

卒業研究

住宅メーカー実験棟における小規模ドライミストの 実験値と理論値の整合性の検討

平成 20 年度

東京理科大学 工学部第二部 建築学科

辻本研究室

波多野 晃也

目 次

1 序 論	
1.1 はじめに	1
1.2 研究背景	1
1.3 研究目的	1
2 実験に用いた装置について	
2.1 家庭用ドライミスト装置	2
2.1.1 高圧ポンプについて	2
2.1.2 配管・ノズルについて	3
2.2 熱電対(データロガー)	4
2.3 PMV 計	5
3 実験概要	
3.1 実験住宅 2 階平面図・断面図	7
3.2 実験器具の設置位置	8
3.3 ノズル噴霧条件	11
4 実験方法	12
5 理論値の算定法	
5.1 ミスト形成過程	13
5.2 ミスト粒子の軌道算定法	14
5.3 ミスト粒子の軌道	16
6 理論値と実験値の整合性の検討	
6.1 各測定点におけるミスト粒子の通過位置	18
6.2 理論値と実験値	19
6.3 整合性の検討	46
7 まとめ	47

参考文献

謝辞

付録

1 序 論

1.1 はじめに

近年、気候変動に関する国際連合枠組み条約の京都議定書などを通し地球環境問題に対する世界中の人々の意識は高まっている。また、先進国による環境税¹⁾導入など市場を絡めた法律も制定され、その責任は国家から企業レベルまで及んできている。しかし、このような国家、企業単位の政策では、もはや、この急激な環境変化には対応しきれないのではないだろうか。早急に、国民にもその責任を課すべきではないだろうか。

1.2 研究背景

著者がはじめてドライミスト²⁾を体験したのは、2005年の愛知万博のときであり、そのときの体験が今回、卒業研究をするきっかけとなった。現在、本研究室では、住宅用への実用化に向けたドライミストの研究をおこなっており、主に温度効果など実験により得られた数値を分析してきた。

著者はある程度の理論値と実験値との比較は必要と考えている。また、そうすることで複雑な要素を排除し、最適噴霧に適したドライミストの設置が可能になるのではないかと考えた。

1.3 研究目的

本研究は、ミスト粒子を1質点とみなし、到達範囲を数値解析し、最適な噴霧位置、噴霧角度、噴霧距離を検討することにある。それによって、ドライミストの簡易的な設計システムが構築できるのではないかと考えた。

【脚注】

¹⁾ 環境税 … 環境負荷の抑制を目的とし、かつ、課税標準が環境に負荷を与える物質に置かれている税

²⁾ ドライミスト … 高圧ポンプを使用し、細かい水の粒子を噴霧することで、周辺環境の温度を下げる装置

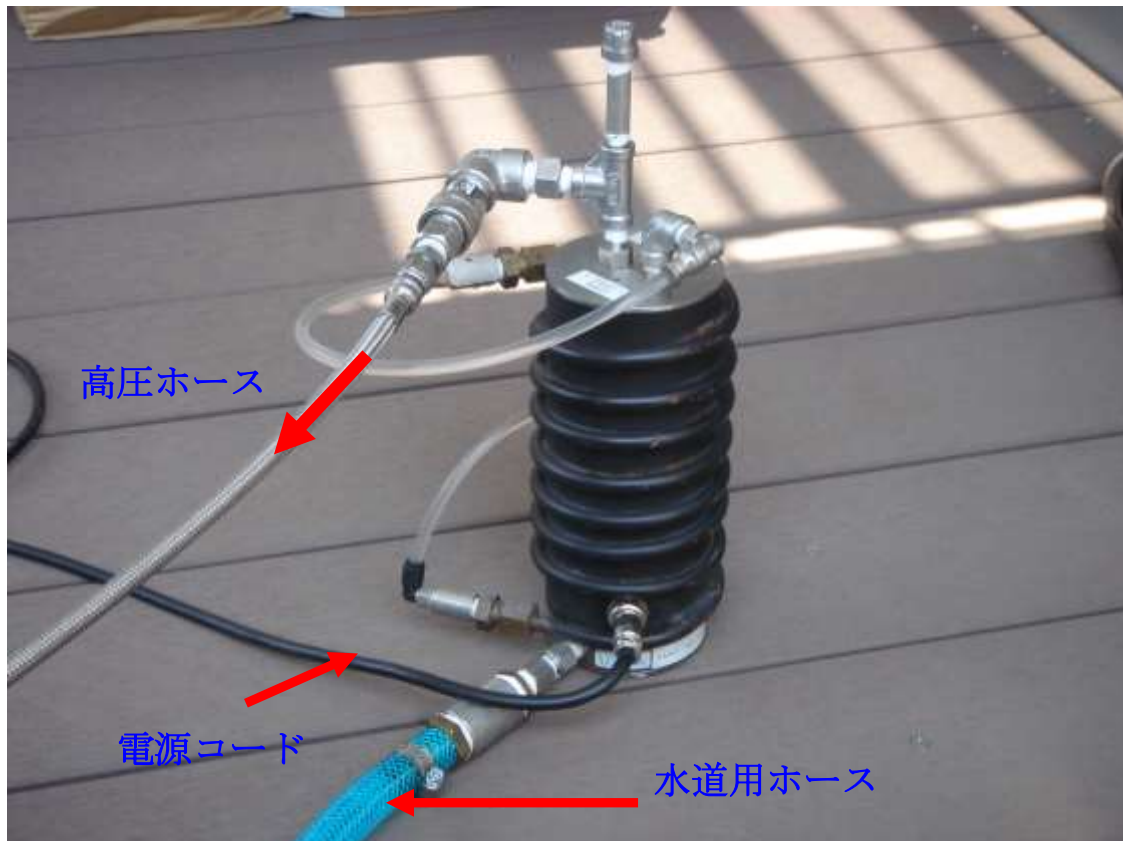
2 実験に用いた装置について

2.1 家庭用ドライミスト装置

2.1.1 高圧ポンプについては、GMM テック社製の GMMP-M6 を使用した。

以下に、スペックを示す。¹⁾

電源	AC100V 50~60Hz
電力	150W 以下 (100V 時)
重量	9.2Kg (参考値)
寸法	本体部 φ102 x 246mm (参考値)
吐出圧力	5.5Mpa 以上 (流量 0)
流量	300cc 以上 (無負荷)



【引用】

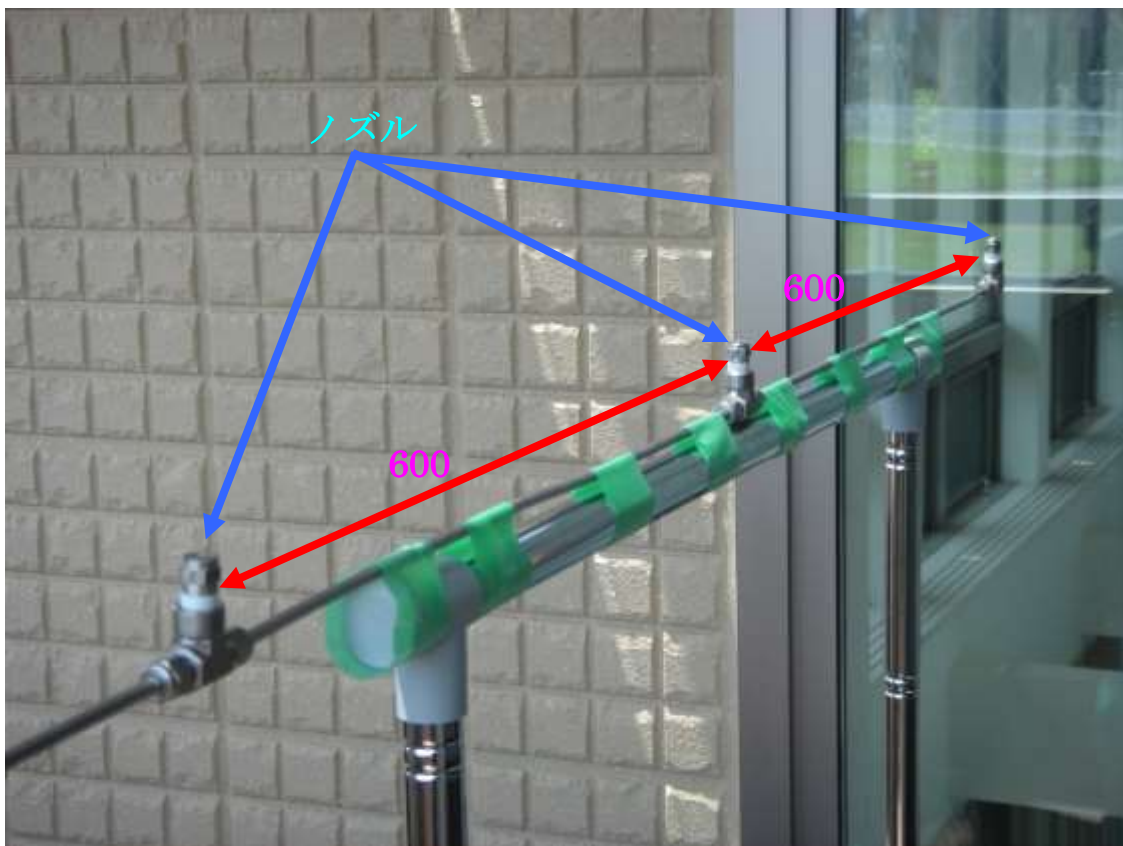
¹⁾ GMM テック 株式会社 <http://www.gmmtech.co.jp/page9.html>

2.1.2 配管・ノズルについては以下に示す。

配管・・・スエーヂロック社製

ノズル・・・共立合金製作所製

ノズル間隔を 600mm として、3 個取り付けた。

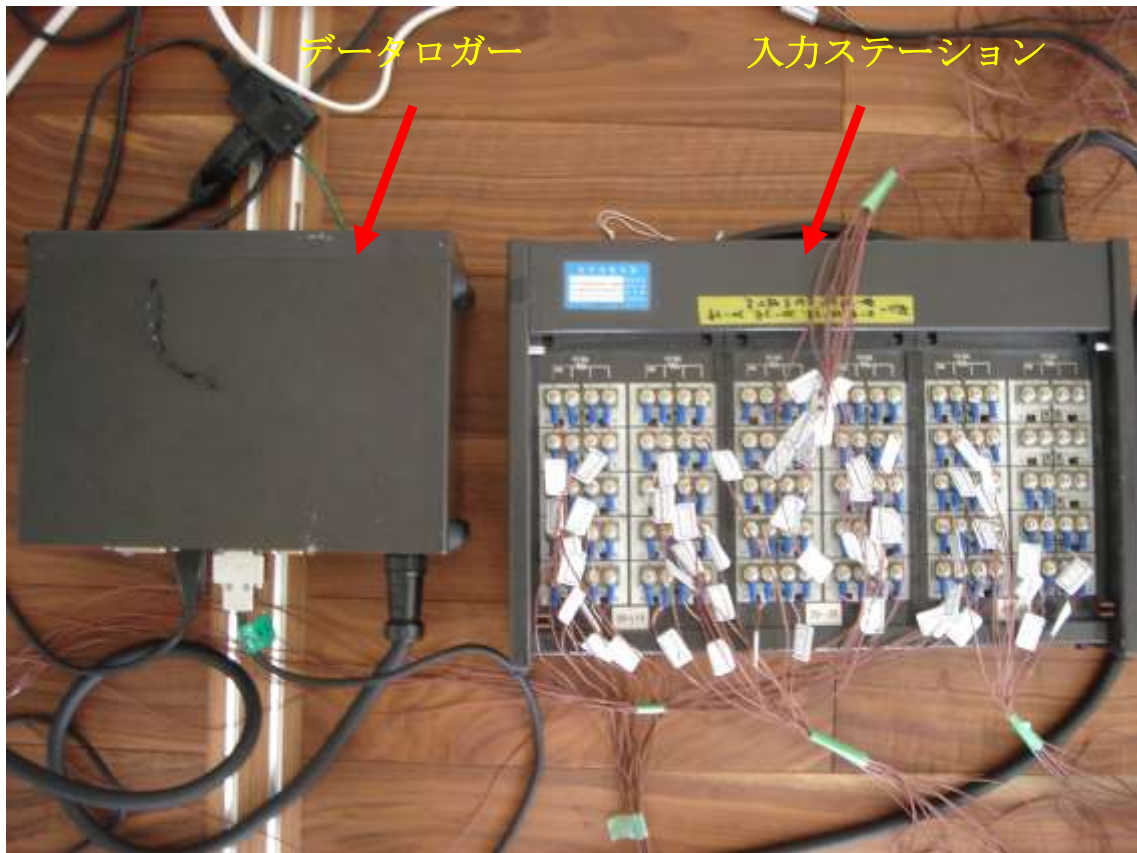


2.2 熱電対(データロガー)

