

UDC 621.375.823 : 532.517.4 : 535.374-2
628.511.13 : 532.3 : 535.361.2

レーザー光を用いた室内乱流現象の可視化 ——浮遊粉塵の拡散過程を中心として——

Visualization of Turbulent Flow and Dust Diffusion in Room with Laser Light Sheet

村 上 周 三*・加 藤 信 介*・赤 林 伸 一*

Shuzo MURAKAMI Shinsuke KATO and Shin-ichi AKABAYASHI

出力4 W のアルゴンイオンレーザーを光源とし、室内模型を対象にその気流性状および室内で発生させた粉塵の拡散現象を可視化、解析する。レーザー光をシリンドリカルレンズで拡散させてレーザーライトシートを作成し、炭酸マグネシウムの微粉末トレーサの散乱光により可視化する。これにより、室内気流の微細な乱流構造が可視化解析されるほか、微粒子そのものが可視化されるため室内で発生した粉塵の拡散現象を詳細に解析できる。

1. 序 — 本可視化システムの特徴

流れの可視化には各種の手法があるが室内気流の可視化には主にトレーサー法が用いられることが多い。¹⁾これには

- ①メタアルデヒド等の粒子を用いる方法²⁾
- ②バブルを用いる方法
- ③煙トレーサーを用いる方法
- ④スモークワイヤー法³⁾

等がある。①、②はトレーサー粒子自身が大きく、また粒子間隔も疎になりやすく可視化の分解能が低い。③は乱流拡散によるトレーサー濃度の低下により分解能が落

ち、室内の平均的な流れの様相の可視化に留まっているのが現状である。また④も局所的には詳細な流れ可視化が可能であるが煙の量が少ないので乱流拡散によりすぐ分解能が落ちてしまう短所がある。

室内気流の可視化に限らず一般的に流れの可視化にはトレーサーの要素とともに光源に対する配慮が必要となる。通常のランプやスリット光源等に対し大森ら⁴⁾ Balint⁵⁾らはレーザー光(レーザーライトシート)を用いて水の中の流れや、吹出噴流の可視化を行っている。このほかレーザー光を用いて轉法輪⁶⁾は風洞内層流中において建物周辺気流の可視化を行っている。また、Maille らは、^{6),7)} 早くから風洞内乱流境界層中において建物周辺の

