低視程実験棟の紹介

豊福　芳典*　　青木　義郎*

An Introduction of the Low Visibility Test Facility

by

Yoshinori TOYOFUKU *,　Yoshiroh AOKI *

Abstract

To improve the safety of various transportation facilities under the condition of low visibility, researches on the vision of subjects, on the proper technique for indicating lights or on the proper technique for lightening in the fog, are important themes.

However, it is impossible to make an experiment in natural fog whose characteristic is intended and stable.

Then, the Low Visibility Test Facility has been constructed which is able to artificially generate fog and visual environment with intended low visibility and background luminance, in order to enable accurate and various sorts of experiments in fog efficiently.

In the Fog Room of this facility, a low visibility environment with about equal to natural fog condition is regenerated stably. Also, the Visual Condition Control System is equipped, which automatically controls and keeps the transmittance and the illuminance at the target value.

原稿受付：平成14年10月4日
* 交通システム部

1. はじめに

航空交通分野においては輸送需要の増大に伴い、霧等による低視程状態でも空港の運用を継続する要請が高まっている。このような場合、飛行場灯火による適切な誘導及び管制情報をパイロットに提供することは安全上必要不可欠である。

また、自動車交通においても、高速道路等での霧中の多重追突事故などが大きな問題となっている。

このように、各種交通機関において視界不良時の安全性の確保のために、霧中での対象物の見え方の研究、それぞれの交通機関の条件に応じた灯火の最適な呈示技術、照明技術の研究は重要な課題である。

しかしながら、自然界では、意図した条件の霧を希望するタイミングで安定的に得ることは不可能である。当研究所では、これまで専用の人工霧施設がなかったので、理論解析やシミュレーションの他には、空きスペースに仮設的に人工霧発生システムを構成しての小規模なモデル実験に頼らざるを得なかったが、極めて効率が悪く、実験内容も限定的であった。

そこで、霧中での高精度で多様な実験を効率的に行うことができるよう、人工的に霧を発生させ任意の低視程状態と背景輝度等の視環境を生成することのできる低視程実験棟（Fig. 1）を整備し、平成13年度末に国から独立行政法人交通安全環境研究所への現物出資の手続きを終了した。