江藤電気株式会社の高速度他点分散データロガー 3060A サーモダック 6 と入力ステーション 3002A を使用した。

以下に、サーモダック 6 の測定精度¹⁾を示す。

測定対象	測定範囲	測定精度	分解能
T-CC	-254 ~ -250°C	±0.05%rdg ±5.0°C	0.1°C
	-250 ~ -150°C	±0.05%rdg ±1.7°C	
	-150 ~ 0°C	±0.05%rdg ±0.3°C	
	0 ~ 400°C	±0.02%rdg ±0.2°C	



【引用】

¹⁾ 株式会社江藤電気 <http://www.etodenki.co.jp/tdac6/index.htm#Tag4> 測定精度

2.3 PMV 計

気温、グローブ温度、気流速度、湿度を測定し、ISO7730 で規定されている温熱環境の指標である PMV 値（平均予測温冷感申告）、PPD 値（予測不満足率）を算出する。

以下に、測定精度¹⁾を示す。

	測定範囲	測定精度
気温	0～50.0℃	±0.5℃ (at15～35℃)
グローブ温度	0～50.0℃	±0.5℃ (at15～35℃測温素子精度)
平均ふく射温度	0～50.0℃	[ISO7726Annex Bより演算]
相対湿度	0～100%RH	±3%RH (at20～80%RH)
風速	0～1m/s	±0.1m/s
	1～5m/s	±0.5m/s
PMV値	-3～+3	
PPD	0～100%	



【引用】

1) 株式会社レックス <http://www.rex-rental.jp/tik/kan2701.htm>

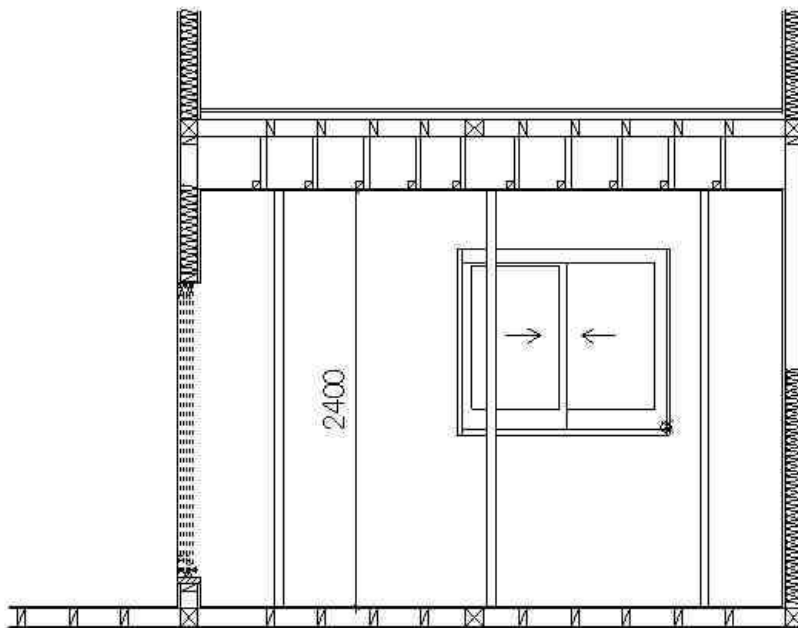
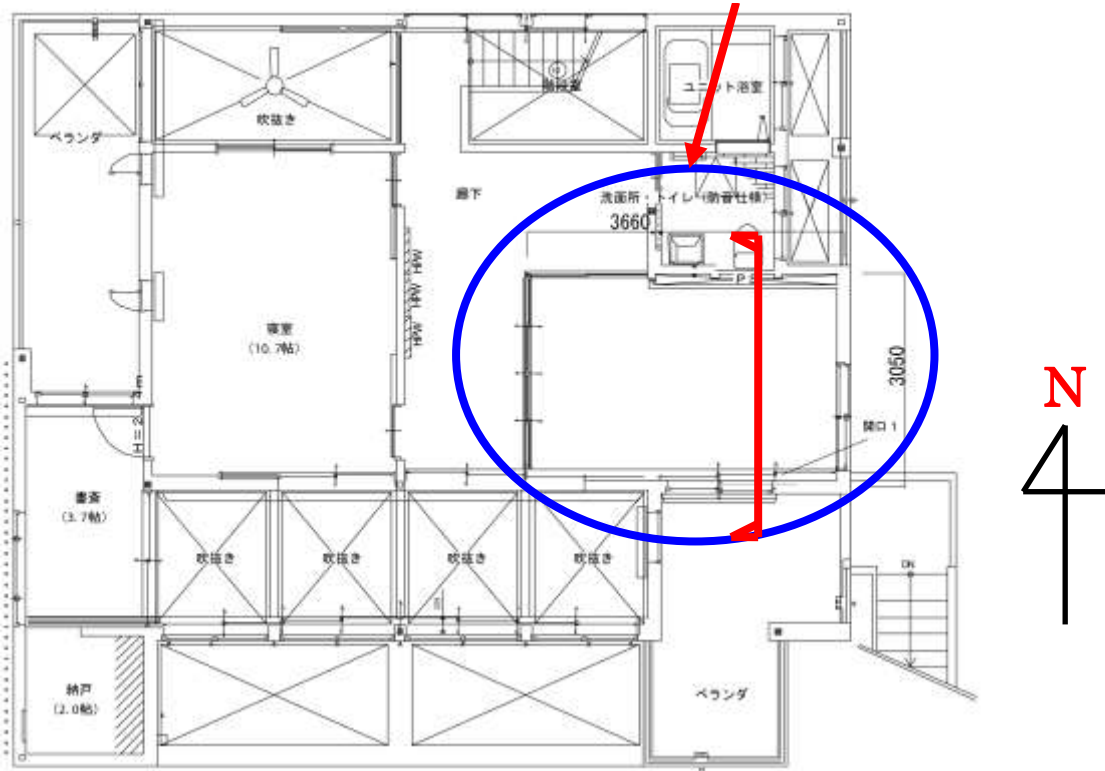
3 実験概要

静岡県富士市内にあるハウスメーカーの実験住宅 2 階子供部屋(8.1 帖)を使用する。ベランダにドライミスト装置を設置(上がりかまちからの距離:1000mm~2000mm、ノズルの床からの高さ:1200mm~1400mm、噴霧角度:0° ~90°)し、室内には熱電対 55 点、アスマン通風乾湿計、データロガー、入力ステーション、PMV 計を設置する。

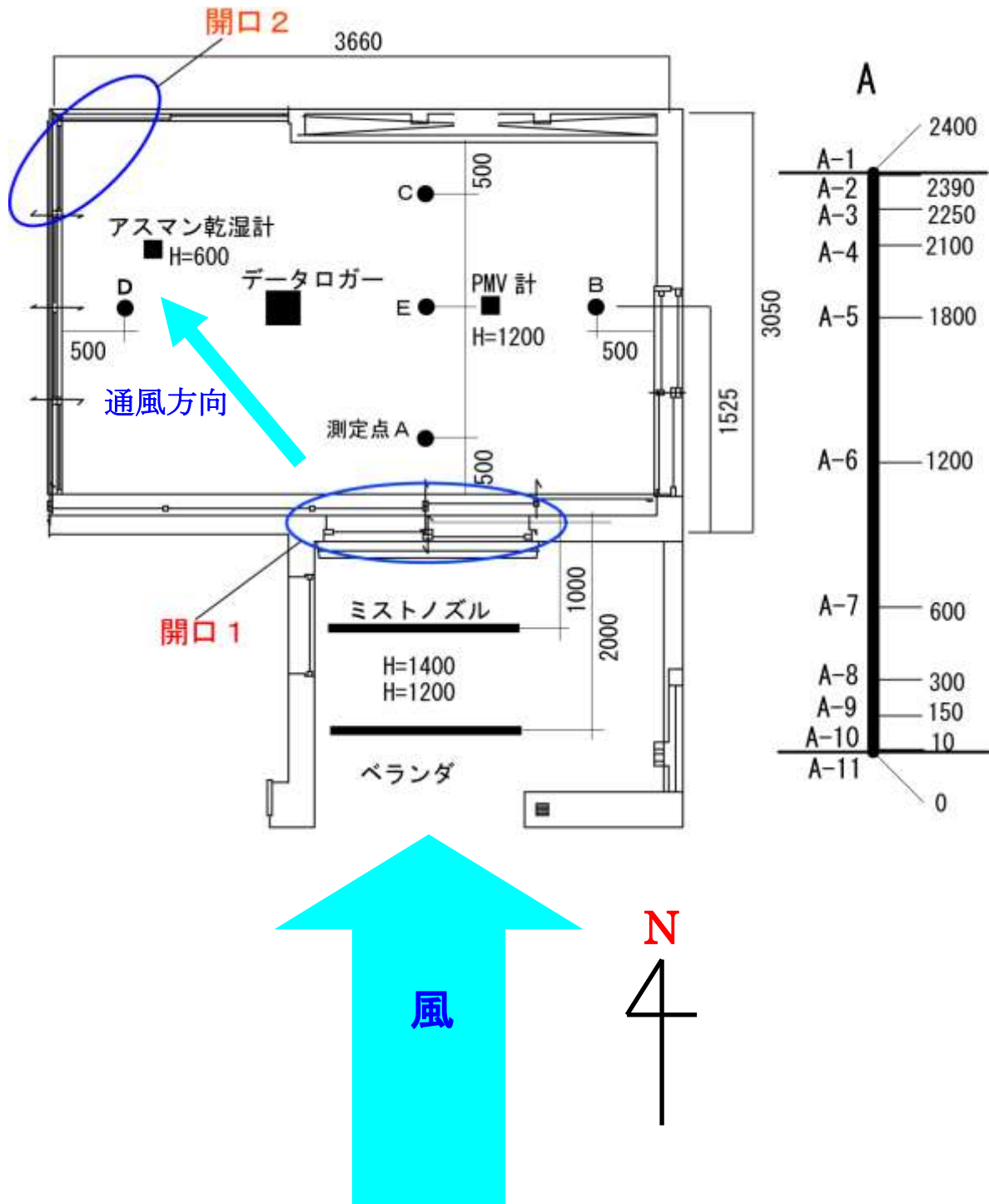
実験は 2008 年 7 月 22~25 日と 2008 年 9 月 2~6 日の 2 回に渡って行った。

3.1 実験住宅 2 階平面図・断面図

実験住宅 2 階
子供部屋



3.2 実験器具の位置

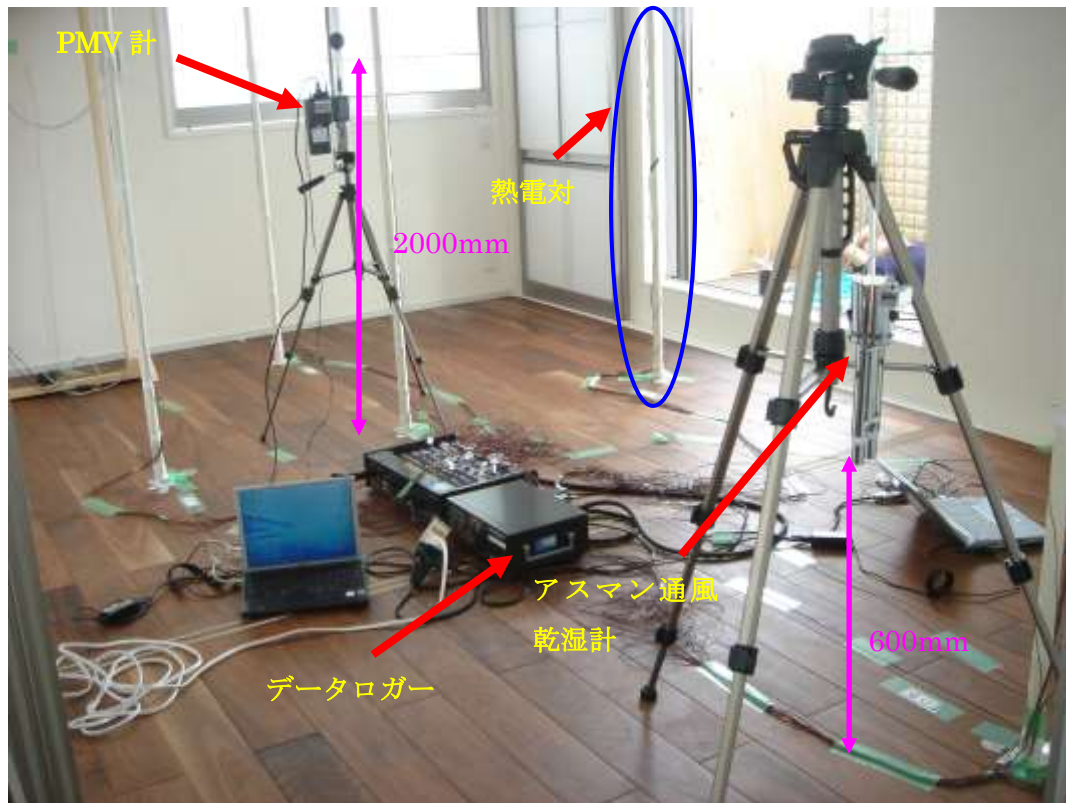




実験室内写真(開口 1)