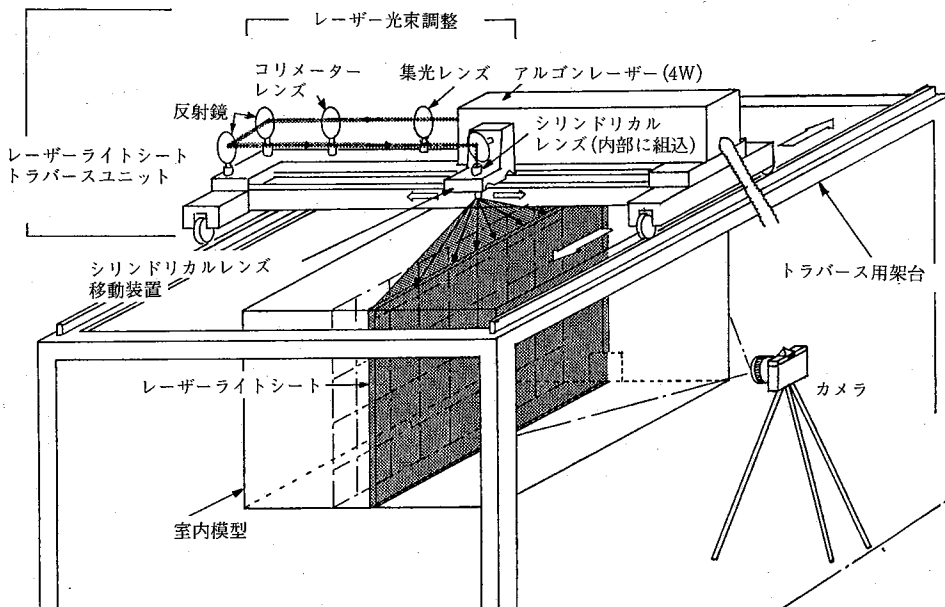


図1 レーザー光を利用した可視化システムの概要

* 東京大学生産技術研究所 第5部

流れをレーザー光を用いて可視化している。

本研究は、微細な乱流構造を可視化するため気流中の浮遊微粒子そのものを可視化トレーサーとするシステムの開発を目的としている。これはトレーサーとして炭酸マグネシウムの微粉末を用い、高い照度のレーザーライトシート（スリット光のように薄くかつ面的な広がりを持つ光）を光源としてトレーサー微粒子1つ1つの散乱光により流れを可視化する点に特徴がある。また、この方法は気流中の浮遊微粒子を直接可視化するため、浮遊微粒子自身の拡散現象をラグランジュ的に可視化解析できる特徴もあわせ持つ。本報では、可視化システムの概要および本システムで撮影された可視化写真の例について報告する。¹⁰⁾

2. 実験概要

2.1 可視化システム

図1に可視化システムの概要を示す。光源には出力4Wのアルゴンイオンレーザーを使用し、光学系をトラバース装置に組み込み可動のレーザーライトシートを作成する。光源にレーザー光を用いたのは

①微粒子の散乱光強度を確保するための高い照度を容易に確保できる。

②原理的にはレーザー光をシリンドリカルレンズ（円筒状レンズ）で拡散させるだけの簡単な光学系によりレーザーライトシートを作成することができる。

③得られる可視化画像のコントラストが良い。

④レーザーライトシートのトラバースを容易に行い得る。
等の理由による。

表1 実験番号と実験条件

実験番号	室内ブラフボディ	吹出気流にトレーサー注入	室内でトレーサー発塵	図番号
1	無	有 (整流器内)	無	4, 5, 6
2	有 (1)	有 (整流器内)	無	7
3	有 (4)	有 (整流器内)	無	8
4	1 有 (1)	無	有(ブラフボディ) 上面	9
	2 有 (1)	無	有(ブラフボディ) 風上側壁面	10
	3 有 (1)	無	有(ブラフボディ) 風下側壁面	11
5	1 有 (1)	無	有(人体モデル) 上部	12
	2 有 (1)	無	有(人体モデル) 下部	13

すべての実験条件で吹出風速=1.0m/s 吹出Re数=4900

2.2 対象室内模型

図2に示すアクリル製室内模型を対象とする。本模型の室内気流性状は文献⁹⁾で詳細に検討されており、吹出Re数4900以上では室内気流性状が変わらないことが確認されている。図3に人体からの発塵をモデル化した粉塵発生用の人体モデルおよび室内模型内部に設置するブラフボディを示す。ブラフボディの壁面および上部天井面は金属メッシュで作成されており、それぞれ別々に粉塵トレーサーを発生させることができる。また、人体モデルも上、中、下の3層に分かれており、それぞれ別々にトレーサーを発生させることができる。

2.3 トレーサー

可視化トレーサーとしては炭酸マグネシウムの微粉末を使用する。粒径分布のピークは約5 μ mで1~10 μ mの範囲に分布している。トレーサー注入法ではトレーサー粒子の沈降速度が問題となるが、このトレーサーの場合は1cm/s以下であると考えられる。気流性状を可視化