Fig. 1　Low-Visibility Test Building

2. 低視程実験棟概要

2．1．建屋概要

本実験棟の基本構造は、鉄筋コンクリート造り平屋建て（屋上面高さ6,100mm）であり、建築面積157.92㎡、（延べ床面積157.92㎡）である。

平面図をFig. 2に示す。

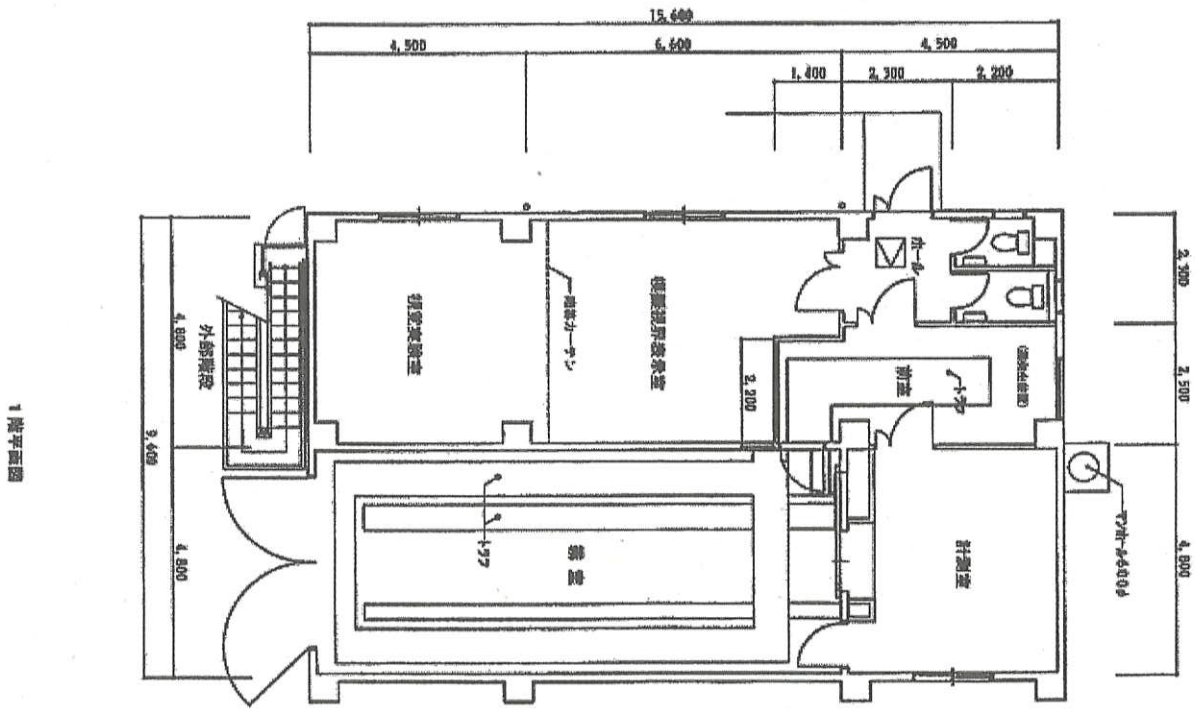


Fig. 2　The plane figure of the Low-Visibility Test Building

Fig. 3　An appearance of fog spray

また、屋上に、天空輝度、昼光照度等を自動継続観測する計測器等を設置するためのプラットフォームを設けた。プラットフォームは2m □の正方形状で、屋上面からの高さ2m である。

2．2．室構成

本実験棟は、霧室、計測室、機械室、付属の実験室（模擬視界表示室、視覚実験室）トイレ等より構成される。

霧室は、本実験棟の主要設備であり、機械室に設置されたエアコンプレッサにより生成される加圧エア及び純水器等により生成される純水から人工的に霧を発生させ、天然の霧条件とほぼ同一の低視程状態を安定的に再現する。さらに、霧濃度、背景輝度を目標値に維持、自動制御するための視環境制御装置を備える。噴霧中の様子を Fig. 3 に示す。

また、霧室内面はほぼ艶消し黒塗装仕上げとしており、精密な灯火測光実験が可能な暗室としての機能を合わせ持つ。霧室の詳細については次項に述べる。

計測室は霧室に隣接し、霧や照明等の視環境の制御操作、霧室にセットされた対象の視認観測、光学計測等を行う。

機械室は、主に、エアコンプレッサ、各種の純水生成装置、配管類及び給水、排水設備等の霧発生のための装置類を設置している。

模擬視界表示室及び視覚実験室は、それぞれ低視程条件下での視界のＣＧシミュレーション解析等のデータ処理及び簡易な視覚実験等を行う実験室である。

2．3．霧室概要

霧室は、11m(L)×4.8m(W)×4.5m(H) の直方体であり、長手方向両壁面の床上高さ3.5m の位置に噴霧ユニットが12個づつ、計24個設置されている。

霧の空間的濃度分布と時間的濃度変化をできるだけ安定的、均一に保ちやすくするため、天井高さは高目とした。

霧室は、隣接した計測室との間に観測窓を有するほかは、窓を設けていない。

観測窓は、電熱線挟み込みガラスによって目視観測時におけるガラスの曇り軽減を図っている。電熱線は18μmφ以下、3mm ピッチのタングステン線で、よほど注意しないと目視では気が付かない程度であり、視覚実験等における視認対象物の観測にはほとんど邪魔にならない。熱線挟み込みガラスの仕様概要を Table 1 に示す。

また、赤外線実験のように、ガラス越しでは観測不能な場合は、ガラス枠を開放して観測を行うこともできる。この場合は、観測窓面をエアカーテンで仕切り、霧の室外流出を抑えている。

Table 1　The specification of glass fitted with heating wire

項目	仕様
寸法	1,200(W)×700(H) mm
厚さ	6.9　mm
ガラス種類	セミ強化ガラス
可視光透過率	約 89 %
電熱線	タングステン線
線径	18　μmφ以下
線ピッチ	3 mm
電源	AC100V、約500W

天井面の照明装置（後述）は、水銀灯、蛍光灯、白熱灯の組み合わせである。

実験プロセスとして霧充満状態から速やかに視程クリアな状態に戻す必要がある場合に、効率的、速やかにこれを行うため並びに実験終了後に霧を迅速に室外排出して室内空気の湿度を外気並に引き下げるために、霧室には強力な強制換気装置を備える。強制換気装置は、天井から給気し床面から排気する方式で、１時間に霧室空気を7～8回入れ換える程度の風量（定格風量 1,800m^3/hr）である。

霧室南面には、開放幅3m の扉を設けた。自動車等の進入を考慮したものである。霧室寸法が大きく

ないので、持ち込む車両等の大きさに限界があるが、軽自動車や二輪車は、実車を使った実験が可能である。ただし、自動車排出ガスのダクト等による排気装置を備えていないし、霧発生中は霧室換気もできないので、エンジンは回さない状態で灯火器類だけ点灯させるようにしなければならない。