実験室内写真(開口 2)



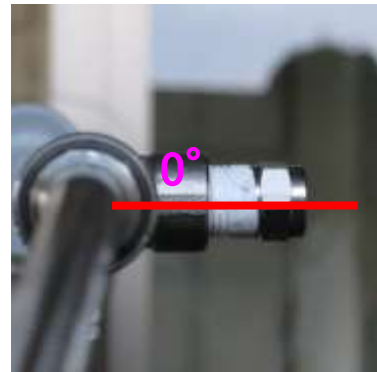
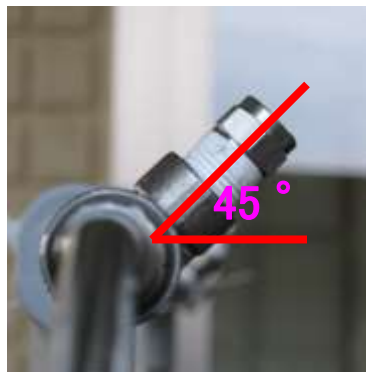
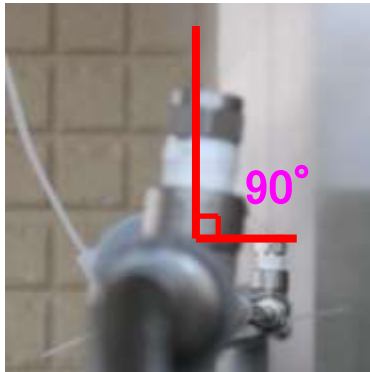
熱電対、データロガー、PMV計、アスマン通風乾湿計設置写真



ミストノズル設置写真

3.3 ノズル噴霧条件

噴霧圧力	4.8MPa
ノズル口径	0.16mm
噴霧量	0.698 g/s
噴霧角度	0° 45° 90°
噴霧高さ	d=1000mm,2000mm
噴霧位置	d=1000mm,2000mm



4 実験方法

ドライミスト装置の噴霧位置、高さ、角度を変えながら測定する。はじめと噴霧終了後の5分間はミストを噴霧せずに室内の温度、湿度、風速を測定する。

それぞれの各条件は以下に示す。

実験日	実験番号	噴霧距離 d	噴霧高さ h	噴霧角度	噴霧時間
7月25日	実験1	1000 mm	1200 mm	0°	5分
	実験2	1000 mm	1200 mm	45°	7分
	実験3	1000 mm	1200 mm	90°	10分
	実験4	1000 mm	1400 mm	0°	5分
	実験5	1000 mm	1400 mm	45°	10分
	実験6	1000 mm	1400 mm	90°	10分
9月2日	実験7	2000 mm	1400 mm	0°	10分
	実験8	2000 mm	1400 mm	45°	10分
	実験9	2000 mm	1400 mm	90°	10分

5 理論値の算定

5.1 ミスト形成過程

図 5-1 にミスト形成過程を示す。ノズルから水が噴出すると、薄い液膜ができる。そこに摂動が生じ液中になり、最後に分裂して液滴を形成する。本論では、噴出されてすぐに液滴になったと仮定する。

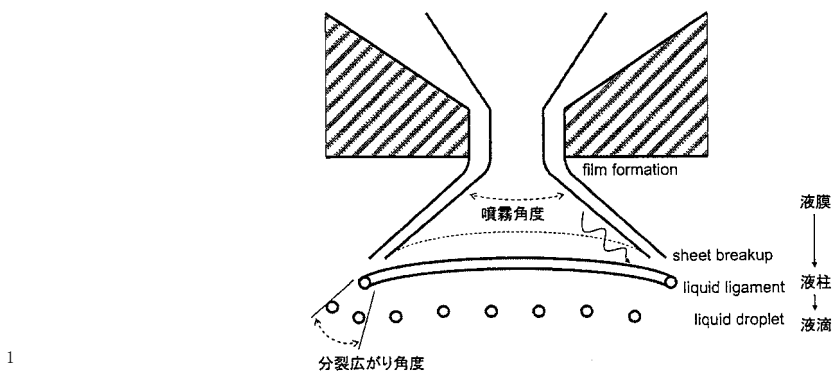


図 5-1 : ミスト形成過程概念図 1)

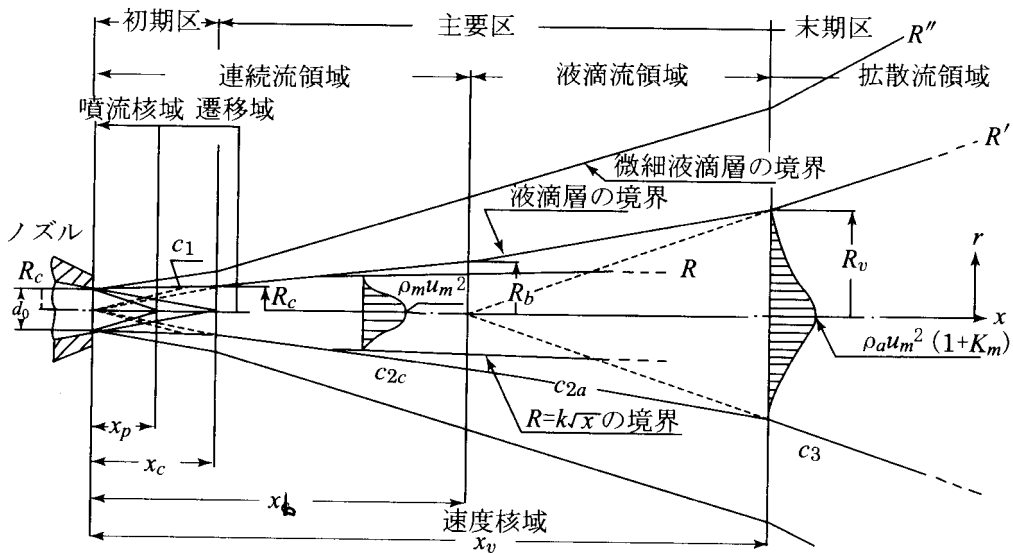


図 5-2 : 気中水噴流フローモデル 2)

【引用】

- 1) 伊 奎英、山田英貴、奥宮正哉、辻本 誠：ドライミスト冷却効果の検証と CFD 解析
日本建築学会環境系論文集 pp.1320 2008.11
- 2) 噴流工学 —基礎と応用— 森北出版 pp.185 2004.3.24

5.2 ミスト粒子の軌道算定法

本研究では、ノズルの噴流によるミストの輸送ではなく、粒子の空気抵抗を考慮した放物運動の軌跡と風の影響で考える。ミストの x 成分における運動エネルギーが 0 に近づいたとき、風の影響を受けるとする。また、風は x 成分にのみに働くと仮定する。以下に、算定式の算出法を示す。

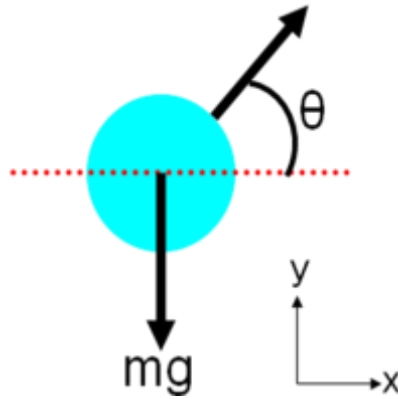


図 5-3

ストークスの法則より、

$$F = 6\pi\eta r v \quad (\text{空気抵抗力}) \quad (\text{式 5・1})$$

$$\gamma = 6\pi\eta r \quad (\text{抵抗係数}) \quad (\text{式 5・2})$$

図 5-1 の 質点の運動方程式と(式 5・1)より、

$$ma_x = -F_x \quad (\text{式 5・3})$$

$$ma_y = -mg - F_y \quad (\text{式 5・4})$$

(式 5・3)(式 5・4)を変形すると

$$a_x = -\frac{\gamma}{m} v_x \quad (\text{式 5・5})$$

$$a_y = -g - \frac{\gamma}{m} v_y \quad (\text{式 5・6})$$

(式 5・5) (式 5・6) を変数分離して、時間に対し積分すると、

$$v_x = \exp\left(-\frac{\gamma}{m}t\right)v_0 \cos \theta \quad (\text{式 5・7})$$

$$v_y = \left(v_0 \sin \theta + \frac{mg}{\gamma}\right)\exp\left(-\frac{\gamma}{m}t\right) - \frac{mg}{\gamma} \quad (\text{式 5・8})$$

$$(t=0 \text{ のとき、 } v_x = v_0 \cos \theta, v_y = v_0 \sin \theta)$$

さらに、(式 5・7) (式 5・8) を時間に対し積分すると、

$$x = \frac{m}{\gamma} v_0 \left\{1 - \exp\left(-\frac{\gamma}{m}t\right)\right\} \cos \theta \quad (\text{式 5・9})$$

$$y = \frac{m}{\gamma} \left[\left(v_0 \sin \theta + \frac{m}{\gamma} g\right) \left\{1 - \exp\left(-\frac{\gamma}{m}t\right)\right\} - gt \right] + h \quad (\text{式 5・10})$$

