



# THERMAL ENGINEERING

## TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニューズレター  
TED Newsletter No.55 August 2008

### 目 次

#### 1. 第 86 期部門長あいさつ

宮内 敏雄（東京工業大学）

#### 2. TED Plaza

Impact of "Scale Modeling" on Research and Development

##### 1) Scale Modeling and IR4TD

Kozo SAITO（Univeristy of Kentucky）

##### 2) 関東大震災における被服燬跡火災旋風の模型実験

関本 孝三（セキモト SE エンジニアリング）

#### 3. 行事案内

- 部門企画行事
- 部門関連行事
- 国際会議

#### 4. 第 86 期部門組織

#### 5. 編集後記

## 第 86 期部門長あいさつ



宮内 敏雄

第 86 期熱工学部門長

東京工業大学 教授  
大学院理工学研究科 機械宇宙システム専攻  
tmiyauch@mes.titech.ac.jp

第 85 期部門長の門出政則先生の後を引き継ぎ、第 86 期熱工学部門長を仰せつかりました。熱工学部門の一層の活性化に努めてゆきたいと思っておりますので、ご協力のほどよろしくお願いいたします。

熱工学部門は、伝熱学、燃焼学、熱物性の学問分野を包含し、学術コアとして四力学の一翼を担い、設計工学、計算工学、加工・生産工学などの学術コアにおいても重要な役割を果たしています。さらに自動車工学、航空工学、エネルギー工学、環境工学などの分野でも主要な役割を果たすなど、機械工学の中で主要な位置を占めています。近年、ナノ・マイクロ、バイオなどの新分野においても新しい進展が見られ、その領域は広がりつつありますが、全体的に熱工学は成熟した学問分野であるという印象を与えているのではないかという懸念があります。シュンペーターの言う「創造的破壊」に繋がるような学術上の発見や技術上の提案を熱工学部門から活発に出していくことによりこのような印象を拭い去ることが必要と思っております。特に若い方たちには「創造的破壊」に繋がるような研究や技術開発を行って頂きたいと思っておりますが、そのためには研究・開発面で「黒字部門」だけではなく、「健全な赤字部門」を抱えて頂ければと思います。

また、第 86 期中には (1)「環境・エネルギー問題に関する政策提言に繋がるような活動」、(2)「マイクロ・ナノ、バイオ分野における熱工学の貢献についての検討」、(3)「産学連携コンペティション」、(4)「先輩に研究の苦労話、失敗談などを伺う」の 4 つの項目を行いたいと考えています。

(1)「環境・エネルギー問題に関する政策提言に繋がるような活動」に関しては、熱工学部門から実現可能な政策提言を行うための方策の設定に着手できればと思います。

(2)「マイクロ・ナノ、バイオ分野における熱工学の貢献についての検討」に関しては、近年進展の著しいマイクロ・ナノ、バイオ分野における熱工学の貢献について検討するとともに、将来展望を得ることに着手できればと思います。

(3)「産学連携コンペティション」に関しては、産業界から解決すべき研究テーマを出して頂き、これに対して大学の教員・博士課程学生、研究機関の研究者などから解決策を提示して頂き、コンペティション方式で解を見つけていこうというものです。この取組みの端緒を開ければと思います。

(4)「先輩に研究の苦労話、失敗談などを伺う」に関しては、先輩から研究の苦労話、失敗談などを伺う機会を設けることにより、学生や若い研究者が自分達の経験していることを先輩たちも経験しているのだという事を理解し、自信を持って自分の分野を切り開いていくことが出来るようになっていければと思います。

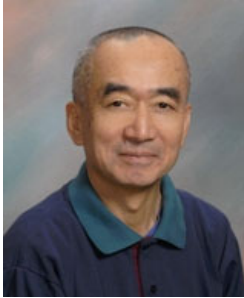
今年度の活動としては、年次大会、第 7 回日韓熱流体工学会議、部門講習会などが計画されています。活発なご参加をお願いいたします。また、熱工学部門と日本伝熱学会との合同編集による英文誌「Journal of Thermal Science and Technology」及び和文誌「日本機械学会論文集」に活発にご投稿頂き、これらの知名度を上げ、盛り立てて頂きたいと願っております。

熱工学部門の活動は所属会員の皆様によって支えられています。ご協力とご支援のほどよろしくお願いいたします。

## TED Plaza

# Impact of "Scale Modeling" on Research and Development -1-

## Scale Modeling and IR4TD



**Kozo SAITO, Ph.D.**

*Director, Institute of Research for Technology Development (IR4TD) & Tennessee Valley Authority Professor in Mechanical Engineering  
University of Kentucky  
Lexington, KY 40508-0503 USA  
<http://www.engr.uky.edu/me/cfpl>*

## INTERNATIONAL SYMPOSIA ON SCALE MODELING

Scale modeling covers almost all fields of engineering and is often applied to medicine, meteorology, biology etc. Because of its interdisciplinary nature, Professor Emori (the founder of scale modeling theory, known as Law Approach [1]) knew the need for international communication among a wide range of scale modeling researchers. He initiated the first international symposium on scale modeling in 1988 in Tokyo under the sponsorship of the Japan Society of Mechanical Engineers [2]. After the first successful ISSM, unexpectedly, it took nine years to host the second symposium in Lexington, Kentucky under the sponsorship of the University of Kentucky. To keep Professor Emori's will alive, Professors Tadao Takeno and Yuji Nakamura hosted the third ISSM in Nagoya in 2000, and the International Scale Modeling Committee formed just around that time decided to continue ISSM every three years. Based on that agreement, the fourth ISSM was held in Cleveland, Ohio in 2003, hosted by Dr. Vedha Nayagam and Professor Simon Ostrach under the sponsorship of the National Center for Microgravity Research, NASA Glenn Research Center. The fifth ISSM was held in Choshi, Chiba, Japan in 2006, hosted by President Toshi Hirano and Professor Lijing Gao of the Chiba Institute of Science. During ISSM 5, a special workshop was proposed to select papers from the past ISSM and publish them in a special ISSM volume: Progress in Scale Modeling, to be published from Springer in 2008 [3].