3. 霧発生装置概要

霧発生装置のシステム概念図を Fig. 4 に示す。機械室に設置したコンプレッサの加圧エアと逆浸透膜方式及びイオン交換方式を用いて生成した純水はステンレス配管によって霧室に導びかれ、その先端に噴霧ユニットが接続されている。

水道水を純水化するのは、噴霧ノズルの目詰まりやカルシウムの沈着等を防ぐためである。

Fig. 4 に示すように、エア配管を4系統に分け、それぞれの配管系統には9個、3個、6個、6個の噴霧ユニットを装着するとともに、各エア配管系統は電磁弁によって独立に噴霧の ON ／ OFF を切り替えることができる。これにより、霧を発生させる噴霧ユニットの稼働数を3個から24個の範囲内で3個おきに任意に選択することができ、かつ、各系統の噴霧の ON ／ OFF 制御を断続的に繰り返すことにより霧濃度を目標値に維持することができる（視環境制御装置：詳細後述）。

なお、Fig. 4 中の「パージエア配管」とはコンプレッサからの加圧エアを一部分岐して霧室内へ導いているものであり、汎用の用途に使用することができる。使用例として、霧中で粒度分布測定装置を使用する際に、高湿度空気の侵入を排除したい装置部位をカバーで囲い、その中の空気を乾燥外気でパージするために使用している。

噴霧ユニットは衝突型二流体ノズル方式であり、「噴口から噴出する圧搾空気のせん断作用によって微霧化した液滴流が、もう一方の液滴流と衝突し、相互せん断を繰り返すと同時に、3.3～4万 Hz の超