$$(t=0 \text{ のとき、 } x=0, y=h)$$

位置 x 、 y についての式が得られる。

また、初速度 v_0 はベルヌーイの定理より、

$$v_0 = \hbar \sqrt{\frac{2(P_{in} - P_{out})}{\rho}} \quad (\text{式 5・11})$$

で求める。

5.3 ミスト粒子の軌道

(式 5・7) (式 5・8) から得られたグラフを以下に示す。

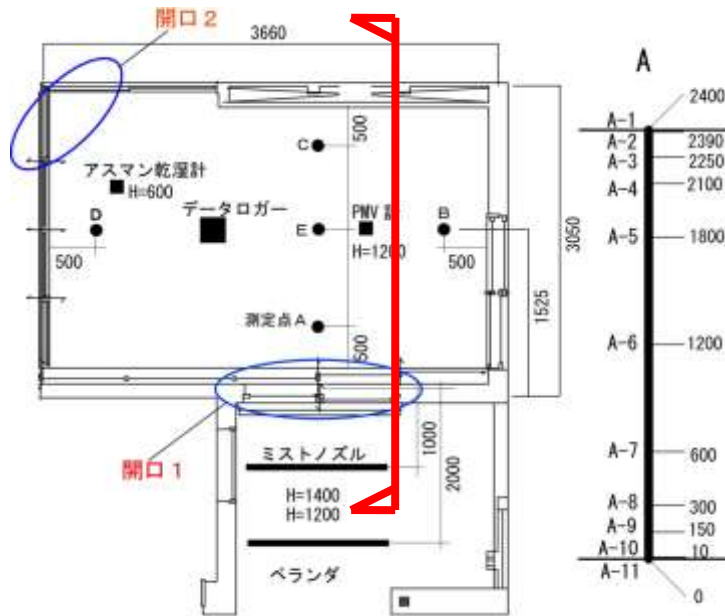


図 5-4 : グラフ断面位置

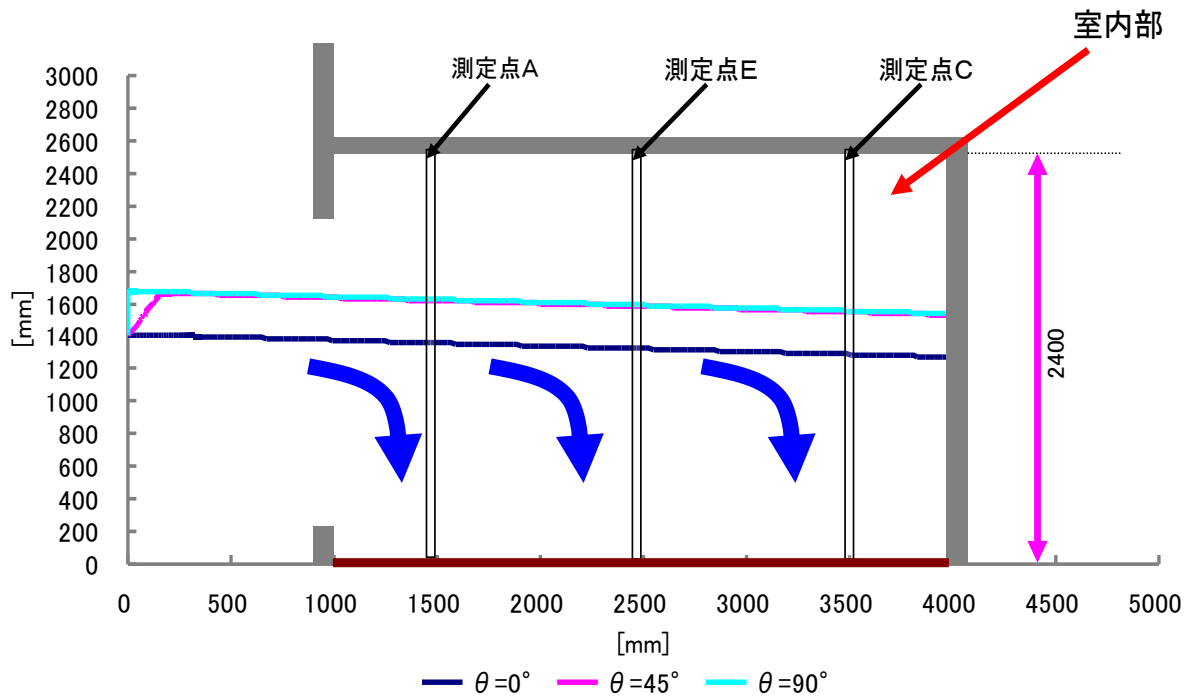


図 5-5 : $d=1000$ $h=1400$

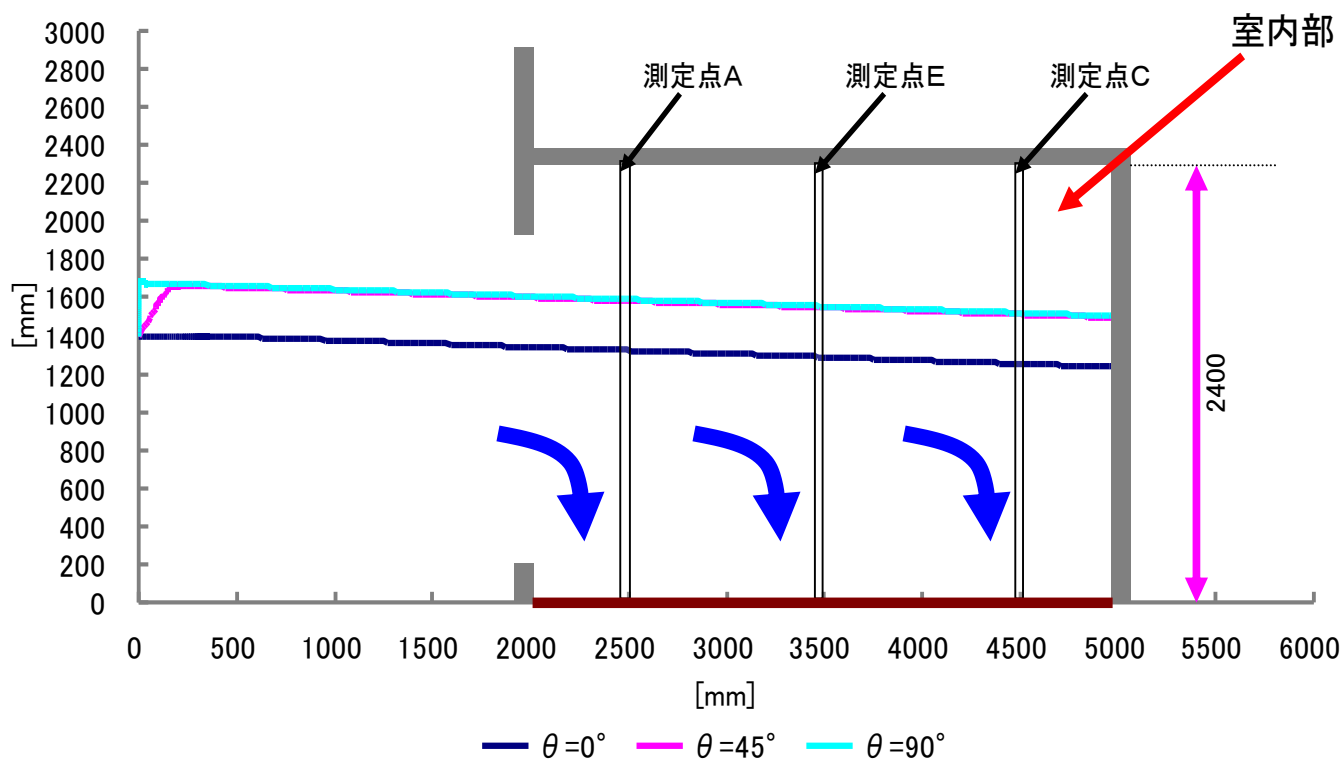


図 5-6 : $d=2000$ $h=1400$

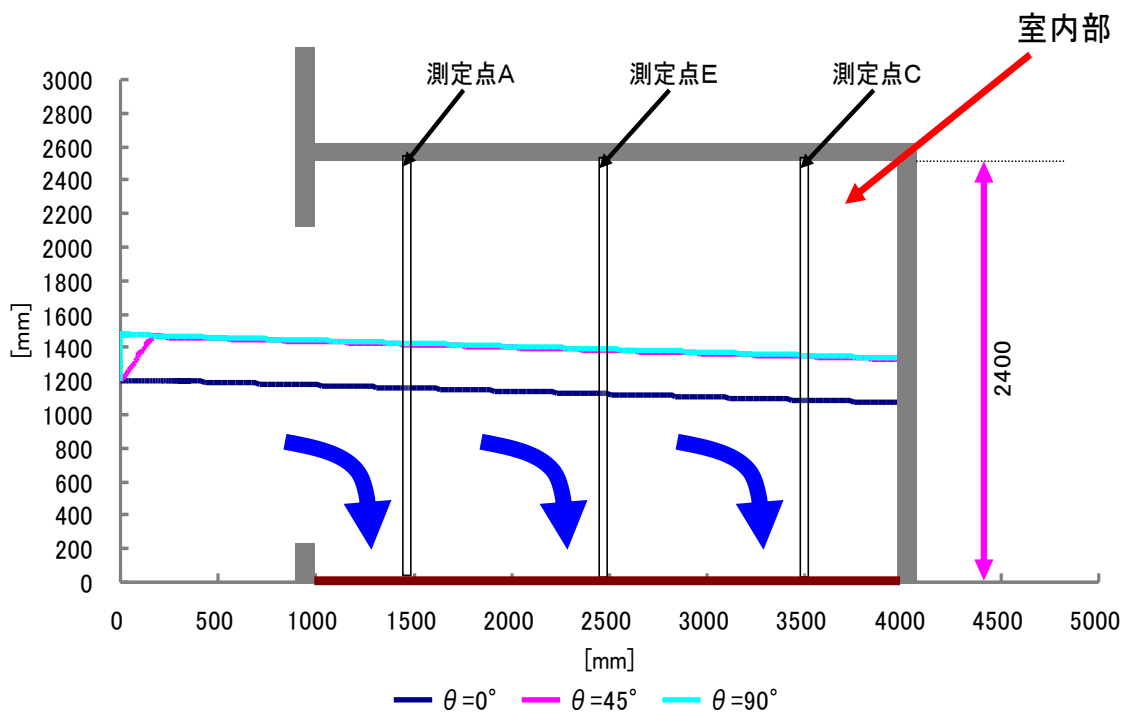


図 5-7 : $d=1000$ $h=1200$

6 理論値と実験値の整合性の検討

6.1 各測定点におけるミスト粒子の通過位置

図 5-1、図 5-2、図 5-3 より、ミスト粒子が各測定点を通過するときの高さを以下の表に示す。ここで、数 mm 単位の高さのズレは省略し、簡潔な数値とした。

表 6-1 : d=1000 h=1200

		ミスト粒子通過高さ				
		測定点A	測定点B	測定点C	測定点D	測定点E
噴霧 角度	0°	1150 mm	1100 mm	1050 mm	1050 mm	1100 mm
	45°	1400 mm	1350 mm	1350 mm	1350 mm	1350 mm
	90°	1400 mm	1350 mm	1350 mm	1350 mm	1350 mm

表 6-2 : d=1000 h=1400

		ミスト粒子通過高さ				
		測定点A	測定点B	測定点C	測定点D	測定点E
噴霧 角度	0°	1350 mm	1250 mm	1250 mm	1250 mm	1300 mm
	45°	1600 mm	1550 mm	1550 mm	1550 mm	1550 mm
	90°	1600 mm	1550 mm	1550 mm	1550 mm	1550 mm

表 6-3 : d=2000 h=1400

		ミスト粒子通過高さ				
		測定点A	測定点B	測定点C	測定点D	測定点E
噴霧 角度	0°	1300 mm	1250 mm	1250 mm	1250 mm	1250 mm
	45°	1550 mm	1550 mm	1500 mm	1500 mm	1550 mm
	90°	1550 mm	1550 mm	1500 mm	1500 mm	1550 mm

6.2 理論値と実験値

表 6-1、表 6-2、表 6-3 と実験による各測定点の垂直温度分布より、実験値と理論値の整合性を検討する。実験 7~9 については、各噴霧時間による温度変化の差が激しいので、通常時の噴霧開始 3 分後だけでなく、新たに 6 分後、9 分後も加えた。水色の点線は、ミスト通過位置を表している。以下に、グラフを示す。

実験 1 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1200$ 噴霧角度 0°
 噴霧時間 5 分