## THE ROLE OF SCALE MODELING

Scale models can create scaled down or up versions of the full-scale phenomena. When researchers attempt to properly design prototypes, conduct experiments or observe the scaled phenomena, they may be able to gain at least the following three benefits: (1) Scaling relationships between the prototype and the scale models; (2) Imagination to speculate on the behavior of the prototype phenomena, and (3) Validation of computational model predictions. The third benefit becomes more important in the age of computers. It is no question that computational methods save the time and energy of human calculation, but also provide details in virtual reality conditions under well controlled initial and boundary conditions, that may be difficult to achieve by experiments. However, all computational models require

validation. Without validation, no computational models can correctly predict performances of the prototype phenomena. The direct validation of the computational model by prototype tests would be the most ideal, but often faces difficulty due to economical, ethical, or other reasons. The scale model validated by scaling laws can serve as an excellent alternative validation tool for computational models (e.g., Jim Quintiere has proposed the use of reduced scale models to validate numerical simulation of collapse of the 9-11 World Trade Center [3]).

### AN EXAMPLE OF SCALE MODELING

Scale modeling has two different concepts: static similarity and dynamic similarity. Dynamic similarity deals with transient phenomena. You can find more details in reference [1] and web site: <http://www.mni.ne.jp/~sekimoto/ScaleModeling.html>

Here I will give you an example problem of scale modeling.

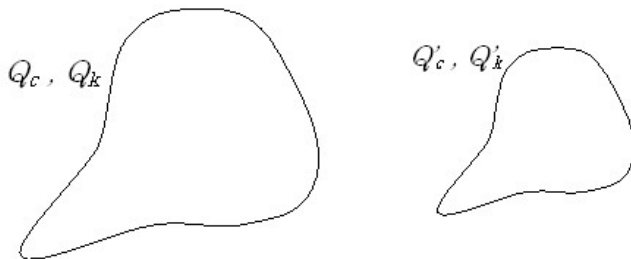
#### *problem*

*It took 10 minutes to cook a 500g beef in medium rare using a gas grill. Using the same grill with the same temperature set up, how long does it take to cook a 1,000g beef in medium rare? Assume that both beefs are geometrically similar in shape and contents of fat and meat.*

..... **Answer:** see Reference [1], pp.38-43.

$Q_k$  = heat conducted through the beef;  $Q_c$  = heat accumulated in the beef;  $c$  = specific heat of beef;  $k$  = thermal conductivity of beef;  $\rho$  = density of beef;  $t$  = time;  $l$  = length. All parameters listed are characteristic (representative) parameters which differ from specific parameters (see Reference [1]). Prime (') represents scale models.

#### DYNAMIC SIMILARITY



$$\frac{Q'_c}{Q_c} = \frac{Q'_k}{Q_k}, \text{ then } \frac{Q'_c}{Q'_k} = \frac{Q_c}{Q_k}$$

$$\pi'_i = \pi_i$$

$$\frac{c'\rho' l'^3 \Delta T'}{k' l' \Delta T' t'} = \frac{c\rho l^3 \Delta T}{k l \Delta T t}$$

$$\text{where } \frac{c'\rho'}{k'} = \frac{c\rho}{k}$$

$$\text{Then, } \frac{t'}{t} = \left(\frac{l'}{l}\right)^2 = \left(\frac{M'}{M}\right)^{2/3}$$

$$\therefore t' = 10 \text{ min.} \times 2^{2/3} = 15.8 \text{ min.} //$$

## **UNIVERSITY OF KENTUCKY'S NEW INSTITUTE: IR4TD**

The University of Kentucky's new Institute of Research for Technology Development (IR4TD) was proposed in 2006 and approved the next year. IR4TD was created as part of the University of Kentucky's strategy to seek excellence in research, education and service. The mission of IR4TD reads: IR4TD is a newly created research institute dedicated to excellence in engineering research and unique education based on IR4TD-Hitozukuri principles.

Two specific aims of IR4TD are:

(1) to solve industry's technical problems by developing a win-win working relationship with company's engineers to create new ideas and find value-added solutions which are only possible through collaboration;

and

(2) to create a learning system which can enhance the process for students, researchers, and visiting scholars through sponsored research projects, helping them to become unique engineers who have ability to function in an ever-changing international arena.

It is sometimes claimed that industry and academia are two very different cultures, with the former concerned with how to deliver reasonably-priced high quality products to customers in a timely fashion, while academic institutions focus on education, research, and service [4]. Toyota's Chairman, Mr. Cho stressed the importance of "Hitozukuri culture" during his recent interview in a Japanese TV program (also in his recent lecture at Toyota Motor Vietnam and his related article [5]). A common mission does exist between companies that value "Hitozukuri" and academic institutions that focus on education.

Furthermore, at IR4TD, to stress the way research and development are integrated in our work, we call our approach R4D - research for development. The new institute's purpose is to directly and effectively respond to requests from industry. R4D is a demand-pull rather than a supply-push approach; we respond to the needs of clients who approach us rather than approach companies with our research interests. The approach also provides an excellent education for our graduate students in tackling pressing industry problems, working as a team, accepting responsibility, coping with real budgets and real deadlines, communicating effectively with clients, and understanding their point of view. A client may see a problem with the current process; we can see, in fact, that they have come to the limits of a current technology so that a new generation of technology or even a radical new approach to the whole question is needed. The "R" of our work is not simply paired with the "D" but tied directly to needed innovations.

Overall, this approach leads to: (1) a high probability of immediate in-plant benefits to the company, and (2) a high likelihood that new technology needs will be accurately identified -- thus, new-generation technologies that fit efficiently into the company's manufacturing systems, and the potential for discovering "quantum leap" (revolutionary) solutions that can be transferred to other industries. In IR4TD, we promote the use of scale modeling through education and research. We created a new course, ME 565 - Scale Modeling in Engineering, a semester long three credit hour course for both undergraduate seniors and graduate students, to introduce them to the concepts and benefits of scale modeling techniques to effectively deliver solutions to industry sponsored projects by observing difficult-to-see prototype-phenomena, highlighting the benefits listed above in (1) and (2).