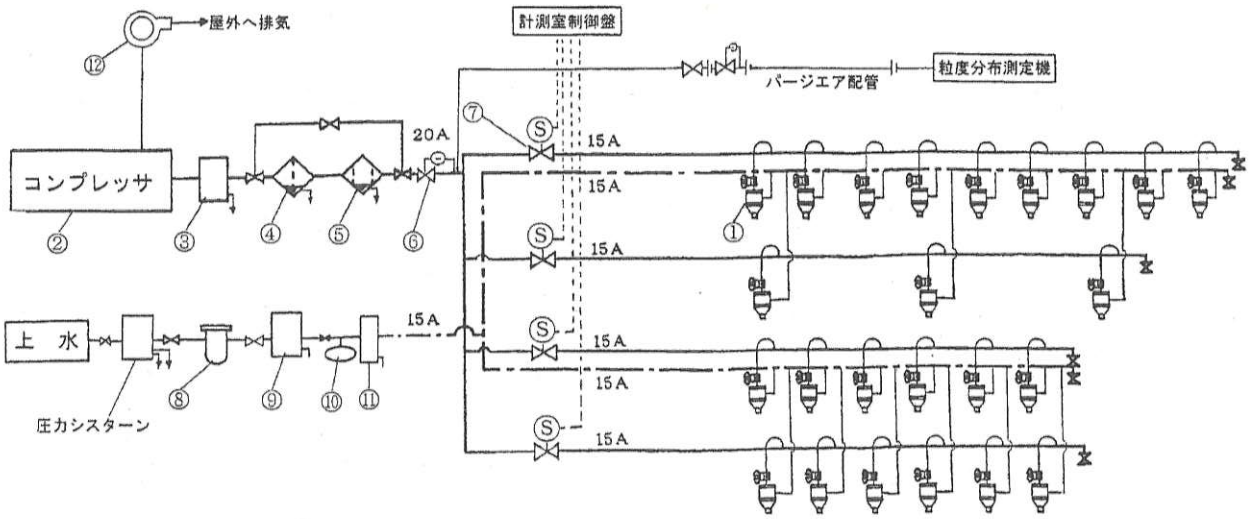


Fig. 4 The block diagram of the fog generate system

音波を発生して、液滴をさらに超微粒化、均質化」（㈱いけうち、噴霧ユニットのカタログより）した霧を発生する。噴霧ユニットの主要仕様を Table 2 に示す。

大気中微粒子による光の散乱状況は、微粒子の粒径に依存することから、発生する霧の粒径分布は天然の霧にできるだけ近いことが必要である。

レーザー光散乱方式（フランホーファー回折法）の粒度分布測定装置により本霧発生装置で発生させ

Table 2 The specification of the fog spray unit

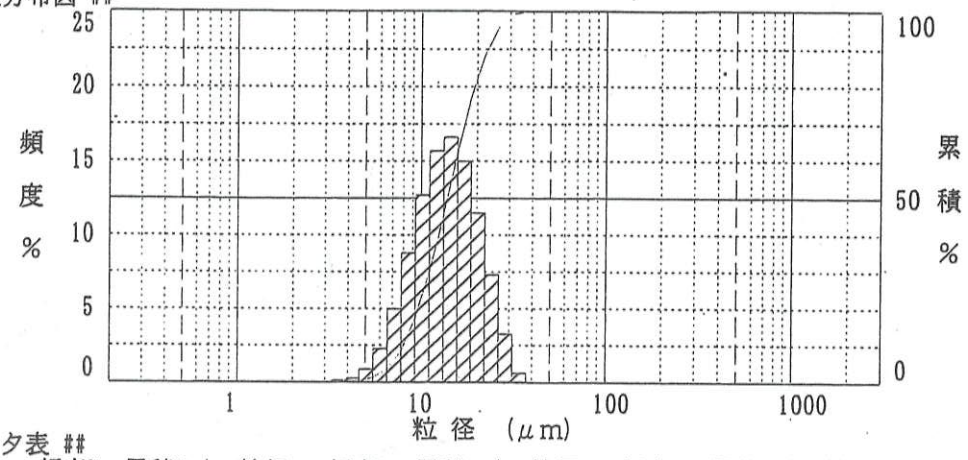
項　目	仕　様
噴射ノズル	衝突型二流体ノズル
噴霧量	最大2.5 L/hr （標準 2 L/hr）
空気圧力	0.3～0.5 Mpa （標準 0.3 Mpa）
空気消費量	36～55 NL/min
給水圧力	0.1～0.3 Mpa
噴霧粒子径	平均 6 μm程度
	最大 40 μm以下

計算結果１

D10: 8.05 μm　D50: 13.75 μm　D90: 22.74 μm　SMD: 12.54 μm

TRANSMITTANCE: 0.9464　FITNESS: 14.92 %　CONCENTRATION: 1316

粒度分布図



データ表

粒径	頻度%	累積%	粒径	頻度%	累積%	粒径	頻度%	累積%	粒径	頻度%	累積%
0.49:			2.76:	0.00	0.00	15.63:	16.63	62.30	88.00:	0.00	100.00
0.58:	0.00	0.00	3.28:	0.00	0.00	18.58:	15.00	77.30	105.00:	0.00	100.00
0.69:	0.00	0.00	3.91:	0.11	0.11	22.10:	11.50	88.80	125.00:	0.00	100.00
0.82:	0.00	0.00	4.65:	0.25	0.36	26.28:	7.32	96.12	149.00:	0.00	100.00
0.98:	0.00	0.00	5.52:	0.87	1.23	31.25:	3.27	99.39	177.00:	0.00	100.00
1.16:	0.00	0.00	6.57:	2.28	3.51	37.16:	0.61	100.00	210.00:	0.00	100.00
1.38:	0.00	0.00	7.81:	4.99	8.50	44.00:	0.00	100.00	250.00:	0.00	100.00
1.64:	0.00	0.00	9.29:	8.78	17.28	53.00:	0.00	100.00	297.00:	0.00	100.00
1.95:	0.00	0.00	11.05:	12.70	29.98	63.00:	0.00	100.00	350.00:	0.00	100.00
2.32:	0.00	0.00	13.14:	15.69	45.67	74.00:	0.00	100.00			

計算結果２

D10.00:	8.05 μm	R 10.00:	22.67 %
D20.00:	9.64 μm	R 20.00:	82.18 %
D30.00:	11.05 μm	R 30.00:	98.62 %
D40.00:	12.34 μm	R 50.00:	100.00 %
D50.00:	13.75 μm	R 70.00:	100.00 %
D60.00:	15.25 μm	R 100.00:	100.00 %
D70.00:	17.08 μm		
D80.00:	19.35 μm		
D90.00:	22.74 μm		

Fig. 5 The results of measurements of fog particle size distribution

た霧の粒径分布を床面近傍で測定した結果の例をFig. 5に示す。

粒径 3.3～37.2μm程度（ザウター平均径12.5μm、体積累積分布50パーセンタイル粒径13.8μm）に分布している。天然の霧では、放射霧で粒径数μm～20μm程度、海霧で数μm～50μm程度との観測例[1)]があり、本装置で発生する霧は概ね天然の霧に近いと考えられる。

4. 視環境制御装置概要

4．1．システム構成

本装置は霧室内での視環境の自動制御を行うためのものである。この装置により、霧室内の透過率や水平面照度を指定した値に応じてコントロールできるようになり、様々な環境条件下（クリアな状態から視程１m以内まで、水平面照度は0～2,000lx 程度まで）での視覚実験や光学実験が可能となる。