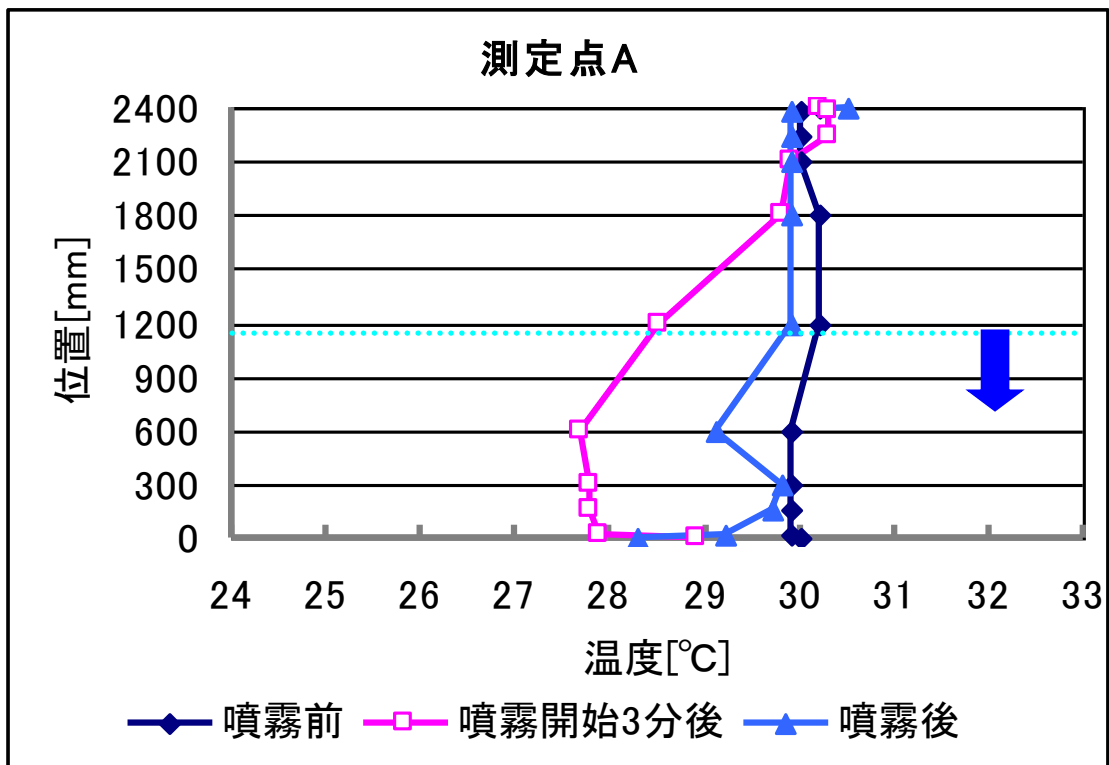


図 5-1

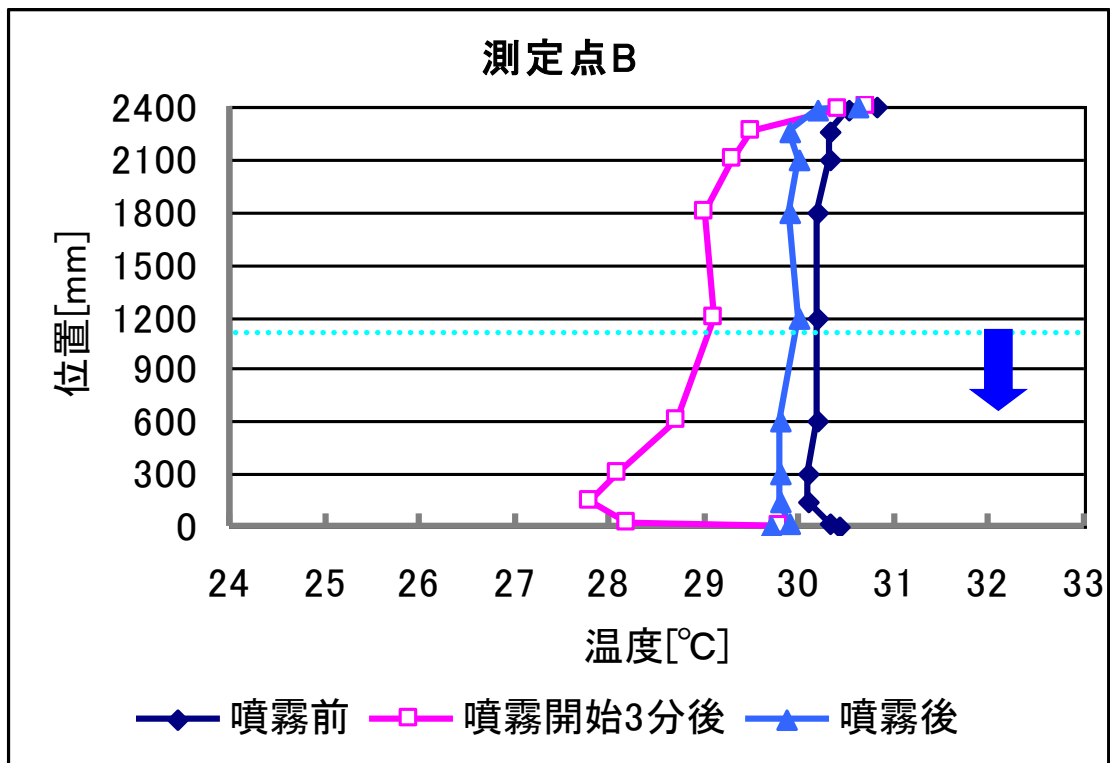


図 5-2

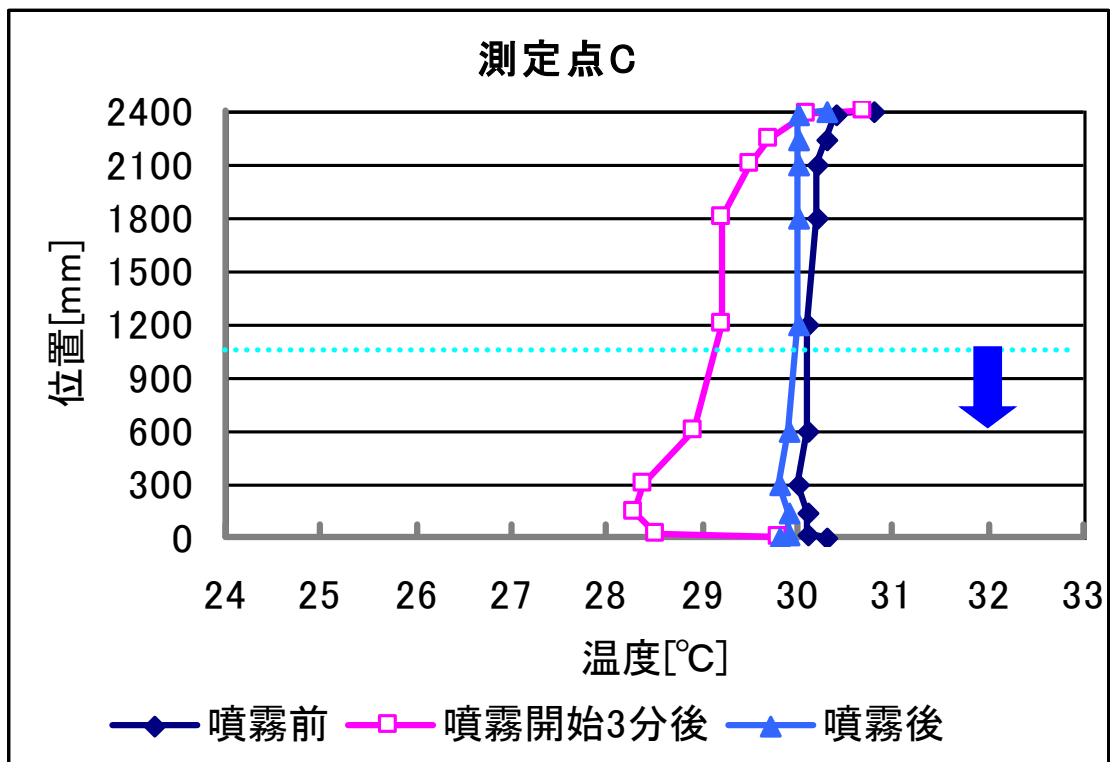


図 5-3

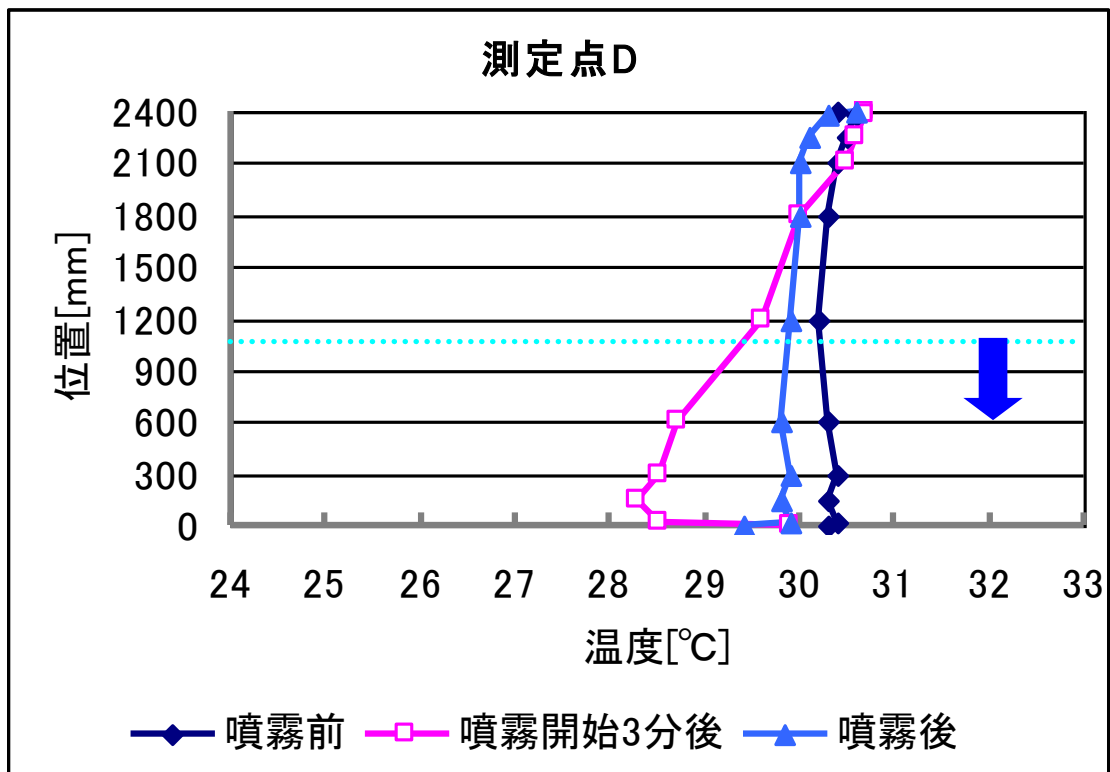


図 5-4

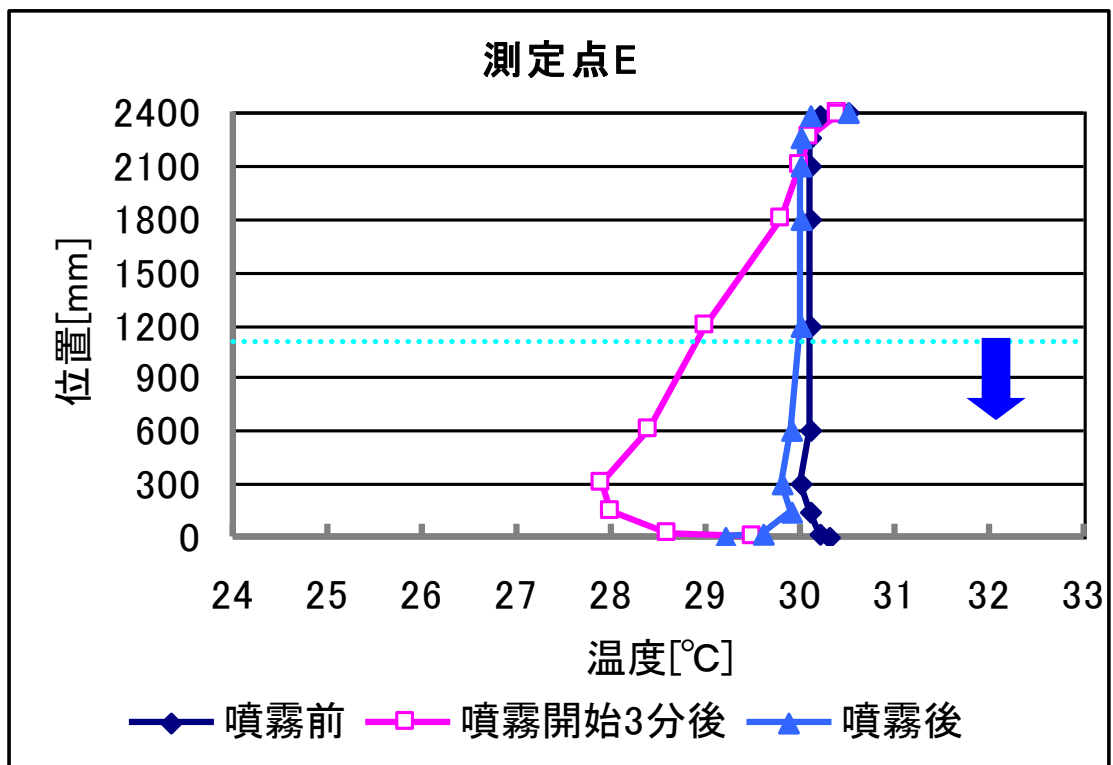


図 5-5

実験 2 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1200$ 噴霧角度 45°
 噴霧時間 7 分