## **SUMMARY**

When engineers receive some ideas in new product development, they can test how the new design looks by building scale models and they can get an actual feeling with the prototype



れた。ISSM-5の会期中に本シンポジウムの普及活動に関して議論する特別ワークショップ開催が提案され、そこでは過去5回のシンポジウムで行われた講演の中から選ばれた論文により構成される特別号：Progress in Scale Modeling[3]の発行を目指すことが決定した。この特別号は2008.8にSpringer出版社より発行された。

### スケールモデリング（模型実験）の役割

スケールモデル（模型）とは、実スケールの現象をそれよりも小さな、または大きなスケールにして（実現可能な範囲で）再現することを可能にする。研究者が「原型（プロトタイプ）」を設計しようとする際、スケールダウン・アップした「模型（スケールモデル）」を使って実験し、得られる現象を注意深く観察することにより、少なくとも3つの重要な知見を得ることができる。すなわち、1）「原型（プロトタイプ）」と「模型（スケールモデル）」との間の関連性の理解、2）実スケール（原型）においてどのような現象が起きているのかを予測する想像（創造）力、3）数値モデルによる予測結果の評価、である。3つ目の利点は計算機の発達に伴いさらに重要となってくる。もちろん、数値解析により現象を理解しようとするアプローチは時間および研究者自身のエネルギーを最小限にすることができるというメリットはあるものの、同時に「理想条件として与えられた」初期および境界条件下における「擬似現象」を解として与えるため、それを実験で再現することは極めて困難である（＝実際に起こらないことも解として認め得る）。しかしながら、数値モデルは実現象を再現できることの妥当性を事前に評価（いわゆる「検証」）しておかなければ実現象予測の道具にならない。実物実験と数値モデルの直接的な比較が理想であるが、様々な理由（経済的、倫理上の制約など）により実物実験が困難である場合、スケールモデルが数値モデルの検証に使えることは特筆に値する（一例を挙げれば、クインティア教授は9/11の国際貿易センタービルの崩壊現象に対して模型実験を数値モデルの検証に使うことを提案している）

#### スケールモデリングの一例

スケールモデリングを行う際、大きくは以下の2つに大別される。一つは静的相似則として知られるもので、もう一つは動的相似則と呼ばれるものである。後者（動的相似則）では非定常ダイナミックシステムを扱う。これらの詳細については文献1あるいは以下のウェブサイトで紹介されているので興味ある人は参照願いたい。

<http://www.mni.ne.jp/~sekimoto/ScaleModeling.html>

典型的なスケールモデルの利用例をここで紹介しよう。

【問】 ガスコンロにて500gの肉をミディアムレアに料理するのに10分必要であったとする。同じコンロを用いて1000gの肉を同じように調理しようとしたら何分かかるであろうか？ただし、重さの異なる肉は幾何学的に相似であるとし、内包する成分（油分など）割合も同じであるとする。

$Q_k$ ：肉を通じて伝わる熱、 $Q_c$ ：肉内部で蓄積される熱、 $c$ ：肉の比熱、 $k$ ：肉の熱伝導率、 $\rho$ ：肉の密度、 $t$ ：時間、 $l$ ：長さとする。ここに挙げた全てのパラメータは系の特性値（代表値）であり、特殊（系特有な）パラメータではない（詳細は文献1を参照のこと）。また、 $'$ は模型（スケールモデル）の諸量を表す。

（解については原文参照のこと）

### ケンタッキー大学における新しい試み：IR4TD

ケンタッキー大学では、2006年に新しい付置施設として「工学技術研究所（Institute of Research for Technology Development；IR4TD）」の開設を提案し、翌年その設置が認められた。IR4TDは、研究、教育、およびサービスを行うために新しい方法を模索しているケンタッキー大学の戦略の一つでもある。ここでは卓越した工学研究を実施する場であると同時に、「人づくりの理念」という特異な教育コンセプトをミッションとして掲げている。具体的な目的は下記の2点である。

1) 企業の技術的な問題を、企業の技術者と力をあわせて解決することで「相互勝利（win-win）」を得る。ここでいう「win-win」関係とは、共同研究を通じて初めて得られる付加価値のついた発明や新しいアイデアの創生をもたらすことを指す（企業にとっては学術ベースで培われた問題解決というメリットを、大学においては実際の問題解決を通じて研究者自身が教育されるというメリットを同時に得るものである）。

2) 学生、研究者、海外招聘研究者を、（通常の企業内部のように）スポンサーのついたプロジェクトチームに入れ、責任ある立場にて研究活動に従事させることで、「実地トレーニング（OJT）」に近いシステムにより彼ら自身の技術者としての能力を開花させ、どの分野でも通用する守備範囲の広い人材育成をするといった「（これまでにない）独自の教育システム」を作り上げること

時に、企業と大学とは文化が違うので深いところまで理解し合えないという意見もよく聞く。確かに前者は納期を守り、廉価で高品質な製品をタイムリーに顧客に提供することが使命であるのに対し、後者は（短時間では成

果がわからない) 教育, 研究, サービスを提供することが使命であるからである[4]. しかしながら, トヨタ自動車の張富士夫会長は最近報道された日本のテレビ番組の特集にて「人づくり文化」の重要性について強調している(同じ主旨の内容をトヨタのベトナム支社での講演, あるいは関連図書[5]にて閲覧できる). つまり, 一見「混ざり合わない」と思われる企業と大学とは, 「人づくり」という意味では共通の理念を持ち合わせているのである.

さらに IR4TD では, 「研究 (Research)」と「開発 (Development)」をあえて「分けない」ことを重視している. このことを R4D アプローチ (開発のための研究: Research for Development) と呼ぶ. 我々の研究所は依頼主である企業の要請に対して直接的且つ効率的に対応する. R4D とは「供給者側から押し付ける」のではなく, 「需要側から引き出す」方法である. 換言すれば, 我々の研究に企業をアプローチ「させる」のではなく, 我々にアプローチしてくれる企業の要求に「応える」ということである.

