度であった。

この状況は、2002年3月に完成し稼動を開始した地球シミュレータ（Earth Simulator, ES）の出現によって一変した。ESは文字通り地球科学（地球内部物理学を含む）への応用を主目的として開発された超並列ベクトル型スーパーコンピュータでその仕様は表2に示すとおりである。640個のスーパーコンピュータとその間の通信装置そして外部記憶装置から成るシステムなので物理的にも巨大でテニスコート4面分の広さの体育館のような建物に収容されている。内部の一部を図4に示す。ESの特色は実効速度が大きいことで、テスト計算ではピーク速度の90%，36TFLOPSを出して世界一となり、2年余りその座を守った。さらにすばらしい事は、一般ユーザーでも並列化効率を上げる事が容易な点で、多くはピークの30%程度の速

度で計算を行っている。

表2 地球シミュレータ(ES)の仕様概要

ノード数	640
ノード当たりプロセッサ数	8
1プロセッサの演算速度	8 GFLOPS
ノード当たり演算速度	64 GFLOPS
ノード当たり主記憶容量	16GB
総プロセッサ数 (8×640)	5120
理論ピーク演算速度 (64GFLOPS×640)	40TFLOPS
全記憶容量 (16GB×640)	10TB



図4 地球シミュレータ（の一部）、手前は磁気ディスク装置、その奥に濃紺色に赤い丸（日の丸を象徴）のついた演算装置が多数見える。

ES完成の時は、丁度IPCC第4次報告の材料となる予測シミュレーションが世界中で実行され始めていた時期で、文部科学省ではこの貴重な計算資源を用いて日本の温暖化予測研究を促進すべく、「人・自然・地球共生プロジェクト（共生プロジェクト）」を2002-2006年度に実施した。このプロジェクトには、日本の主要研究グループ、すなわちa.東京大学気候システム研究センター、b.国立環境研究所、c.海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター、d.電力中央研究所、e.気象庁・気象研究所が参加し、それぞれの特色を活かして役割分担し、温暖化予測に求められている多様な予測計算を行った。すなわち、a,b,cの共同研究チームは、大気110km、海洋20km格子の世界で最高解像度の結合モデルを開発し、シナリオにもとづく2100年までの予測を行った。dは米国大気研究センター（NCAR）と協力して、そこで開発されたモデルを高解像度化し、2100年で濃度安定化した後2400年までの長期気候変化を調べた。eは20kmという超高解像度の大気モデルを開発し、別途予測を行った21世紀末の海面水温分布

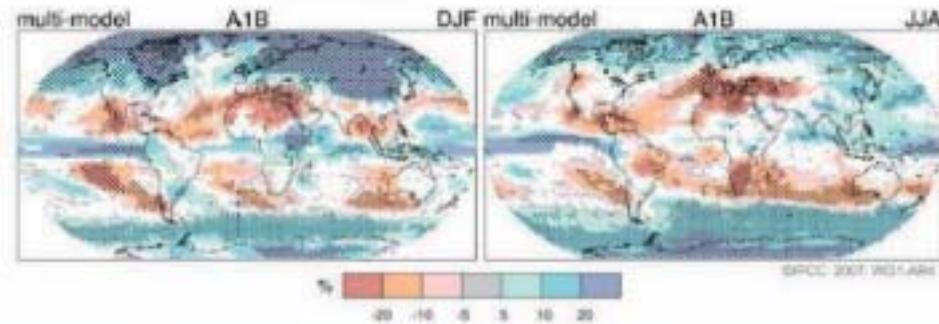


図5 A1Bシナリオに従って多数の気候モデルで計算された21世紀終わりまでの降水量変化。左は12, 1, 2月、右は6, 7, 8月の変化。現在からの増減を相対値（パーセント、下の色スケール）で示す。細点をほどこしてある部分はモデルの90%で変化の符号が一致、逆に一致が60%未満は白地のまま（IPCC AR4<sup>[1]</sup>）

を与えて温暖化時の「日々の気象」をシミュレートし現在との比較を行った。さらにcは温暖化に伴う海陸のCO<sub>2</sub>吸収能力の変化（炭素循環のフィードバック）を取り入れた先進的モデルを開発し温暖化実験を行った。こうして日本の温暖化予測研究は一躍世界のトップ集団に入ることになった。

### 3.3 地域的気候変化と極端現象の変化の予測

それでは、我々の最新の結果を含め、モデルによる重要な予測を挙げてみよう。

- (1) 温度上昇は低緯度より高緯度・極地方で大きく、たとえば二酸化炭素2倍の状態では熱帯での昇温が2度ぐらいなのに対し北極では5度以上にもなる。また、大陸上の気温上昇は海洋上に比べて大きく、2倍近い。これら地球規模の変化パターンは従来から求められていた。
- (2) 降水量は、もともと多雨地帯である赤道に近い所と高緯度の低気圧の通り道に当たる所で益々増加し、他方もともと乾燥している亜熱帯では雨量は余り変わらず、中緯度・亜熱帯の一部では夏季に土地が乾燥する可能性がある。最近の計算では、南欧を含む地中海周辺で夏季の乾燥化が大きいと予測されており（図5）、今世紀に入ってその傾向が現れ始めている。
- (3) アジア・モンスーン地域では夏のモンスーンに伴う雨量は増える（図5）。日本の研究陣による詳細な結果では、日本の梅雨は「明け」の時期が遅くなり雨量も増加する。
- (4) 細かいメッシュのモデルによって日本付近での雨の降り方を調べると、図6に見られるように50mm/日以上といった強い雨が増え、21世紀の終わりには強雨日数は現在の2~3倍にもなる。他方、雨の降らない日の数も増加する

という結果が得られた。すなわち、洪水が起こりやすくなると共に水不足も起こりやすくなる、ということで、注意せねばならない。

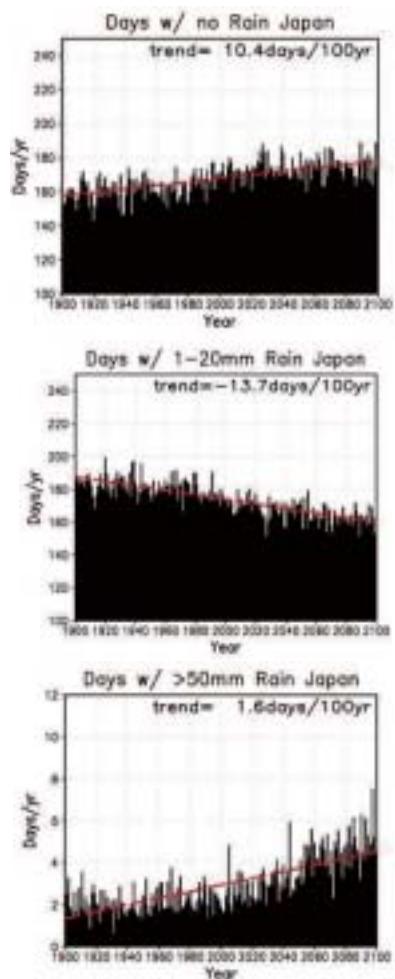


図6 気候モデルによるシミュレーションで得られた日本付近での無降水日（1mm未満、上）、弱一並雨（1-20mm、中）、および強雨（50mm以上、下）の日数の1900-2100年の間の変化<sup>[4]</sup>

(5) 全地球を 20km のメッシュで覆う超高解像度大気モデルを用い、現在と 21 世紀末の海面水温のもとで気象のシミュレーションを各 20 年間分実行した<sup>[5]</sup>。温暖化時と現在とで台風(熱帯低気圧)を比べると、発生数は減ると予測された。しかし、最大風速を調べると、弱い熱帯低気圧の数が減る一方、45 m/s 以上の中心風速の強いものは増え、温暖化世界での最大級の熱帯低気圧は、現在の最大級のものより風速で 15%ほど強い、との結果が得られた(図 7)。

上記(3), (4), (5)に記したような詳しい計算は地球シミュレータを使った日本の研究陣のみが行い得たもので、IPCC 報告で重要な役割を果たしている。半径 100km 程度の熱帯低気圧について中心気圧とか最大風速を調べるには、少なくとも 50km のメッシュが必要であるが、実際の地球の条件で行った数値実験は上記のものが最初で唯一である。

#### 4. 気候変動の世紀

海洋では、海水位上昇ばかりでなく海流や極域の氷にも重大な変化が起こる。北大西洋にはメキシコ湾から流れて来る暖流があり、そのお陰でヨーロッパは温暖な気候に恵まれているのだが、この暖流が温暖化に伴い著しく弱まる恐れがあり、問題となって来た。最近の計算では、暖流は 30% 程度弱まるものの、一時心配された暖流の完全な停止は起こらない、との結果が得られている。北極海では夏季に限ると海氷面積はすでに 10%以上減少している。21 世紀の後半になると、冬に氷はできるものの夏はほとんど氷のない海になると予測されている。ちなみに、周辺国では、将来北極海を通る航路が開ける可能性が検討されている。

人間の生活や産業は気候が変わらないことを前提に成り立っている。北極航路のようにプラス効果もあるが全体としては気候の急激な変化がマイナスの影響をもたらす可能性は容易に想像できよう。同様に自然の生態系への影響も心配される。二酸化炭素排出の削減が待ったなしの課題であることは言うまでもない。しかし、しばらくは二酸化炭素増加は続き、相当程度の温暖化と気候変化は避けられないと思われる。1 万年前の最終氷期終了以来続いて来た安定した気候とは異なり、21 世紀は気候変動の世紀となるであろう。

#### 参考文献

- [1] IPCC WGI AR4, IPCC 第 4 次報告書第 1 作業部会報告書・政策決定者向け要約、気象庁翻訳 (2007) <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>
- [2] IPCC WGI TAR, *Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of WGI to the Third Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press (2001).
- [3] 東京大学気候システム研究センターほか、高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究、平成 16 年度成果報告書、文部科学省研究開発局 (2005)
- [4] Kimoto, M., et al., Project changes in precipitation characteristics around Japan under the global warming, SOLA, 1, (2005) 85-88
- [5] Oouchi, K., et al., Tropical cyclone climatology in a global warming climate as simulated in a 20km-mesh global atmospheric model, J. Meteor. Soc. Jpn., 84, (2006), 259

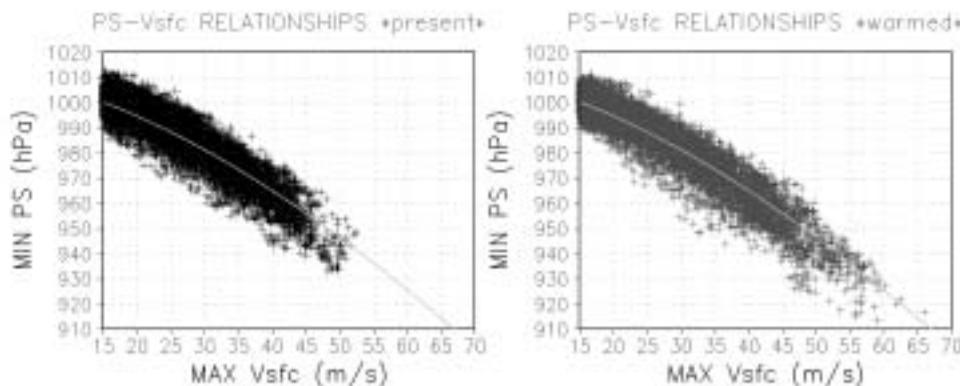


図7 現在気候(左)と21世紀末高温気候(右)のもとでの各20年間に発生した熱帯低気圧の最大風速(横軸)と中心気圧(縦軸)の関係の散布図。細線は観測から得られた経験的関係<sup>[5]</sup>。

## 越境大気汚染の日本への影響

*Impacts of transboundary air pollution on air quality in Japan*

大原 利眞（国立環境研究所）

Toshimasa OHARA (National Institute for Environmental Studies)

e-mail: [tohara@nies.go.jp](mailto:tohara@nies.go.jp)

### 1. はじめに

アジア地域では、火力発電所・工場・自動車等による石炭・石油などの化石燃料の燃焼、家庭での木炭燃焼、農業残渣物の屋外焼却や焼き畑・森林火災などの多様な発生源から、窒素酸化物(NOx)や硫黄酸化物(SOx)、揮発性有機化合物(VOC)をはじめとする様々な汚染物質が大量に大気中に放出されている。このような大気汚染物質の排出量は、燃料消費の増大に従って1980年代後半から急増しており、酸性雨、エアロゾルや光化学オゾンの増加などの環境問題を引き起こしている。なかでも中国やインドをはじめとするアジアの発展途上国では今後も著しい経済成長が予想され、問題が一層深刻化して、健康や食糧生産、生態系に影響を及ぼすことが懸念される。また、大気汚染物質は、地球大気の大気放射のバランスにも影響を与え、気候変動の一因にもなる。

一方、アジア大陸の風下に位置する日本には、大気汚染が深刻な中国などから大量の汚染物質が

流れ込んでおり、その越境大気汚染の影響が問題となっている。本稿では、光化学オゾンと酸性物質(酸性雨)を対象として、アジア大陸(主として中国)からの越境汚染に関するモデル解析結果について紹介する。

### 2. アジアにおける大気汚染排出量の増加

#### 2.1 現状とトレンド

国立環境研究所、海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター、九州大学などは共同して、アジア地域における多種類の大気汚染物質の排出量を1980～2020年について算定し、アジア域排出インベントリ REAS (Regional Emission inventory in Asia) を開発した[1]。REASは、アジア各国の燃料消費量や工業生産量、自動車走行量、人口などの統計データ、排出係数(排出原単位)、排出規制動向などのデータをもとに、人間活動によって発生する大気汚染物質の排出量を計算したものである。図1は、1980年と2000年における

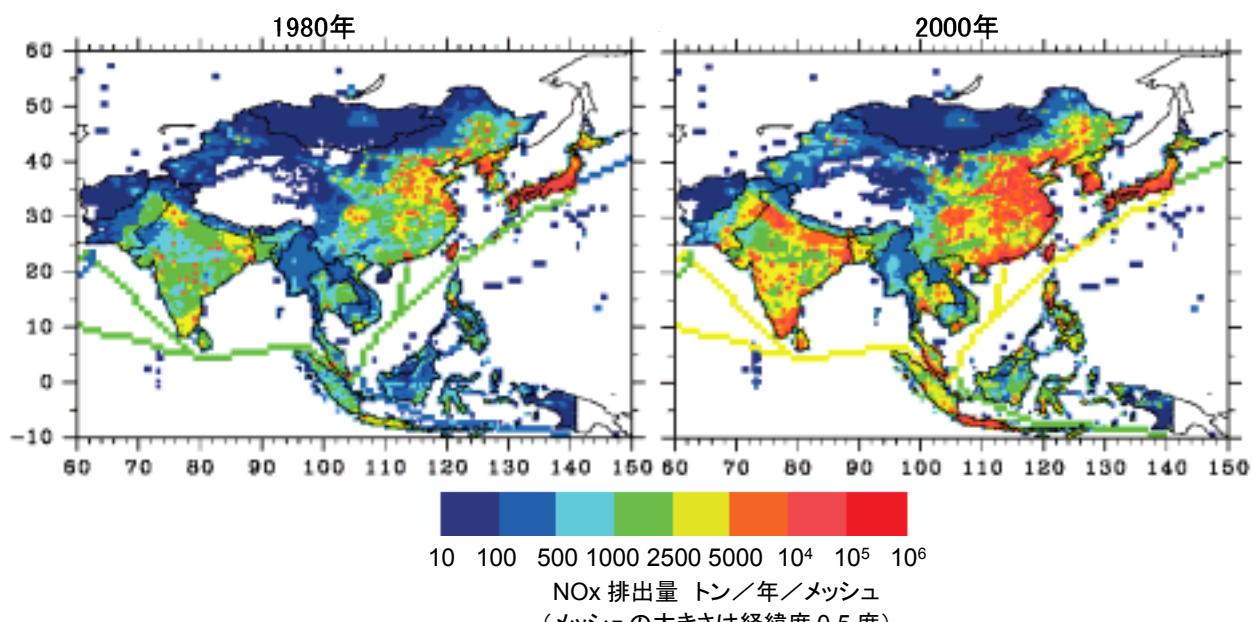


図1 1980年、2000年のNOx排出量分布

NOx の年間排出量の地域分布を示す。2000 年におけるアジア全体の NOx 排出量は年間 2,730 万トンで、中国（65 %）とインド（17 %）の排出量が非常に多く、最大の排出国である中国では、石炭火力発電所(34%)、工場等の石炭燃焼(25%)、自動車等の石油燃焼(25%)が大きな割合を占めている。また、NOx 排出量は 1980 年から 2000 年の間に大幅に増加していることがわかる。図 2 は、NOx の 1980～2003 年の地域別排出量の経年変化を示す。アジア全体の燃料消費量がこの四半世紀で 2.3 倍に増加したことに伴い、NOx 排出量も 2.8 倍に増加している。中でも、中国における増加は約 4 倍（平均年率 6%）と非常に大きく、特に、2000 年以降は過去最高となっている（3 年間で 1.3 倍）。このような最近の増加傾向は衛星観測データによって検証されている[2]。

## 2.2 将来予測

REAS では、将来の排出シナリオを設定し、2010 年と 2020 年の将来排出量も予測した。特に中国については、将来のエネルギー消費と環境対策の動向を考慮して、現状推移型（燃料消費や環境対策が現状のまま推移し排出量が最も増加するシナリオ）、持続可能型（エネルギー対策や環境対策を適度に進めたシナリオ。排出量は 3 種類のシナリオの中位）、対策強化型（エネルギー対策や環境対策を強力に進めることにより、排出量が最も少ないシナリオ）の 3 種類のシナリオを設定した。その結果によると、2020 年における中国の NOx 排出量は、持続可能型と現状推移型では、2000 年に較べて、それぞれ、1.4 倍、2.3 倍に増加する。一方、対策強化型では、2000 年レベルに比べ、わずかで

はあるが減少する。しかし、2000 年以降の排出量や燃料消費量の増加傾向や衛星観測結果などから判断すると、現在の NOx 排出量は既に現状推移型シナリオの 2010 年予測値付近まで達していると考えられる。このことから、2020 年には現状推移型シナリオの予測値を凌駕するような NOx が排出される可能性がある。

## 3. 光化学オゾンの越境汚染

### 3.1 光化学オゾンの増加

光化学オゾン( $O_3$ )は、NOx と VOC の光化学反応によって生成する。光化学オゾンは、喘息などの健康影響、農作物や森林などの生育阻害、大気放射への影響などもたらす。同時に、硝酸塩や硫酸塩などの酸性物質やエアロゾルの生成にも関係する。光化学反応によって生成される酸化性物質が光化学オキシダント(Ox)であり光化学スモッグの指標とされているが、この光化学 Ox の大部分はオゾンである。

日本の光化学 Ox 濃度は上昇している。図 3 は国内の大気汚染測定局で測定された光化学 Ox の経年変化を示すが、1985～2004 年度の 20 年間に約 0.25 ppb/年(1%/年)の割合で増加している[3]。このように光化学 Ox が上昇しているのに対して、その原因物質である NOx と VOC は減少している。図 3 には、全国の大気汚染測定局で測定された NOx と非メタン炭化水素 (NMHC; VOC の類似物質とみなせる) の濃度の変化も併せて示すが、これらの物質は発生源規制等により経年的に減少している。さらに、わが国における光化学スモッグ注意報（光化学 Ox 濃度が 120 ppb を継続して超

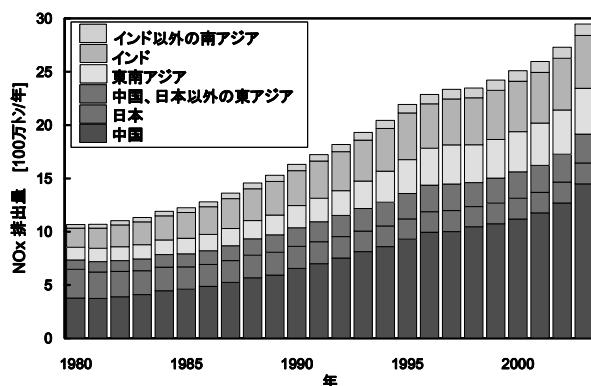


図 2 1980～2003年の地域別NOx排出量の経年変化

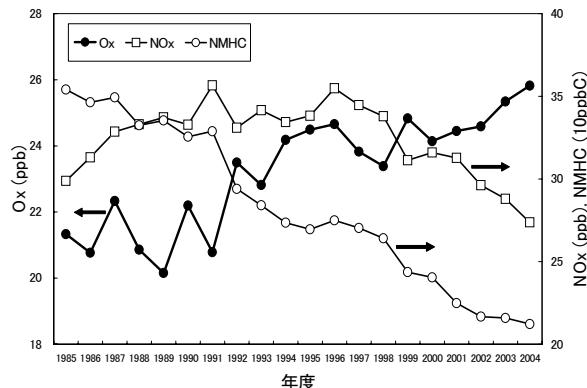


図3 全国の大気汚染測定局における年平均濃度の経年変化

過すると判断される場合に発令される）を発令した都道府県数は、2006年には25都道府県に達し、観測史上最大の数となった。更に、2007年はその数を上回っており、汚染が広域化していることを示している。特に、2007年5月8日から9日にかけて、九州から西日本を中心とする広い範囲で光化学スモッグ注意報が発令され、近くに大きな発生源が無い九州北部の離島でも光化学Oxが高濃度となり、大きな社会問題となった。さらに、国内の清浄地域の観測地点でも、2000年から2005年の間に数ppb～10ppb程度のオゾン濃度の上昇が観測されている[4]。

何故、原因物質が低減しているのに、光化学オゾンが増加しているのであろうか？何故、発生源が近くにない地域でもオゾンが上昇し、汚染が広域化しているのであろうか？これには様々な要因が考えられるが[5]、以下において、大気汚染排出量が急増しているアジア大陸からの越境汚染による可能性が非常に高いことを示す。

### 3.2 光化学オゾンのモデルシミュレーション

国立環境研究所、九州大学応用力学研究所、海洋研究開発機構などの共同研究グループでは、対流圏化学輸送モデル（シミュレーションモデル）を用いて、アジア域における光化学オゾンのシミュレーション研究を進めている。大陸で排出されたNOxやVOCは光化学オゾンを生成し、それが

長距離輸送され、アジア大陸の風下に位置する日本などに越境汚染を引き起こすと考えられる。

図4には、光化学Oxが全国的に高濃度となつた2007年5月上旬の地上オゾン濃度分布を示す（モデルによるシミュレーション結果。図中の矢印は風を示す）。東シナ海に位置する高気圧の北側の西風で、中国東岸から流れ出した汚染気塊が、朝鮮半島南部を経て、九州北部から東日本の広い範囲に高濃度のオゾン域を形成する様子が表現されている。形成された高濃度の汚染気塊は、スケールが東西500kmを越えるもので、中国国内の汚染物質のみでなく、韓国や日本国内の寄与も受けていると考えられる。そのうち、中国からの越境大気汚染の影響は最大で数10%程度と見積もられる。また、別のモデル計算結果によると、地上オゾンの2000年4月平均濃度は、本州を含む日本海周辺地域の広い範囲で環境基準60ppbを超過しており、そのうちの10-20%程度が中国・韓国起源であることが判明している[6]。これらの結果は、東アジア域での人間活動に伴って排出されたNOxとVOCが大気中の光化学反応を経てオゾンを生成し、我が国の大気環境に大きなインパクトを与えていていることを意味している。