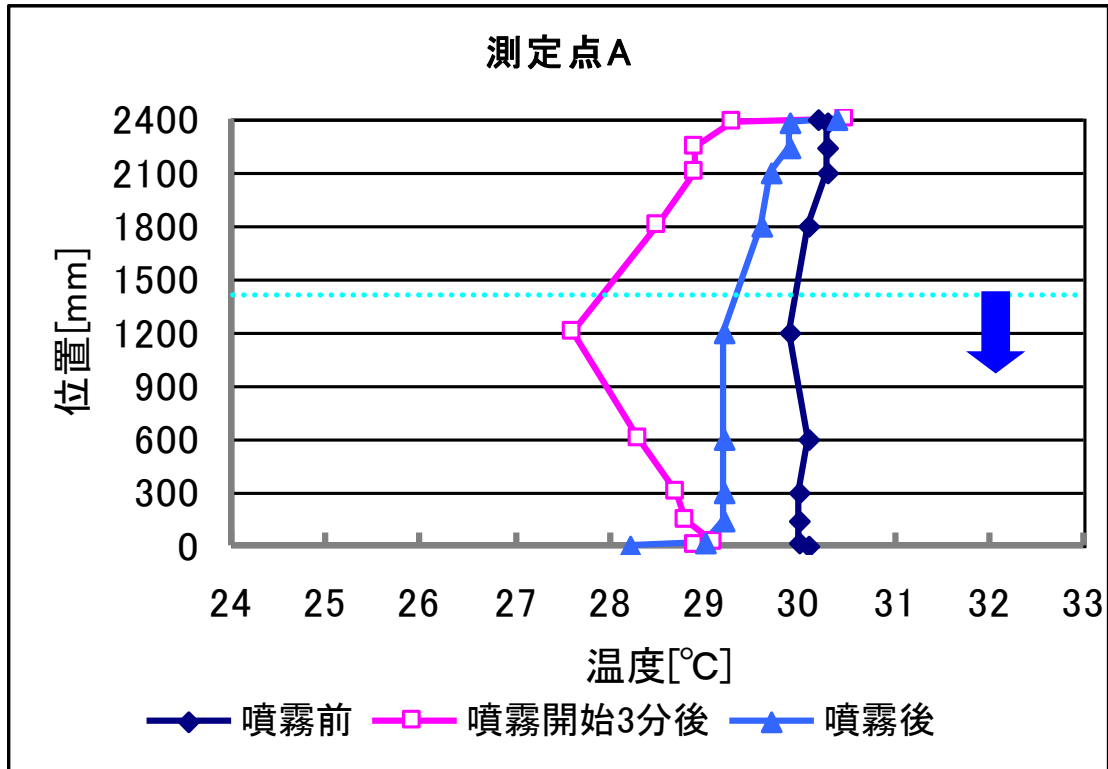


図 5-6

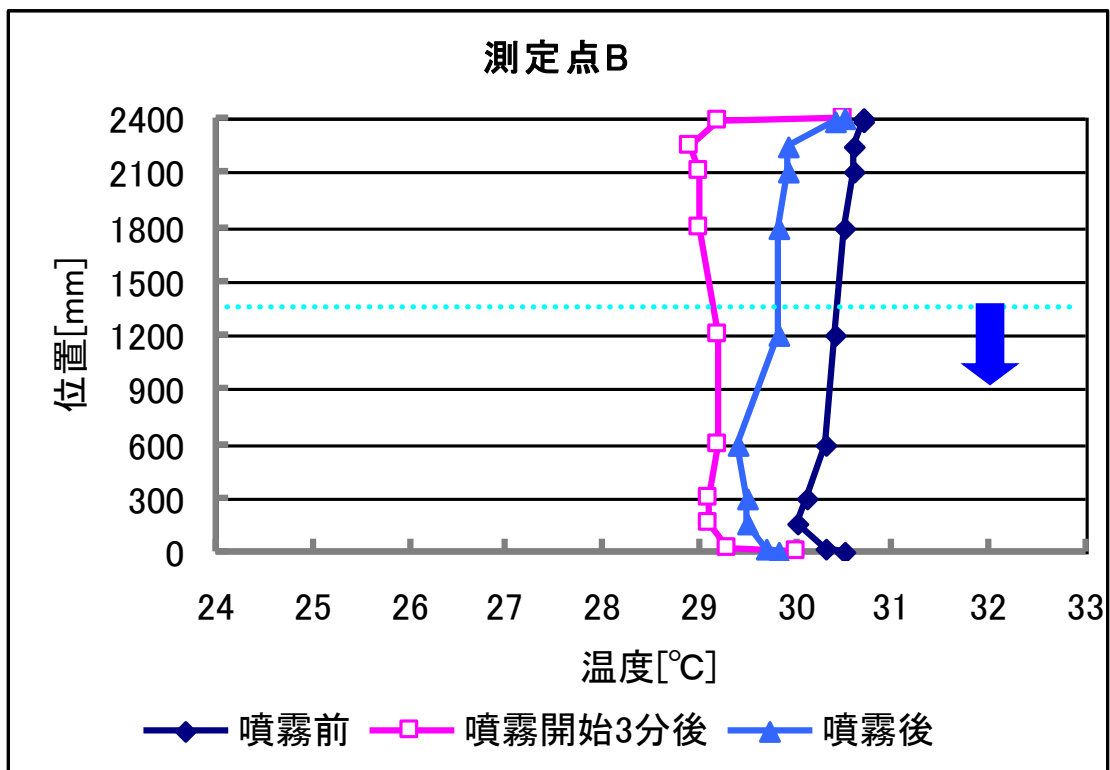


図 5-7

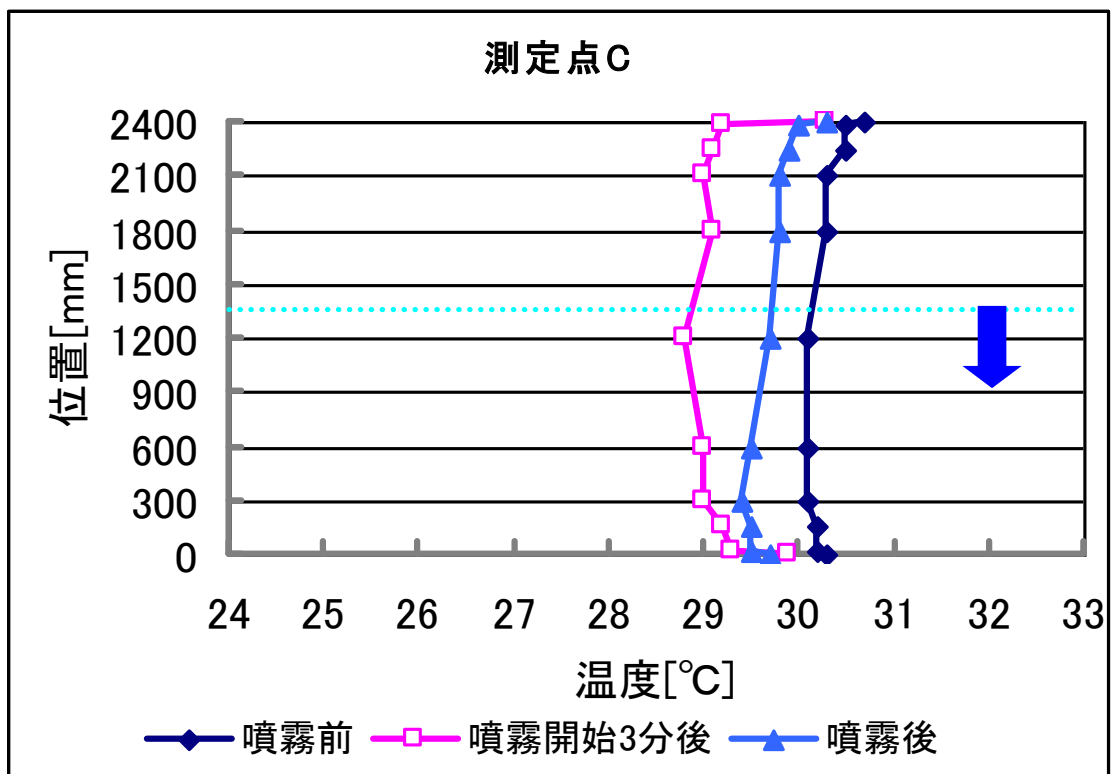


図 5-8

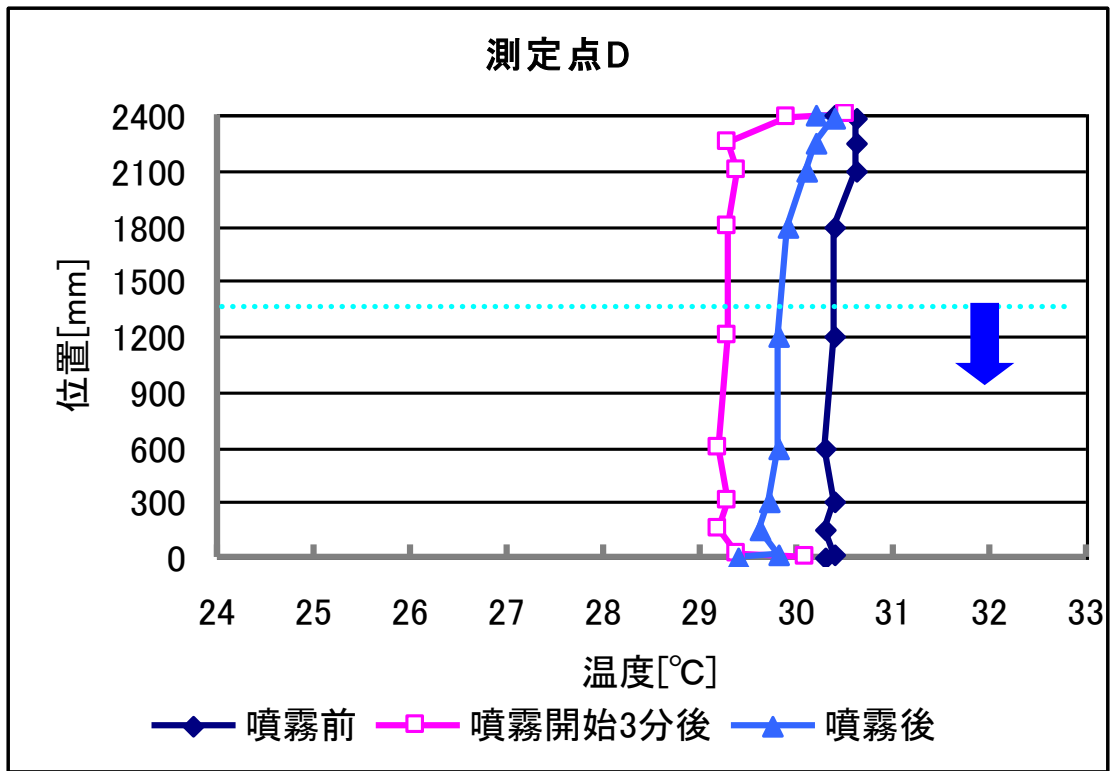


図 5-9

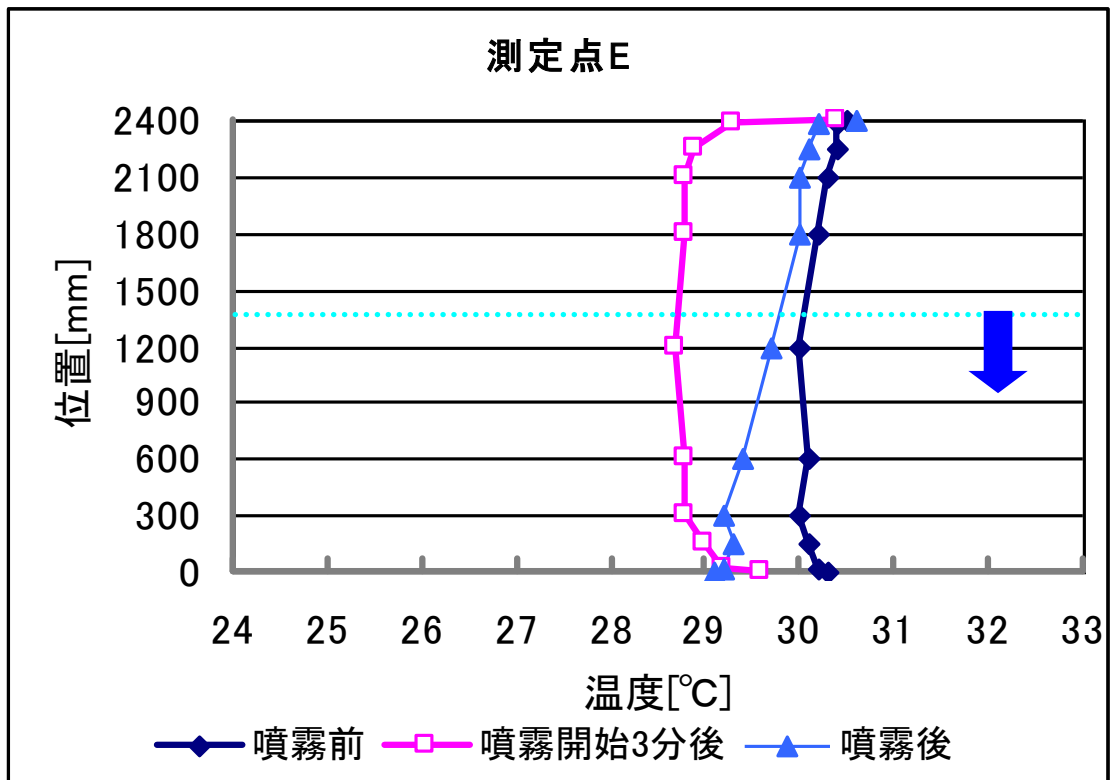


図 5-10

実験3 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1200$ 噴霧角度 90°
 噴霧時間 10分