またこの方針では, 大学院生達が産業界の緊急課題をチームと取り組み, 実際の責任を引き受け, 実際の予算や納期について依頼主 (クライアント) と効率的に意思疎通を行い, その課題の根源を理解するというような, 一般の教育とは違ったすばらしい「(人材) 教育」の機会を提供する. 依頼主は現状技術に対して (現場サイドから) 何かしらの問題を感じている. 我々はそれを現状技術の「壁」として捕らえ, 次世代技術の導入あるいは全ての問題に対して劇的な「変化」により解決することを試みる. この新しい発想を生むために “R (研究)” が発動される. このとき R は D (開発) と常にペアであるだけでなく, 必要とされる新しい技術に直接寄与するものになる.

総合すると, 我々の掲げるこの新しい方針では, 次のような可能性を生じ得る. すなわち, 1) 高い可能性がある自工場の即効的な利益の向上, 2) 新しい技術のニーズが正確に認識される高い可能性, すなわち企業の生産システムに効率的に組み込まれる新世代技術と他の産業にも移転可能な「飛躍的な進歩 (quantum leap)」を伴う (革新的な) 解決策の創生, である. この実現のために, IR4TD では研究および教育を通じてスケールモデル (模型実験) の概念を利用することを積極的に勧めている. 教育システムとしては, 新しいカリキュラムにおいて模型実験に関する講義 (ME565-Scale Modeling in Engineering-) を開講し, 3 単位分の充実した講義としている (対象は学部 4 年, 大学院生). ここでは, スケールモデリングの概念 (基礎) と応用例を教育することで, 実スケールでは「見えない (あるいは観察しにくい)」面を模型実験により顕在化させてより良く理解し, 各人が受け持つ上記プロジェクトの解明を促進させるのに寄与する. これにより上記で挙げた 1) と 2) の実現をもたらす.

## まとめ

エンジニア (技術者) は新しい製品の開発時にあたって, それがどのように見えるのかを模型を作ることによって確認し, 実際の製品のイメージを「(リアルに) 想像」する. 模型実験理論の創始者である故江守教授は著書の中でこう述べている: “子供が飛行機のおもちゃで遊ぶとき, 彼らの中では「まだ乗ったことのない」飛行機がどんなものか思い描きながら遊ぶ” と. 子供は模型 (スケールモデル) である飛行機のおもちゃを使って, 彼らの独自の方法により想像の世界へと招待する. 一本物の飛行機では何をどう操作し, 操縦するのか, どうやって飛行するのか, 実際のエンジンはどんな音がするのか, どうやって安全に着陸するのか. 模型がもたらすこの「想像力」は, 将来彼らの専門分野において「直感的な洞察力の発展」に役立つ. 模型とはいえ, 手で触り感じることができる「現物」は数値モデルを使って得られるスクリーンに映し出される二次元画像 (たとえそれがリアルに着色されているように, いろいろな物理量を表示できる機能がついていよう) とは比較にならないほどの想像力を高めてくれる. このことは, 子供に限らず大人でも同じである. 「現物」に触れることは想像力を加速させ, ひいては効果的な「工夫-プロとしての直観力-」を導く. 近代物理学に改革をもたらしたアインシュタインの有名な “思考実験[6]” とは, とりもなおさず, 模型を使って物事を「想像」する研究者と同じことかもしれない.

筆者の恩師であり, 燃焼理論の世界的権威であるウィリアムス教授 (カリフォルニア大学サンディエゴ校) は, 過去に日本機械学会学科員に向けたメッセージの中で, エンジニアおよび研究者の研究意欲とそれを支える動機の重要性を強調している [7]. ウィリアムス教授の高尚で簡素な研究者・教育者としての思想は, 筆者のスケールモデリング教育と研究の基礎となっている. 最後に, 模型実験の概念を貴学会熱工学部門の会員各位に紹介する機会を与えてくれた中村祐二北海道大学准教授に感謝し, 筆末としたい.

訳者: 中村祐二 (北海道大学)



## TED Plaza

Impact of "Scale Modeling" on  
Research and Development -2-

## 関東大震災における被服廠跡火災旋風の模型実験



関本 孝三

ケンタッキー大学工学技術研究所日本事務所  
セキモト SE エンジニアリング 代表  
[kozo@mni.ne.jp](mailto:kozo@mni.ne.jp)

## 1. はじめに

1923年9月1日、関東大震災時に東京両国の陸軍被服廠跡で起こった火災旋風は、15分余の間に38,000人の命を奪ったという大惨事であった。空地であった被服廠跡には火災から逃れようとした約4万人と、一部の人が運び入れた家財道具が約7万 $\text{m}^2$ の敷地にあふれ、午後4時、一陣の旋風がこの広場を蹂躪し人馬と家財道具等の可燃物を巻き上げ、発火したそれらは逃げ惑う避難民の頭上に容赦無く降り注いだ。生き残った者はわずか5%の2,000人足らずであった。

このような災害の発生メカニズムを知る事は、防災上非常に重要な事であるにもかかわらず、火災などの大規模災害を実物大で実験する事は、事実上不可能である。比較的小規模に縮小して再現できるなら、実験ははるかに容易になり、その実験結果を実物にまで適用できれば、実際の防災対策立案に生かすことができる。現在までに行われた火災旋風の模型実験について紹介したい。

## 2. 相馬清二氏の火災旋風模型実験

1970年代に気象研究所の相馬清二氏によって火災旋風の系統立てた研究が始められた。TVニュースで相馬氏が行った火災旋風の模型実験の報に接し、当時恩師である成蹊大学教授 江守一郎先生の下で模型実験について学んでいた私は、先輩の斉藤孝三氏（現ケンタッキー大学機械科主席教授）と、興味津々でその実験について語り合った事をはっきり覚えている。その相馬氏の研究を斉藤氏が受け継ぎ、私がそれを手伝う事になろうとは夢にも思わなかった。

被服廠跡の火災旋風については、従来前線通過に伴う局地風が原因ではないかと考えられていたが[1]、相馬氏は横風と火災によって起こる上昇気流との相互作用ではないかと考え、模型実験によってこれを実証した[2]。火災時に発生する竜巻はいくつかの型が観察されており、横風と広域火災の相乗効果として発生する火災旋風を、相馬氏は被服廠跡型と分類し、我々もこれに習う事にする。