図5は、1980～2003年のアジア域排出インベントリREASを使ってシミュレーション計算された日本の地上オゾン濃度の経年変化を示す[7]。モデ

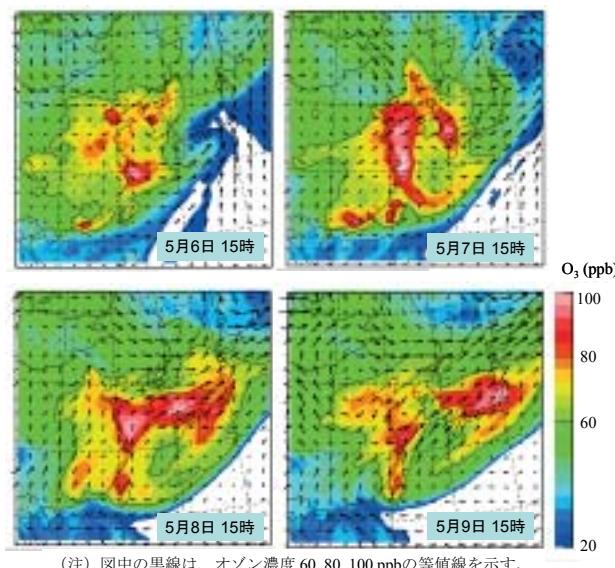


図4 2007年5月6～9日の地上オゾン濃度分布。  
図中の矢印は地上風を示す。

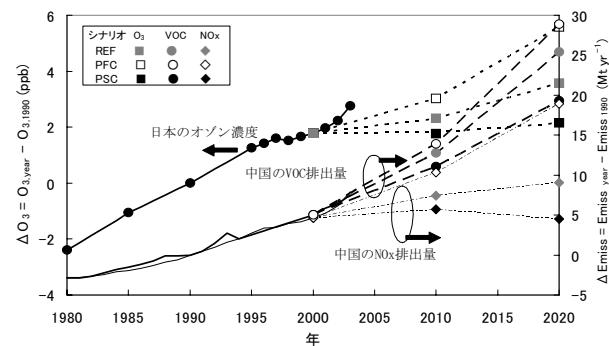


図5 日本の地上オゾン濃度（シミュレーション結果）と中国におけるNOx, VOC排出量の経年変化。 $\Delta O_3$ は各年と1990年の日本の地上オゾン平均濃度の差、 $\Delta Emiss$ は各年と1990年の中国排出量(NOxとVOC)の差をそれぞれ示す。  
REF, PFC, PSCはそれぞれ、持続可能型、現状推移型、対策強化型の排出シナリオを示す。

ルで計算されたオゾン濃度は、1980年から2003年において約0.22ppb/年の割合で上昇しており、図3で示した観測結果とほぼ一致する。また、図5には、中国におけるNOxとVOCの人為起源排出量の経年変化も併せて示す。この図から明らかなように、日本の地上オゾン濃度と中国の排出量の増加傾向は非常に類似している。シミュレーション結果では、中国国内でのNOxの排出総量が年間100万トン増加すると北京・華北平原から上海にかけて地表オゾンの年間平均濃度は1ppb増加し、夏季の平均濃度は1996年間から2003年に約8ppb増加することが示されている。また、風下に位置する日本の増加率は中国の30-50%程度であるが、確実にオゾン濃度の増加がもたらされている。これらのことから、中国国内での排出量の増加によってアジア大陸で生成されるオゾンが増加し、これが日本に越境輸送された結果、日本の地上オゾンが上昇したことを強く示唆している。

### 3.3 光化学オゾンの将来予測

それでは、将来、オゾン濃度はどの程度増加するのであろうか？図6には、2000年と2020年の持続可能型シナリオと現状推移型シナリオの排出量を用いてシミュレートされた地上オゾンの年平均濃度分布を示す[8]。2020年持続可能型シナリオでのオゾン濃度上昇量は、中国国内(10-15ppb)、東シナ海から西日本(4ppb強)、関東地域(3ppb)と予測され、九州から西日本の日本海側では年平均濃度でも環境基準の60ppbに近いことが判る。また、九州では、オゾン濃度が環境基準を超過する時間割合は2000年の25%から2020年には32%に

増加する。現状推移型シナリオの場合には、更に、東アジアの広い地域でオゾン濃度が急激に上昇する。日本への影響も増大し、西日本一帯で年平均濃度が環境基準レベルに近づき、九州における環境基準超過率は約40%にも達する。このように、近い将来、越境汚染によって日本のオゾン濃度が高くなる危険性が高い。前述したような光化学オゾンの上昇を示す観測事実は、このような越境汚染の影響が既に増大しつつあることを示すものである。

### 4. 酸性物質の越境汚染

大気中に放出されたSO<sub>x</sub>、NOxが大気中で酸化され硫酸や硝酸になり、最終的には、降水に溶解したり、エアロゾルやガスのままの状態で地表面に沈着する。これが、いわゆる「酸性雨」である。

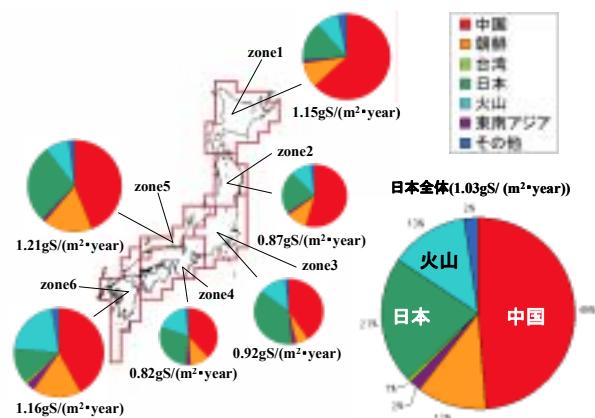


図7 硫酸沈着量の発生源地域別割合（1995年）

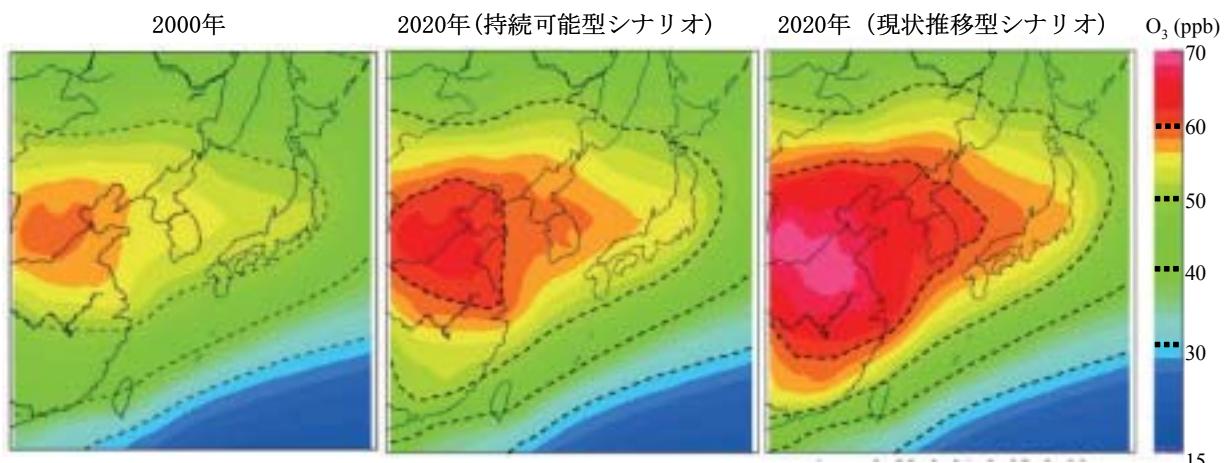


図6 シミュレーションされた2000年と2020年の排出シナリオ別の地上オゾン年平均濃度。破線は30, 40, 50, 60 ppbのオゾン濃度を示す。

ここでは、酸性物質の越境汚染について簡単に紹介する。

図7は、シミュレーション結果により得られた日本の硫酸沈着量の発生源地域別割合を示す[9]。全国の沈着量の発生源地域別割合は、中国が49%と最も多く、次いで日本21%，火山13%，朝鮮半島12%の順となっている。このように、日本における沈着量のうち半分は中国からの寄与であり、中でも中国華北の寄与が20%と高い。また、日本と同様に、朝鮮半島においても中国からの寄与が52%と高い。次に、日本国内を地域別に見ると、北海道や東北では中国からの寄与率がそれぞれ63%，54%と高く半分以上の寄与を占める。また、発生源地域を含む中部・関東や中国・四国・近畿では自国の寄与が高く、その寄与率は36%と28%である。一方、九州や中国・四国・近畿では桜島等の九州の活火山の影響を受けるため火山の寄与が高く、その寄与率は約20%である。

### 5. おわりに

以上、見てきたように、日本の大気環境は、中国等のアジア大陸からの越境汚染の影響を強く受けていると考えられるが、未知の問題・課題も残されており、また、国際的な共通理解も充分には得られてないことから、さらに越境大気汚染に関する科学的な知見を集積することが重要である。同時に、東アジア地域における大気環境対策を強化することが重要であり、そのためには、東アジア諸国の政策担当者と科学者が連携し、欧米の越境大気汚染条約のような国際的な政策・対策の立案・実行に向けて、具体的な一步を踏み出す必要があろう。

### 参考文献

- [1] Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., Horii, N., Yamaji, K., Yan, X. and Hayasaka, T., An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020, *Atmos. Chem. and Phys.*, **7** (2007) 4419.
- [2] Akimoto, H., Ohara, T., Kurokawa, J. and Horii, N., Verification of energy consumption in China during 1996–2003 by satellite observation, *Atmos. Environ.*, **40** (2006) 7663.
- [3] 大原利眞編, 日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究, 国立環境研究所研究報告第195号 (R-195-2007) (2007).
- [4] 大原利眞, 坂田智之, 光化学オキシダントの全国的な経年変動に関する研究, 大気環境学会誌, **38** (2003) 47.
- [5] <http://www.adorc.gr.jp/adorejp/>
- [6] Tanimoto, H., Sawa, Y., Matsueda, H., Uno, I., Ohara, T., Yamaji, K., Kurokawa, J. and Yonemura, S., Significant latitudinal gradient in the surface ozone spring maximum over East Asia, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L21805, doi:10.1029/2005GL023514 (2005).
- [7] Uno, I., Ohara, T., Yamaji, K. and Kurokawa, J., Recent trends and projections in Asian air pollution, *Journal of Disaster Research*, **2** (2007) 163.
- [8] Yamaji, K., Ohara, T., Uno, I., Kurokawa, J. and Akimoto, H., Future Prediction of Surface Ozone over East Asia using the Models-3 Community Multi-scale Air Quality Modeling System (CMAQ) and the Regional Emission Inventory in Asia (REAS), *J. Geophys. Res.*, 2007. (投稿中)
- [9] 片山 学, 大原利眞, 村野健太郎, 東アジアにおける硫黄化合物のソース・リセプター解析 - 地域気象モデルと結合した物質輸送モデルによるシミュレーション -, 大気環境学会誌, **39** (2004) 200.

## 都市環境の数値解析

### Numerical Simulation of Urban Environment

足永 靖信（独立行政法人建築研究所）

Yasunobu ASHIE (Building Research Institute)

e-mail: ashie@kenken.go.jp

#### 1. はじめに

夏、街路で気温を計測したことがある。目の前を車が走り過ぎると、気温の計測値がにわかに3~4°Cも上昇したことを覚えている。高温の排気ガスの影響を受けたらしい。

都市には様々な熱源が存在する。オフィス空間は空調されているが、屋上の室外機を介して室内で発生した膨大な熱が捨てられている。空調システムがもたらす室内の涼しさは屋外への放熱無しに成立しない。

都市の人工的な被覆も都市特有の熱源である。アスファルト、コンクリートの表面温度は日中50~60°Cにもなり、緑地と比べて温度上昇が著しい。都心には人工的な被覆が集中しており、それが夜間になんでもなかなか冷えないため、熱帯夜発生の原因と考えられている。

風通しが悪くなると熱がこもりやすくなる。都市域にはたくさんの建物が存在しており、都市を俯瞰すると粗度が大きいということになる。そのため、地上付近の風速が落ちて上空との換気が行われにくくなる可能性がある。図1は都市における気温上昇の要因を表したものである。

気温の観測データに基づいて20世紀の気温変化が調べられている[1]。東京等の大都市では約2~3°Cの上昇傾向が見られるのに対して、日本の中小都市約1°C、地球全体0.6~0.7°Cの温度上昇にとどまる。都市の暑熱化は、地球全体から見て際だったものになっており、これを抑制するには、都市域においてヒートアイランド対策を講じる必要がある。

ヒートアイランド対策に最も有効と思われる方法は熱の発生量を減らすことである。具体的には人工排熱を削減したり、表面温度が上がりにくい材料を用いたりすることである。巷にはヒートアイランド対策を銘打った製品がたくさん存在している。遮熱性塗料や保水性建材等がそれにあたる。

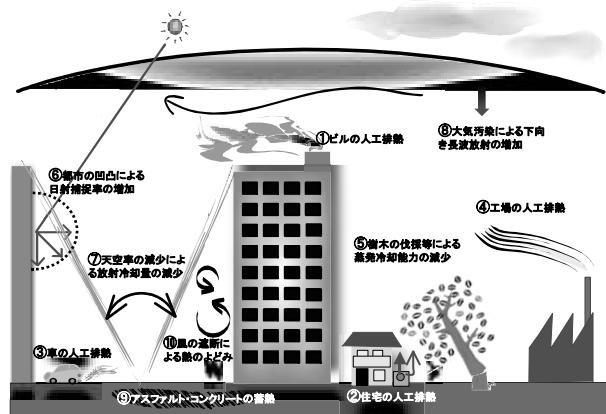


図1 都市における気温上昇の要因

国、自治体は建築物の設計に際して、人工排熱や被覆の対策を点数化して設計者に明示する支援システムを開発し、建築物のヒートアイランド対策を推奨している。[2-3]。また、打ち水運動のように市民参加による夏のイベントも見られるようになってきている。

こういった環境負荷低減の努力を継続・集積していくけば、都市環境は改善されると私達は期待している。ここで気になる点がある。局所的な表面温度の低下が見られた場合、それが都市全体の気温低下にどの程度寄与するのであろうか。ヒートアイランド対策のリアリティを実感することは結構難しいのである。

筆者らは、スーパーコンピュータを用いた都市環境の大規模数値解析技術の開発に取り組んでいる。ヒートアイランド対策の効果として、都市空間の熱環境がどの程度緩和されるかを科学的に解明することが目的である。街路形態やその都市が存在する地域の気候特性を考慮して、ある程度の空間的な広がりを持たせて分析するといろいろなことが分かってくる。都市の風の道はその一つである。本稿ではその概要を述べる。

## 2. CFD 解析モデル

### 2.1 温位

解析領域は鉛直方向数百 m に及び、大気のエネルギー量が一定であっても気温が数°Cの変化を来すため、圧力影響は無視出来ないと考えられる。そこで、温度で表現したエネルギー輸送方程式を、圧力を含む形式に一旦書き換えた上で、エクスナ一関数を適用することにより、温位によるエネルギー輸送方程式の定式化を行う。

温位  $\theta$  とは、気圧  $p$ 、温度  $T$  の状態にある空気塊を断熱的に気圧  $p_0$  まで移動させた時の温度である。

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (1)$$

ここで、 $\theta$  : 温位[K],  $T$  : 気温[K],  $p$  : 圧力[Pa],  $R$  : 気体定数[Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>],  $C_p$  : 定圧比熱[Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]である。エクスナ一関数  $P$  は次式で表される。

$$P = \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (2)$$

式(1)、式(2)より次式が成立する。

$$\frac{dT}{T} = \frac{dP}{P} + \frac{d\theta}{\theta} = \frac{R}{C_p} \frac{dp}{p} + \frac{d\theta}{\theta} \quad (3)$$

熱力学第一法則は次式で表される。

$$\rho C_p dT - dp = 0 \quad (4)$$

したがって、以下の関係が成り立つ。

$$\rho C_p P d\theta = 0 \quad (5)$$

式(5)をエネルギー輸送方程式に適用し、温位を用いた数式を得る。

$$PC_p \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\rho\theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho\theta u_j) \right] = Diff + Source \quad (6)$$

### 2.2 コリオリ力

回転座標系上で移動した際には移動方向と垂直な方向に移動速度に比例した大きさで慣性力を受ける。これはコリオリ力とも呼ばれ、次式で表される。

$$F_c = \rho f \varepsilon_{ijk} u_k \quad (7)$$

ここで、 $F_c$  : コリオリ力[kgm<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup>],  $f$  : コリオリパラメータ[s<sup>-1</sup>],  $\rho$  : 密度[kgm<sup>-3</sup>],  $\varepsilon_{ijk}$  : エディントンのイプシロン[-],  $u$  : 速度[ms<sup>-1</sup>]である。建築、街区スケールの CFD 解析ではこの効果は無視されることが多いが、今回の解析領域は都市スケールであることからコリオリ力を考慮する。

### 2.3 水蒸気による浮力効果

気体各成分について理想気体の状態方程式は次式で表される。

$$p_a = \frac{\rho_a R_0 T}{M_a} \quad (\text{乾燥空気}) \quad (8)$$

$$p - p_a = \frac{(\rho - \rho_a) R_0 T}{M_v} \quad (\text{水蒸気}) \quad (9)$$

ここで、 $M$  : 分子量[kg mol<sup>-1</sup>],  $R_0$  : 普遍気体定数[J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]である。

$$p = \rho [(1-q)/M_a + q/M_v] R_0 T \\ = \rho R T \quad (10)$$

ここで、 $R$  : 混合気体の気体定数[J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]である。エネルギー式から気温  $T$ 、水蒸気の質量保存式から比湿  $q$ 、連続式から導出される圧力のポアソン方程式から気圧  $p$  がそれぞれ計算されるので、これらを(10)式に代入すると密度  $\rho$  が得られる。密度  $\rho$  は運動方程式の浮力項に反映される。

物理量  $f$  のアンサンブル平均  $\bar{f}$  からの変動を  $f'$ 、Favre 平均  $\tilde{f}$  からの変動を  $f''$  で表す。

$$f = \bar{f} + f' \quad (11)$$

$$f = \tilde{f} + f'' \quad (12)$$

これらの変動は以下の性質を有する。

$$\overline{f'} = 0, \quad \overline{f''} \neq 0, \quad \overline{\rho f''} = 0 \quad (13)$$

低 Mach 数流れの場合、圧力変動が密度変動に与える影響は微小と見なせるので

$$\bar{\rho} \tilde{R} \theta'' + \bar{\rho} R'' \tilde{\theta} + \rho' \tilde{R} \tilde{\theta} \approx 0 \quad (14)$$

混合気体の気体定数  $R$  は次のように表すことが出来る。

$$R = \sum_s \frac{R_0}{M_s} Y_s \quad (15)$$

ここで、  $Y_s$  : 気体成分  $s$  の質量分率 [ $\text{kg kg}^{-1}$ ]、  $M_s$  : 気体成分  $s$  の分子量 [ $\text{kg mol}^{-1}$ ] である。

混合気体の気体定数  $R$  の Favre 平均とそれからの変動は次式で表される。

$$\tilde{R} = \sum_s \frac{R_0}{M_s} \tilde{Y}_s, \quad R'' = \sum_s \frac{R_0}{M_s} Y_s'' \quad (16)$$

式(16)に  $g_i u_i''$  を掛けアンサンブル平均を取ると、浮力による乱流エネルギーの生成項は以下に示される。

$$\begin{aligned} g_i \overline{\rho' u_i''} &\approx -g_i \frac{\bar{\rho}}{\theta} \overline{\theta' u_i''} - g_i \frac{\bar{\rho}}{\bar{R}} \sum_s \frac{R_0}{M_s} \overline{Y_s'' u_i''} \\ &\approx \frac{\mu_T}{\Pr_T} \frac{g_i}{\theta} \frac{\partial \tilde{\theta}}{\partial x_i} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \frac{g_i}{\bar{R}} \sum_s \frac{R_0}{M_s} \frac{\partial \tilde{Y}_s}{\partial x_i} \end{aligned} \quad (17)$$

式(17)の右辺第 1 項が温位による乱れ生成項、第 2 項が湿気による乱れ生成項である。

## 2.4 基礎方程式

図 2 に基礎方程式および諸定数を示す。圧縮性流体の方程式系とする。乱流モデルは標準  $k-\varepsilon$  モデルとし、コリオリ力、温位を考慮すると共に乱流エネルギーの生成として湿気の浮力影響を加味した。物体認識は FAVOR 法を適用した[4]。樹木については、吉田らによる樹木の抗力モデル[5]を導入し、樹木のモデルパラメータは岩田らの設定値を用いた[6]。

## 2.5 離散化および計算スキーム

座標系は水平方向に 5m 等間隔、鉛直方向に 1 ~10m の不等間隔の 3 次元直交格子を採用する。離散化は有限差分法を用いスタガード格子を採用する。移流項は 1 次精度の風上差分、拡散項は 2 次精度の中心差分により離散化し、時間積分には完全陰解法を用いる。圧力のポアソン方程式および後退差分式の行列解法には AMG(Algebraic Multigrid)法[7]を適用した。

解析プログラムは地球シミュレータ上に構築し

た。120 ノード解析で、ベクトル化率 98.801%，並列化効率 63.06%，ピーク性能 20.3% である。

### 【連続の式】

$$G_p \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho u_j) = 0$$

### 【運動方程式】

$$G_p \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho u_i u_j) = -G_V \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_A (\mu + \mu_T) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + G_V \rho g_i + G_V \rho F_i + G_V \rho f \epsilon_{ijk} u_k$$

### 【エネルギー輸送方程式】

$$C_p \left[ G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho \theta u_j) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_A \left( \lambda + \frac{C_\mu \mu_T}{\Pr_T} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{P} \left[ \sum S_q F_q + Q_s \right]$$

### 【水蒸気輸送方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho q) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho q u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_A \left( \frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial q}{\partial x_j} \right] + \left( \sum \frac{S_q F_q}{V} + \frac{Q_s}{\ell} \right)$$

### 【乱流エネルギー輸送方程式】

$$G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_A \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_e} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_V (P_k + G_k - \rho \varepsilon + \rho F_k)$$

### 【乱流エネルギー散逸率輸送方程式】

$$\begin{aligned} G_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_A \rho \varepsilon u_j) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_A \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_e} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_V \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k + C_{\varepsilon 3} G_k \\ &- C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{\rho \varepsilon} \rho F_k) \\ \text{ここで } F_i &= a C_d u_i \sqrt{u^2}, \quad F_k = a C_d \left( \sqrt{u^2} \right)^3, \quad \mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \\ P_k &= \left[ \mu_T \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad G_k = \frac{\mu_T}{\Pr_T} \frac{g_i}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \frac{g_i}{R} \left( \frac{R_0}{M_v} - \frac{R_0}{M_a} \right) \frac{\partial q}{\partial x_i} \end{aligned}$$