システム構成図をFig. 6に示す。

霧室内には霧の濃度を測定する透過率計（合計３台、うち１台は可動タイプ）が設置されている。そして、測定された透過率を入力データとするフィードバック制御により、霧発生装置の４系統のエア供給パイプに装着された電磁弁をリモートで開／閉し、霧室内の透過率を指定された値に保つことが可能と

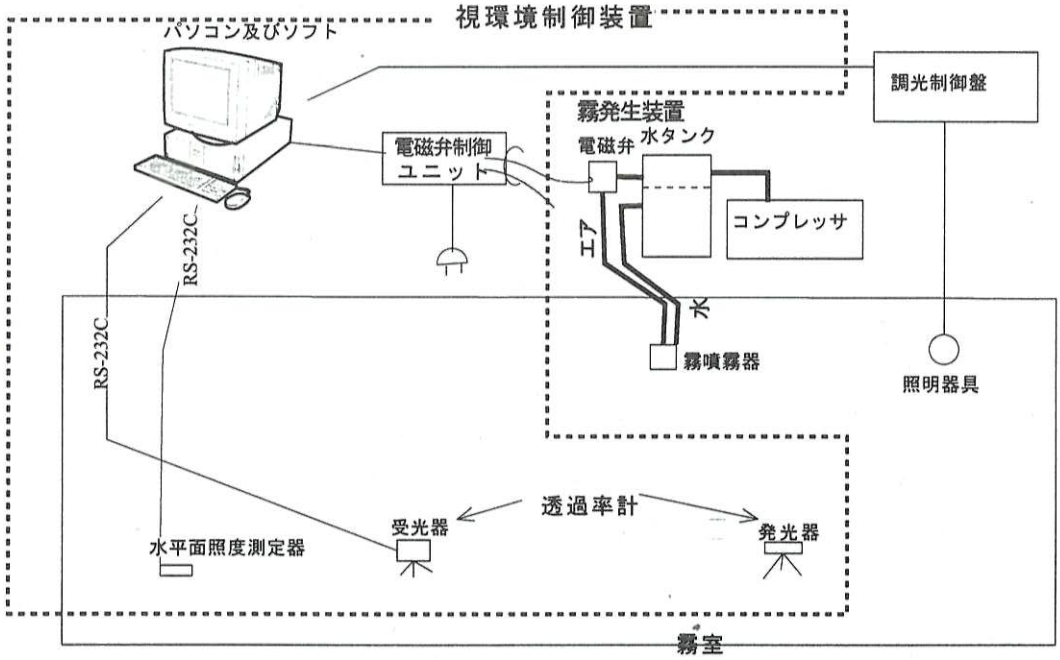


Fig. 6 The block diagram of the Visual Condition Control System

なる。

また室内の明るさは、霧室内の水平面照度計の測定データに基づいて制御される。室内照明器具はパソコンからの制御信号により光度調整され、指定した水平面照度の値に自動調光することができる。

また電磁弁や照明は個別にマニュアル制御も可能であり、より柔軟で臨機応変な視環境の設定を行うことが可能である。

4．2．霧濃度制御手法

霧濃度制御のフローチャートを Fig. 7 に示す。

霧濃度の制御は、透過率計からの入力信号に基づくパソコンの開閉指示に従って電磁弁を制御することにより行われる。室内の霧の濃度は８カ所に設置された攪拌ファンにより均一状態が保たれる。

なお、各部の仕様は

・電磁弁：ＣＫＤ社、型式 AB31024
・電磁弁制御ユニットへの出力信号：DC0-24V(4CH)
・透過率計（３台、うち一台は可動型、Fig. ８）
1)レーザー発光部：632.8nm、発振出力1mW、出力安定度±2.5%
2)受光器　：精度±５%、透過率測定範囲100%－0.01%
：フード（開口前方±３度外の外光除去）