室内における縮尺1/2500の模型実験[3]により被服廠跡型火災旋風の発生に成功した相馬氏は、1979年11月東京湾埋立地において大規模な火災旋風の実験を指揮し、斉藤氏もこれに加わった。火災旋風発生時の両国被服廠跡をスケールダウンしたもので、1/100にしても燃焼エリアの一边が25mにも及ぶ大規模な物である。相馬氏は、現象が起きたエリアの相似比に合わせ横風の風速を推定し、自然条件でその条件が満たされる日を選び実験を行った[3][4]。

想定より強めであった自然風が弱まり始めた頃、発炎筒の煙が俄かに回転を始め、あざやかな赤色煙に立会い者すべて呆然とその旋風を見送り、我を忘れた撮影要員は一枚の写真も残せなかったと言う（実験に参加した斉藤氏談）。以来 25 年余、被服敏跡型火災旋風の成功例は、私の知る限り見受けられない。

### 3. 建築研究所火災風洞における実験

2005 年 11 月末、日本・読売 TV より正月の特別番組で放送したいから、至急火災旋風の実験ができないかと突然の依頼が舞い込んだ。局の熱意に負け斉藤氏ならびにケンタッキー大学の桑名氏（現東大准教授）もクリスマス休暇をキャンセルし、年も押し詰まった 27 日急遽来日した。12 月 28 日つくばの建築研究所と共同で同所火災風洞実験棟に於いて実験が開始された。外気吸入式エッフェル型火災風洞は、全長 62m、実験部の全長 15m、幅 5m、高さ 5m、我国随一の火災用風洞である。

実験一日目、相馬氏の実験に習い風洞測定部に図 1 のように L 字型に燃料のヘプタンを注入する角型パンを配置した。L 字短辺側を風上にして燃焼させ、何度か配置を変更したところ、L 字長辺側下流に高さ 3m 以上に達する盛大な炎の旋風が定常的に出現するに至った（図 2）。この L 字配置は被服敏跡を模した物であり、広場の二辺から火災が迫っている状況を単純化している。

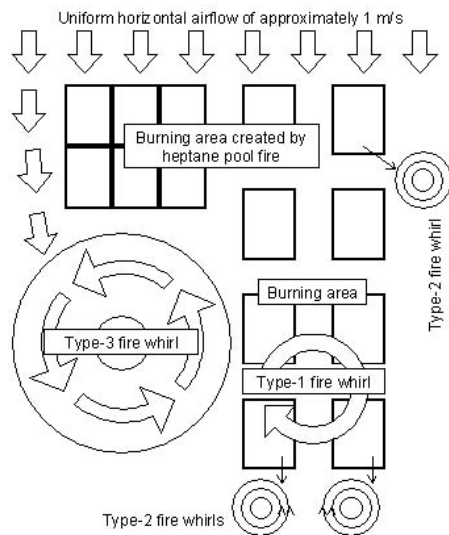


図 1 燃焼域（角型パン 14 箇所）と火災旋風の発生場所



図 2 高さ 3m 以上に達した火災旋風

ところが被服敏跡では広場を旋風が駆け回ったと記録されており、L 字長辺側に盛大な火災旋風（図 1 Type-1,2）が発生しても、L 字中央部に旋風が発生しなければ被服敏跡の再現とは言えない。この日、もし日没前に実験を終了していたなら、夜の闇と寒気の助けを得られず、重大な現象を見過ごしていたかも知れない。冷却のためレンガ面に撒いた水が湯気となり、L 字中央部で回転している（図 1 Type-3）ことに気付いたのはほんの偶然だった。我々は俄かに色めき、車載用発炎筒を焚いて火災部以外の空気流れを鮮明にする事を試みた。

図3はL字中央部に出来た火炎を伴わない火災旋風である。TV局スタッフが映像にインパクトを持たせるため、中央部に木片やシュレッターダストを置くと、簡単にそれらに引火し、燃えながら渦に巻き込まれた(図4)。被服敵跡で起こった人馬、家財道具が燃えながら渦に吸い込まれ、天空に舞い上がったとされる現象は、正に再現された現象に対応すると考えて良いだろう。



左：図3 燃焼域外に出現した炎を伴わない火災旋風  
右：図4 燃焼域外に出現し、炎を引き込んだ火災旋風

#### 4. 相似則

模型実験を行う場合、原型と模型の対応が取れていなければ実験は単なる定性的な実験に終わってしまう。ここで言う対応とは幾何学的に相似であることは言うに及ばず、流体力学、エネルギー収支、化学反応の各過程でも対応が取れ、模型の実験結果から原型の状態を把握することが求められる。相似則を導くには現象に関わる力、あるいは熱のような同種の物理量の比(パイナンバー)を求め、その比を原型、模型で一致するように実験を行えば力学的に相似な実験となる。相似則の導出については、文献5を参照願いたい。

$$\pi = Fr = \frac{\rho L^2 U^2}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL}$$

$\rho$  : 密度,  $L$  : 長さ,  $U$  : 速度,  $g$  : 重力加速度

熱について考えれば、燃料からの発生熱量、温度上昇を伴って気体に蓄積される熱量、温度上昇を伴って燃料表面に蓄積される熱量、燃料の気化潜熱、火炎表面の高温層からの放射熱量などが影響していると考えられる。これら五つの熱から四つのパイナンバーが規定されるが、もし原型、模型で同一燃料を使用するなら、結論だけ書くとこれら四つのパイナンバーは自動的に一致する[5]。

以上のことから基本的に火災旋風はフルード数支配による現象と考えて良いのであるが、実際の火災が木造家屋等の燃焼であるのに対し、実験では液体燃料を使用している。この実験の火炎高さ3mをそのまま幾何学的相似条件に当てはめると、実際の火炎高さは3,000mにもなってしまうため、火炎高さに注目した新たな相似則も導かれている[7]。原型と模型の対応が取れている事を確認するのは非常に重要な作業で、これができれば模型から原型の現象を推定して良いと言う事になる。

相似則の導出は一見簡単に見えるが、単純な問題や過去に類例を経験している場合を除き、初めに導いた相似則がそのまま適用できた例はあまり無い。火災旋風の例で、もし空気の粘性力も現象に深く関与していると考えらるなら、粘性力と慣性力の比であるレイノルズ数とフルード数支配の現象となり、同一流体で両者を満足させることは出来ず、模型実験は不可能となる。このように現象を支配している物理法則を見極める作業は、本質を十分理解していることを要求される。