### (記号)

$a$  : 葉面積密度 ( $= 1.5 [\text{m}^2 \text{m}^{-3}]$ )、  $C_d$  : 樹冠の抵抗係数 ( $= 0.2$ ) [-]、  $C_p$  : 定圧比熱 [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]、  $F_q$  : 湿気流束 [ $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]、  $F_k$  : 対流顕熱流束 [ $\text{W m}^{-2}$ ]、  $f$  : コリオリパラメータ ( $f = -2 \Omega \sin \phi$ 、  $\Omega$  : 角速度 [ $\text{rad s}^{-1}$ ]、  $\phi$  : 緯度 [ $\text{rad}$ ]) [ $\text{s}^{-1}$ ]、  $g$  : 重力加速度 [ $\text{ms}^{-2}$ ]、  $G_A$  : 計算格子界面での面積開口率 [-]、  $G_V$  : 計算格子中心での体積占有率 [-]、  $k$  : 乱流エネルギー [ $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ]、  $\ell$  : 水の蒸発潜熱 [ $\text{J kg}^{-1}$ ]、  $M_a$  : 乾燥空気の分子量 [ $\text{kg mol}^{-1}$ ]、  $M_v$  : 水蒸気の分子量 [ $\text{kg mol}^{-1}$ ]、  $P$  : 気圧 [Pa]、  $P$  : Exner 関数 [-]、  $\Pr_T$  : 乱流 Prandtl 数 [-]、  $q$  : 比湿 [ $\text{kg kg}^{-1}$ ]、  $Q_s$  : 人工潜熱 (潜熱) [ $\text{W m}^{-3}$ ]、  $R$  : 気体定数 [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]、  $R_0$  : 普通気体定数 [ $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]、  $Sc$  : Schmidt 数 ( $= 0.5$ ) [-]、  $Sc_T$  : 乱流 Schmidt 数 ( $= 0.9$ ) [-]、  $S_q$  : 対流顕熱の放出面積 [ $\text{m}^2$ ]、  $S_q$  : 湿気の放出面積 [ $\text{m}^2$ ]、  $T$  : 気温 [K]、  $u_j$  : 風速の  $j$  成分 [ $\text{ms}^{-1}$ ]、  $V$  : 解析セルの体積 [ $\text{m}^3$ ]、  $\varepsilon$  : 乱流エネルギー散逸率 [ $\text{m}^2 \text{s}^{-3}$ ]、  $\varepsilon_3$  : エディントンのイブシヨン [-]、  $\theta$  : 温位 [K]、  $\lambda$  : 空気の熱伝導率 [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]、  $\mu$  : 空気の粘性係数 [ $\text{Pa s}$ ]、  $\mu_T$  : 乱流粘性係数 [ $\text{Pa s}$ ]、  $\rho$  : 密度 [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

### (定数)

$$\sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3, \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad C_{\varepsilon 2} = 1.3, \quad C_{\varepsilon 3} = C_{\varepsilon 1} \quad (G_k \geq 0), \quad C_{\rho \varepsilon} = 0 \quad (G_k < 0), \\ C_{\rho \varepsilon 1} : \varepsilon \text{ 方程式の樹木抵抗項にかかる補正係数 } (= 1.8)$$

図 2 基礎方程式

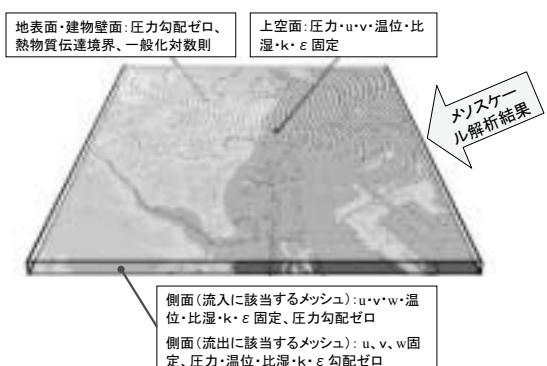


図 3 CFD 解析領域 (10km 四方)

### 3. 大規模数値解析の入力データ整備

#### 3.1 解析対象

解析対象は東京都心臨海部の 10km 四方である。図 3 に解析対象の標高を示す。計算安定のため 1,000m 幅の袖領域を含む水平 12km 四方、高さ 500m の解析領域を設定した。袖領域を含む総メッシュ数は 5.76 億である。解析領域の上面、側面においてメソスケール解析の結果を境界条件として取り込む。

#### 3.2 解析日時

解析日時は 2005 年 7 月 31 日の 14 時である。この時期とした理由は、熱環境が最も厳しい夏季日中を想定することと、この時期に大規模な観測が実施されており、本稿の後半において観測結果との比較を行うためである。

#### 3.3 3 次元ポーラスデータおよび土地利用

自然の地形の上に土地被覆、建物配置の情報を乗せていく、詳細に都市データを整備する。図 4 に建築土地利用データのイメージを表す。

物体認識に FAVOR 法を用いており、都市域の建物や地盤の幾何的情報を有効体積率等のポーラスデータへ変換する必要がある。国土地理院の航空機レーザー計測データを用いて建物高さを建物毎に把握し、東京都 GIS データから建物位置をポリゴンで抽出することにより各解析メッシュにおいて有効体積率および界面での面積開口率を算出した。

河川については、GIS データの用途が水面である領域を行政界内外で陸水域と海水域に分類する。陸水域の標高は直近の陸域メッシュの標高値から 3m 低い値に設定し、海水域の標高は 0m と設定する。更に陸域のうち国土地理院 5mDEM で水面に分類されている橋梁や公園緑地内の水面についても陸水域として設定する。なお、蓋掛河川については、河川上部の地表位置の標高及び土地利用を設定する。

東京都 GIS データでは、寺社等の緑地が「公共用地」と分類されていたり、「緑地」と分類されていたりする土地が樹木地なのか芝生や草地なのか区別がつかない。そこで今回は、東京都が整備している 1990 年代の現存植生デジタルデータを用いて「樹木」に分類されるデータを抽出した。



図 4 建築土地利用データのイメージ

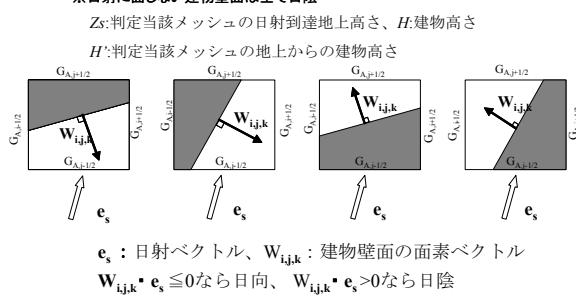
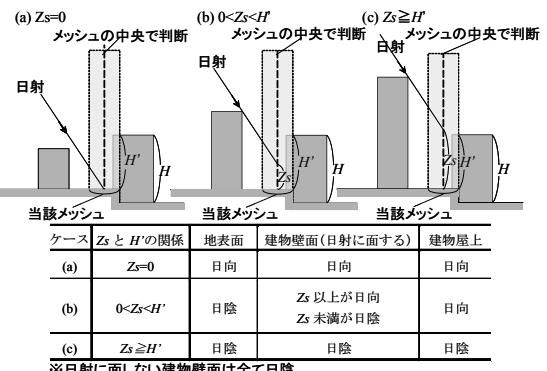


図 5 日陰域の簡易判定

用途	種熱源	細分類	排出位置(高さ※1)	備考
建物	建物(DHC供給建物)(併用含む)	壁面		
	DHC供給建物(併用含む)	屋上面		
	非住宅系建物	壁面		複数のプラントがある場合、冷熱源容量により配分
	非住宅系建物	屋上面		
事業所	DHC供給建物(換気のみ)	壁面		
	工場	屋上面(※2)		
	ボイラ	屋上面(※3)		煙突高さ等のデータが存在する場合(23箇所)
	煙突	施設(建物)高さ+10m		煙突高さ等のデータが存在する場合(23箇所)
自動車(※6)	清掃工場・火力発電所	ボイラ	屋上面	
	煙突	(絶対) 煙突高さ(※4)		煙突高さは各事業所毎に調査(※5) 煙突の平均位置は航空写真より判断
	幹線道路	高速道路	最上位の路面	複数の高架道路が交差する面は最上位の路面高さ(DRMによる)
	水面上の橋	橋上の路面		地理院DSMによる
非幹線道路	上記以外	地盤面		高架道路下の一般道、立体交差部など最下位の路面高さ(地理院5mDEMによる)
	水面の橋	橋上の路面		地理院DSMデータによる
	上記以外	地盤面		地理院5mDEMによる

※1: 屋上や壁面への配分はポーラスデータの屋上面積率や壁面面積率を活用

※2: DHC プラント設置の詳細は不明のため、施設位置の建物の屋上面とした

※3: 建物内部に放出することを避けるため、屋上面とした

※4: 煙突側壁からの熱散逸は無視した

※5: 大井火力発電所のみ煙突高さ不明→100m と仮定

※6: 路面高さが 0m 未満の場合(掘削区間等)は 0m に補正

#### 図 6 人工排熱

#### 3.4 日陰判定

図 5 に日陰域の簡易判別方法を示す。当該メッシュで日射到達高さを求め、建物高さとの関係から地表面と建物壁面・屋上面の日向・日陰判定を行う。ここで、壁面方位は建物壁面の面素ベクト

ル（面積開口率から算出）と日射ベクトルの内積関係から判別する。

### 3.5 人工排熱データの整備

人工排熱は顯熱潜熱を区別して建物、道路交通、工場の発生源毎に集計を行った。人工排熱原単位は、足永らの文献[8]および国土交通省、環境省の報告書[9]に基づき、夏季の平均的な人工排熱原単位の日変化データから、時刻 14 時のものを活用した。各メッシュに含まれている建物の屋上、壁面、路面の面積を計上し、図 6 に示す用途毎の排熱位置を考慮して 3 次元の人工排熱データをメッシュ整備した。

## 4. 計算結果

### 4.1 地上 100m の気温分布

地上 100m の気温分布を表したのが図 7 である。卓越風は南風である。超高層建物は白い枠で示す。海から市街地に向けて低温の領域が形成されていることを確認出来る。低温の領域の市街地への到達状況は場所により異なっており、超高層建物の手前までは低温になっているが、その風下領域で気温が上昇している様子が分かる。内陸に入るにつれて気温は全体的に上昇しているが、内陸に超高層建物がある場合においても、その風下領域の気温は高くなる。

### 4.2 地上 5m の気温分布

銀座・新橋周辺の気温分布を図 8 に示す。新橋、銀座の市街地では気温が高くなっているのに対して、浜離宮庭園、隅田川、日比谷公園では気温が低い。これは緑地や水面の気象緩和によるものであり、これまで様々な場所の観測で確認してきた[10]。超高層ビル群が存在する汐留地区では気温が低い。立地上、海からの低温の風が流れ込みやすく、建物の日陰効果も相まって気温が低く現れたと考えられる。

### 4.3 汐留地区における地上付近の風の流れ

汐留地区の標高 10m における風速分布について図 9 に示す。超高層ビル群は屏風状に連なって見えるが、建ぺい率は低く風が流れるスペースが存在する。超高層ビル群の敷地を通り抜けた風が、超高層ビル群の周辺を迂回する道路、線路上を流

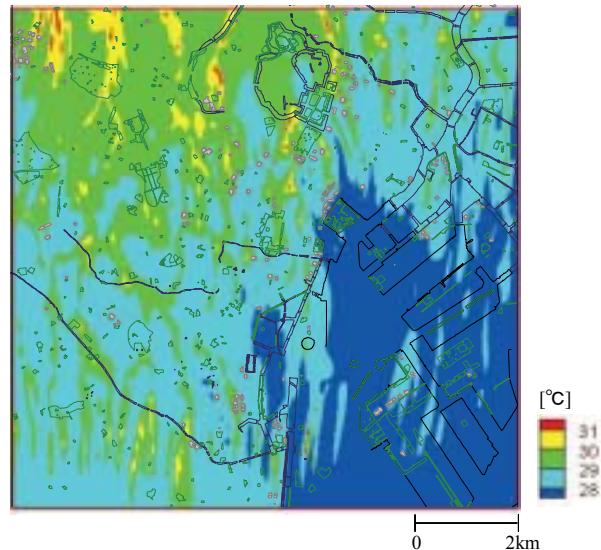


図 7 地上 100m の気温分布  
(2005 年 7 月 31 日 14 時)

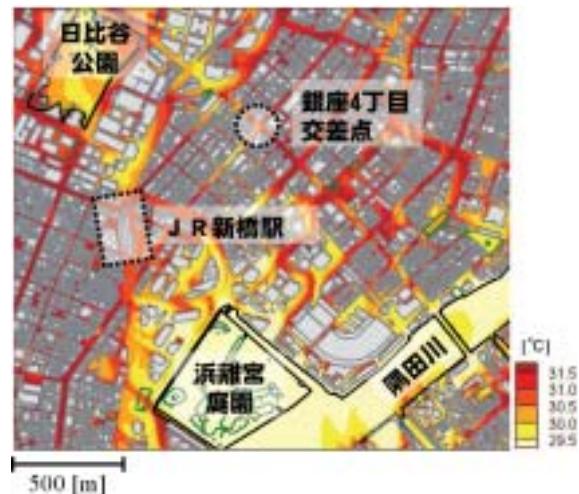


図 8 銀座、新橋周辺の地上 5m の気温分布  
(2005 年 7 月 31 日 14 時)



図 9 汐留地区周辺の気流分布  
(2005 年 7 月 31 日 14 時)

れる風と合流している様子が分かる。一方、汐留地区の風下に位置する新橋では建ぺい率が高く、風通しが十分得られていない。

高層建築物が気温に及ぼす影響は複雑であるが、かなり解明されてきたと言える。

## 5. 観測値との比較

### 5.1 観測および風洞実験

2005年夏、国土交通省により大規模な熱環境調査が東京都心臨海部で実施された[11]。幹線道路の街路灯にデータロガーを設置して数日間、気温、風向風速の同時計測が行われた。計測高さは地上3~4mである。気温計測点の総数は190である。

同研究プロジェクトにおいて2006年には、日本橋・八重洲地区を対象にして風洞実験が行われた。750分の1の縮尺で市街地模型を作成し、これを境界層風洞に設置した。そして、夏季日中の卓越風を設定することにより、地上近傍の風、229地点が計測された。

### 5.2 気温

観測点の緯度経度を数値計算のメッシュ位置と照合し、地上3.5m高さの数値解析結果と観測結果を比較した。その結果、計算領域内173箇所のRMS誤差は1.1°Cであった。都市キャノピー内の気温変動は大きいことを考慮すると、計算結果は観測結果と良く合致していると言える。

図10に観測点の配置と気温について示す。図左にはA、Bの2つのラインを航空写真上に記載している。各ラインの起点からの距離を横軸に気温の空間変動を表すグラフを図右に示す。ラインAは海岸線に平行し、ラインBは海岸線に直交する。ラインAでは、観測、計算共にラインAの6,000mの場所において最も高温になる。ラインBの場合、ラインBの1,000mの場所では気温は低く、内陸に入るにつれて高温化する傾向が見られる。ラインA、B共に新橋近傍の値が大きい。

### 5.3 風速

日本橋・八重洲地区において現場観測、風洞実験、数値計算の風速を照合したのが、図11である。現場観測、風洞実験、数値計算はお互いに異なる手法であるものの、各値の全体的な傾向は一致する。隅田川方面から八重洲通りにかけて風が流入している様子や日本橋川、永代通りに沿って

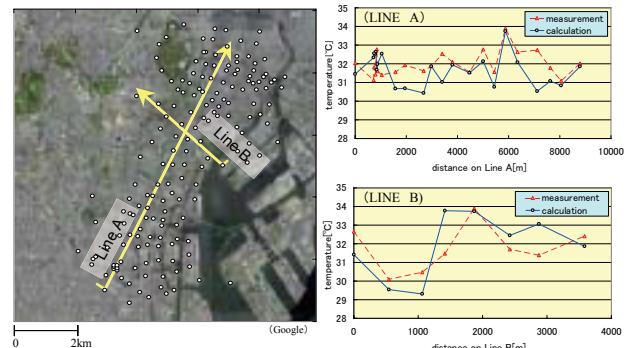


図10 気温の観測値と計算値の比較  
(2005年7月31日14時)

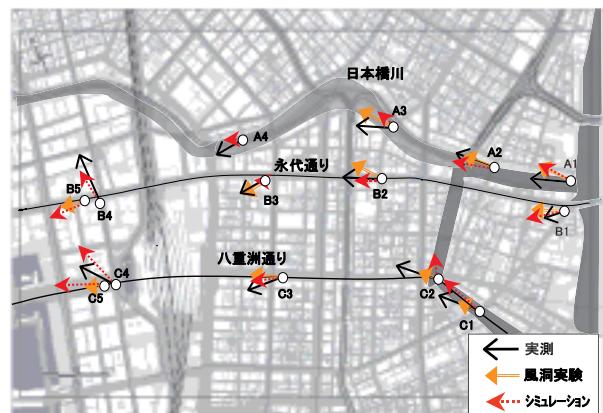


図11 現場観測、風洞実験、数値計算の比較  
(2005年7月31日12時)

風が流れる様子が分かる。B4、B5を見ると、地理的位置は近いものの、建物の影響を受けて風向は違ったものになっている。数値計算結果はそういう微妙な変化についても追随している。この計算は分解能を上げて水平1mメッシュで実施しており、更なる高分解能化が功を奏したと言える。

## 6. ヒートアイランド緩和の都市改造に向けて

都市再開発は即座にやり直しがきかない。次期の再開発の機運が熟するまで長期間待たなくてはいけないし、投資額も大きい。超高層ビル群を今更撤去することは出来ないのである。数値シミュレーションは、ヒートアイランド対策による熱環境変化の予測を可能にする。

図12は日本橋川の上空にかかる高架道路の一部を撤去した場合のシミュレーション予測結果である。図中央の立体交差から右側に位置する高架道路を地下化し、沿岸建物を低容積化した場合を想定している。高架道路の有無に関わらず、日本

橋川を遡上する風の流れが存在することが分かる。路上から見上げると空を覆い尽くすように存在する高架道路ではあるが、水平に流れる風にとって高架道路は、案外抵抗にならないのかもしれない。むしろ、建物の影響が大きい。高架道路の撤去と共に、沿岸建物の低容積化を進めると、風の流れは格段に改善する。

### 参考文献

- [1] ヒートアイランド対策関係府省連絡会議、ヒートアイランド対策大綱(2004).
- [2] 建築物総合環境性能評価システム CASBEE-HI (ヒートアイランド) 評価マニュアル 2006 年度版、財団法人建築環境・省エネルギー機構(2006).
- [3] 東京都環境局、東京都建築物環境計画書制度マニュアル・第 3 版(2005).
- [4] C. W. Hirt, Volume-fraction Techniques: Powerful Tools for Wind Engineering, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 46 & 47, (1993)327.
- [5] 吉田伸治, 大岡龍三, 持田灯, 富永禎秀, 村上周三, 樹木モデルを組み込んだ対流・放射・湿気輸送連成解析による樹木の屋外温熱環境緩和効果の検討, 日本建築学会計画系論文集, 536(2000)87.
- [6] 岩田達明, 木村敦子, 持田灯, 吉野博, 歩行者レベルの風環境予測のための植生キャノピーモデルの最適化, 第 18 回風工学シンポジウム(2004)69.



図 12 日本橋川周辺の風速分布（標高 10m）  
—高架道路撤去、沿岸建物低容積化の場合—

- [7] K. Stuben, A Review of Algebraic Multigrid, GMD Report 69(1999).
- [8] 足永靖信, 李海峰, 尹聖皖, 頭熱潜熱の違いを考慮した東京 23 区における人工排熱の排出特性に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 92(2004)121.
- [9] 国土交通省・環境省, 平成 15 年度 都市における人工排熱制御によるヒートアイランド対策調査報告書(2004).
- [10] 例えば, 成田健一, 植村明子, 三坂育正, 都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究(隅田川における熱収支と周辺影響の検討), 日本建築学会計画系論文集, 545(2001)71.
- [11] <http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm> (2007 年 8 月 20 日閲覧) .

## CO<sub>2</sub>の地中と海洋への隔離 *CO<sub>2</sub> Sequestration in Underground and Ocean*

平井 秀一郎、津島 将司（東京工業大学）

*Shuichiro HIRAI, Shoji TSUSHIMA (Tokyo Institute of Technology)*

末包 哲也（徳島大学）

*Tetsuya SUEKANE (Tokushima University)*

### 1. はじめに

大気中の CO<sub>2</sub>濃度の急速な増加により、地球温暖化が進行している事実は、連日のようにマスコミ等を通じて報道されている。CO<sub>2</sub>の排出は経済の発展に伴って増加してきたものであり、長期的には太陽エネルギーやバイオマスなどの再生可能エネルギーにかなり頼ることになることが予想されているが、短中期的には文明が必要とするエネルギーの獲得には、化石燃料の大量消費に頼らざるを得ない以上、これにより排出される膨大な量の CO<sub>2</sub>を削減するにはさまざまな制約がある。

現在の社会生活レベルを維持しつつ、排出される CO<sub>2</sub>の量を抑制するためには、化石燃料からのエネルギー抽出効率を上げることにより、単位量のエネルギーを獲得するのに排出される CO<sub>2</sub>量を削減するエネルギーの有効利用がある。燃料電池を中心とした水素エネルギーは、最終的な仕事を得るために要する効率が従来のエネルギー・システムより良いことから、この代表的な例となる。しかしながら、CO<sub>2</sub>問題の本質はその排出される量が膨大であることから、水素エネルギーの導入が現在のような試行的なレベルでなく、大量に導入されてこそ意味のあるものとなる。

このようなエネルギーの有効利用ではなく、火力発電所などの大規模排出源から CO<sub>2</sub>を回収し、大気から隔離して貯留する方法がある。この方法は、CO<sub>2</sub>回収貯留技術(CCS, CO<sub>2</sub> capture and storage technology)と呼ばれている。CO<sub>2</sub>はその排出量が莫大であるために量的に意味のある貯留先は自ずと限定されることとなり、地中および海洋だけがその対象となる。地中隔離は世界でかなり実施されており、本稿ではその現状や実施例について述べる。海洋隔離は技術開発はかなりのレベルまでされているものの、その実施に関してはまだであり、本稿では技術開発ならびに現状について概説

する。さらに、燃料電池を中心とした水素エネルギー・システムで用いられる水素はコスト・効率の面から化石燃料から生成するのが最も効率的であることをふまえ、水素生成の際に発生する CO<sub>2</sub>を隔離すると、CO<sub>2</sub>削減効果は火力発電所からの CO<sub>2</sub>隔離と比較して、相乗的に大きくなる可能性があることについても紹介する。

### 2. 地中隔離

#### 2.1 分類とわが国の現状

主要な地下貯留 (geological storage) 方法を図 1 に示す。貯留層としては 1) 帯水層(aquifer), 2) 枯渇油層・ガス層(depleted oil and gas field), 3) 石炭層(coal seam)が主要な候補となっている。それぞれの貯留層に対する貯留容量は全世界では膨大な量を有するものの、国内の地下貯留容量としてどれだけ CO<sub>2</sub>が安定に地下に貯留できるか、4つのカテゴリーに分けられている[1]。カテゴリー1 は、「大規模な既発見の油・ガス田にある油・ガス層及び帶水槽」で、貯留可能な量は約 20 億トン、カテゴリー2 は、「過去に国による基礎試験が行われ、背斜構造が確認されている帶水」で約 15 億トンである。これらの 2 つは、「確認されているトラップ構造内への貯留可能な量」、すなわち、カテゴリー1 と 2 は貯留された CO<sub>2</sub>が安定に存在するといわれている構造を有している地下の構造で計 35 億トンである。カテゴリー3 は、「陸域で確認されている堆積盆地内の背斜構造を伴わない帶水層」で約 160 億トン、カテゴリー4 は「海域の堆積盆地内の背斜構造を伴わない帶水層」で約 720 億トンである。これらのカテゴリー3 と 4 は、帶水層上部に CO<sub>2</sub>の漏洩を防ぐ構造を有していないもので計 880 億トンである。日本から排出される CO<sub>2</sub>が 12 億トン程度であることを考えると、カテゴリー1 と 2 だけでは不十分である。カテゴリー3 と

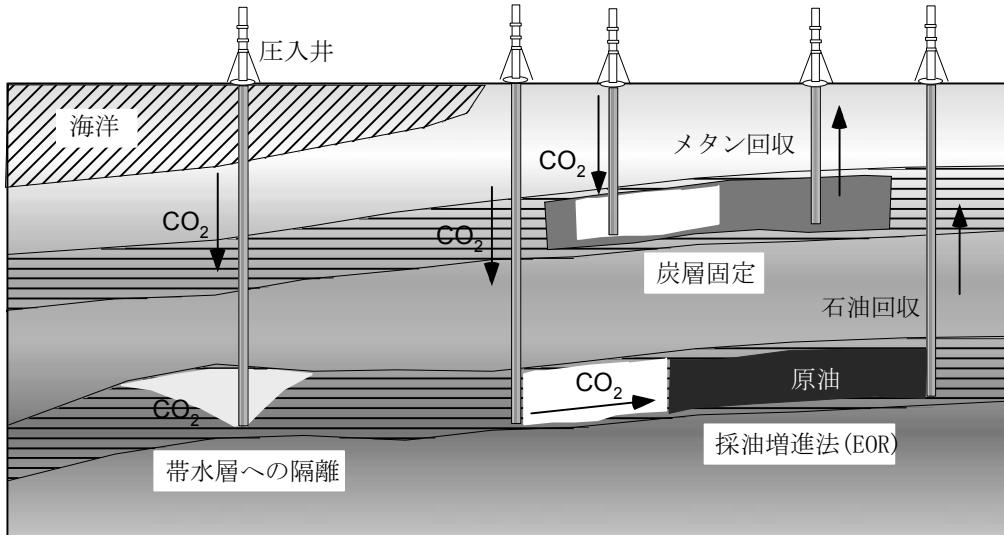


図1. 地下貯留の概念図.