である。

測定された透過率、減衰係数、視程及び電磁弁制御状況はリアルタイムでモニター（Fig. ９）することができる。

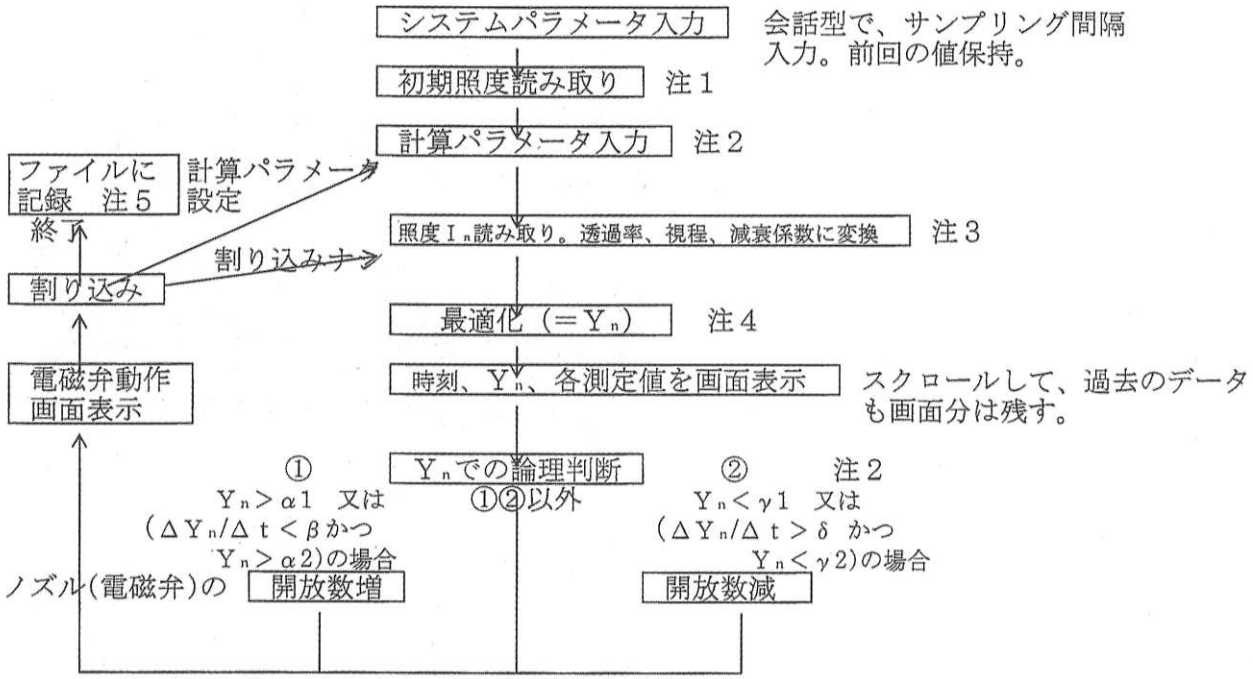


Fig. 7　The flow chart of fog density control

注１）霧なし状態の初期照度Ｉ₀を読み取り。
注２）α1、α2、β1、β2、γ、δの基準値を会話型で入力。
注３）一定時間間隔で読取。
注４）平滑化、最適化を行う。
注５）記録ファイルを作るか否かを会話型でオペレータが入力する。
　　記録ファイルに記入する実験番号とコメントを会話型でオペレータが入力する。