我々は新たに製作した全長4m、測定部の幅0.6m、高さ0.5mの小型エッフェル型燃焼実験用

風洞で、現在火災旋風の模型実験を続けている(図5)。風速は0.1m/sまで落とせるものの、この程度まで風速を落とすと空気の粘性の影響が無視できなくなり、火災旋風を実際と同じ乱流域で実験するためにも相似比には自ずと限界があり、乱れの評価も必要になるため、新たな工夫が相似則の確立に求められている。模型実験例は文献8,9を参照していただきたい。



図5 小型風洞で再現した火災旋風(大型風洞に対応した部分に出現)

## 5. まとめ

風洞における火災旋風の模型実験によって、被服廠跡で起こった火災旋風のメカニズムは次第に明らかになってきている。しかし、今なお全体像が見えてきているわけではない。たとえば、火災旋風が隅田川を渡河して対岸より襲来したとの見解[10]もあり、この真偽は今もって解らない。少なくとも我々が行った実験では、近傍で火炎に引き込まれる火災旋風以外、風上に移動するものは全く観察されていない。当時の観測データから推量された被服廠跡での風速、風向は本当に正しいのか、火災旋風はどこで発生して、どのように動き回ったのか等、疑問は尽きない。

一連の模型実験により現象解明の糸口は掴めた。今後の研究により発生しやすい条件を絞り込み、一方火災旋風を起こさせない条件を見出して行ければ、被服廠跡で亡くなった犠牲者の尊い命を無駄にすることなく、次代の防災に必ずや生かせるものと確信している。

## 参考文献

1. 寺田寅彦「大正12年9月1日2日の旋風について」震災予防調査会報告第100号戊,1925, pp.275-280.
2. 相馬清二「大火災に伴う竜巻(被服廠跡に生じた竜巻の発生に関する研究)」防災科学技術総合研究報告 大震時における都市防災に関する研究(追号),1973, pp.39-56.
3. S. Soma, and K. Saito, "Reconstruction of Fire Whirls using Scale Models", Combustion and Flame, Vol.86, 1991, pp.269-284.
4. 「大震火災時における火災旋風の研究」昭和54年度東京都防災会議地震部会調査研究, pp.53-72.
5. 江守一郎, 齊藤孝三, 関本孝三共著「模型実験の理論と応用」(第三版)技報堂出版, 2000.
6. I. Emori, and K. Saito, "A Study of Scaling Laws in Pool and Crib Fires", Combustion Science and Technology, Vol.31, 1983, pp.217-230.
7. K. Kuwana, K. Sekimoto, K. Saito, F. A. Williams, Y. Hayashi, and H. Masuda, "Can We Predict the Occurrence of Extreme Fire Whirls?", AIAA Journal Vol.45 No.1, 2007, pp.16-19.
8. K. Saito Edited, Progress in Scale Modeling, Springer-Verlag, New York, NY, 2008.
9. <http://www.mni.ne.jp/~sekimoto/ScaleModeling.html>
10. 中央防災会議「災害教訓の継承に関する専門調査会報告書」1923 関東大震災, 2006, pp.195-206.

部門企画行事案内

●The 7th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC2008) (第7回 日韓熱流体工学会議)

開催日: 2008年10月13日(月)~16日(木)  
場 所: 札幌  
Abstract 期限: 2008年1月31日

開催日: 2007年11月22日(木) 13:20~16:40

場 所: 京都大学 京大会館

問い合わせ先: 講習委員会 平澤茂樹(神戸大学)、鈴木 敦(日立製作所)

●第7回日韓熱流体工学会議(TFEC7)・プレセミナー 「地球温暖化防止策~アジアの環境保全は日本のエネルギー技術で!」

開催日: 2008年10月13日(月) 14:00~17:00

(第7回日韓熱流体工学会議の Reception が始まる前の時間帯)

場 所: 北海道立道民活動センター(かでの2・7)

問い合わせ先: 講習会委員会 鶴田隆治(九州工業大学)

●2007 ASME-JSME 合同熱工学会議

(2007 ASME-JSME Thermal Engineering Conference and Summer Heat Transfer Conference and InterPACK'07)

開催日: 2007年7月8日(日)~12日(木)

場 所: Vancouver (Hotel; Westin Bayshore in Vancouver), British Columbia

アブストラクト締切り: 2006年12月15日

原稿締切り: 2007年2月16日

最終原稿締切り: 2007年4月6日

JSME 委員長 岡崎 健、JSME 幹事 花村 克悟

☆第7回 ASME-JSME 合同熱工学会議は、米国内の伝熱会議(Summer Heat Transfer Conference)、

さらに InterPACK'07 との Co-location で開催され、1つの登録で、全ての会議に参加できます。

●日本機械学会 2008 年度年次大会

開催日: 2008年8月4日(月)~7日(木)

場 所: 横浜国立大学

大会委員長: 宇高 義郎(横浜国立大学)

●熱工学コンファレンス 2007

開催日: 2007年11月23日(金)~24日(土)

場 所: 京都大学・吉田キャンパス

実行委員長: 吉田 英生(京都大)

●No. 07-20 講習会『伝熱工学資料(出版準備中の新版)』の内容を教材にした熱設計の基礎と応用

開催日: 2007年7月3日(火)~4日(水)

場 所: 東京工業大学・百年記念館フェライト会議室

問い合わせ先: 講習会委員会 平澤茂樹(神戸大学)、鈴木 敦(日立製作所)

●No. 07-21 熱工学コンファレンス・プレセミナー

「地球環境問題に取り組む熱工学の最前線」

(熱工学コンファレンス 2007 の前日開催)

## 部門関連行事案内

### ●関西支部 第297回講習会

「熱エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」

ーヒートポンプ・蓄熱システムの動向と最新技術ー

開催日：2008年9月25日(木)～26日(金)

場 所：大阪科学技術センター・8階 中ホール

---

### ●第47回燃焼シンポジウム

開催日：2009年12月2日(水)～4日(金)

場 所：札幌

主 催：日本燃焼学会

### ●第46回日本伝熱シンポジウム

開催日：2009年6月2日(水)～4日(木)