4までいれれば、量的には充分であるが、カテゴリー3と4まで使用できるかどうかは今後の研究、実証や議論が必要である。わが国では、CO<sub>2</sub>地下貯留における圧入実証試験として、新潟県長岡市のテストサイトにおいて、2003-2005年にかけ約10,400トンのCO<sub>2</sub>が地下約1,100mの帶水層内に圧入されている。

以下ではこれらの3種類の貯留層に対して、世界でのCO<sub>2</sub>地下貯留の開発状況を主要プロジェクトを含めて紹介する。

## 2.2 帯水層

地下には帶水層と呼ばれる内部に水を蓄えている地層構造が存在する。体積割合で最大20%程度の空隙を有し、この中が地下水で満たされている[2]。地下では地表からの深度が増すにつれて、温度・圧力共に高くなる。一般的に、地表から地下約700mまで、CO<sub>2</sub>は気体であるが、それ以上の深度の温度・圧力条件において、超臨界状態となる。超臨界CO<sub>2</sub>の密度は水の約7割であり、気体状態に比べ比体積が小さくなるため、貯留効率が良くなる[3]。一方、深度が更に増加するとCO<sub>2</sub>圧入井を掘削するためのコストが増加するために、深度700-3000mの範囲が最も経済的であると云われている。

超臨界状態のCO<sub>2</sub>は周囲の水よりも軽いために地下に注入されると浮力を受けて、上方へゆっくりと移動する。よって、CO<sub>2</sub>が再び大気へと放出されることなく安定に貯留されるには、CO<sub>2</sub>を貯留

する帶水層の上部に漏洩を防ぐキャップロック(帽岩)と呼ばれる不透過層の存在が重要となる。前述のカテゴリー1と2の定義の中にある「トラップ構造」とはこのことを意味している。帶水層内でCO<sub>2</sub>が保持されるメカニズムを詳細に見ていくと次のようになる。圧入井から帶水層へ

と注入されたCO<sub>2</sub>は浮力により上方へ移動する。このとき、CO<sub>2</sub>が通過した岩石中には、CO<sub>2</sub>の毛管力により比較的広い空隙内にCO<sub>2</sub>がトラップされる。これを残留ガストラップと呼ぶ。次に、キャップロック下に到達したCO<sub>2</sub>はキャップロックにより物理的に保持される。一部のCO<sub>2</sub>は5-30年程度の注入期間中に塩水へと溶解しトラップされる[4]。塩分濃度や圧力、温度条件に依存し、注入したCO<sub>2</sub>の2-7%[5]あるいは10-20%[6]が塩水への溶解により安定的にトラップされると予想されている。このように帶水層に圧入されたCO<sub>2</sub>は上方への移流溶解や化学反応などを経るために、圧入の操業を終了した後も継続的なモニタリングが必要となる。

世界初の商用規模の帶水層へのCO<sub>2</sub>地下貯留が北海のスライプナー(Sleipner)ガス田(スタットオイル社)で1996年よりスタートしている[7]。年間100万トンのCO<sub>2</sub>を海底下1,000mのウツシラ構造体と呼ばれる砂岩層に注入しており、これまでに500万トン以上のCO<sub>2</sub>が埋め戻されている。これに並行して1998年からSACSプロジェクトがスタートし、スライプナーにおけるCO<sub>2</sub>の挙動を3次元地震波探査することに成功している。その結果、CO<sub>2</sub>が浮力により上昇し、キャップロックの下部に蓄積されながら、更に水平方向に広がっていく様子が示された。スライプナーのCO<sub>2</sub>は帶水層より更に深部のガス層から生産される天然ガスから分離されている。

スタットオイル社では、次のプロジェクトとしてバレンツ海のスノビットガス田でも同様に年間70万トンのCO<sub>2</sub>を生産ガスから分離し帶水層へと貯留する計画を進めている[8]。スライプナープロジェクトと異なる点として、CO<sub>2</sub>の貯留層がガス層よりも深いことと、CO<sub>2</sub>の分離がスライプナーの場合、海上のプラットフォームで行われるのに対し、スノビットではいったん陸上に輸送した後、陸上で分離する点が挙げられる。

### 2.3 枯渇油層・ガス層

CO<sub>2</sub>地下貯留のそもそもの発想は石油増進回収(EOR, enhanced oil recovery)[9]から出発していると考えられる。油層の圧力を自然のまま利用し、自噴あるいは汲み上げにより油を生産することを1次回収と呼び、油層内に存在する全ての油のうち25%程度を回収することができる。次に2次回収として水やガス、蒸気を注入し油層圧力を上昇させる方法が採られる。水を利用する水攻法が一般的である。3次回収では、油層に存在しない物質の注入を行い、油を回収する。これには様々な手法があるが、その中の一つがCO<sub>2</sub>攻法である。CO<sub>2</sub>-EORは既に確立された技術であり、米国では74の EOR プロジェクトで年間約3,300万トンのCO<sub>2</sub>が注入されている[10]。油層の油は数百万年に渡って安定的に貯留されてきているために、トラップ構造を有していることが既に証明されている。また、油の採掘過程で十分な地質学的調査がなされているといった長所がある。また、枯渇油層にも依然として十分な油が残されているために、将来の価格高騰や EOR 技術の発展により、再び生産を開始する可能性が残されている。

地下貯留を意識したCO<sub>2</sub>-EORプロジェクトとして、2000年からIEA ウイバーン(Weyburn) CO<sub>2</sub>モニタリング・貯留プロジェクトがスタートしている[11][12]。カナダ・サスカチュワン州のウイバーン油田は1954年から生産を開始し、1964年に1次枯渇したため水攻法を開始している。1996年までに石油3億2,800万バレルを生産しているが、CO<sub>2</sub>を一日あたり5,000トン注入することにより、更に1億3,000万バレルの石油を生産し、油田の寿命を25年延ばすと予測されている。プロジェクト期間中に2,000万トンのCO<sub>2</sub>が注入され、EORに用いるCO<sub>2</sub>は320km離れた米国の燃料製造工場からパイプラインで輸送される。4年間のプロジ

エクトでは、油層内のCO<sub>2</sub>の挙動がモニタリングされ、CO<sub>2</sub>貯留の技術的および経済的な可能性が多角的に検討される計画である。

### 2.4 石炭層

石炭の中には大量のメタンが吸着されている。これはコールベッドメタン(CBM, coal bed methane)と呼ばれ、炭坑爆発の原因となるため、ガス抜き井戸から除去され、その一部が利用されるに留まっていた。しかし、米国を中心として80年代より、非在来型天然ガスとしての開発が進められ[9][13]、米国では天然ガス生産量5,200億m<sup>3</sup>の約5%を占めるに至っている。CBMの資源量は米国、中国、オーストラリア、カナダの4ヵ国で24兆m<sup>3</sup>との報告がある。CBMの開発自身が比較的新しい技術であり、様々な方法が考えられているが、その一つに採掘が困難な石炭層からCBMを回収しながらCO<sub>2</sub>の固定する方法が考えられている[14]。石炭はメタンよりもCO<sub>2</sub>を吸着しやすい性質を有する。よって、石炭層にCO<sub>2</sub>を注入すると、吸着されているメタンが脱着し、メタン1分子あたりCO<sub>2</sub>2分子が吸着されると言われている。石炭層に吸着されたCO<sub>2</sub>は石炭が採掘されない限り、炭層内に原理的には留まり続けると考えられている。

米国では、エネルギー省(DOE)の資金の下で、Coal-Seqプロジェクトが2000年より3年計画でスタートしている[15]。サン・ファン盆地のアリソン鉱区では、メタンの回収を目的として既に10万トン以上のCO<sub>2</sub>が注入されている。圧入するCO<sub>2</sub>はEOR用に敷設されているCO<sub>2</sub>パイプラインから供給されている。また、ティファニー鉱区では燃焼排ガスを直接注入することによりCO<sub>2</sub>を隔離するための知見を得ることを目的とし、N<sub>2</sub>の圧入によるCBM回収が行われている。同様に、パイロットテストはカナダのアルバータで進んでいる。これらの北米でのプロジェクトに続き、ヨーロッパでも2001年より、EUの資金の下でRECOPOLプロジェクトがスタートした[16]。ポーランドのシレシアン盆地にてCO<sub>2</sub>隔離とCBM回収の実証試験が行われると共に、将来、CO<sub>2</sub>市場でのクレジット獲得を意識して、地震波を用いて炭層内のCO<sub>2</sub>の挙動をモニタリングする予定になっている。国内においても石狩炭田大夕張地区において炭層固定のフィールド試験が進められている。

### 3. 海洋隔離

#### 3.1 海洋隔離の概念と経緯

海洋は、大気中の CO<sub>2</sub> を自然に吸収しており、その量は地球上で最大である。ただし、その吸収は、特に緯度の高い海洋表面でゆっくり行われ、海洋深部への CO<sub>2</sub> の移動は数百年～数千年のタイムスケールで行われている。この CO<sub>2</sub> の海洋表面での吸収から深部への移動を、産業活動によって排出される CO<sub>2</sub> を海洋の中深層に人工的に注入することにより早めることが可能で、これにより海洋は CO<sub>2</sub> の広大な貯蔵庫となる可能性を有している。この海洋中に CO<sub>2</sub> を隔離する方策は、膨大な CO<sub>2</sub> の排出量に対応できることを考えると、その処理量などの面で CO<sub>2</sub> 地下貯留技術と並んで有望な技術となると考えられる。また、火力発電所と製鉄所の大量固定排出源の回収可能な CO<sub>2</sub> は、日本の全排出量の 4 割近くを占めるとともに、その大部分が沿岸地域に立地している。広大な海洋に国土が囲まれている日本において、この海洋貯藏能力を有効に活用する CO<sub>2</sub> 海洋隔離は、有望な研究技術開発のターゲットの一つと考えられている。

海洋隔離を最初に提案したのは、1977 年のオーストリアのマルケッティである[17]。地中海は、流入する大きな河川が少なく、また、乾燥地帯に面していることもあるが、雨が少ないため、大西洋に比べて塩分濃度が高い。大西洋と唯一通じているジブラルタル海峡では、この塩分濃度の差により、表層の水が地中海に流れ込み、中深度では逆に塩分の高い比重の大きな海水が、大西洋の 1,500m 程度の深さに、毎秒 100-200 万トン流出している。マルケッティは、この地中海に流出する流れにのせて CO<sub>2</sub> を注入すれば、年間 100 億トンの CO<sub>2</sub> を大西洋の海中に貯留できると考えた。その後、この CO<sub>2</sub> 海洋貯留は、種々の方法が提案され、検討されてきたが、現在では図 2 の海洋深度 1,500m～2,500m 程度の海洋中層に放出された CO<sub>2</sub> 液泡群を浮力により海水中を上昇する過程において、CO<sub>2</sub> を海水中に直接溶解させて大気から隔離する「希釈溶解型 CO<sub>2</sub> 海洋隔離」についてわが国の国家プロジェクトが進行している。この CO<sub>2</sub> 海洋隔離は、わが国が世界に先導してかつ、主導して実施してきている技術開発である。この技術を実効的なものとして確立するためには、海洋に投入された二酸化炭素が、海洋環境へ及ぼす

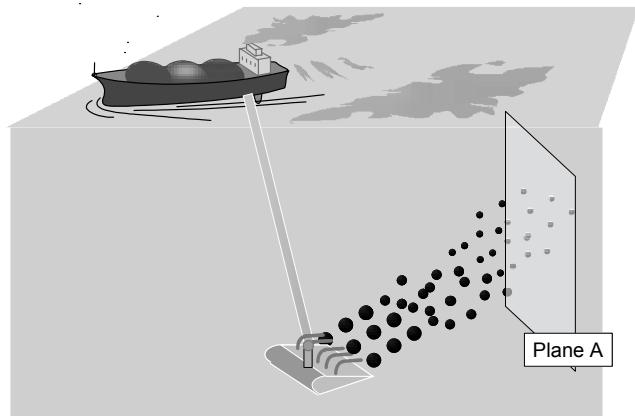


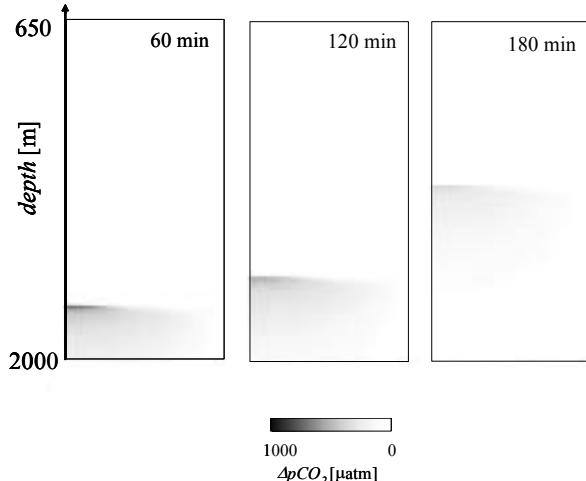
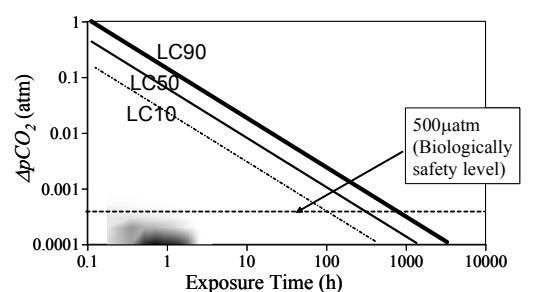
図 2. 海洋中深層溶解希釈型 CO<sub>2</sub> 隔離

影響をほとんど無視できるほど小さくする必要がある。以降では、希釈溶解型 CO<sub>2</sub> 海洋隔離について概説する。

#### 3.2 CO<sub>2</sub> 希釈溶解法

CO<sub>2</sub> の海洋中層の希釈溶解法は、図 2 に示されるように 1,500m～2,500m 程度の深度の海洋中層に液体の CO<sub>2</sub> 液泡群を放出し、周囲海水より軽い CO<sub>2</sub> 液泡が、浮力により海水中を上昇させながら溶解させ、CO<sub>2</sub> が気化する深度 500m までに CO<sub>2</sub> 液泡が消失し、完全に溶解を終了させるように放出する CO<sub>2</sub> 液泡の大きさを制御することにより、CO<sub>2</sub> を海洋中層の海水に溶解させて貯留しようとするものである[18]。放出点が船の速度で移動する効果により CO<sub>2</sub> が希釈され、海洋環境に及ぼす影響が無視できるほど小さくなる効果が期待できる。また大気に戻るタイムスケールについては、CO<sub>2</sub> を投入する海域選定についての調査が必要となる。このようなことから、CO<sub>2</sub> 海洋中層希釈溶解を実効性のあるものにするためには、技術的条件と海域選定基準を明確にし、海洋環境に及ぼす影響を評価することが必要となる。

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、平成 9 年度から 5 年計画（フェーズ 1）で「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術の開発」プロジェクトを推進した。このプロジェクトは、平成 14 年度から地球環境産業技術研究機構(RITE)によりフェーズ 2 に移行し、CO<sub>2</sub> 隔離を総合的に実効性のあるものを推進することを目的として、中層溶解での CO<sub>2</sub> 希釈技術開発と、海と海洋調査の 3 つについて行われてきた。今年度

図3. CO<sub>2</sub>液滴群の上昇・溶解・拡散挙動図4. 海水に溶解したCO<sub>2</sub>分圧と生物影響の比較

よりフェーズ3にはいっている。

CO<sub>2</sub>を海洋に溶解させて隔離する場合に、海水の酸性化すなわちpH低下とCO<sub>2</sub>分圧pCO<sub>2</sub>の増加による海洋生物の影響を無視できるほど小さくする必要がある。希釈するにはCO<sub>2</sub>液泡群が溶解する海水の体積をいかに大きくするかがポイントとなる。前述したように移動する船舶よりけん垂したパイプよりCO<sub>2</sub>液泡を放出することにより大幅にその影響を低減することが可能となる。このパイプの放出口が、移動することにより希釈される効果に加えて、CO<sub>2</sub>液滴が溶解に要する鉛直距離を大きくすることが可能のように、CO<sub>2</sub>液泡の放出径を制御することにより、いっそう希釈される。さらにCO<sub>2</sub>液滴を放出するのを、船の幅方向に多数のノズルを配置することにより、さらに希釈させることができとなる。CO<sub>2</sub>液泡が海に溶解するとき、海に対してどのような影響ができるか計算を行った。船を6ノット(3m/s)で走らせ、10mの幅のノズルアレイで100kg/sのCO<sub>2</sub>を放出す

る場合について考える。100kg/sのCO<sub>2</sub>流量は、約50万kw級の発電所から放出される量に相当する。この定量的な評価を数値計算により示す[19]。

溶解したCO<sub>2</sub>は海洋のもつ拡散作用により、拡散するが、その拡散の影響を考慮している。図2のplaneAで液泡が上昇し、溶解したCO<sub>2</sub>が拡散する様子を図3に示す。CO<sub>2</sub>液泡が上昇し、それに伴いCO<sub>2</sub>が溶解した海水でのCO<sub>2</sub>濃度が図中のグレーの領域で示されている。60min, 120min, 180minと時間が経過するに伴いCO<sub>2</sub>が溶解したグレーの領域が上昇するが、この領域は液泡群がある領域と対応している。注目すべきは、グレーの下部の領域ではCO<sub>2</sub>が溶解した海水が水平方向に拡散して、希釈されていることがわかる。CO<sub>2</sub>が溶解することにより増加するCO<sub>2</sub>分圧 $\Delta p_{CO_2}$ が時間に対してどのように変化するかを生物影響と比較したものを見ると、図4に示す。生物はどれだけ長い間CO<sub>2</sub>が溶解した海水にいたかというExposure time(横軸)と、CO<sub>2</sub>濃度(縦軸)で示されている。左下にあればあるほど安全で、右上が危険な方向となる。また、本プロジェクトではCO<sub>2</sub>が溶解した海水に生物がいたときの影響について詳細に調べられており、十分な安全率をとった上で、CO<sub>2</sub>分圧の増加が500 μatm以下では安全であるとの指針を得ている。本希釈法を用いた場合、CO<sub>2</sub>を含んだ海水は図中のグレーの領域であらわされるところに位置し、このように、CO<sub>2</sub>濃度は生物学的に安全なレベルより十分に薄く希釈できることがわかる。

#### 4. 水素エネルギーとCO<sub>2</sub>隔離

火力発電所からのCO<sub>2</sub>隔離をする場合のプロセスを図5上部に示す。図5下部に示されているのが燃料電池を中心とした水素エネルギーシステムでCO<sub>2</sub>隔離をする場合である。水素製造は天然ガスからの改質がコスト的にも効率の上から最も有利であることをふまえ、2つのエネルギーシステムの出発点を同じにするために、図の上部の通常のCO<sub>2</sub>回収隔離は天然ガスCH<sub>4</sub>を用いた火力発電の場合を対象としている。天然ガスなどの化石燃料は一般的に空気で燃焼するために、燃焼排ガスは主にN<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oの混合気体となる。水蒸気H<sub>2</sub>Oは、凝縮により容易に分離することができるため、N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の混合ガスからCO<sub>2</sub>を分離

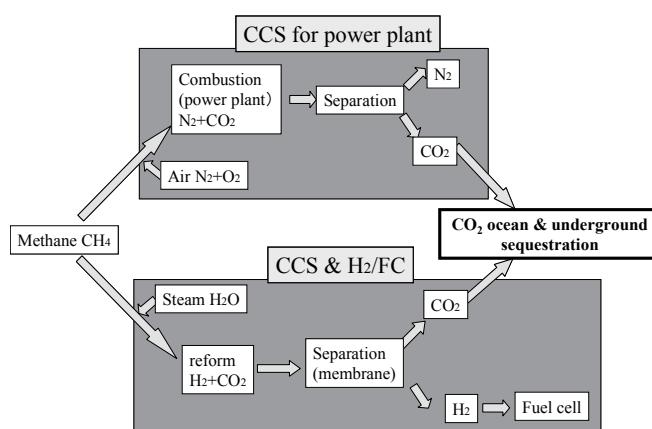


図5. 火力発電所からの CCS (図上部) と  
水素・燃料電池システムでの CCS (図下部)

することが必要となる。なお、気体の分離には仕事（エネルギー）の注入が必要であり、分離効率を高める手法の開発や分離仕事を最小にするシステムの最適化が重要な課題となっている。現在のところ、アミン吸収液を用いた分離が有力な方法となっている。一方、図5の下部に示されるように水素・燃料電池システムと CO<sub>2</sub> 隔離を統合させた場合、分離に要するエネルギーの注入はより小さいものとなる。これは、水素 H<sub>2</sub> を生成するのにメタン CH<sub>4</sub> からの水蒸気改質は、メタンから CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> が生成されるが、分子量が大きく違うため、まだ開発途上であるものの、水素分離膜を用いれば、極めて効率よく分離して H<sub>2</sub> を精成した上で CO<sub>2</sub> を回収隔離することが可能なためである。このように、水素エネルギーを CO<sub>2</sub> 隔離と統合することにより、通常の化石燃料からの燃焼排ガスより高効率で CO<sub>2</sub> 隔離を行なうことが可能で、燃料電池を中心とした水素エネルギー・システムがそもそも効率が高いこととあわせて、極めて有効な温暖化対策となりうる可能性を有している。

## 5. おわりに

CO<sub>2</sub> 問題は、今まで他の公害問題と本質的に異なるのは、排出される量が膨大であることと、文明に必要なエネルギーの獲得に CO<sub>2</sub> 排出が伴うこと、また、技術だけでなく、社会的な解決も求められる必要があることである。このような観点から、CO<sub>2</sub> 隔離技術は、有望な解決策の1つである。

このことをうけ、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) から、CO<sub>2</sub> 隔離技術に係わるスペシャルレポートが出版されている[20]。CO<sub>2</sub> 削減技術に関しては、IPCC からのはじめてのレポートである。CO<sub>2</sub> 隔離技術は、地球温暖化問題の緊急性と相俟って、早急かつ確実な技術開発が期待されており、今後、実施にむけて産官学の協力を保ちながら、さらに推進する必要があると考えられる。