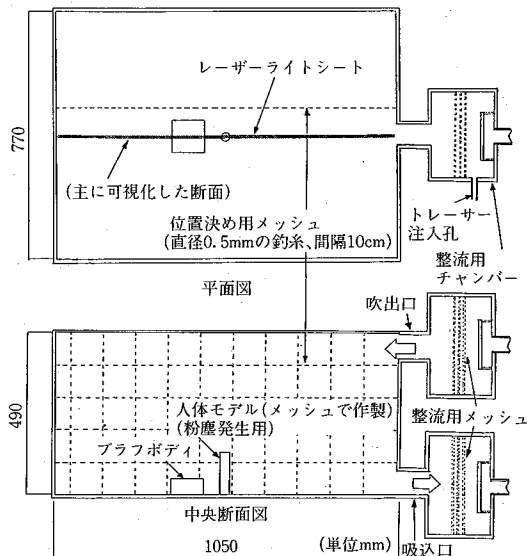


図2 対象室内模型の概要

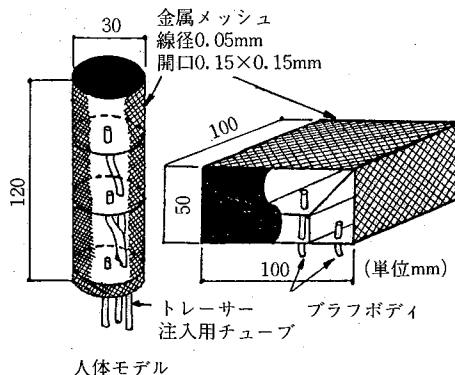


図3 人体モデルおよびブラフボディ

する場合トレーサーは吹出口に設置された整流器内に注入される。ブラフボディおよび人体モデルより発塵させる場合は、チューブを通じそれぞれトレーサーを注入発塵させる。

2.4 実験条件

表1に示す。実験1～実験3は室内気流性状の可視化に関する実験である。実験1は室内になにも置かない場合、実験2は室内床中央にブラフボディを1個設置した

場合、実験3は室内床にブラフボディを5 cm 間隔で4個設置した場合の実験である。実験4および実験5は室内で発生した粉塵の拡散過程を可視化する実験である。実験4-1は室内に設置したブラフボディの上部天井面より発塵した場合、実験4-2はブラフボディの風上側壁面より発塵した場合、実験4-3は風下側壁面より発塵した場合の実験である。実験5-1は人体モデルの下部からトレーサーを発生させた場合、実験5-2は上部から発生

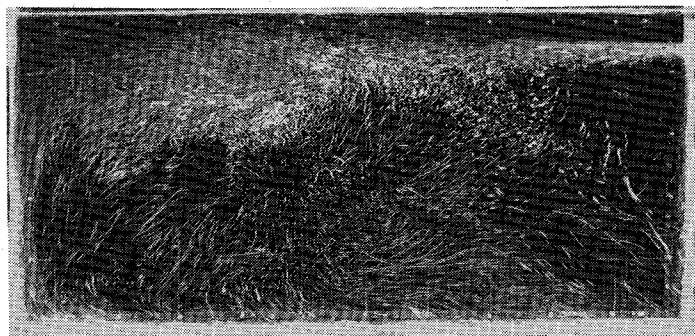


図4 実験1(全体)

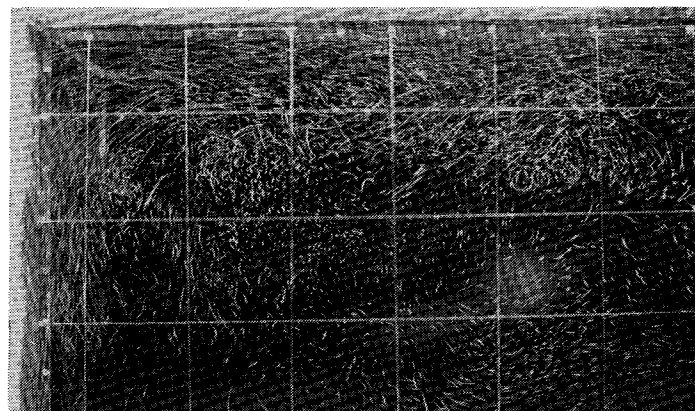
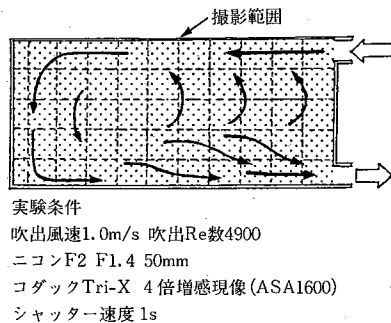