場 所：国立 京都国際会館

主 催：日本伝熱学会

### ●第46回燃焼シンポジウム

開催日：2008年12月3日(水)～5日(金)

場 所：京都テルサ

主 催：日本燃焼学会

### ●可視化情報学会全国講演会(釧路 2008)

開催日：2008年10月11日(土)～12日(日)

場 所：釧路市生涯教育センター

主 催：可視化情報学会, 日本機械学会協賛

### ●第29回日本熱物性シンポジウム

開催日：2008年10月8日(水)～10日(金)

場 所：日本女子大学 新泉山館国際交流センター

主 催：日本熱物性学会

### ●日本流体力学会 年会 2008

開催日：2008年9月4日(木)～7日(日)

場 所：神戸大学(六甲台キャンパス)

主 催：日本流体力学会, 日本機械学会協賛

### ●第36回可視化情報シンポジウム

開催日：2008年7月22日(火)～23日(水)

場 所：工学院大学(新宿校舎)

主 催：可視化情報学会, 日本機械学会協賛

### ●第45回日本伝熱シンポジウム

開催日：2008年5月21日(水)～23日(金)

場 所：つくば国際会議場

主 催：日本伝熱学会

---

国際会議案内 (2009 年, 2008 年, 2007 年)

—2009 年—

● Second International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications (ThETA2)

開催日: 2009 年 12 月 17 日(木)~12 月 20 日(日)

開催地: Sofitel El Gezira, Cairo, EGYPT

Abstract 期限: June 2, 2008

● The 7th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-7)

開催日: 2009 年 11 月 16 日(月)~11 月 19 日(木)

開催地: Kaohsiung, Taiwan, ROC

Abstract 期限: October 31, 2008

● The IV International Conference on Computational Bioengineering (ICCB2009)

開催日: 2009 年 9 月 16 日(水)~9 月 18 日(金)

開催地: Bertinoro (Forli), ITALY

● 7th International Symposium on Cavitation (Cav2009)

開催日: 2009 年 8 月 17 日(月)~8 月 22 日(土)

開催地: University of Michigan, Ann Arbor, USA

Abstract 期限: November 15, 2008

● The 6th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-6)

開催日: 2009 年 6 月 22 日(月)~6 月 24 日(水)

開催地: Seoul National University, KOREA

Abstract 期限: July 31, 2008

—2008 年—

● The 6th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows (ISMTMF2008)

開催日: 2008 年 12 月 15 日(月)~12 月 18 日(木)

開催地: 沖縄

Abstract 期限: 2008 年 6 月 16 日

● Fourth International Conference Multiscale Materials Modeling (MMM-2008)

開催日: 2008 年 10 月 27 日(月)~10 月 31 日(金)

開催地: Tallahassee, FL, USA

Abstract 期限: 2008 年 3 月 14 日

● Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale III

開催日: 2008 年 9 月 21 日(日)~9 月 26 日(金)

開催地: Hilton Whistler, BC, CANADA

Abstract 期限: 2008 年 4 月 4 日

● The 2nd International Forum on Heat Transfer (IFHT2008)

開催日:2008年9月17日(水)~9月19日(金)

開催地:東京

Abstract 期限:2007年12月31日

● 18th Conference on Thermophysical Properties (ECTP2008)

開催日:2008年8月31日(日)~9月4日(木)

開催地:Pau, FRANCE

● The 12th Asian Congress of Fluid Mechanics (12ACFM)

開催日:2008年8月18日(月)~8月21日(木)

開催地:Daejeon, KOREA

● The 19th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP19)

開催日:2008年8月17日(日)~8月21日(木)

開催地:Reykjavic, ICELAND

Abstract 期限:December 15, 2007

● 32nd International Symposium on Combustion

開催日:2008年8月3日(日)~8月8日(金)

開催地: McGill University, Montreal, CANADA

● The 13th International Symposium on Flow Visualization (ISFV13)

開催日:2008年7月1日(火)~7月4日(金)

開催地:Nice, Riviera, FRANCE

Abstract 期限:November 15, 2007

● The Second International Symposium on Physics of Fluids (ISPF2)

開催日:2008年6月9日(月)~6月12日(木)

開催地: Jiuzhaigou, CHINA

Abstract 期限:November 15, 2007

-----  
-2007年-

● International Gas Turbine Congress

開催日:2007年12月2日(日)~7日(金)

開催地:Tokyo, JAPAN

● International Conference on Power Engineering (ICOPE-07)[PDF]

開催日:2007年10月23日(火)~27日(土)

開催地:Hangzhou, CHINA

● Sixth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology

開催日:2007年9月16日(日)~21日(金)

開催地:Potsdam GERMANY

● The 18th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-18)

開催日:2007年8月27日(月)~30日(木)

開催地:Daejeon, KOREA

● Fifth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena

開催日:2007年8月27日(月)~29日(水)



開催地:Murich, GERMANY

● 11th European Turbulence Conference (ETC)

開催日:2007年6月25日(月)~28日(木)

開催地:Porto, PORTUGAL

● 8th Asian Thermophysical Properties Conference

● 5th International Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC)

開催日:2007年8月21日(火)~24日(金)

開催日:2007年6月25日(水)~27日(金)

開催地:Fukuoka, JAPAN

開催地:St. Louis, Missouri, USA

● International Colloquium on the Dynamics of the Explosions and Reactive System (ICDERS)

● Second International Conference on Porous Media and its Applications in Science, Engineering and Industry

開催日:2007年7月23日(月)~27日(金)

開催日:2007年6月17日(日)~22日(金)

開催地:Poitiers, FRANCE

開催地:Hawaii, USA

● International Conference on Multiphase Flow

● The 6th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-6)

開催日:2007年7月9日(月)~13日(金)

開催日:2007年5月16日(水)~19日(土)