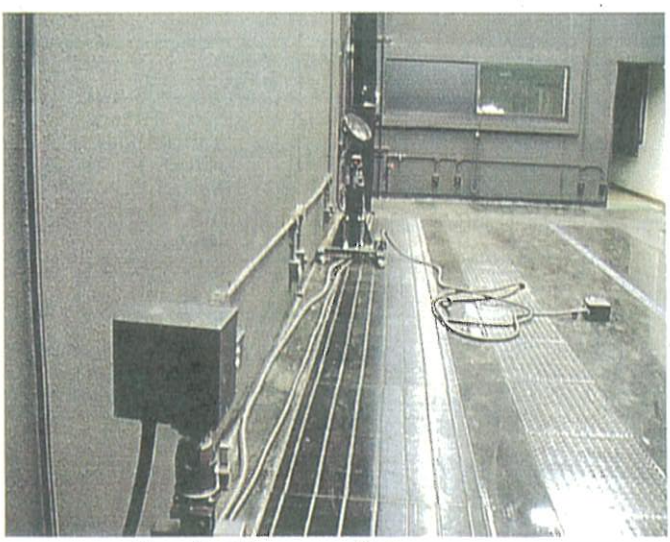


Fig. 8　The transmittance meter

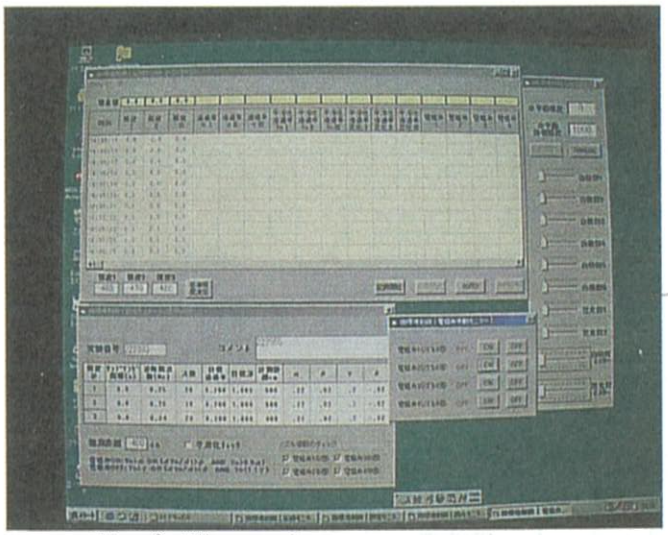


Fig. 9　The monitor screen
of the Visual Condition Control System

４．３．照度制御手法

制御のフローチャートをFig. １０に示す。

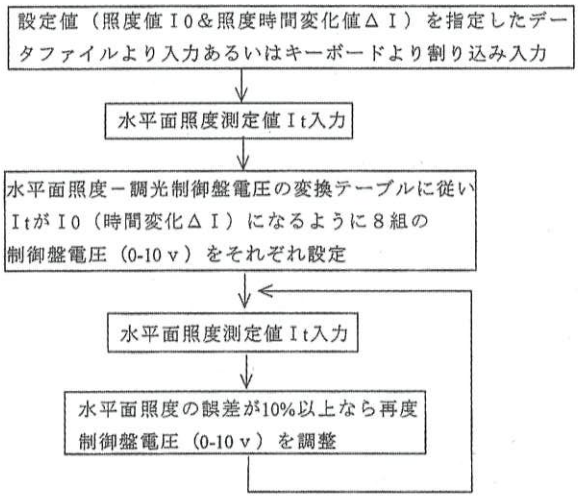


Fig. １０ The flow chart of illumination control

蛍光灯３組、白熱灯５組（Fig. １１）に分けて、それぞれの組の個別点滅及び調光（0～100%）を水平面照度計（Fig. １２）によって計測された照度値に基づいて制御される。

なお、調光は８ｃｈ個別制御及び全体一括制御が可能であり、水平面照度測定値をリアルタイムでモニターすることが可能である。調光制御盤への出力信号は0～10Ｖ（８ｃｈ）である。

また照度計は可搬型であるので、水平面照度の測定位置を変えることや必要に応じて鉛直面照度を測定し調光させることも可能である。

なお霧室内の照明器具による明るさは、霧室中央部の水平面照度（クリア時）で

・水銀灯：0 lx、
　　または約880 lx（最大）：オンオフのみ
・白熱灯：0～約170 lx（最大）：調光可能
・蛍光灯：0 lx、または
　　570（調光最小）～約1750 lx（最大）

の範囲で調整可能であり、全点灯により最大28001xの室内照度になる。

４．４．制御性能

４．４．１．透過率

視環境制御装置によってコントロールされた透過率の制御結果の例を Fig. １３に示す。なお、同図

Fig. １１ The illumination of the fog room

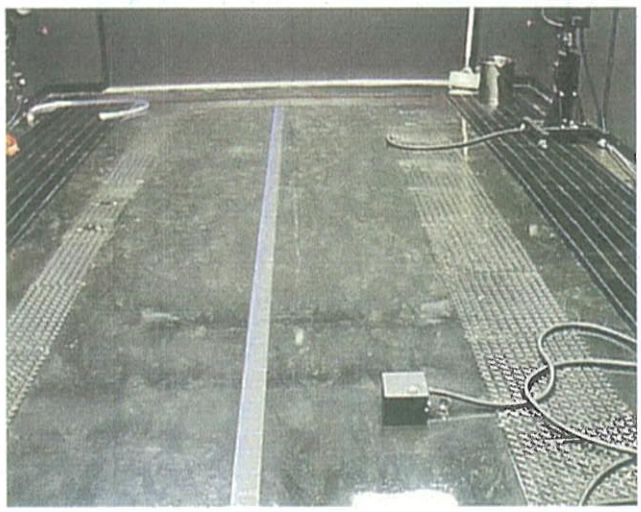


Fig. １２ The horizontal illuminance meter

に示す透過率は送受光器間５ｍの設定における値である。

霧室の透過率は、目標透過率0.05の場合には、噴霧開始から１分程度で、目標透過率0.02の場合には2.5分程度で目標値に収束し、その後ノズル（電磁弁）の開閉制御により目標値±20%程度に安定させることができる。なお、上記例は24個の噴霧ユニットを全数一括制御した場合の結果であり、噴霧ユニットの開閉をよりきめ細かく3個～24個の３個おきの単位毎に選択制御することにより、透過率の維持精度は改善していくことが可能と考えられる。