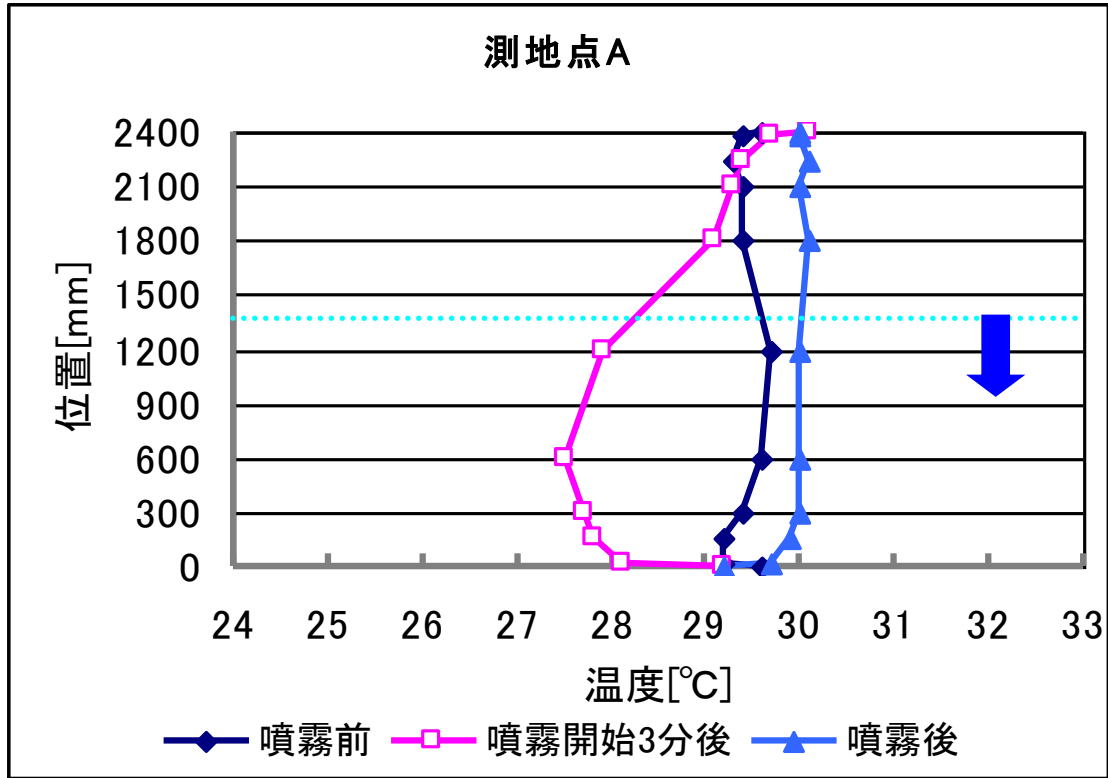


図 5-11

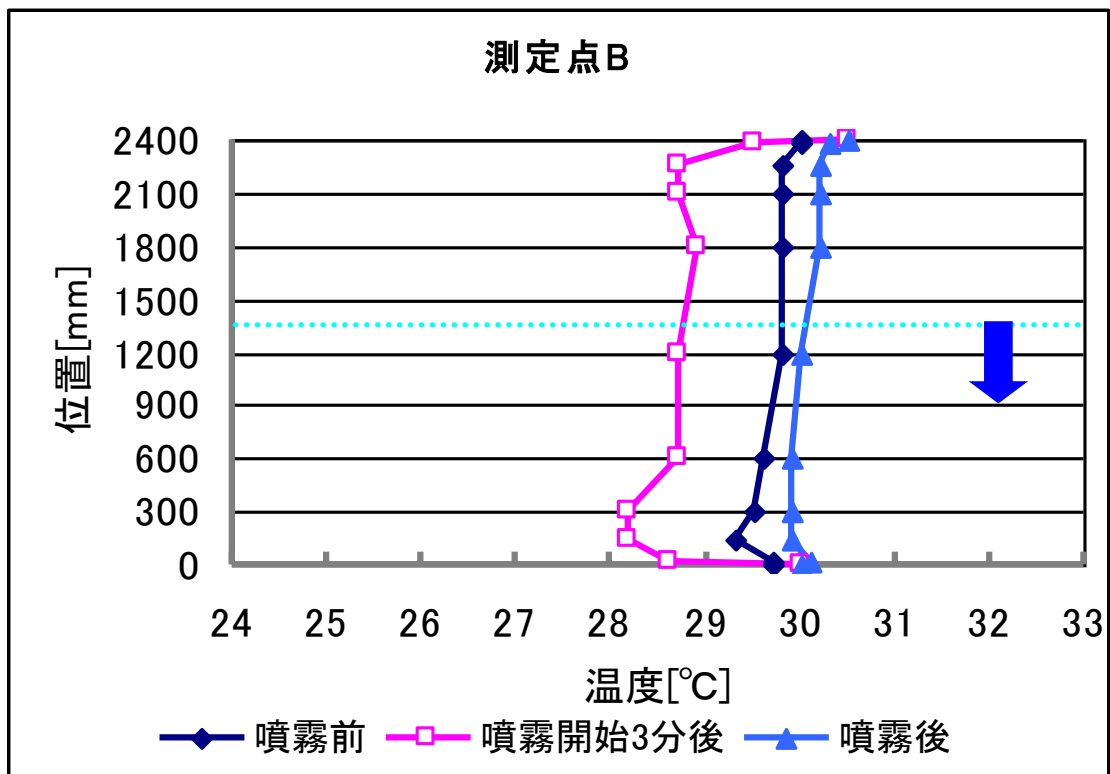


図 5-12

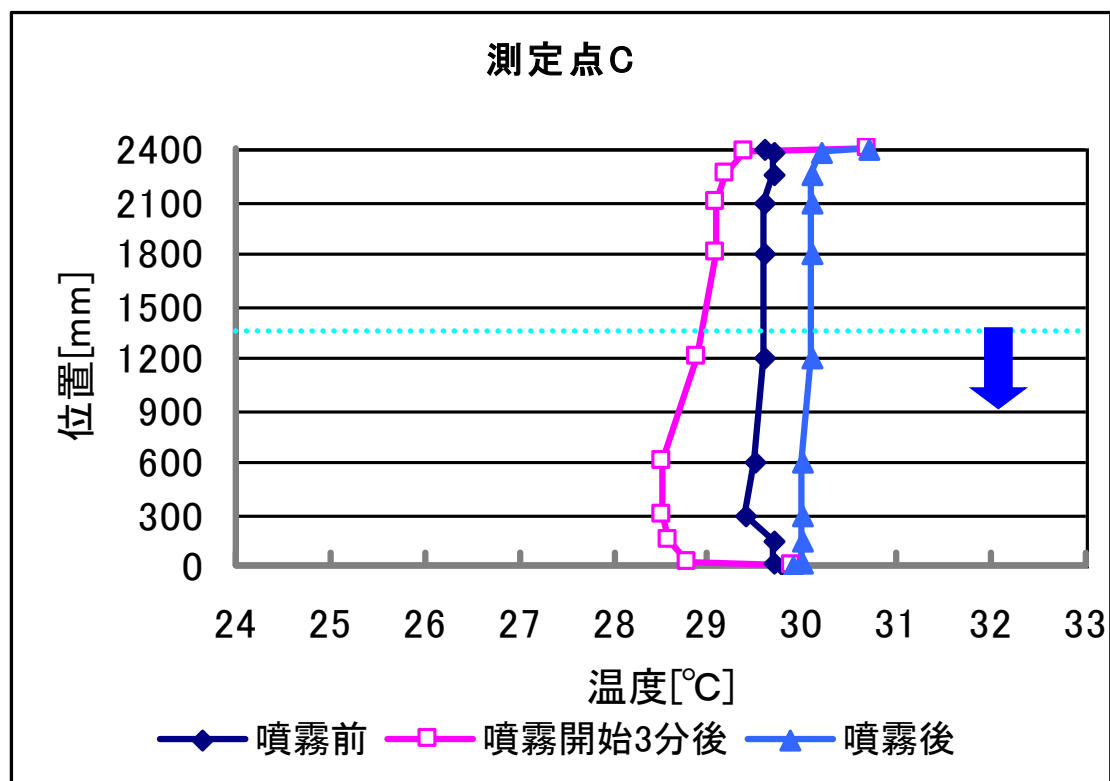


図 5-13

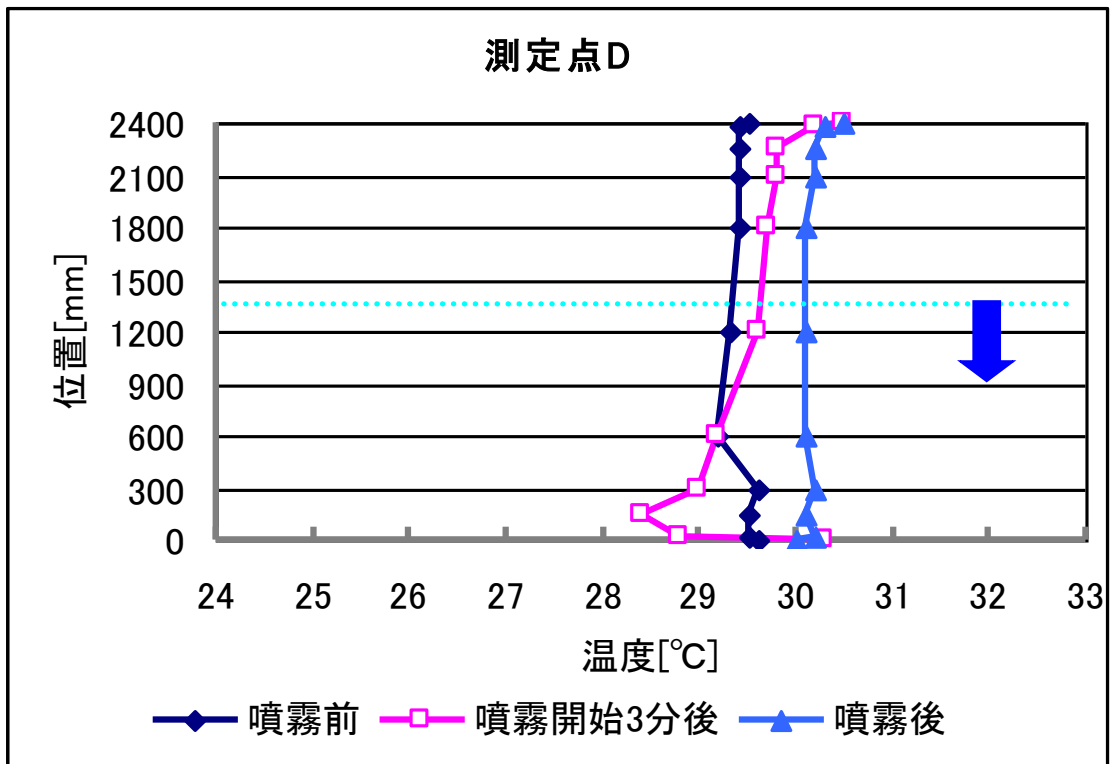


図 5-14

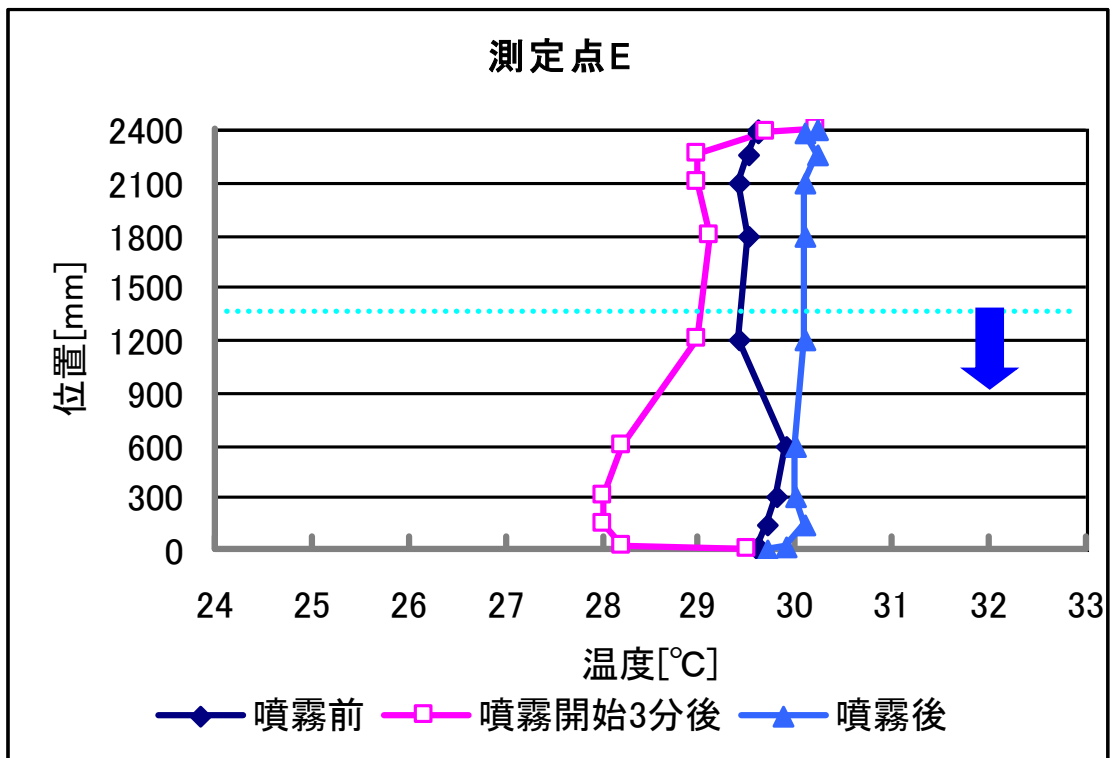


図 5-15