## 参考文献

- [1] 超長期エネルギー技術ロードマップ報告書、エネルギー総合工学研究所、<http://wwwiae.or.jp/research/cho06.htm>
- [2] OECD/IEA, Prospects for CO<sub>2</sub> Capture and Storage, OECD/IEA, 2004.
- [3] J. Ennis-King, and L. Paterson, Proc. 5th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies CD-ROM, 2002.
- [4] J. Gale, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1, 207, 2002.
- [5] K. Pruess, T. Xu, J. Apps, and J. Garcia, SPE J., 49, 2003.
- [6] J. Ennis-King and L. Paterson, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 507, 2002.
- [7] T. A. Torp, and J. Gale, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1, 311, 2002.
- [8] T. Maldal and I. M. Tappel, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1, 601, 2002.
- [9] 例えは、山崎豊彦編、オイルフィールド・エンジニアリング入門、海文堂出版、1997.
- [10] IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Putting Carbon Back into the Ground, IEA, 2001.
- [11] R. Moberg, D. B. Stewart, and D. Stachniak, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1, 219, 2002.
- [12] R. Moberg, RITE Now, 41, 15, 2001.
- [13] 島田莊平, 資源と素材, 111, 3, 135, 1995.
- [14] 島田莊平, 資源と素材, 117, 12, 923, 2001.
- [15] S. Reeves, Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1,
- [16] F. van Bergen et al., Proc. 6th Intern. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, 1, 569, 2002.
- [17] C. Marchetti, Climate Change, 1, 59, 1977.
- [18] N. Nakashiki et al., Direct Ocean Disposal of Carbon Dioxide, Terrapub, 183, 1995.
- [19] S. Tsushima, S. Hirai and M. Ozaki, GHGT8 (CD-ROM)
- [20] <http://www.ipcc.ch/>

## セラミックリアクターの開発 Development of the Advanced Ceramic Reactor

藤代 芳伸・鈴木 俊男・山口 十志明・淡野 正信（産業技術総合研究所）  
*Yoshinobu FUJISHIRO, Toshio SUZUKI, Toshiaki YAMAGUCHI, Masanobu AWANO*  
*(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))*  
*e-mail:masa-awano@aist.go.jp*

### 1. はじめに

「京都議定書」に定められた二酸化炭素排出量削減目標の達成に向けて、第一約束期間の開始まで僅かとなった現在、厳しい状況にある。環境保全と省・新エネルギーのための技術開発は最優先課題となっており、今後ますますこの傾向は加速されていくと思われる。そのため、理想的な水素エネルギー社会へ向けて、様々な取り組みが進められている。環境・エネルギーといふいわゆる「社会ニーズ」の充足と同時に、環境・エネルギー分野における国際的な産業競争力強化や、排出権取引のような環境ビジネス、さらには昨今の石油価格高騰等、資源問題への対策とエネルギー安全保障等の広汎に渡る社会的な技術領域が形成されつつあり、その波及性は極めて大きい。

技術開発の現状を見ると、例えばその典型である燃料電池車でも、その普及までは信頼性向上やコスト低減等、多くの課題解決に相当の長期間を要することが予想される。従って、少なくとも今後10数年以上は、燃料電池のような新エネルギー技術の開発努力と同時に、既存のエネルギー・動力等のシステムに適用される、省エネ・環境負荷低減技術の向上も極めて緊急性の高い課題である。そのため、エネルギー・環境分野において優れた性能を有するセラミック材料に対して、その高度化と適用性拡大の期待が高まっている。

セラミックス材料は、高温耐久性・化学安定性・軽量性等から構造部材として期待される一方、機能特性として特にイオン伝導や電子伝導に基づく化学反応=電気化学反応において優位性を示す。酸素イオン伝導体（固体電解質）が主役の電気化学反応は、中～高温域におけるセラミック電極の高い反応活性と関連し、化学-電気エネルギーの直接変換反応による本質的な高効率性をもたらしている。従って、環境・エネルギー問題の解決に

向けた有力なアプローチとして、エネルギー創製や物質の合成・分解浄化が高効率で実現可能な、セラミック系の電気化学リアクターへ寄せられる期待は高い。

ここでは、セラミックスの有する優れた電気化学特性を基本とし、エネルギー・環境分野への多機能展開が期待される“セラミックリアクター”

（図1）について、マイクロ SOFCとして実用化を目指した取り組み、特に、ミクロ部材の集積モジュール化による、飛躍的な小型高効率化と適用性向上を図った例について紹介する。

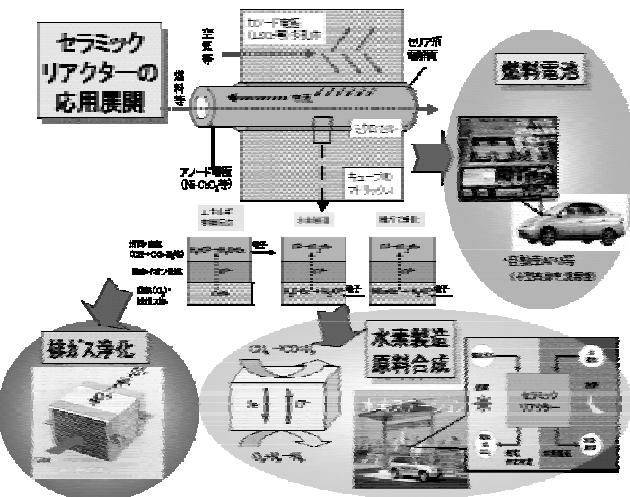


図1：セラミックリアクターの環境・エネルギー分野への展開

### 2. 研究開発の背景

従来、連続高温運転による中～大型の発電設備として開発が進められて来た SOFCは、例えば自動車応用では、動力自体（70～100kW程度）ではなく、車載電装品の増大やアイドリングストップ等に対応した数kWの補助電源用途（自動車APU）、あるいは家庭・業務用コジェネ応用（1～数kW級小型モジュール）として、小型高効率の中温域で

の作動実現を目指した研究開発[1](図2)が近年、特に注目されている。また、さらなる究極の小型高効率化、いわゆる“マイクロ SOFC”化に向けた研究開発が始まられている。特にミリ径のチューブセルを用いたモジュール化に向けての先駆的な研究による急速起動性能の実証[2]を始めとして、欧米でもポータブル電源等への応用を目指した小型高効率モジュール実現への精力的な検討が進められている[3]。最近、日本でも5mm径チューブセルスタック開発や低温作動化に成功する[4]等、数10W級のモバイル機器用モジュール開発等としては、実用化が現実的な視野に入って来た感がある。ここでは、従来技術を超えるマイクロSOFC集積モジュール創製を目指したNEDOプロジェクト「セラミックリアクター開発」[5](2005-2009年度予定、総数13の企業・大学・研究所が参加)における、開発成果の概略を紹介する。

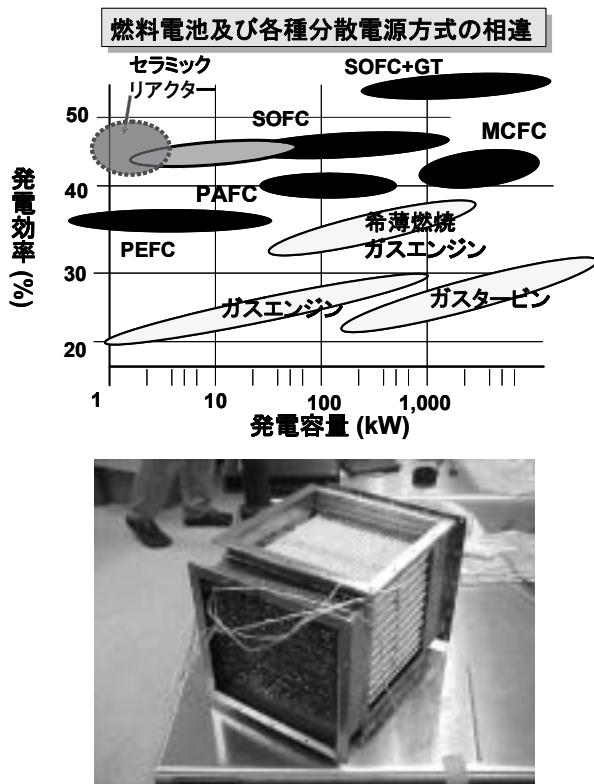


図2：マイクロ SOFC 開発の各種分散電源における位置づけ（上）及び従来のチューブセル集積による1kW級 SOFC モジュール（米：コネチカット大製作）

### 3. セラミックリアクターの開発

#### 3.1 セラミックリアクター開発のコンセプト

日本が優位性に立つ材料・部材技術を、製造産業としてのモジュール化・システムアセンブリへと拡大する新たな製造プロセス技術の確立によって、燃料電池等のエネルギー・環境分野における社会ニーズの解決と同時に、産業競争力の強化に資することが不可欠である。電気化学リアクターのさらなる高性能化とその汎用性向上のためには、その長所を最大限活かした小型高効率化、応用を容易にする低温作動化や、セラミックスの弱点である熱歪に対する脆弱性を克服することで、急速作動停止性能を実現する等の必要がある。そこで、低温作動可能な材料を開発し、従来不可能であったような微小部材化して、これを精密に集積モジュール化する、革新的な製造プロセス技術を開発し、究極のマイクロ SOFC 型リアクター実現を目指した。

電気化学セルのチューブを径1ミリ以下に微細化、これを角砂糖大の「キューブ」に埋め込んだ形(100セル/cm<sup>3</sup>レベルの集積度)にスタック化して、さらにキューブにインターフェース(発電電流のコレクターや、燃料/空気の導入あるいはシール層)を加工し、最後には応用ニーズに対応したキューブの集積配列化により、発電性能で数kW/単位級の小型高効率モジュールを作製する(図3)。

これと併せて、従来型は高温であったSOFC作動温度(800~900°C)の大幅低減を図り、高活性電極及び電解質材料(特にセリヤ系)を開発・適用することにより、作動温度を650°C~500°Cレベルにまで大幅に下げ、作動や急速起動停止性能を可能とすることにより、従来有望と考えられる分野への適用性拡大が図られ、あるいは小型高効率化による搭載性の向上、及び製造コスト低減やシステム信頼性の向上が期待される(同図)。

#### 3.2 マイクロ SOFC 型リアクターの開発

本稿では、セラミックスの“造り込み”技術を中心とした、材料部材の集積化プロセス技術開発を基に、これまでに達成した集積モジュール化の成果である、マイクロ SOFCについて紹介する。

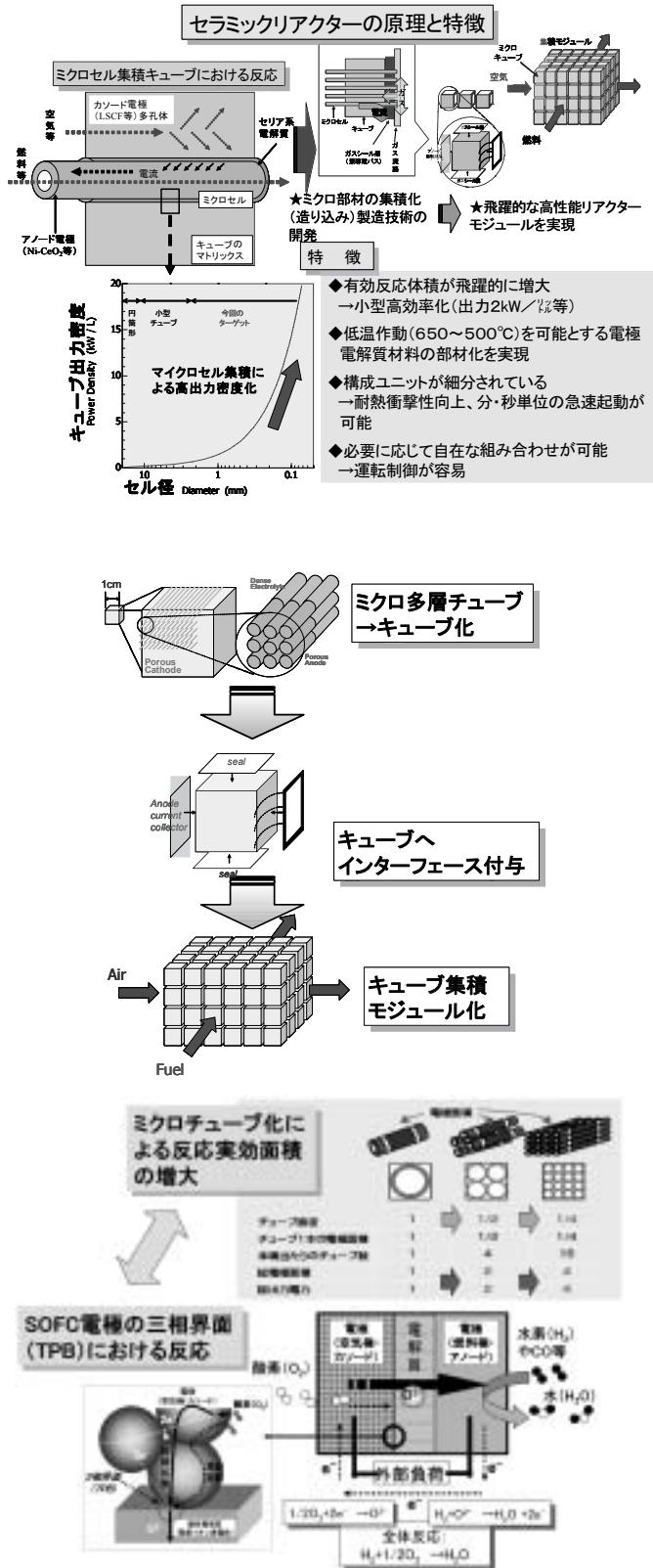


図3:セラミックリアクターのコンセプト(上), ミクロSOFCの部材アセンブリによるモジュール化(中)及び部材の微細化による高反応効率化の模式図(下)

### 1) サブミリ径チューブ型 SOFC の開発

先ず, 低温作動で世界最高レベルの性能が得られたサブミリチューブ型 SOFC の開発例[6]及びそれに引き続く, ミクロ集積化への製造技術開発の取り組みを紹介する。

前に述べたように, SOFC は燃料電池の中でもその高効率性や, 全固体素子で取扱容易かつ信頼も高いという優れた特徴がある反面, 高温作動が必要なため適用性に大きな制約があり, 作動温度の低減 (500~650°C以下) と同時に, 頻繁な起動一停止といった汎用機器への応用展開で大きな障害となる, 熱歪の問題への抜本的な解決策が必要で, 同時に SOFC に最も期待される小型高効率化との両立が不可欠である。

そこで, 電解質材料に低温での酸素イオン伝導度が高いセリア系イオン伝導体セラミックスを用い, これをミリ径以下のチューブ形状にすることで耐ストレス性を向上させ, 従来は熱歪に特に弱いとされていたセリア系セラミックスの機械的強度不足の解決を図り, それと同時に, チューブセル内での燃料の反応効率増大による, 発電出力効率の飛躍的な向上を図った. 燃料極にニッケル-セリア系セラミックスを, 空気極にランタンコバルト-セリア系セラミックスを用い, 微細構造制御を可能とするマイクロチューブ製造技術及び緻密膜コーティング技術を高度化することにより, 従来は機械的に脆いため不可能とされていたセリア系セラミック電解質の微細加工を実現すると同時に, 燃料の反応効率を大幅に向上させることに成功した. 図4に示すように, 直径が 0.8~1.6mm のマイクロチューブ型 SOFC の製造プロセスを開発することにより, 例えば, 1.6 mm 径のマイクロチューブに 450~570°Cで水素を流通した結果, 0.17~1W/cm<sup>2</sup> (各々 450~570°C) の電力が得られ, セリア系セラミック材料で初めて 1W/cm<sup>2</sup> の発電密度を 570°Cで可能にするという, 世界最高レベルのエネルギー変換特性を達成した. さらに例えば 0.8 mm 径の場合では, 1cm<sup>3</sup> 当たり約 100 本のマイクロ SOFC が集積可能であり、発電性能として 1cm<sup>3</sup> 当たり 7W (500°C 作動時), 15W (同 550°C 時) もの小型高出力効率化が期待されている. 前述のようにこれまでにも, チューブ型 SOFC セルの小型化を目指す研究開発はいろいろと進められているが, サブミリチューブでの性能発現とチューブ集積化

による高出力化の見通しは、今回初めて得られたものである。

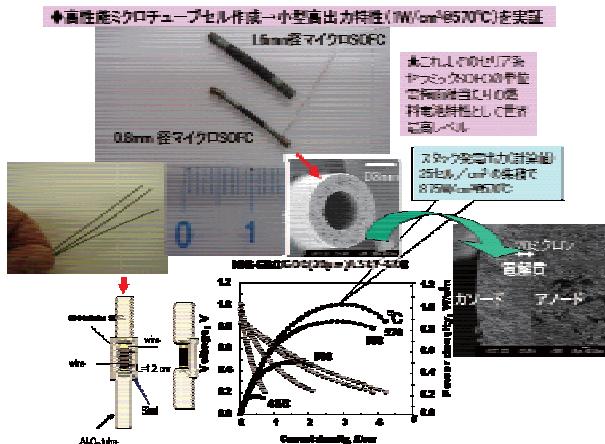


図4: ミクロチューブ型 SOFC のセル開発の成果

## 2) マイクロ SOFC キューブの開発

一方、高性能のマイクロ SOFC 単チューブセル製造の一方、それらを精緻に集積化するためのプロセスの開発が極めて重要となる。そのアプローチとしては、単チューブセルを 2 次元的に並べてそれを 3 次元的に積み上げる方法や、理想的には 3 次元の精緻な微細構造を同時あるいは連続的に作製する方法等が期待される。

これまでに、ミクロキューブとしての高性能化を実証することに成功した[7]。図 5 中に示しているように、高性能を示すチューブ型マイクロ SOFC (チューブ径 1.6mm / 0.8mm 各々) を角砂糖サイズに数本～数 10 本集積させたキューブ(セルスタック)により発電実証を行い、600°C以下の低温動作でも 1cm<sup>3</sup>当たり 2W 以上の出力を有する超小型キューブ式 SOFC ユニット技術として確立した。この技術は、基本的なセラミック成型方法を利用してるので量産化にも適している。550°Cの運転温度において水素を流して性能試験を行った結果、2W 以上の電力が得られることが実証されたものである。この結果は 600°C以下の運転における単位体積当たりの燃料電池特性として世界最高レベルであるとともに、このユニットが燃料・空気の通路を有した本格的な世界最小のマイクロチューブ SOFC キューブの実現に意義がある。

本開発のマイクロ SOFC キューブの実現によって、マイクロ SOFC のスタック化が容易になり(図 6)，小型移動機器用電源の数 10W クラス(容積：数 10cm<sup>3</sup>) から、自動車用補助電源、家庭用電源

へ適用可能な数 kW クラス(容積：数 1,000cm<sup>3</sup>)までのスタック／モジュールとして、家庭用の分散電源や自動車 APU あるいは移動電子機器用電源等、広汎な適用先が期待される。今後、プロセス技術開発で最も重要である、各チューブへの燃料ガス供給や電力回収を行う接続部分(インターフェース)の精密作製技術の開発と合わせ、極めて小型高効率のモジュール製造技術開発として確立の予定である。

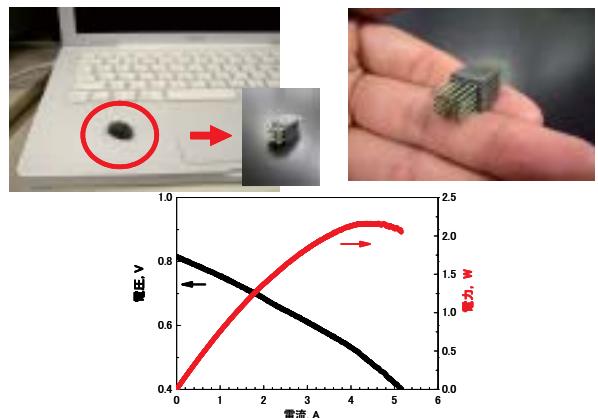


図5: マイクロチューブ型 SOFC の集積キューブ開発

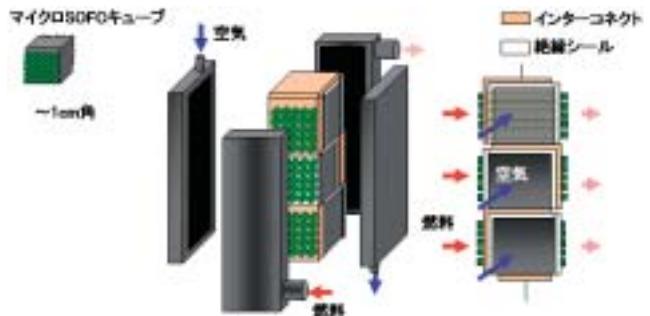


図6: キューブを連結したモジュールの部分イメージ

## 3) ミクロハニカム SOFC の開発

一方、ミクロ部材の集積化をより実用的なプロセスで得ようとする場合で後者のアプローチ、すなわち同時・連続的なプロセスの例として、図 7 に、従来より一桁レベルの微細集積化を可能とするために、新たに開発された製造プロセス技術による、マイクロ SOFC のキューブ型セルスタックの試作例を示す。精密形状を有する多数のマイクロ SOFC チューブ(サブミリサイズ)が正確に配置された、ハニカム構造を有する角砂糖サイズのキューブ作成に成功しており、高密度の部材集積が可

能な革新プロセスによる SOFC として、世界で初めて開発実証したものである。このミクロハニカム燃料電池型リアクターの発電出力密度は、650°Cでも 1cm<sup>3</sup> 体積当たり 2W 以上と、従来に無い小型高出力化が期待され、また、ミクロ部材化により耐熱衝撃性が大幅に向上了し、室温から 5 分以内の急速起動にも対応可能な、安定性の高いコンパクト SOFC モジュールの実現が可能である（図 8）。このような革新的な電気化学リアクターモジュールが、連続的な工程で生産可能となれば、製造産業の競争力強化の一助となることが期待される。

ミクロハニカム型リアクターの場合、同時連続で形成する断面形状を制御することにより、熱伝導性（すなわち耐熱衝撃性に大きく影響する熱膨張特性）や、電気伝導性（生成した電気を低損失で取り込むための、電極マトリックスや集電構造）の制御が、系統的に可能となる利点を有している。図 8 に示されているように、熱モジュールであるマイクロ SOFC では、①急速起動停止等の作動性能と密接に関連する熱機械的特性の制御、②モジュールの熱自立や、逆に熱暴走しないような、適切なサーマルコントロールを可能とするモジュール構成の両面から検討を進め、システムを構成する周辺機器（BOP）を併せた作動特性により、優位性を發揮することが求められる。現在は、上記①の観点から、繰り返し熱応力への高い耐久性能を示すミクロハニカム型リアクターの開発に成功した段階である。

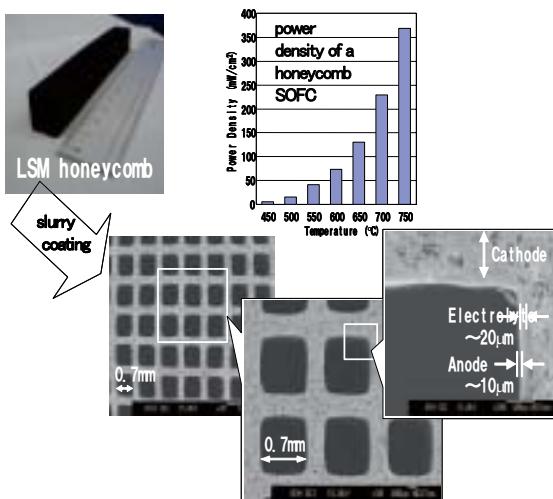


図 7：ミクロ集積化技術によるハニカム構造 SOFC の開発

ここで挙げた成果の他にプロジェクトでは、高活性電極電解質材料の開発、インターフェース技術（キューブを接続するガス供給及び集電に必要な部材の開発）、及びマイクロ SOFC としての適用性実証の取り組みを進めている。