４．４．２．水平面照度

視環境制御装置によってコントロールされた水平面照度の制御結果の例をFig. １４に示す。

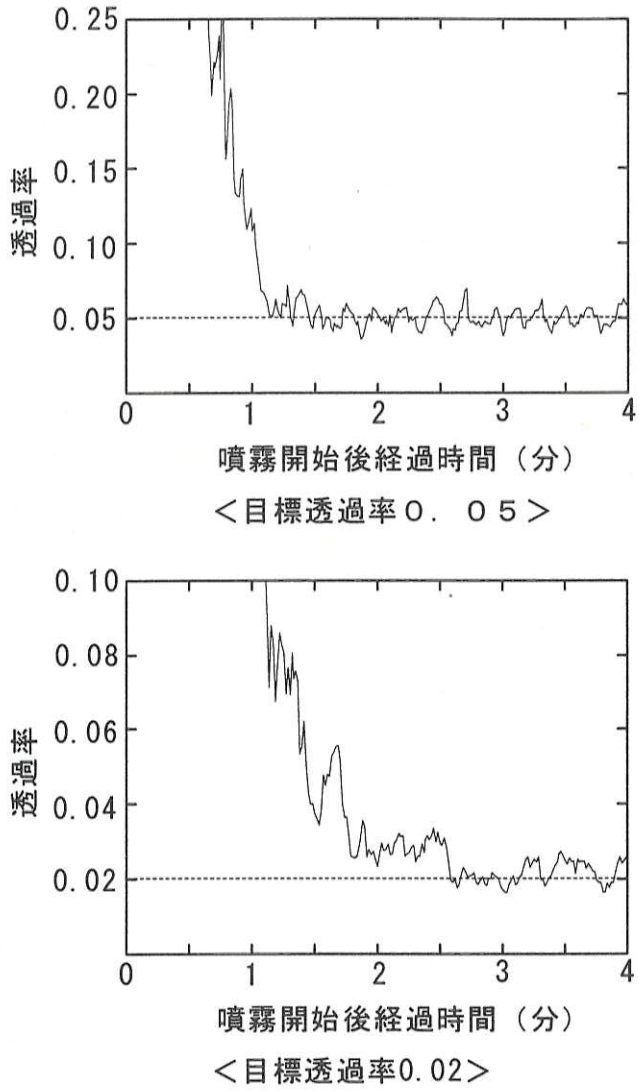


FIg. １３ The results of transmittance contorol by the Visual Condition Control System

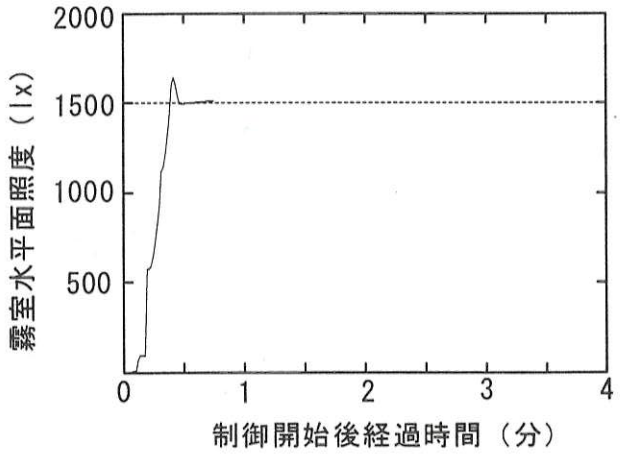


Fig. １４ The results of horizontal illuminance control by the Visual Condition Control System

水平面照度設定値の変更から、数秒から３０秒程度で設定値に収束し、誤差数%以内に安定させることができる。

5. おわりに

従来の当研究所における霧環境下での実験は、所内の空きスペースを利用した小規模、仮設的な装置で行っていたので、霧濃度の安定度が低く、実験規模に限界があり、また、他の事情に応じて随時設備撤去の必要が生じるなど、効率的にも大きな問題があった。

特に、被験者による視覚実験では、霧濃度を観測中維持することが必要であるが、これは従来の設備ではかなり困難な課題であった。

今般の低視程実験棟の整備により、これらの問題が解消され、低視程条件下における灯火器、標識等の見え方、これらの有効な呈示技術、光や赤外線の散乱特性に関する基礎研究等を精力的に進めていくこととしたい。

なお、視環境制御装置による霧濃度のコントロールについて、そのフィードバック制御のパラメータは試行錯誤的に最適値を求めていくという側面がある。本実験棟は本年４月から供用開始したばかりであるので、制御システムは現時点で十分熟成しているとは言い難く、精度や安定性向上の余地があると考えている。この点についても、今後も引き続き検討を進めていくこととしている。

【参考文献】

1)伊藤博編；「航空気象」、東京堂出版 p140