図5 実験1(部分:左上部分)

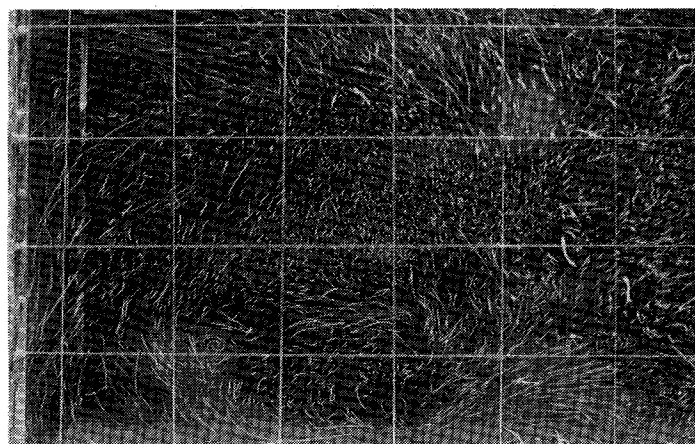
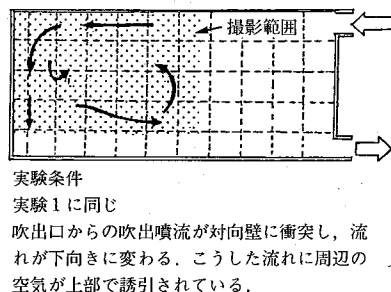
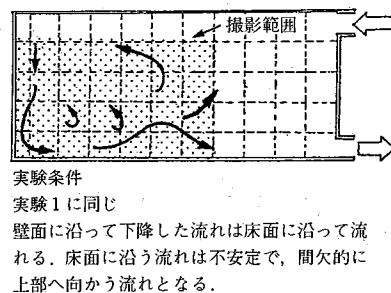


図6 実験1(部分:左下部分)



させた場合の実験である。両実験とも人体モデルから 5 cm 左側にブラフボディが設置されている。すべての実験で室内吹出口での風速は 1.0 m/s, 吹出 Re 数は 4900 である。レーザーライトシートの厚みは床面で約 1 cm である。

2.5 撮影条件

ニコン F2 を使用 F1.4 50 mm シャッター速度 1 s 絞り開放 フィルムはコダック Tri-X を 4 倍増感 (ASA 1600) して使用。

3. 実験結果

3.1 実験 1 について

室内になにも設置しない場合の可視化写真を図 4, 5, 6 に示す。図 4 は模型全体を撮影したものであり、吹出口から出た気流が左側の壁面にぶつかり下降し、床面に沿って吸込口に戻ってくる様子が良くわかる。吹出口の直後は、気流速度が速く光量不足のためトレーサー粒子は撮影されていない。吹出口の下部では吸込口に向かう流れの一部が上部の噴流に誘引されていく様子が観察される。図 5 は左上隅の近接写真、図 6 は左下隅の近接写真である。小さな渦が多数可視化されており、室内の乱流状態が良く観察される。目視による観察では、小さな渦が生成され消散していく様子がいっそう明確に観察される。

3.2 実験 2 について

図 7 は室内床中央においたブラフボディの周辺を近接して撮影したものである。ブラフボディの左側(風上側)と右側(風下側)に定在渦が形成されている様子が観察される。またブラフボディにぶつかった流れは上方に押し上げられ、ブラフボディの上方で吸込口へ水平に向かう気流と上部の噴流域に誘引される気流とに分かれる。