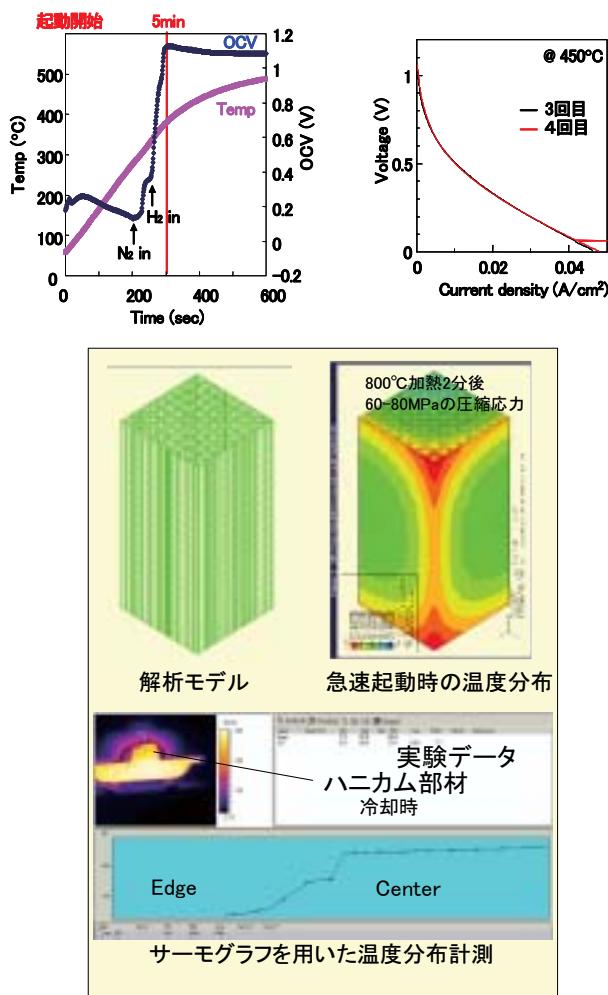


図 8：ミクロハニカムの急速起動・繰返試験と熱伝導シミュレーションによる耐熱衝撃性の解析、及び実測例

その結果、これまでにも、飛躍的な低温作動化を可能とするための材料技術開発として、実用構造で出力密度 0.5W/cm<sup>2</sup> (650°C) の実現へ向け、低温で活性の高い電極の開発や、イオン伝導のしやすい電解質の実用化を図るために、ナノ-ミクロスケールを中心とした内部構造制御や薄膜化技術の高度化、電極-電解質やインターロネクタの界面制御等による部材性能の向上を進め、電極部材でのエネルギー損失が従来の 1/10 に低減（500°Cでの性能が従来の 650°C での性能とほぼ同等）等の成果を挙げて

いる（ホソカワ粉体技術研究所）。また、絶縁シート材・導電シート材・局所的に導電性と絶縁性を兼ね備えた導電／絶縁シート材の組み合わせによる、ガスシール性を備えたインターフェースに適当な導電パスの構築を検討し、高絶縁性でフレキシブルな絶縁シート材、高導電性で安定なAg-Si-Ge合金等の導電シート材の開発に成功している（ファインセラミックスセンター）。

さらに、プロトタイプモジュールによる性能実証を進めるために、モジュール部材の電気・機械的な解析評価技術を確立し、システム設計条件に対応した性能評価へ向け、ミクロチューブ数10本を組み合わせたモデルキューブによる出力実証（体積30cm<sup>3</sup>弱で約15W@500°C）を確認、高性能化に向けた検討を平行して進めている（東邦ガス）。

これらの取り組みにより、プロジェクトが終了する2010年を目標として、650°C以下の低温作動での小型高効率化と急速作動停止特性を実現、出力密度2kW/m<sup>2</sup>、発電効率40%以上のプロトタイプモジュールによる実証を目指している（図9）。

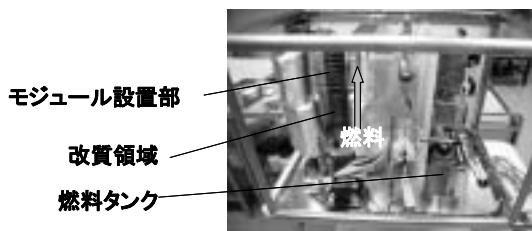


図9：試作した発電性能評価装置の例

#### 4. まとめ

以上、高度なセラミック製造プロセス技術の適用により、革新的なコンセプトに基づくモジュール実証を図る取り組みの中で、650°C以下の低温領

域で作動可能なサブミリ径チューブ型 SOFC の開発と高出力密度のキューブ実証に成功し、さらにミクロハニカム燃料電池型リアクターを初めて実現した。このマイクロセラミック部材／集積化プロセス技術の開発により、革新的な電気化学リアクターモジュールが実現、マイクロ SOFC の自動車補助電源、家庭用分散電源や移動電子機器用電源等への幅広い応用に向けて道を開くものとして、CO<sub>2</sub>排出削減等の環境・エネルギー問題の究極的解決に向けた検討を進めている。

#### 謝辞

本稿に関連する研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の援助による成果であり、ここに深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1]日経ものづくり、2004年4月4日号 p. 173.
- [2]川田達也、固体酸化物燃料電池の自動車への応用、セラミックス、36, 489(2001).
- [3]日経エレクトロニクス、2005年5月23日号 p. 40.
- [4]TOTOホームページ、ニュースリリース 2005年10月6日.
- [5]NEDOホームページ、  
<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p05022.html>
- [6]T. Suzuki, T. Yamaguchi, Y. Fujishiro, M. Awano, Improvement of SOFC performance using a micro tubular anode supported SOFC, J Electrochem. Soc., 153(2006).
- [7]産業技術総合研究所ホームページ、プレス発表、  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2007/pr20070329/pr20070329.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2007/pr20070329/pr20070329.html)

## N I S T 滞在報告 *Report from NIST*

錦 慎之助（長岡技術科学大学）

*Shinnosuke NISHIKI (Nagaoka University of Technology)*

*e-mail: nishiki@mech.nagaokaut.ac.jp*

### 1. はじめに

2006年9月1日から2007年8月31日までの一年間、長期海外研修のチャンスに恵まれ、アメリカのメリーランド州 Gaithersburg にある National Institute of Standards and Technology [1] (以下 NIST) の Building and Fire Research Laboratory [2] (以下 BFRL) に客員研究員として滞在していました。

### 2. N I S T

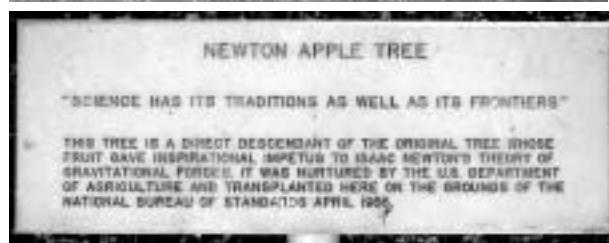
NIST は Department of Commerce (商務省) に属する国立の研究所で、39歳で受賞した Eric A. Cornell 博士の他に、Dr. William D. Phillips 博士、Dr. John (Jan) L. Hall 博士の計3名のノーベル物理学賞受賞者を輩出しています。

2007年度(2006年10月から1年間)の予算は約8.4億ドルで、以下の4つのプログラムが遂行されているそうです[1]。

1. NIST Laboratories
2. Baldrige National Quality Program
3. Hollings Manufacturing Extension Partnership
4. Advanced Technology Program

研究所は、メリーランド州 Gaithersburg とコロラド州 Boulder にあり、本部は Gaithersburg にあります。両研究所を衛星回線で結んだセミナー等が開催される場合は、時差が2時間あるため、Gaithersburg での開始時刻が午後になることが多いようです。アメリカの国土の広さを感じることができます。

私が滞在した Gaithersburg にある研究所は、Washington D.C. から直線で北西に約30kmの位置にあります。NIST の敷地の東側を走る無料の高速道路を利用すれば、40分程度で Washington D.C. の中心部まで行くことができます。また、平日は NIST のシャトルバスが最寄の地下鉄駅まで運行されているため、日本から NIST へ訪問される場合は、Washington D.C. から地下鉄を利用して NIST



りんごの木と鹿

まで来ることが可能です。

研究所は東西約1km、南北約2kmと広大な敷地があります。高層の本部棟と主に3階建ての研究棟は北側に配置されています。南側には大規模な火災実験を行う研究棟や中性子研究センターなどがあります。各建物の近くには十分な広さの駐車スペースが確保されており、かなり余裕をもった配置になっています。また、所内には広大な芝生が広がっており、池や小さな野球場などもあります。気候の良い時期は大勢の人が昼休みなどに散歩をしている光景が見られます。途中、鹿や鴨、モグラ(?)なども見ることができ、運動嫌いの人でも楽しく散歩ができるかもしれません。研究所の周囲はフェンスで囲われており、各出入ゲートでは NIST 警察が警備を行っているため、安全に散歩やジョギングをするには絶好な場所と言えることができると思います。ちなみに、NIST 警察は、研究所内のスピード違反や駐車違反などを取り締まっており、違反をすると切符を切られるそうです。研究所内には消防署もあり驚きました。

研究所の本部棟には、事務局の他に、700人程度および300人程度を収容できる2つのホール、6つのレクチャールームがあります。ポスターを掲示するスペースもあります。このため、学術会議やセミナーなどがしばしば開催されています。会議を行う際の会場準備や参加登録等を行う事務組織があり、会議開催の支援体制が整っているようです。各研究棟にも小さなセミナールームがあり、頻繁に各種セミナーが行われています。

研究所内には24時間オープンの中央図書館があり、かなり古い雑誌が保管されているため電子化されていない古い論文を容易に入手することができます。また、図書館の隣にある展示室では、古い計測機器や歴史年表などが紹介されています。これらはバーチャルミュージアム[3]でも展示されており、世界中から閲覧することができます。さらに、100周年記念のWebページ[4]にもNISTの研究の歴史が紹介されています。その中には、野球のピッチャーが投げるカーブに関する研究[5]も紹介されており、大変興味深いものになっています。

NISTでは多くの客員研究員が研究を行っています。2006年の外国人客員研究員のデータによると中国が141人で最大で、以下、フランス73人、韓国72人、インド63人、ドイツ47人、ロシア34人、イタリア21人に続いて日本20人となっています。私の知る限り日本人の数は1桁なのですが、帰国された方、Boulderに滞在されている方がいらっしゃると思われます。ところで、人数は少ないですがNIST日本人会[6]という組織があります。NISTへ長期滞在される予定のある方は、最新の現地の生活環境の情報を得ることができます。また、困った時に相談に乗ってもらえたり、歓迎会や送別会を開催していただけます。



NIST日本人会

各国から来ている客員研究員の組織 Guest Researcher Association (GRA) [7]もあり、こちらでも必要な情報が得られると思います。

夏休みには、アメリカとペルトリコの学部の学生向けにSummer Undergraduate Research Fellowship (SURF)というインターンシップが開催され、今夏は135人の学生が約2ヶ月間、各研究部門に配属され研究を行っていました。バーベキューや独立記念日の花火見学などのイベントも開催され、最後に研究成果発表会を行って、学生たちは各地に戻って行きました。

### 3. B F R L

BFRL[2]の研究対象は、建設材料、コンピューターによる建物設計、燃焼工学、火災安全、および構造、材料、環境工学です。BFRLには次の3つのDivisionがあります。

Materials and Construction Research

Building Environment

Fire Research

また、2つのOfficeがあります。

Applied Economics

National Earthquake Hazards Reduction Program

さらに外部組織と連携したConstruction Materials Reference Laboratoryがあります。



Large Fire Facilityでの樹木の燃焼試験

私が所属したのは Fire Research Division の Analysis & Prediction Group です。このグループでは、実験とシミュレーションにより、火災現象の理解と予測の技術を開発し、火災の危険性の軽減、防火技術と消防活動の改善をすることが目的となっています。具体的には、建物内火災や石油タンク火災、森林火災などが対象となっています。

私が BFRL で行った研究は、月や火星への有人宇宙船内の火災安全対策を目的とした、燃え拡がり現象の数値計算です。計算条件として異なる重力、圧力、酸素濃度を設定して、それぞれの条件での現象の違いを明らかにすることです。計算には、BFRL で開発された Fire Dynamics Simulator [8] (以下 FDS) の Version 4 を使用しました。FDS は火災のシミュレーションソフトで、ソースコードも含めてインターネットで無料公開されています。Windows, Mac OS X, Linux で実行可能となっています。また、計算結果の可視化ソフト Smokeview も付属されています。現在は、最新版の Version 5 が公開されています[9]。利用者向けのユーザーガイドと、基礎方程式等の詳細が書かれているテクニカルガイドも公開されています。

Fire Research Division では、難燃材料から火災時の避難行動まで幅広く火災関連を網羅した研究が行われています。興味深い研究としては、「燃えないタバコ[10]」や「ロウソクの炎」などがあります。「燃えないタバコ」は寝タバコなど、「ロウソクの炎」はアメリカではロウソクが一般家庭で良く使われているようで、これが原因の火災が発生しているため、それぞれ火災を予防するために行われた研究だそうです。他の Division 等の詳細情報はホームページ[2]をご参照ください。ところで、9.11 テロでの WTC 崩落についても BFRL で調査研究が進められており、その結果がホームページ上で公開されています[11]。

私が研究所に到着して実験室を覗いたときの最初の光景は、初老（と言ったら怒られるかもしれません。まだ現役です。）のお二人が実験装置に向かっているところでした。NIST では、定年後も客員研究員として研究所に残る制度があり、現役で研究を継続されたり、若い研究者にアドバイスを与えるなど、非常に精力的に“研究活動”をされている様子が伺えます。

私の滞在中に、BFRL 主催の Annual Fire

Conference が開催されました。この会議は毎年開催されていますが、全米および外国の火災に関する研究機関、協会、大学、企業の研究者が集まり、最新の研究成果の報告や、今後の研究方針などが議論されていました。火災関連研究の概要を紹介されていた NIST 以外から参加のアメリカの国立研究機関は、National Aeronautics and Space Administration, Nuclear Regulatory Commission, Air Force Research Laboratory, Consumer Product Safety Commission, Federal Aviation Administration, Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, National Institute for Occupational Safety and Health, United States Department of Agriculture, Sandia National Laboratories および National Science Foundation で、今回の会議では特に、国立研究機関間での研究協力について話題になっていました。また、スウェーデン、フランス、中国、韓国からの研究発表もありました。開催時期が 4 月の第 1 週ということが原因なのかは分かりませんが、日本からの出席者は見られませんでした。

#### 4. Gaithersburg

アメリカ東海岸にある Gaithersburg の夏は非常に蒸し暑く、7月初めから 30°C を超える気温と高い湿度は日本の夏とあまり違いはないと思います。セミも鳴いています。特に今年の夏は暑かったようで、最高気温が 100°F(37.8°C)を超えた日がありニュースで話題になっていました。一方、冬の寒さは厳しく、最低気温が -15°C 位まで下がります。昨年末は暖冬で桜が咲いたというニュースを見たのですが、その後どんどん気温は下がり、2月には氷のような大量の雪が降りました。



凍結した近所のショッピングモールの池

気温が低いため雪は完全に凍りつき，“私”が雪の上を歩いても足が雪に埋まることはなく、滑ることもありません。車に積もった雪を叩き割って苦労して降ろしたことが思い出されます。道路に積もった雪は除雪車によって除去され、大量の融雪剤が撒かれるため、車道は速やかに確保されます。ちなみに、こちらでは冬用タイヤに交換せずに、雪が降っても道路が凍結しても、普通のタイヤで走行しています。冬が厳しいので、夏時間に変わり日没が1時間遅くなった時は、春が来たことを実感できます。また、5月の新緑はとても綺麗で、四季の変化を感じることができます。

ところで、夏時間はアメリカでは Daylight Savings Time (DST)と呼ぶそうで、昨年は4月第1日曜日から10月最終日曜日まででしたが、今年から期間が延長され3月第2日曜日から11月第1日曜日までになりました。地球温暖化対策の一環だそうです。なお、飛行機の予約システムなどに問題が起こるのではないかと話題になっていましたが、混乱はありませんでした。

## 5. おわりに

ご存知の通り Washington D.C.はアメリカの政治の中心であり、ホワイトハウスや省庁などの政府機関あります。また、スミソニアン協会の博物館が多数あり、アメリカの歴史を垣間見ることができます。私は1年間滞在していましたが、結局すべての博物館を巡ることができず、後悔しています。時間が過ぎるのが、物凄く速く感じられた1年でした。最後に、私の不在中に学生実験や演習、その他業務などを代わっていただき、ご協力いただいた皆様に感謝したいと思います。

## 参考 Web サイト

- [1] National Institute of Standards and Technology  
<http://www.nist.gov/>
- [2] Building and Fire Research Laboratory  
<http://www.bfrl.nist.gov/>
- [3] NIST Virtual Museum  
<http://museum.nist.gov/>
- [4] NIST at 100 (100周年記念)  
<http://www.100.nist.gov/>
- [5] The Ball Does Curve  
<http://www.100.nist.gov/baseball.htm/>
- [6] NIST 日本人会  
<http://nistjp.at.infoseek.co.jp/>
- [7] The Guest Researcher Association GRA  
<http://www.guestresearcher.org/>
- [8] FDS and Smokeview Version 4  
<http://fire.nist.gov/fds4/>
- [9] FDS and Smokeview Version5  
<http://fire.nist.gov/fds/>
- [10] 燃えないタバコ  
[http://www.bfrl.nist.gov/info/fire\\_safe\\_cig/](http://www.bfrl.nist.gov/info/fire_safe_cig/)
- [11] NIST and the World Trade Center  
<http://wtc.nist.gov/>



ホワイトハウス



ダレス空港近くの Steven F. Udvar-Hazy Center



来年は新球場に移転する Washington Nationals

## 第7回日米熱工学合同会議報告

*Report on the 2007 ASME-JSME Thermal Engineering Conference and Summer Heat Transfer Conference /IntePACK'07*

花村 克悟（東京工業大学）

*Katsunori HANAMURA (Tokyo Institute of Technology)*

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

### 1. はじめに

第7回日米熱工学合同会議が、2007年7月8日(日)～12日(木)にわたり、カナダのバンクーバーにおいて開催された。

### 2. 今回の新しい試み

従来の日米熱工学合同会議とは異なり、下記のような新しい試みで開催された。

- (1) 毎年ASMEで開催されているSHTCとの同時期同場所開催(実質的にはマージされている)。
- (2) 会場をカナダのバンクーバーとした(通常、米国内)。

(3) IntePACK'07との同時期同場所開催(1つの登録で全ての会議に参加可能)。

したがって、これらをすべて含めた下記のような会議名称となった、

*“2007 ASME-JSME Thermal Engineering Conference and Summer Heat Transfer Conference /IntePACK'07”*

今回の日米熱工学合同会議は、ASME側がleading societyとして運営された。その実行委員長(General Chair)は、Dr. Rod Douglass (Los Alamos Nat. Lab.)氏であり、プログラム編集長(ASME

#### ◎ 発表件数とセッション数

	AJTEC/SHTC	AJTEC
Molecular, Microscale, and Nanoscale Thermal Engineering	80 (19 Sessions)	30 (7 Sessions)
Computational Heat Transfer	65 (15 Sessions)	14 (3 Sessions)
Bio-Thermal Science and Engineering	11 (3 Sessions)	7 (2 Sessions)
Thermal Engineering in Reacting Systems	49 (11 Sessions)	32 (7 Sessions)
Multiphase Transport	59 (14 Sessions)	16 (4 Sessions)
Thermal Engineering in Energy Systems	62 (16 Sessions)	28 (6 Sessions)
Heat Transfer Fundamentals	51 (11 Sessions)	38 (8 Sessions)
(SHTC07) Second International Heat Exchanger Symposium	10 (3 Sessions)	
(SHTC07) Materials Processing and Manufacturing	8 (2 Sessions)	
(SHTC07) Thermal Engineering in the Environment	9 (2 Sessions)	
Total	404 (95 Sessions)	165 (37 Sessions)
	InterPACK'07; 287(67 Sessions)	

#### ◎ キーノート

Prof. Arun Majumdar (Univ. of California, Global Energy – Demand, Supply, Consequences, Opportunities)

Dr. S. V. Patankar (Prof. Emeritus & President, Innovative Research, Inc., Micro and Macro Computational Models for the Prediction of Heat Exchanger Behavior)

Dr. Kathryn McCarthy (Deputy ALD, Idaho Nat. Lab., The Role of Nuclear Energy in Our Future)

Prof. Ishwar K. Puri (Virginia Tech., First Principle Simulations of Transport Phenomena at and near the Nanoscale)

Prof. Yuji Nagasaka (Keio Univ., New Frontiers of Micro- and Nanoscale Thermophysical Properties Sensing)

Prof. Shigeo Maruyama (The Univ. of Tokyo, Topics of Heat Transfer Related to Single-Walled Carbon Nanotubes)

Prof. Hiroshi Takamatsu (Kyushu Univ., Freezing of Cells: Role of Ice and Solute in Cell Damage)

Prof. Hideaki Kobayashi (Tohoku Univ., High-Pressure Combustion Phenomena)

Technical Program Chair)は、Prof. Ken Ball (Virginia Polytech. Inst. & State Univ.)であった。日本側の委員長(Co-Chair)は東工大の岡崎健教授であった。そして恐れながら日本側の論文取りまとめや幹事役(JSME Technical Program Co-Chair)として小職が務めさせていただいた。

参加者総数はおよそ 830 名 (AJTEC/SHTC と InterPACK'07 の合計登録者) であった。

### 3. 記念講演や特別企画

米国内の Summer Heat Transfer Conference (SHTC)との合同開催であったため、毎年行われる Max Jakob 賞記念講演が開催された。今年の受賞者は Prof. Kwan-Tzu Yang (The Univ. of Notre Dame)であった。また、特別企画として、下記の催し物があった。

- Special Session: In Memory of Prof. Kenjiro Suzuki
- Panel Discussion - 2nd International Heat Exchanger Symposium: Adopting Heat Exchanger Best Practice and Methodology for Thermal Management of Electronics
- Heat Transfer Visualization Photo Gallery

### 4. 会議を終えて

**4-1. プログラム編成などについて** 今回の日米熱工学合同会議（以後は AJTEC07 と記す）では、従来とは異なり、ASME で毎年開催されている SHTC(Summer Heat Transfer Conference)との合同開催であった。このため、論文の submit は AJTEC07 への投稿と、SHTC への投稿といった 2 系統で行われたため、多少、著者の戸惑いを招いた。

また、AJTEC07 としてのセッションは、JSME のオーガナイザーのみで構成され、従来のように、各セッション ASME 側 1 名、JSME 側 1 名とはならなかった。しかしながら、プログラム編成の際に、前頁のような枠組みを ASME 側が提案し、内容の近いセッションを集めて、可能な限りシリーズ（セッション数が多いものについてはパラレルとなる）で組むような努力がなされていた。

AJTEC 始まって以来の新しいことがいくつか含まれ、SHTC との合同開催である以上、この形態をある程度認める必要があると思われる。

**4-2. テクニカルセッションについて** 前頁の発表件数とセッション数をみると、日米の共通点や

相違点が多少理解される。ここで、AJTEC/SHTC は、トータルの件数であり、AJTEC は会議中 JSME セッションとして表示されたものを示し、この中で 100 件程度が日本からの発表になる。

ナノ・マイクロあるいは分子スケールの熱工学に関する研究は、日米を問わず、多いことがわかる。

次に多いのは、数値計算とエネルギーシステムに関するものであるが、前者は、SHTC での件数が多く、米国での数値計算での研究がやはり多いことがわかる。一方、後者は日米ともに多く、エネルギーシステムへの関心が高いことが伺える。

次に、混相における輸送であるが、混相流学会が、同時期に欧州で開催されているものの、米国からの発表が比較的多かった。

また、伝熱の基礎に関するものでは、伝導、単相対流、ふく射、混相と含まれているが、日本からの発表が多く、米国ではアプリケーションを意識、あるいは基礎的な研究であってもアプリケーションのセッションに投稿する傾向にあるように思われる。もちろん、応用あっての基礎研究であることは、日米を問わない考え方であるはずである。