開催地:Leipzig, GERMANY

開催地:Hawaii, USA

## 第 86 期部門組織

### 熱工学部門運営委員会

- 部門長：
  - 宮内 敏雄 東京工業大学
- 副部門長：
  - 吉田 英生 京都大学
- 幹事：
  - 鹿園 直毅 東京大学
- 運営委員：
  - 田部 豊 北海道大学
  - 小原 拓 東北大学
  - 多田 幸生 金沢大学
  - 桑原 不二郎 静岡大学
  - 田川 正人 名古屋工業大学
  - 安里 勝雄 岐阜大学
  - 大久保 陽一郎 (株)豊田中央研究所
  - 木村 文義 兵庫県立大学
  - 梅川 尚嗣 関西大学
  - 西村 真 (株)神戸製鋼所
  - 田坂 誠均 住友金属工業 (株)
  - 稲岡 恭二 同志社大学
  - 小田 哲也 鳥取大学
  - 野村 信福 愛媛大学
  - 桃木 悟 長崎大学
  - 伊藤 衡平 九州大学
  - 深井 潤 九州大学
  - 鈴木 雄二 東京大学
  - 小野 直樹 芝浦工業大学
  - 中別府 修 明治大学
  - 大曾根 靖夫 (株)日立製作所機械研究所
  - 草鹿 仁 早稲田大学
  - 橋本 克巳 (財)電力中央研究所
  - 店橋 護 東京工業大学
  - 奥山 邦人 横浜国立大学
  - 白樫 了 東京大学
  - 佐竹 信一 東京理科大学
  - 佐藤 洋平 慶應義塾大学
  - 小林 健一 明治大学

### 熱工学部門各種委員会委員長&幹事

- 総務委員会：
  - 委員長： 宮内 敏雄 東京工業大学
  - 幹事： 鈴木 雄二 東京大学
  - 委員：
    - 門出 政則 佐賀大学
    - 吉田 英生 京都大学
    - 石川 毅彦 (独)宇宙航空研究開発機構
    - 黒坂 俊雄 神鋼リサーチ (株)
    - 小林 秀昭 東北大学
    - 鹿園 直毅 東京大学
    - 島崎 勇一 (株)本田技術研究所
    - 二宮 尚 宇都宮大学
- 年次大会委員会：
  - 委員長： 丸田 薫 東北大学
  - 幹事： 中村 寿 東北大学
  - 委員：
    - 小原 拓 東北大学
    - 鹿園 直毅 東京大学
    - 日向野 三雄 秋田県立大学
- 広報委員会：
  - 委員長： 二宮 尚 宇都宮大学
  - 幹事： 川口 達也 東京工業大学
  - 委員：
    - 中村 祐二 北海道大学
- 熱工学コンファレンス委員会
  - 委員長： 加藤 泰生 山口大学
  - 幹事： 望月 信介 山口大学
- 学会賞委員会
  - 委員長： 圓山 重直 東北大学
- 伊東 弘行 北海道大学
- 上野 一郎 東京理科大学
- 益子 岳史 静岡大学
- 君島 真仁 芝浦工業大学
- 鈴木 宏明 大阪大学

幹事： 徳増 宋 東北大学

吉田 篤正 大阪府立大学

● 講習会委員会

委員長： 廣田 真史 三重大学

幹事： 中村 元 防衛大学校

● ASME-JSME 合同会議委員会

KSME-JSME 合同会議委員会

委員長： 菱田 公一 慶應義塾大学

幹事： 佐藤 勲 東京工業大学

● 部門賞委員会

委員長： 吉田 英生 京都大学

幹事： 鹿園 直毅 東京大学

委員：

宮内 敏雄 東京工業大学

門出 政則 佐賀大学

● 年鑑委員会

委員長： 田川 正人 名古屋工業大学

幹事： 門脇 敏 長岡技術科学大学

委員：

稲岡 恭二 同志社大学

小島 晋爾 名城大学

高田 保之 九州大学

廣田 真史 三重大学

● 出版委員会

委員長： 吉田 篤正 大阪府立大学

幹事： 浅野 等 神戸大学

委員：

奥山 邦人 横浜国立大学

店橋 護 東京工業大学

津江 光洋 東京大学

南川 久人 滋賀県立大学

佐藤 春樹 慶應義塾大学

白樫 了 東京大学

西村 伸也 大阪市立大学

宮崎 康次 九州工業大学

● JTST 委員会

委員長： 高田 保之 九州大学

幹事： 小原 拓 東北大学

委員：

奥山 邦人 横浜国立大学

門脇 敏 長岡技術科学大学

小林 秀昭 東北大学

佐藤 勲 東京工業大学

中部 主敬 京都大学

## 編集後記

今回の TED PLAZA では、模型実験の専門家である齊藤教授と関本様に寄稿をお願いし、模型実験（スケールモデリング）の有用性とインパクトについて紹介させていただきました。非常に多忙の中で期日どおりに執筆いただき、8月の発行に間に合うことができました。両名のご協力に対し、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

.... さて、とある大先生から「最近では計算機の性能が上がったからか、不必要に面倒な解析をする研究者が増えてけしからん」との厳しいお言葉をいただいたのが数年前。それ以来、できるだけ数値計算を「封印」し、現象の本質のみを探る実験および解析のみで研究を行うように努めてきました。この現象の本質を掴む上で、模型実験（スケールモデリング）は一見簡単そうに見えて奥が深く、しかもどの分野にも有効に働くため、これこそがまさに「封印」した身の救いでもあります。近年の大学・研究所を取り巻く環境の一つの特徴として外部資金の獲得がありますが、仮に外部資金を獲得できず、資金的に非常に厳しい状況下においても、模型実験は頭さえ使えば世界が広がることを教えてくれる研究者の希望の光でもあります。

今回の記事により、多くの研究者・技術者の皆様が模型実験の有用性と重要性について再認識いただき、この分野を一緒に盛り上げていただける方が増えること切に願っています。

ニュースレター 55号 編集担当 中村祐二（北海道大学）・伊東弘行（北海道大学）

### 第 86 期広報委員会

委員長： 二宮 尚 （宇都宮大学）  
幹 事： 川口 達也 （東京工業大学）  
委 員： 中村 祐二 （北海道大学）  
伊東 弘行 （北海道大学）  
上野 一郎 （東京理科大学）  
益子 岳史 （静岡大学）  
君島 真仁 （芝浦工業大学）  
鈴木 宏明 （大阪大学）

©著作権：2008 社団法人 日本機械学会 熱工学部門