3.3 実験 3 について

4 個のブラフボディのうち、左側の 3 個を近接して撮影したのが図 8 である。ブラフボディとブラフボディの間に定在渦が形成されているのが非常に良く観察される。また、左側からブラフボディにぶつかった流れはブラフボディの上で大きな渦を形成している。

3.4 実験 4 について

図 9, 10, 11 はそれぞれ室内床中央においたブラフボディの上部天井面、左側壁面、右側壁面よりトレーサーを発塵させた場合の可視化写真である。発塵させる際のメッシュ面上の吹出速度は壁面および天井面を構成するメッシュ全体から吹き出しているためほとんど 0 m/s と考えて良い。上部天井から発塵させた場合にはブラフボディ右側の渦に拡散されるものと上部吹出し噴流への誘引流に拡散されるものとに分かれる。左側壁面(風上側)から発塵させた場合にはブラフボディ上部の渦に拡散され、一部は上方の噴流域へ向かう流れに拡散し、一

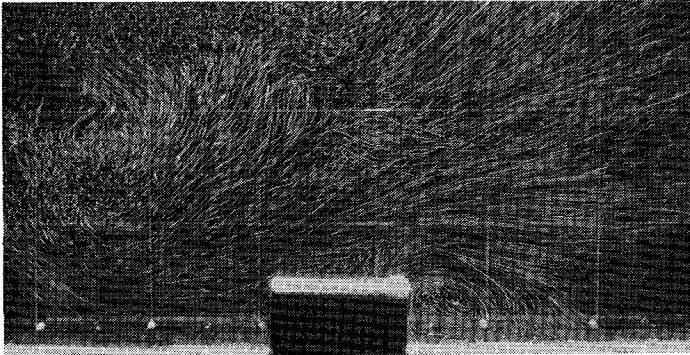
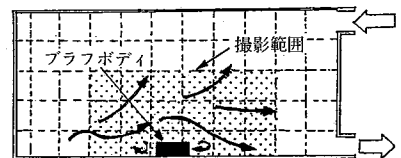


図 7 実験 2 (部分: ブラフボディ回り)



実験条件

実験 1 に同じ

ブラフボディ左側からの気流はブラフボディ上方に斜めに押し上げられる。ブラフボディ前面および後方には定在渦が生じる。

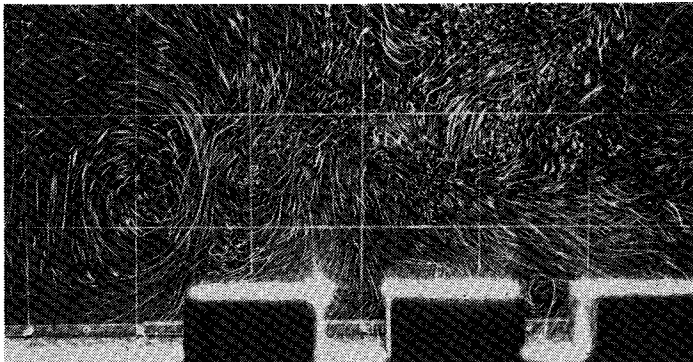
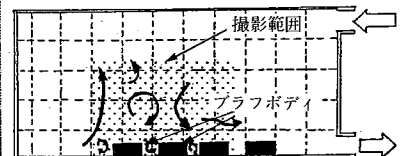


図 8 実験 3 (部分: ブラフボディ回り)



実験条件

実験 1 に同じ

ブラフボディ左側からの気流はブラフボディ前面でまっすぐ上方に押し上げられる。ブラフボディ前面および各ブラフボディ間には定在渦が生じている。

部は吸込口に向かう流れに拡散される。右側壁面（風下側）から発塵させた場合にはそのまま吸込口に向かうものが大部分であり上部吹出噴流への誘引流に拡散されるものは少ない。