化学反応を伴う熱工学としては、燃料電池のセッションが多く、時代の流行を感じさせる。このセッションに割り当てられた部屋が小さく、立見はもちろん、部屋に入れない方も見受けられた。一方、燃焼という一括りではなく、石炭・バイオマス燃焼というように明確なセッション名を立てるのも ASME の特徴といえる。

バイオについては、当初より、この AJTEC の前後あるいは同時期に、他の会議が行われているため、日米ともに参加者が少ないことが予想されていた。予想通り、このような分類をすると、他に比べてかなり少なくみえるのは致し方ない。

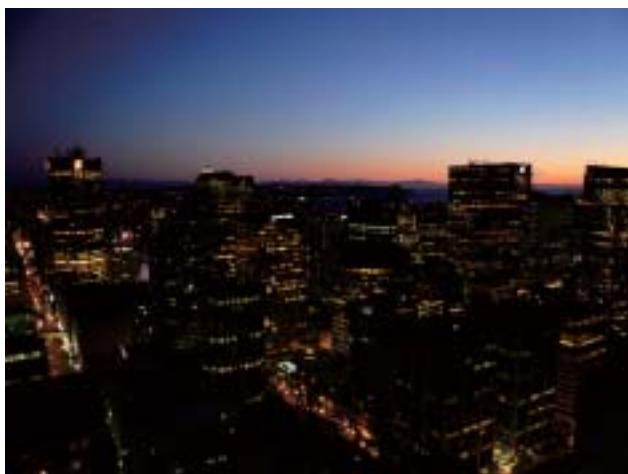
**4-3. キーノートについて** キーノートについては、前頁の表に記したように ASME 側と JSME 側から、それぞれ 4 名ずつ話題提供していただいた。日米での依頼方法が統一されていなかったためか、話題内容にも大きな相違があったように思われる。ASME 側からのキーノートは、将来展望や、戦略的な部分を強調した話が多かったが、JSME 側から提供されたキーノートの内容は、お世辞ではなく、どれも学術的に興味深く、将来に向かってもその分野の展望がおのずと開けそうな情報を提供していたように思われる。

**4-4. 特別企画について** 今年4月にご逝去された故鈴木健二郎先生を偲ぶセッションが設けられた。SHTCにおける2nd International Heat Exchanger Symposiumを推進させていたことから、そのセッションの一つを偲ぶ会とした、粋な計らいであった。通称Ken SuzukiとしてASMEでは知られていたらしく、プログラム編成の際にお名前を修正させていただいた一幕もあった。改めてご冥福をお祈り申し上げます。このセッションの会場も、メイン会場から遠く、かつわかりにくい位置であった。

**4-5. ふりかえって** 先にも記したように、今回のAJTEC07は、初めてSHTCとの合同開催とした。また、InterPACK'07とも同時期同場所開催となった。互いに刺激をし合い、相乗効果が期待できるのであれば、こうした試みも、SHTCやInterPACK'07だけでなく、他の学会とも融合する

ことは意味が無いことではない。しかし、それに伴い、会議の本来の役割が影を潜めるようでは意味が無い。初めての試みとしては、プログラム編成など苦労・苦心の跡がみられ、それなりに良くできたものとなっていたように思う。ただ、そこまでできるのであれば、もう一步、早い段階で協調しながらセッションが組めなかつたか、悔やまれるところである。また、セッションによっては、“ASMEも頑張っている”との評価も聞こえてきており、少なからずAJTECあるいはAJTEC/SHTCの役割が果たせたようにも思われる。

最後に、ご協力をいただいた皆様、機械学会熱工学部門所属委員会「AJ会議委員会」構成員、オーガナイザーや座長、査読委員、4年前から各年度の熱工学部門長をはじめとする熱工学部門総務委員会構成員、その都度ご助言を頂いた国内外の皆様、会議に参加いただいた皆様方に厚く御礼申し上げます。



## 台所の伝熱

*Heat Transfer in a Kitchen*

加賀 邦彦 (三菱電機)

Kunihiko KAGA(Mitsubishi Electric Corporation)

e-mail: Kaga.Kunihiko@cw.MitsubishiElectric.co.jp

この号がみなさんの手に届くころには過ごしやすい天気となっていると推察するが、今年の夏は記録的な暑さであった。暑い夏が続くと、台所に立って食事を作るのも重労働である。一時間もガスコンロの前に立って煮物や炒め物を作っていると汗だくだくになり、まあ、良いダイエットになる。

さて、調理に伝熱工学が深く関与していることは言うまでもないことだが、加熱源の熱量や温度制御により食材の温度とその時間変化を自在にコントロールするさまざまな調理器が出現している。自動調理器の代表格である電子レンジは名前も（“昭和”の感覚では）先進的なイメージがあり、“夢の調理器”として注目されたが、いまでは一般家庭はもとより一人暮らしの食生活を便利に支える必需品となった。ご承知のように食材中に含まれる水の分子を電磁波(マイクロ波)により励起し発熱させる。食材自身が発熱源であり、炎を用いて外部から熱を伝える伝統的な加熱方法とはコンセプトがまったく異なる調理器といえるだろう。ご存知とは思うが、電子レンジでゆで卵を作ろうとしてはいけない。食品の内部が均一に加熱する電子レンジの特性のため、TVでも話題になった“爆発卵”ができてしまう。現在はオーブンレンジとして、ふく射ヒータと一体となっているのが普通である。さらに最近では過熱蒸気を発生させて食材を包み込むスチームオーブンレンジが話題だが、もともと業務用として使われているスチームコンベクションオーブンが原型である。その名のとおり蒸気の対流熱伝達を利用した加熱方法であり、基本的に蒸気温度を制御し食品を外側から加熱する。食材を重ねて並べると加熱むらが生じやすいふく射加熱器に比べ、加熱源である蒸気流が食品の周りにまんべんなく供給されるため、大量の食材を一度に均一に加熱できるというメリットがある。しかし家庭用ではこのメリットよりも

むしろ「健康によい」というアピールにより各社競って製品化している。

なべやフライパンを使った煮物・炒め物調理では長らくガスの燃焼熱を用いるガスレンジが主役であったが、最近では電磁誘導加熱を用いたIHクッキングヒータが普及し始めている。なべに発生する渦電流により直接的に調理なべが加熱され、熱ロスが少ないために周りの空気温度上昇の度合いも少なく、それこそ暑い夏には快適だろう。調理の仕方はガスコンロとは少し異なり、炒め物ではシェフ気取りでフライパンを派手に揺らして食材を飛ばしたりせず、ガラス天板に置いたままでおとなしく中の食材をかき混ぜる。調理器が変わると調理の作法も変わる。

以上のようにさまざまな加熱調理器が実用化されても、50年代のアメリカ映画に出てきそうなSFチックな全自動調理器は未だ現れていない。その理由は技術的な問題もさることながら、調理の手間を省く欲求より、自分の好みやこだわりに合わせてできる限りきめ細かく制御が可能な機器が求められているからであろう。例外的なのは炊飯器で、米を洗う手間を除けば、まさに全自動調理器といえる。ガス式と電気式があるが20年以上前から保温機能も備えて炊飯ジャーと呼ばれている。もともとお米をたくのが目的だが、IH加熱が導入されて釜の内部の温度を細かく制御できるようになると、利用者の間でスープや煮物やケーキを作ったりする本来と異なる使い方がブームになった。最近では、パンつくりやヨーグルトつくりができるなどをうたった製品も出ている。ご飯たきに特化して進化を重ねたすえに、結果として料理好きな人たちの好奇心や探究心をくすぐる広がりが生まれたところが興味深い。

さて、最初にお話しした調理によるダイエットの効果だが、夕食のお供に泡の出る飲み物をいただくので効果は刹那であることを付しておく。

## 行事カレンダー

### 行事カレンダー

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	問合先	掲載号
<b>2007年</b>					
10月 22日(月) ～ 25日(木)	2007年度日本冷凍空調学会年次大会	'07.6.29	'07.8.31	日本冷凍空調学会事務局 〒160-0008 東京都新宿区三栄町8 三栄ビル4階 TEL/FAX: 03-3359-5231/5233 E-mail: reito@nifty.com	
10月 24日(水) ～ 26日(金)	第28回日本熱物性シンポジウム	'07.6.29	'07.8.24	日本熱物性シンポジウム実行委員会 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学 大学院工学研究科 TEL&FAX: 011-706-6425 E-mail: myamada@eng.hokudai.ac.jp	
11月 12日(月)	日本機械学会関西支部ステップアップセミナー2007 「わが国企業・技術者・学生のための戦略的技術経営II」	'07.11.5		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/FAX: 06-6443-2073/6049 E-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp	
11月 21日(水) 22日(木)	第15回 プラスチック成形加工学会秋期大会 「山口発 地球にやさしい成形技術」	'07.11.2	'07.10.12	第15回秋季大会実行委員長: 合田公一 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部機械工学科 TEL&FAX: 0836-85-9157 E-mail: goda@yamaguchi-u.ac.jp	
11月 23日(金) 24日(土)	第31回人間－生活環境シンポジウム	'07.8.31	'07.10.15	人間－生活環境系学会事務局 〒468-8504 名古屋市天白区塩竈口1-5-1 名城大学理工学部環境創造学科 垣岡研究室内 TEL: 052-832-1151, FAX: 052-838-2382 E-mail: jimukyoku@jhes.jp.com URL: http://www.jhes.jp.com	
11月 23日(金) 24日(土)	熱工学コンファレンス 2007	'07.7.7	'07.10.10	熱工学コンファレンス実行委員会事務局 〒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 热工学研究室内 TEL/FAX: 075-753-5255/5203 E-mail: tedconf07@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp URL: http://www.jsme.or.jp/ted/thermal07/	
11月 23日(金) ～ 25日(日)	エコトピア科学に関する国際シンポジウム 2007 (ISET07)			ISETS07事務局 担当: 佐野 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋 大学エコトピア科学研究所 TEL&FAX: 052-789-4310 E-mail: isets07@esi.nagoya-u.ac.jp	
11月 28日(水) ～ 30日(金)	日本地熱学会平成19年度学術講演会			日本地熱学会行事委員長: 有木和春 〒330-8508 埼玉県さいたま市大宮区北袋 町1丁目297番地 三菱マテリアル株式会社 地熱・電力事業 センター TEL: 048-641-5624 E-mail: ariki@mme.co.jp"	
12月 5日(水) ～ 7日(金)	第45回燃焼シンポジウム	'07.10.31	'07.9.21	第45回燃焼シンポジウム事務局 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01 東北大大学院工学研究科 航空宇宙 専攻内 TEL/FAX: 022-795-7008/7009 E-mail: sympo45@combustionsociety.jp URL: http://combustionsociety.jp/sympo45"	
12月 10日(月)	日本機械学会関西支部 第293回講習会 「プロとして使う英語を磨く (Poloshing Your Professional English)」			日本機械学会関西支部事務局 〒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/FAX: 06-6443-2073/6049 E-mail: jsme@soleil.ocn.ne.jp	
12月 14日(金) 15日(土)	The 7th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI 2007) 及び The 4th International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration (TFI 2007)			東北大流体科学研究所 AFI/TFI-2007 実行委員: 伊藤高敏 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 TEL&FAX: 022-217-5234 E-mail: ito@ifs.tohoku.ac.jp	
12月 19日(水) ～ 21日(金)	第21回数値流体力学シンポジウム			実行委員会事務局 嶋英志 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 社団法人日本流体力学会 第21回数値流体力学シンポジウム TEL/FAX: 042-759-8461/8272 URL: http://www.nagare.or.jp/cfd/cfd21/	

## 行事カレンダー

---

12月	20日(木) 21日(金)	第16回微粒子シンポジウム	'07.10.5	'07.11.16	日本液体微粒化学会事務局 (株)学術出版印刷事務局長 近藤健 〒554-0022 大阪市此花区春日出中2-14-9 TEL: 06-6466-1588 FAX: 06-6463-2522 E-mail: info@ilass-japan.gr.jp	
<b>2008年</b>						
1月	24日(木) 25日(金)	第36回GTSJ ガスターインセミナー			社団法人日本ガスターイン学会 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13第3工新ビル4階 TEL/FAX: 03-3365-0095/0387	
2月	5日(火) 6日(水)	14th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"			社団法人溶接学会 〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町1-11 TEL/FAX: 03-3253-0488/3059	
6月	10日(火) ～ 12日(木)	第57回 理論応用力学講演会	'08.2.21	'08.4.17	日本学術会議事務局参事官(審議第2担当) TEL/FAX: 03-3403-1056/1640 E-mail: s253@scj.go.jp"	
6月	18日(水) ～ 20日(金)	e-Therm 2008 (1st International Symposium on Thermal Design and Thermophysical Property for Electronics)	'08.1.15		担当: 宮崎綾子 〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3 独立行政法人 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 物性統計科 TEL/FAX: 029-861-4053/4236 E-mail: e-therm@m.aist.go.jp	

## 「伝熱」の著作権の帰属について（公告）

(社) 日本伝熱学会会長 柏植綾夫

(社) 日本伝熱学会は（独立行政法人）科学技術振興機構の支援を受けて学会誌「伝熱」およびその前身の「伝熱研究」を創刊号にさかのぼって電子化することになりました。これらの刊行物を電子化するに当たっては、著者より著作権（複製権、公衆送信権を含む）の委譲を受けていることを明確にする必要があります。そこで当該著作物の著作権者の方々に、以下の1～3項目について了承を得たいと考えております。

1. (社) 日本伝熱学会は、学術目的のため、該当する著作物の全部または一部を複製する権利および公衆送信する権利を有する。
2. (社) 日本伝熱学会は、学術目的のため、第三者に上記1と同様の権利を行使させる権利を有する。
3. 上記1、2の行為により収入がある場合は、この収入を本会の運営費用に充てる。

著作権の委譲を本会が受けましても、著者自身の利用を妨げるものではないことは現状と変わりません。該当する著作物の著者または相続権を持つ遺族の方の中で、この処置をご不審をお持ちになる方がいらっしゃる場合は、2008年3月末日までに下記にお申し出ください。また、期限後にあっても、お申し出いただいた時点で可能な限り速やかに、当該論文の電子出版ならびに公開を停止いたします。なお、お申し出の無い場合はご了承をいただけたものとし、(独)科学技術振興機構の電子ジャーナル「Journal@chive」において公開する作業を進めさせていただきたく思いますので、ご理解のほどをお願いいたします。

問合せ先：

(社) 日本伝熱学会事務局

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-16-16

Tel/Fax. 03-5689-3401, E-mail: office@htsj.or.jp

または

編集出版部会長 近久武美

〒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

Tel. 011-706-6785, Fax. 011-706-7889, E-mail: takemi@eng.hokudai.ac.jp

## 平成 19 年度 日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 募集のお知らせ

日本伝熱学会には、学術賞、技術賞、および奨励賞が設けられています。つきましては、下記の要領に従って本年度の募集を行いますので、自薦、他薦を問わず、多数ご応募下さい。

### 記

#### 1. 対象となる業績

- (1) 学術賞の対象は、原則として、最近 3 年間の Thermal Science and Engineering 誌に掲載された、あるいは、最近 5 回の日本伝熱シンポジウムにおいて発表し、国内外の審査のある学術論文集に掲載された伝熱に関する優秀な研究論文とします。なお、受賞対象研究課題名は、必ずしも論文題目と一致する必要はありません。また、Thermal Science and Engineering 誌に掲載された論文は、日本伝熱シンポジウムにおける発表の有無にかかわらず、受賞の対象となります。
- (2) 技術賞の対象は、公表された優秀な伝熱技術とします。
- (3) 奨励賞の対象は、原則として、最近 2 回の日本伝熱シンポジウムにおいて優秀な論文を発表した若手研究者で、発表時に大学院生、またはこれに準ずる者（大学卒業後 5 年以内の者）とします。
- (4) 学術賞および奨励賞の対象資格は、原則として本会会員に限ります。
- (5) 贈賞数は、学術賞 2 件程度、技術賞 1 件程度、奨励賞 4 件程度とします。

#### 2. 選考方法

- (1) 各賞の選考は、「表彰選考委員会」が「日本伝熱学会賞審査・選考方法内規」によって行います。
- (2) 表彰選考委員会は、公募の他に、各賞の候補を推薦することが出来るものとします。

#### 3. 提出書類

- (1) 所定用紙「日本伝熱学会 学術賞・技術賞・奨励賞 申請書・推薦書」 1 通  
用紙は次ページをコピーまたは学会ホームページからダウンロードしてご使用ください。  
学術賞・技術賞・奨励賞それぞれに申請書・推薦書が異なりますので、ご注意ください。
- (2) 論文抜刷または技術内容参考資料 6 部
- (3) 日本伝熱シンポジウム講演論文集抜刷 6 部（学術賞・奨励賞のみ）

#### 4. 提出先

〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地  
佐賀大学理工学部機械システム工学科  
門出 政則 宛  
(e-mail: monde@me.saga-u.ac.jp)  
TEL 0952-28-8608 FAX 0952-28-8587

#### 5. 提出期限

平成 20 年 1 月 11 日（金）必着

#### 6. 問い合わせ先

提出先に同じ

## 平成 19 年度 日本伝熱学会賞 学術賞 申請書・推薦書

注記：日本伝熱学会賞「学術賞」は以下のように規定されています。申請・推薦にあたってはご注意下さい。

1. 学術賞は、原則として、最近 5 回の日本伝熱シンポジウムにおいて発表し、Thermal Science and Engineering 誌、またはその他の国内外で審査のある論文集に掲載された優秀な伝熱に関する研究を主体的に行った研究者とその共同研究者を対象とする。なお、受賞研究課題名は日本伝熱シンポジウムでの発表論文名と厳密に一致することを要しない。
2. 学術賞の受賞資格者は原則として本会会員に限る。

申請者・推薦者名 \_\_\_\_\_ 印 \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
連絡先 〒 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

受賞候補者（※共同研究者欄は適宜増減してください。申請書・推薦書が 2 頁にわたってもかまいません）：

研究代表者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  学生会員  名誉会員  
連絡先 〒 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

共同研究者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  学生会員  名誉会員  
連絡先 〒 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

共同研究者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  学生会員  名誉会員  
連絡先 〒 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

受賞対象研究課題名：

\_\_\_\_\_

関連研究の日本伝熱シンポジウム発表（※原則として最近の 5 回に限る。別刷またはそのコピー 6 部添付）：

論文題名 \_\_\_\_\_  
著者名 \_\_\_\_\_  
第 \_\_\_\_ 回日本伝熱シンポジウム講演論文集、第 \_\_\_\_ 卷、\_\_\_\_ - \_\_\_\_ 頁、\_\_\_\_ 年

受賞対象研究内容の発表業績（※別刷またはそのコピー 6 部添付）：

論文題名 \_\_\_\_\_  
著者名 \_\_\_\_\_  
掲載誌 \_\_\_\_\_  
第 \_\_\_\_ 卷、第 \_\_\_\_ 号、\_\_\_\_ - \_\_\_\_ 頁、\_\_\_\_ 年

申請・推薦理由：

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 平成 19 年度 日本伝熱学会賞 技術賞 申請書・推薦書

注記：日本伝熱学会賞「技術賞」は以下のように規定されています。申請・推薦にあたってはご注意下さい。  
1. 技術賞の対象は、優秀な伝熱技術を開発した者とする。

申請者・推薦者名 \_\_\_\_\_ 印 \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
連絡先 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

受賞候補者（※共同研究者欄は適宜増減してください。申請書・推薦書が 2 頁にわたってもかまいません）：

研究代表者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  名誉会員  その他 \_\_\_\_\_  
連絡先 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

技術開発への寄与の内容 \_\_\_\_\_

共同研究者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  名誉会員  その他 \_\_\_\_\_  
連絡先 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

技術開発への寄与の内容 \_\_\_\_\_

共同研究者

氏名（ふりがな） \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
職名 \_\_\_\_\_ 会員資格  正会員  名誉会員  その他 \_\_\_\_\_  
連絡先 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

技術開発への寄与の内容 \_\_\_\_\_

受賞対象技術名：

\_\_\_\_\_

受賞対象技術の内容（※技術の内容を説明する資料 6 部添付）：

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

申請・推薦理由：

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

平成 19 年度 日本伝熱学会賞  
奨励賞 申請書・推薦書

注記：日本伝熱学会賞「奨励賞」は以下のように規定されています。申請・推薦にあたってはご注意下さい。

1. 奨励賞の対象者は、原則として、最近2回の日本伝熱シンポジウムにおいて優秀な論文を発表した若手研究者で、発表時に大学院生、またはこれに準じる者（大学卒業後5年以内の者）とする。
  2. 奨励賞の受賞資格者は原則として本会会員に限る。

申請者・推薦者名 \_\_\_\_\_ 印 \_\_\_\_\_  
所属 \_\_\_\_\_  
連絡先 〒 \_\_\_\_\_  
電話 \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

### 受賞候補者：

氏名 (ふりがな)			
所属			
職名		会員資格	<input type="checkbox"/> 正会員 <input type="checkbox"/> 学生会員
連絡先	〒		
電話		e-mail	

### 受賞対象研究課題名 :

院の日本伝熱シンポジウム発表（※原則として最近の2回に限る。別刷またはそのコピー6部添付）：  
論文題名 \_\_\_\_\_  
著者名 \_\_\_\_\_ 第\_\_\_\_回日本伝熱シンポジウム講演論文集、第\_\_\_\_巻、\_\_\_\_-\_\_\_\_頁、\_\_\_\_年  
発表時の年齢 \_\_\_\_\_  
発表時の身分 \_\_\_\_\_

#### 申請・推薦理由：

## 第45回日本伝熱シンポジウム研究発表論文募集

開催日：平成20年5月21日(水)～5月23日(金)

シンポジウムテーマ：－熱・サイエンス・ひと・未来－

会場：つくば国際会議場

(秋葉原からつくばエクスプレス線快速で45分+徒歩10分)

(〒305-0032 茨城県つくば市竹園2-20-3, Tel. 029-861-0001, <http://www.epochal.or.jp/>)

特別講演：宇宙飛行士 毛利衛氏 「宇宙から見た新しい地球圏」

研究発表申込締切：平成20年1月20日(日)

論文原稿締切：平成20年3月13日(木)

参加事前申込締切：平成20年4月14日(月)

ホームページURL：<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/~nhts45/index.html>

### 【シンポジウムの形式】

・講演発表形式として、

- 通常の一般セッション（口頭発表）
- 特別セッション（オーガナイズド形式の口頭発表）
- 学生および若手研究者を対象とする優秀プレゼンテーション賞セッション（短時間の口頭発表とポスター発表）

を実施します。優秀プレゼンテーション賞セッションでは、企業、大学、研究所等の技術者・研究者で若手の方、または発表申込み時点で学生の方が発表できます（詳しくは本号掲載の「優秀プレゼンテーション賞について」をご参照ください）。指導教員または研究グループ長等は奮って1名の代表をご推薦くださるようお願いします。

・1講演あたりの割当時間は、一般セッションでは15分（発表10分、個別討論5分）で、各セッションの最後に総合討論の時間（5分×セッション内の講演件数）を設ける予定です。特別セッションでは、オーガナイザーの指定によります。優秀プレゼンテーション賞セッションの割当時間は「優秀プレゼンテーション賞について」をご覧下さい。

### 【研究発表申込方法】

- 原則としてウェブによる申込みに限らせていただきます。本シンポジウムのホームページから必要なデータを入力ください。ウェブによる申込みができない場合には本シンポジウム実行委員会事務局にお問い合わせください。
- 一般セッション、特別セッション、優秀プレゼンテーション賞セッションのいずれで発表するかを必ず選択してください。優秀プレゼンテーション賞セッションにお申込みの場合には、指導教員あるいは研究グループ長等の氏名を必ず入力ください[なお、指導教員・研究グループ長等ごとに応募者を1名(1件)とします]。
- 発表申込時に、論文のアブストラクト（日本語で200～250字）を入力ください。講演論文集の抄録として科学技術振興機構（JST）のデータベースに登録します。
- 講演発表申込みは、講演者1名につき1題目とさせていただきます。
- 発表の採否およびセッションへの振分けは、実行委員会にご一任願います。

### 【講演論文集】

- ・講演論文集として、オフセット印刷版（白黒）と電子版を作製します。電子版論文集は Web 上における J-STAGE からの公開をメインとし、パスワードを会員に配布して、電子版を Web 上で閲覧できるようにします。なお、会員が当該論文をのちに原著論文として学会誌等に投稿されることを考慮し、本講演論文集が限られた範囲に配布されたものであることを明確にするために、パスワードは、近い将来には解除致しません。
- ・電子版論文集の CD-ROM も作製し、参加者に配布します。非参加の会員にも、希望があれば無料配布しますので、開催後に事務局にお申し込み下さい。
- ・印刷版の講演論文の長さは 1 題目あたり A4 サイズで 2 ページとします。論文の作成フォーマットは前回と同様の予定です（2 段組×片側 26 字×60 行）。
- ・電子版には、オフセット印刷版と同じものか、または 8 ページ以内のフルページを掲載することができます（様式は印刷版と同じですが、カラーの使用が可能です。ファイル容量は最大で 2 MB までとし、アニメーションを挿入することはできません）。
- ・電子版に掲載された論文は、本学会の論文誌 "Thermal Science and Engineering" にそのまま投稿することができます（詳細は会誌 1 月号の「お知らせ」）に掲載いたします）。但し、掲載までには通常の査読を経ます。
- ・執筆要綱は、会誌 1 月号の「お知らせ」および本シンポジウムのホームページに掲載します。
- ・本シンポジウムでは、講演論文を電子化するために、論文原稿を原則として PDF ファイルで提出していただきます。PDF ファイルで提出できない場合には、別途変換操作業料（1 件につき 3,000 円）を申し受け、実行委員会が PDF 化を代行します。
- ・講演受付は J-STAGE 上で行います。
- ・原稿提出締切までに提出されなかった論文は論文集（オフセット印刷・CD-ROM）および J-STAGE に掲載されません。J-STAGE の締め切りは厳密ですので、十分なご注意をお願い致します。

### 【参加費用等】

#### ・シンポジウム参加費

一般（事前申込：10,000 円、会場申込：12,000 円）

学生（事前申込：5,000 円、会場申込：6,000 円）

#### ・論文投稿整理費 今回は申し受けません。

#### ・講演論文集

伝熱学会会員：無料（電子版は J-STAGE 上で事前に公開します。印刷版・CD-ROM はシンポジウム参加者に当日配布いたします。非参加者のうち希望者には CD-ROM を事後に郵送します。）

非会員：8,000 円（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。）

### 【講演論文集の発行日】

- ・事前参加登録された方を対象に、シンポジウム開催日の 1 週間程前から J-STAGE 上で公開します。
- ・したがって、特許に関わる公知日は、シンポジウム開催日よりも早くなりますのでご注意ください。

### 【懇親会】

#### ・開催日： 平成 20 年 5 月 22 日（木）

#### ・会 場： ホテルグランド東雲

（〒305-0034 つくば市小野崎 488, Tel 029-856-2211, <http://www.hg-shinonome.co.jp/>）

#### ・参加費

一般（事前申込：8,000 円、会場申込：10,000 円。同伴配偶者無料）

学生（事前申込：4,000 円、会場申込：5,000 円）

**【交通と宿泊について】**

- ・交通と宿泊につきましては本シンポジウムのホームページをご参照ください。
- ・つくば市は規模が小さいため、ホテルの数が多くはありません。直前の宿の予約が困難になると予想されます。シンポジウム事務局でも一定数の部屋を確保しておりますので、上記のホームページから、お早めに手配されることをお勧めいたします。

**【ご注意】**

- ・研究発表申込の取消および論文原稿の差替は、準備と運営に支障をきたしますのでご遠慮ください。
- ・論文題目と著者名が講演申込時と論文提出時で相違しないように特にご注意ください。
- ・口頭発表用として実行委員会が準備する機器は、原則として液晶プロジェクタのみとさせていただきます。パソコンコンピュータは各自ご持参ください。
- ・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。
- ・別刷の配布はいたしません。
- ・その他ご不明な点がありましたら、下記の実行委員会事務局に FAX または E-mail でお問い合わせください。

**【お問い合わせ先】**

第 45 回日本伝熱シンポジウム実行委員会  
東京理科大学理工学部機械工学科内  
FAX: (04) 7123-9814  
E-mail: nhts45@rs.noda.tus.ac.jp

第 45 回日本伝熱シンポジウム実行委員会  
委員長 河村 洋  
事務局長 川口靖夫

## 優秀プレゼンテーション賞（第45回日本伝熱シンポジウム）について

第45回伝熱シンポジウムでは、下記の要領で、学生・若手研究者を対象に優秀プレゼンテーション賞の審査・表彰を行います。企業・大学・研究機関等、多数の皆様に御参加いただきますよう御願い申し上げます。

日本伝熱学会・学生会委員会・委員長 堀部 明彦

- 日 時： 平成20年5月21日（水） シンポジウム第1日目
- 発表方法： 発表者一人あたり3分程度のショートプレゼンテーション（SP）とポスタープrezentーション（PP）を行っていただく予定です。
- 対 象： 企業、大学、研究所等の技術者・研究者で、平成20年3月31日現在で28才以下の者、または、発表申込当日学生の者（ただし、社会人大学院生を除く）。
- 応募資格： 発表時（＝審査時）に、日本伝熱学会の会員（正員、学生員）、または申し込み中であること。
- 応募の数： 研究グループ長、または指導教員等あたり、1名（1件）の発表応募とさせて頂きます。
- 応募方法： 第45回日本伝熱シンポジウム研究発表申込時に、本号掲載の申込様式に従って、“優秀プレゼンテーション賞”の項目にチェックをし、“指導教員または研究グループ長等氏名”および“研究分野の分類記号”を入力ください。なお、予稿集用の原稿につきましては一般セッションと同様の形式とします。
- 審査方法： 数名の学会役員（理事、評議員、企画部会員および学生会委員等）による評価ならびに一般投票による評価に基づいて審査を行う予定です。
- 審査結果： 審査集計が終了し次第、総合受付にて審査結果を発表します。また、受賞者はシンポジウム2日目の学会総会で表彰されます。

くなお、ポスター発表方法の詳細および最新情報は本シンポジウムのホームページを御覧下さい。

（<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/~nhts45/index.html>）>

## 第 57 回理論応用力学講演会

主催 日本学術会議 機械工学委員会・土木工学・建築学委員会合同  
IUTAM 分科会

共催 応用物理学会, 化学工学会, 地盤工学会, 土木学会, 日本応用数理学会, ○日本風工学会, 日本機械学会, 日本気象学会, ○日本計算工学会, 日本建築学会,  
○日本原子力学会, 日本航空宇宙学会,  
日本地震工学会, 日本数学会, 日本船舶海洋工学会, ○日本伝熱学会, 日本物理学会, ○日本流体力学会,  
日本レオロジー学会, 農業農村工学会, 日本材料学会  
(50 音順, ◎ : 主幹事学会, ○ : 幹事学会)

**開催日** 2008 年 6 月 10 日 (火) ~12 日 (木)

**会 場** 日本学術会議 (東京都港区六本木 7-22-34)

**趣 旨** 「理論応用力学講演会」は力学に関する最も権威ある世界の組織 IUTAM の開催する国際会議の国内版として開催されてきました。力学が細分化する中で、各々の分野の先端的研究を集めて、幅広い力学研究の動向を確かめ合うことが本講演会の目的です。本年度も、多くの力学の共通語を中心としたオーガナイズドセッションとパネルディスカッションを組み、ご要望にお応えしたいと存じます。皆様の多数のご参加をお待ちしております。

**ホームページ** <http://www.jiban.or.jp/nctam/>

### テーマ企画一覧

#### [特別講演題目／講師]

- ・ 粘土の圧密と砂の締固め／液状化 一構造概念を中心にしてー／浅岡 顯 (名大)
- ・ 乱流：この困難な課題（仮題）／笠木伸英(東大)
- ・ シャンノンのパラダイムを越えて 一サンプル値制御理論を利用した誤差の制御／山本 裕 (京大)

#### [パネルディスカッションテーマ／モデレータ]

- ・ 粒子に基づく数値解析法の本質／前田健一 (名工大), 阪口 秀 (JAMSTEC)
- ・ 原子力における最先端計算科学技術／越塚誠一 (東大)
- ・ 熱ふく射の波長制御と応用／花村克悟 (東工大)
- ・ 構造物の崩壊解析の最前線／小河利行 (東工大)

#### [オーガナイズドセッションテーマ／オーガナイザ]

- OS1 地盤工学問題の解析における新しい展開／張 錄 (名工大), 飯塚 敦 (神戸大)
- OS2 風応答・風環境の予測・制御／野村卓史 (日大), 植松 康 (東北大)
- OS3 構造物の動的解析／磯部大吾郎 (筑波大), 弓削康平 (成蹊大)
- OS4 連成現象・複合現象のシミュレーション／吉村 忍 (東大), 文屋 信太郎 (東大)
- OS5 流れの不安定性と空力音／高木正平 (JAXA)
- OS6 非定常乱流の数値解析の工学的応用／加藤千幸 (東大)
- OS7 ミクロ・ナノ熱工学／中別府修 (明治大)
- OS8 非線形現象の解析・制御・応用／藪野浩司 (筑波大)
- OS9 多階層連結系のマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション／矢木雅敏 (九大応研), 草野完也 (JAMSTEC)
- OS10 大気・海洋・惑星の流体力学／和方吉信 (九大応研), 伊賀啓太 (東大洋研)
- OS11 地震リスクマネジメント／吉田郁政 (武蔵工大), 高田毅士 (東大)

- OS12 化学工学におけるプロセス強化のための移動現象論の新展開／吉川史郎 (東工大)
- OS13 確率理論の力学問題への応用／吉田郁政 (武蔵工大), 堀 宗朗 (東大)
- OS14 構造同定／鈴木 誠 (清水建設), 丸山 收 (武蔵工大)
- OS15 MORPHODYNAMICS／武藤鉄司 (長崎大), 清水康行 (北大), 泉 典洋 (北大)
- OS16 離散体の力学／松島亘志 (筑波大), 前田健一 (名工大)
- OS17 破壊力学の理論とその応用／大塚厚二 (広島国際学院大), 廣瀬壯一 (東工大)
- OS18 構造物のロバスト設計・最適設計／竹脇 出 (京大), 寒野善博 (東大)
- OS19 構造物の減衰／新宮清志 (日大)
- OS20 Eulerian/Fictitious/eXtended FEM／山田貴博 (横浜国大), 野口裕久 (慶大), 岡澤重信 (広島大)
- OS21 航空宇宙機の飛行制御技術／元田敏和 (JAXA)
- OS22 応用逆問題の解の構成と数値解析／磯 祐介 (京大), 今井仁司 (徳島大)
- OS23 自己相互作用流体の物理現象と数学解析／鈴木 貴 (大阪大学)
- OS24 金融工学理論の発展／赤堀次郎 (立命館大), 石村直之 (一橋大), 小俣正朗 (金沢大)
- OS25 生体物理的属性の分布測定法の開発と実際／中根和昭 (大阪電通大), 菅 幹生 (千葉大)
- OS26 多相構造とレオロジー／鳴海敬倫 (新潟大), 名畑嘉之 (花王株)
- OS27 高分子材料成形加工を対象とした数値解析技術／横山敦士 (京都工経大), 野々村千里 (東洋紡績㈱)

#### [一般セッション]

固体力学, 流体力学, 固体一流体力学, 数値解析, その他

**講演申込** オーガナイズドセッション, 一般セッションのいずれも, J-STAGE の大会演題登録システム (本講演会ホームページからリンク) を用いてお申し込み下さい。締切は 2008 年 2 月 21 日 (木) とし, その後はシステムを停止しますのでご注意下さい。なお, 講演発表は, 同一のオーガナイズドセッション内では原則として 1 人 1 回に限ります。

**講演論文集原稿** 審査の結果, 採択された講演については, A4 判 2 ページの PDF ファイルを J-STAGE の大会演題登録システム (本講演会ホームページからリンク) を用いて提出いただきます。締切は 2008 年 4 月 17 日 (木) とし, その後はシステムを停止しますのでご注意下さい。なお, 講演 1 件につき整理費 2,000 円を申し受けます。整理費の支払方法は, 採択通知時にご案内します。

**英文論文** 著者の希望により発表論文をあらためて英文で投稿されると, 査読による審査を経て後日発行する英文 Proceedings に収録されます。寄稿申込みは, メールと郵送によって受け付けます。英文論文寄稿料として 10,000 円を申し受けます。寄稿申込み期日は, 2008 年 6 月 27 日 (金) まで, 査読用原稿受付期日は 2008 年 7 月 25 日 (金) です。詳細につきましては, 本講演会ホームページにてご案内いたします。なお, 英文論文集発刊は 2009 年 3 月を予定しており, 英文論文は J-STAGE にも登載されます。

**問合せ先** 実行委員会 講演担当幹事 中村恭志 (東工大) / 電話 (045) 924-5548 / FAX (045) 924-5549 / E-mail : nctam@jiban.or.jp

**幹事学会事務局** (社) 地盤工学会 (担当: 戸塚・松本) 〒112-0011 東京都文京区千石 4-38-2 / 電話 (03) 3946-8677 / FAX (03) 3946-8678 / E-mail : nctam@jiban.or.jp



## 編集出版部会からのお知らせ —各種行事・広告などの掲載について—



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

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

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

### 【連絡先】

- ・ 総務部会長：山田 純（芝浦工業大学）：[jyamada@sic.shibaura-it.ac.jp](mailto:jyamada@sic.shibaura-it.ac.jp)
- ・ 編集出版部会長：近久武美（北海道大学）：[takemi@eng.hokudai.ac.jp](mailto:takemi@eng.hokudai.ac.jp)
- ・ 広報委員会委員長：芝原正彦（大阪大学）：[shiba@mech.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:shiba@mech.eng.osaka-u.ac.jp)
- ・ 総務担当副会長補佐評議員：小川邦康（慶應義塾大学）：[ogawa@mech.keio.ac.jp](mailto:ogawa@mech.keio.ac.jp)
- ・ 事務局：倉水裕子：[office@htsj.or.jp](mailto:office@htsj.or.jp)

### 【注意】

- ・ 原稿はWordファイルまたはtextファイルでお願いします。
- ・ HPはメンテナンスの都合上、掲載は申込月の翌月、また削除も希望掲載期限の翌月程度の時間遅れがあることをご了承願います。
- ・ MLで添付ファイル配信する場合は、pdfあるいはjpgファイルで2MB以下にお願いします。

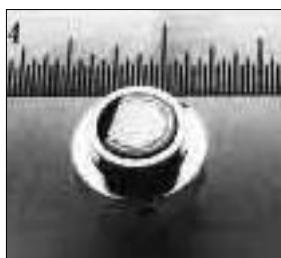
46期新入会員（2007.7.10～2007.9.25）正4名

資	氏名	所属	資	氏名	所属
正	井上 久	ボンハス株式会社 研究開発企画部	正	市川 英伸	日立製作所オートモーティブシステムグループ
正	上原 拓男	新日本製鉄株式会社	正	米野 範幸	松下電器産業㈱電化住設研究所



熱流束センサーは、熱エネルギーの移動密度 ( $\text{W/cm}^2$ ) 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



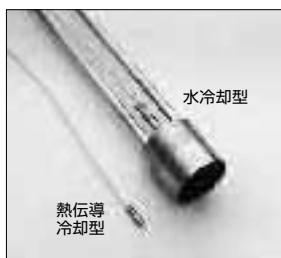
#### 特徴

- 最高速度の応答(約  $6\mu\text{s}$ )
- 850°Cまで外部冷却不要
- 低雑音 / 高感度
- 热流束と温度を測定
- 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
- ターピングレード熱風洞試験
- 自動車用エアーバッグ安全性試験
- ジェットエンジンバックファイバー試験

### ガードン型円形foilセンサー



センサー本体の構造は、薄膜foil・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。foil・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

- 燃却炉・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
- 热交換器の効率測定
- 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。

### センサテクノス株式会社

〒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](http://www.senstech.jp)

E-mail

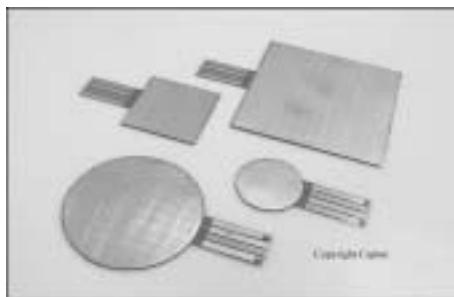
[senstech@td6.so-net.ne.jp](mailto:senstech@td6.so-net.ne.jp)

## 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ています。

### CAPTEC 社（フランス）

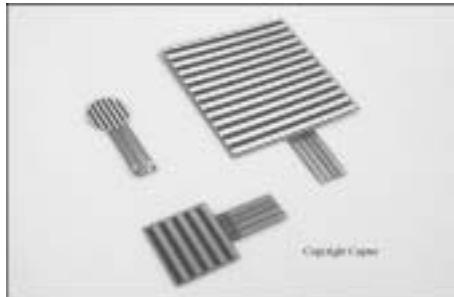
CAPTEC 社は、独自の高度技術により、低熱抵抗で高感度な熱流束センサーを開発・製造致しております。環境温度が変化しても感度は常に一定で、熱流束値に比例した電圧を高精度に出力します。輻射センサーは、輻射熱のみを計測する画期的なセンサーです。特注形状も承っております。

#### 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/m <sup>2</sup> )]
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－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。

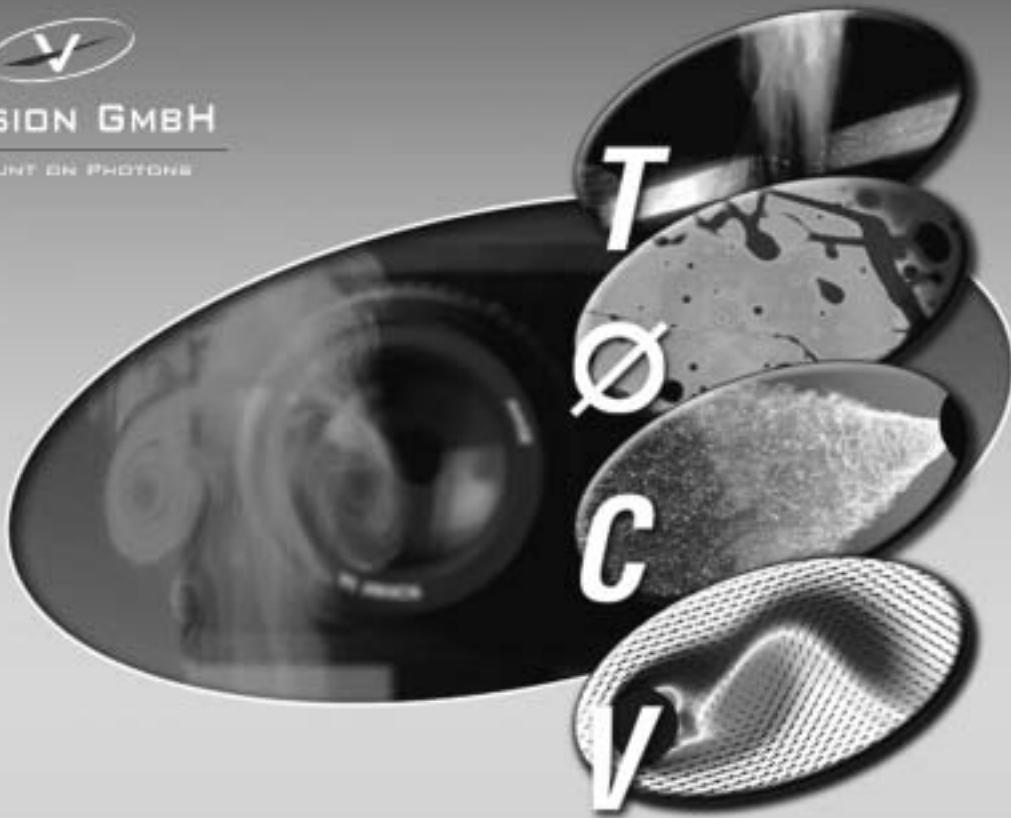
有限会社 テクノオフィス (CAPTEC 社日本総代理店)

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

# LaVision社レーザーイメージング製品の 日本総代理店になりました

PIV、LIF、Raman、Rayleigh、LII、等の技術を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。



## Laser Imaging Solution

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 パターネーション	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 パターネーション	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	高度画像相関						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 Master System
	過渡現象、時-空間相関の時系列過程						



**KANOMAX**

日本カノマックス株式会社  
流体計測ディヴィジョン

お問い合わせは、カスタマーサービス窓口へ

Email [fluids@kanomax.co.jp](mailto:fluids@kanomax.co.jp)

TEL. (03)6825-9090 FAX. (03)5371-7680

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

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

## 編集出版部会ノート

*Note from the Editorial Board*

編集出版部会長になって初めて出版した前号を何とかそれなりの体裁で発行することができ、ほっとしていたところですが、直ぐに10月号を発行する時期となってしまいました。原稿の募集から編集・出版まで何かと大変ですが、部会委員の多大な協力を得て、今までのところ無事作業を進めております。本年度は残り2号を発行することになりますが、本誌への原稿の投稿、ご意見やご要望など、忌憚無くお寄せいただければ幸いです。

本会誌は学会ホームページからも閲覧できるようになっておりますが、J-STAGEにおいて創刊号から始まるバックナンバーを公開・閲覧できることとなりました。作業に1年程度を要するようですが、これによりさらに世界からも注目をいただける会誌となりますので、ご期待ください（ただし、言語は日本語のままです）。この作業に当たり、過去の記事に対する著者からの著作権委譲が必要となります。そこで、今号と次号において、著作権委譲のお願いと手続きをとらせていただきます。これは著作権委譲に同意出来ない場合にご連絡を頂くというもので、連絡が無ければ自動的に委譲されたと見なすものです。多少身勝手な手法ですが、他にも一般的に行われているようですので、よろしくご理解ください。

では、今後ともよろしくお願ひいたします。

近久武美（北海道大学）  
*Takemi Chikahisa (Hokkaido University)*  
e-mail: [takemi@eng.hokudai.ac.jp](mailto:takemi@eng.hokudai.ac.jp)

---

副会長 門出政則（佐賀大学）  
委 員  
(理 事) 姫野修廣（信州大学）  
村上幸一（愛媛大学）  
(評議員) 黒坂俊雄（神鋼リサーチ）  
大黒崇弘（日立国際電気）  
鹿園直毅（東京大学）  
長谷川達也（名古屋大学）

部会長 近久武美（北海道大学）  
吉田篤正（大阪府立大学）  
森 英夫（九州大学）  
加賀邦彦（三菱電機）  
角口勝彦（産業総合研究所）  
中別府 修（明治大学）

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：  
北海道大学大学院工学研究科エネルギー環境システム専攻 近久武美  
〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目  
Tel: 011-706-6785 Fax: 011-706-7889  
[takemi@eng.hokudai.ac.jp](mailto:takemi@eng.hokudai.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 热

ISSN 1344-8692

**Journal of the Heat Transfer Society of Japan**

Vol. 46, No. 197

2007 年 10 月発行

**THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING**

ISSN 0918-9963

**(日本伝熱学会論文集)**

Vol. 15, No. 4

October, 2007

発行所 社団法人 日 本 伝 热 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