3.5 実験5について

図12は、人体モデルの下部からトレーサーを発塵させた場合の可視化写真である。発塵する際の吹出速度は3.4と同様にほとんど0 m/sと考えて良い。人体モデル下部から全方向一様に発塵されたトレーサーのうち左側の部分はブラフボディとの間に形成された渦に巻き込まれる。また右側に吹き出されたトレーサーは上方の噴流域への誘引流に拡散されるものと吸込口に向かう流れに拡散されるものとに分かれる。図13は人体モデルの上部からトレーサーを発塵させた場合の可視化写真である。上

部側面から全方向一様に吹き出されたトレーサーはブラフボディとの間に巻き込まれることなく拡散され、上方の噴流域に向かっていくものと、下方の吸込口に向かっていくものとに分かれる。

4. 結 論

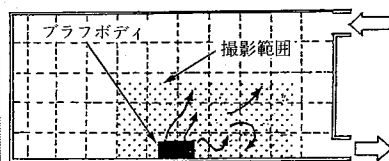
レーザーライトシートを光源とする室内乱流現象の可視化システムを開発し、何例かの可視化写真を撮影した。その結果

①レーザー光を利用した可視化システムにより、微細な室内乱流構造の解析も可能な可視化写真が撮影できること

②本可視化システムが、室内での微粒子拡散現象の可視化にも応用できること



図9 実験4-1（部分：ブラフボディ回り）



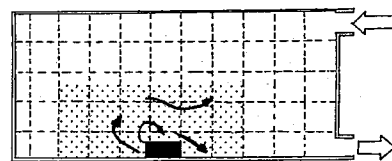
実験条件

実験1に同じ

上部天井面から発塵したトレーサーは、ブラフボディ右側の定在渦に拡散するものと上部吹出噴流に誘引される流れに拡散するものとに分かれる。



図10 実験4-2（部分：ブラフボディ回り）



実験条件

実験1に同じ

左側壁面から発塵したトレーサーは、ブラフボディ上部の定在渦に拡散される。

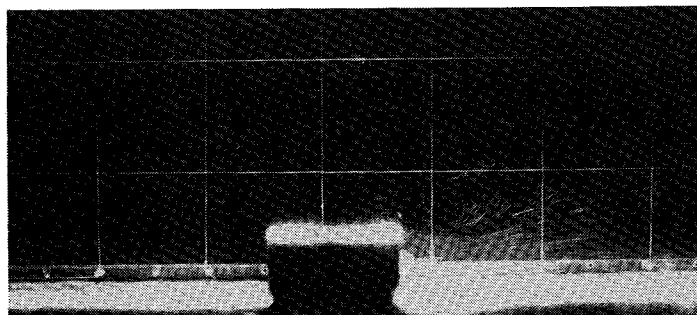
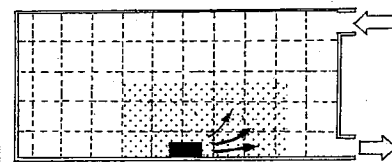


図11 実験4-3（部分：ブラフボディ回り）



実験条件

実験1に同じ

右側壁面から発塵したトレーサーは、この部分の定在渦に拡散するとともにそのまま吸込口に向かう。

等が明らかとなった。なお、本可視化システムは室内乱流現象の可視化に限らず、風洞模型実験等広く気体の流れ現象に係わる可視化に応用可能である。今後、コンピュータを利用した画像処理、乱流の数値シミュレーション結果との整合性等も含めた検討を行いたいと考える。

謝 辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金の助成を受けて実施されたものである。また、実験に当たっては、写真技術班岡宮誠一氏より撮影技術の助言を、フィルム処理については倉科満寿夫氏の協力を得た。関係各位に心から謝意を表する次第である。(1984年7月25日受理)

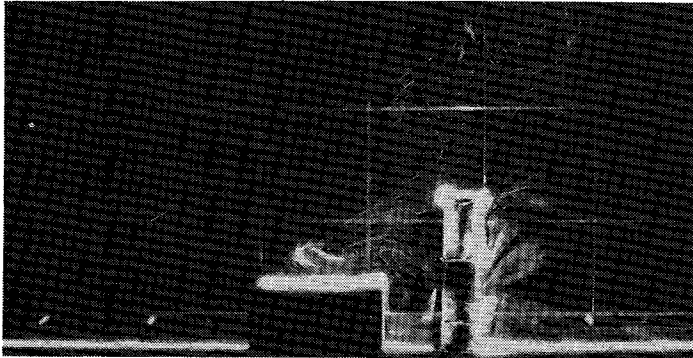
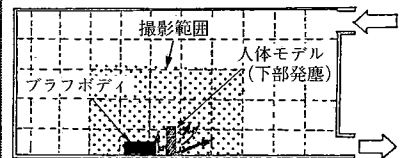


図12 実験5-1 (部分：人体モデル回り)



実験条件

実験1に同じ

人体モデル下部から全方向一様に吹き出されたトレーサーのうち左側の部分はブラフボディとの間の定在渦に巻き込まれる。

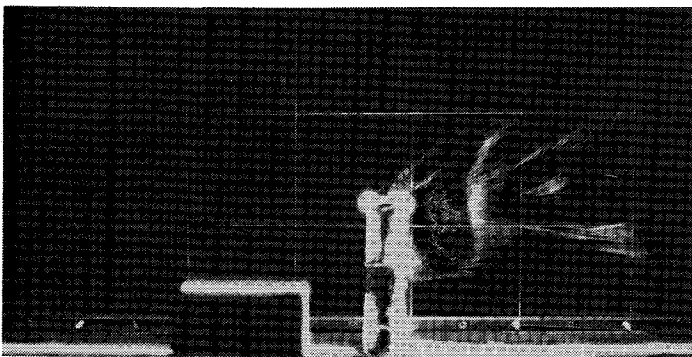
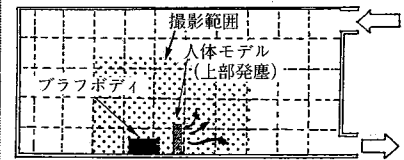


図13 実験5-2 (部分：人体モデル回り)



実験条件

実験1に同じ

人体モデル上部から全方向一様に吹き出されたトレーサーは、ブラフボディとの間の定在渦に巻き込まれることなく、流れの後方に拡散していく。

参 考 文 献

- 1) 浅沼 強編「流れの可視化ハンドブック」朝倉書店昭和52年3月
- 2) 勝田, 村上, 他「温風暖房時の室内気流の可視化」流れの可視化シンポジウム昭和49年7月
- 3) 倉淵, 加藤, 鎌田「流入, 流出に圧力境界条件を適応した三次元乱流モデルによる数値解析及び実験」建築環境工学論文集昭和57年1月
- 4) 大森, 植村「アルミ粉法による脈動噴流の可視化」第8回流れの可視化シンポジウム東大宇宙航空研1980, 7
- 5) 轉法輪主「環境実験用風洞装置の試作とその応用実験」東海大学紀要教養学部1980(第11号)
- 6) H. MAILLE "METHODE DE VISUALISATION QUANTITATIVE PAR CHRONOPHOTOGRAPHIE LASER, Proc. Colloque" Designing with the Wind, Nantes, 1981
- 7) J. Gandemer "Simulation and Measurement of the Local Wind Environment" Wind Tunnel Modeling for Civil Engineering Applications, Cambridge Univ. Press, 1983
- 8) J. L. Balint, M. Ayrault, et al "Measurement of the Concentration of Aerosol Particles in Turbulent Flows through Laser Visualization Combined with Image Processing" 6th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONTAMINATION CONTROL, 1982
- 9) 田中, 村上「室内濃度分布の数値計算と模型実験の比較」日本建築学会大会昭和57年10月
- 10) 村上, 加藤, 赤林「レーザー光を用いた室内乱流の微細構造の可視化」日本建築学会関東支部研究報告集昭和59年7月