実験 4 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 0°
 噴霧時間 5 分

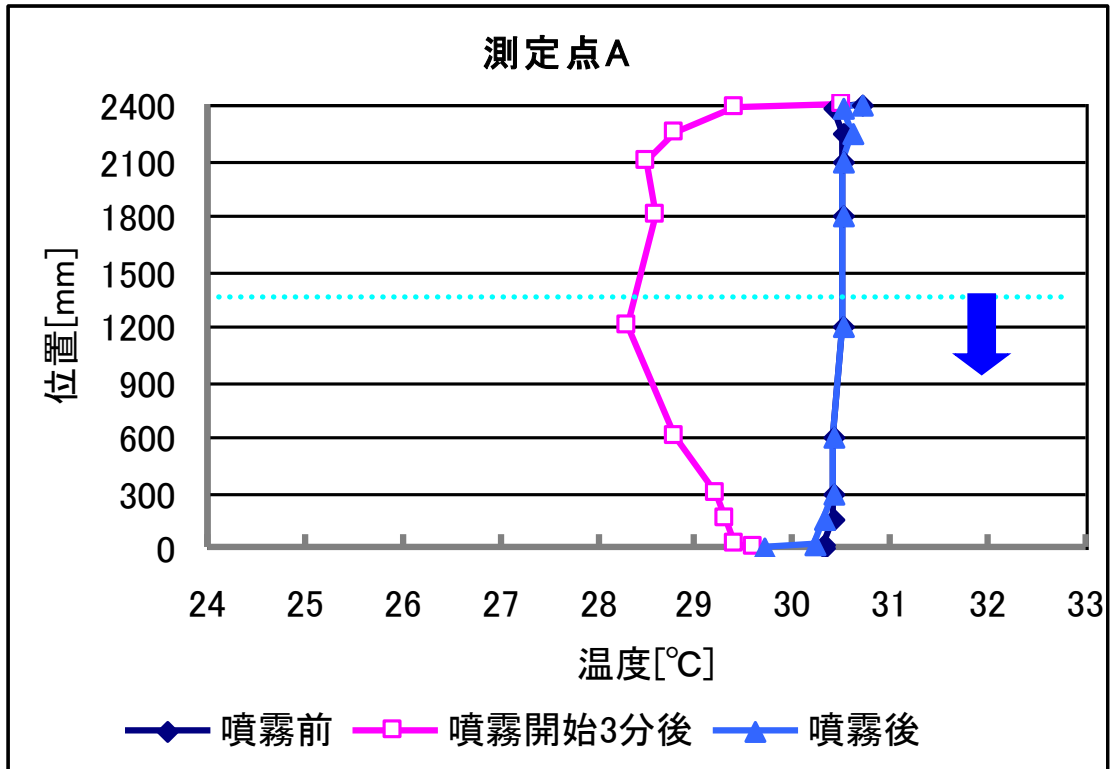


図 5-16

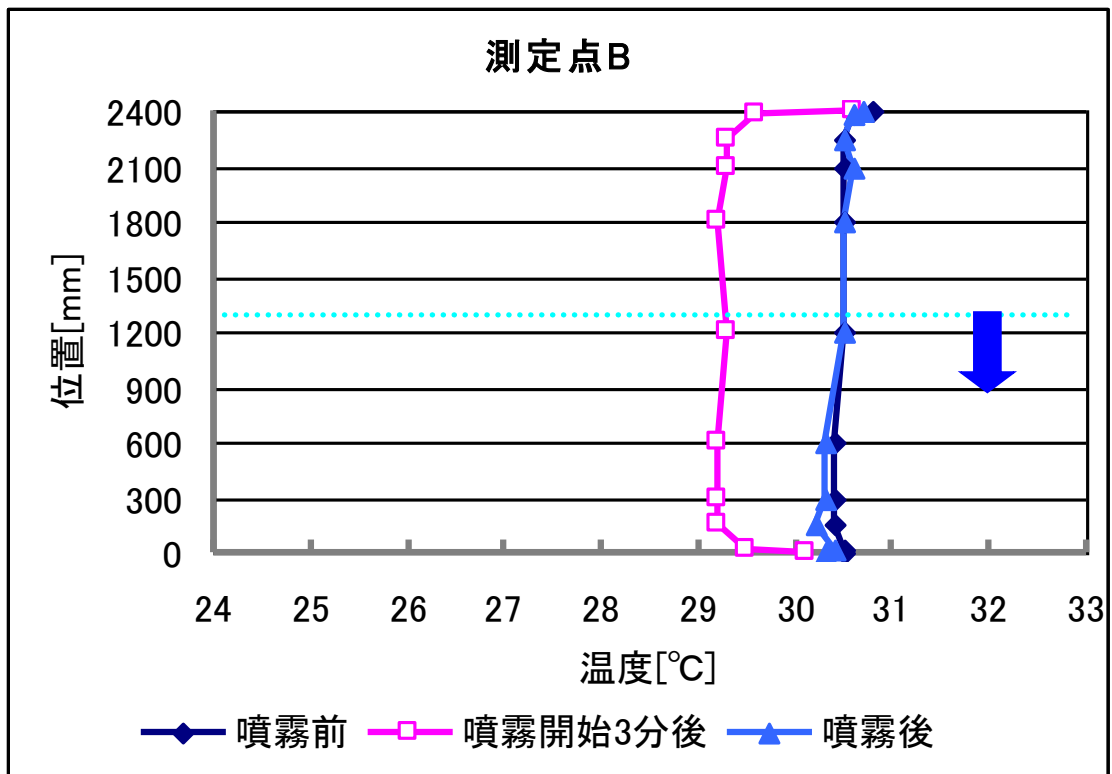


図 5-17

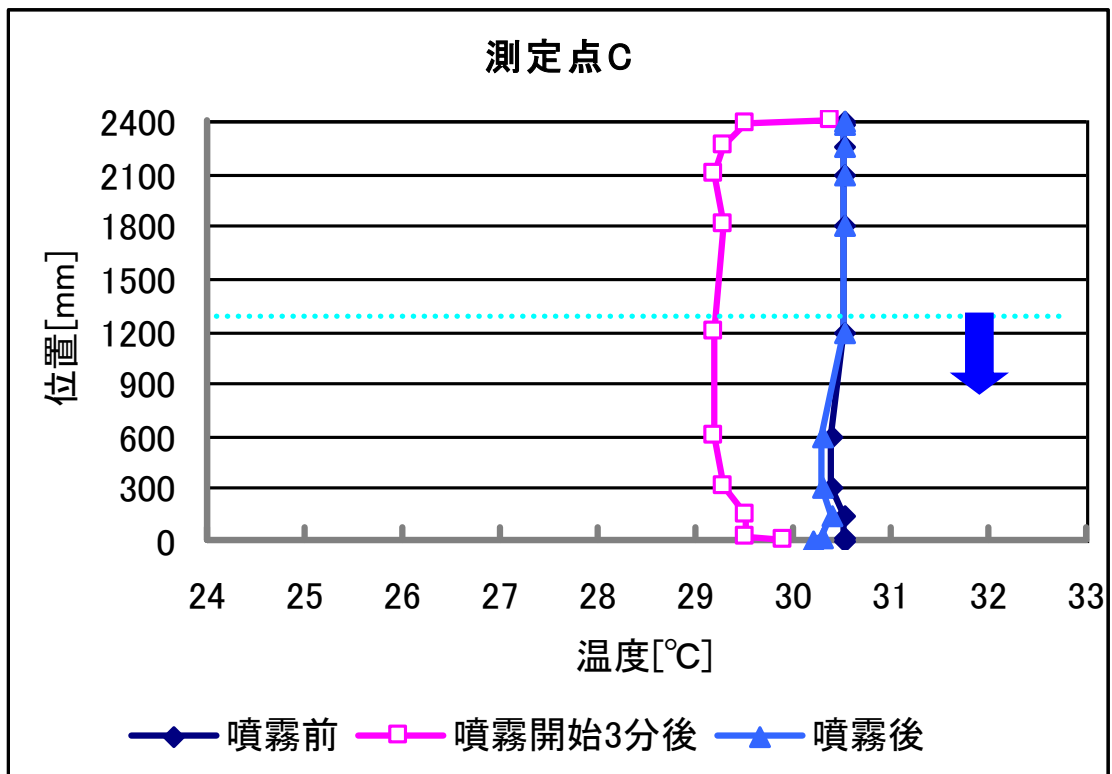


図 5-18

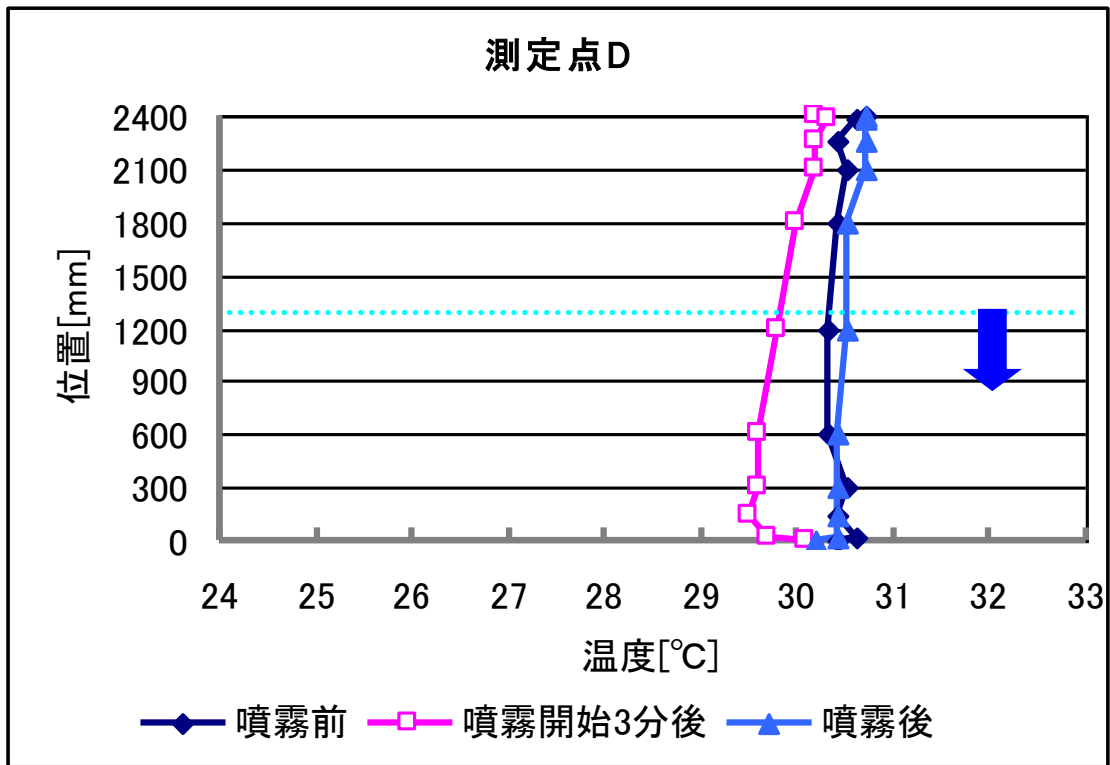


図 5-19

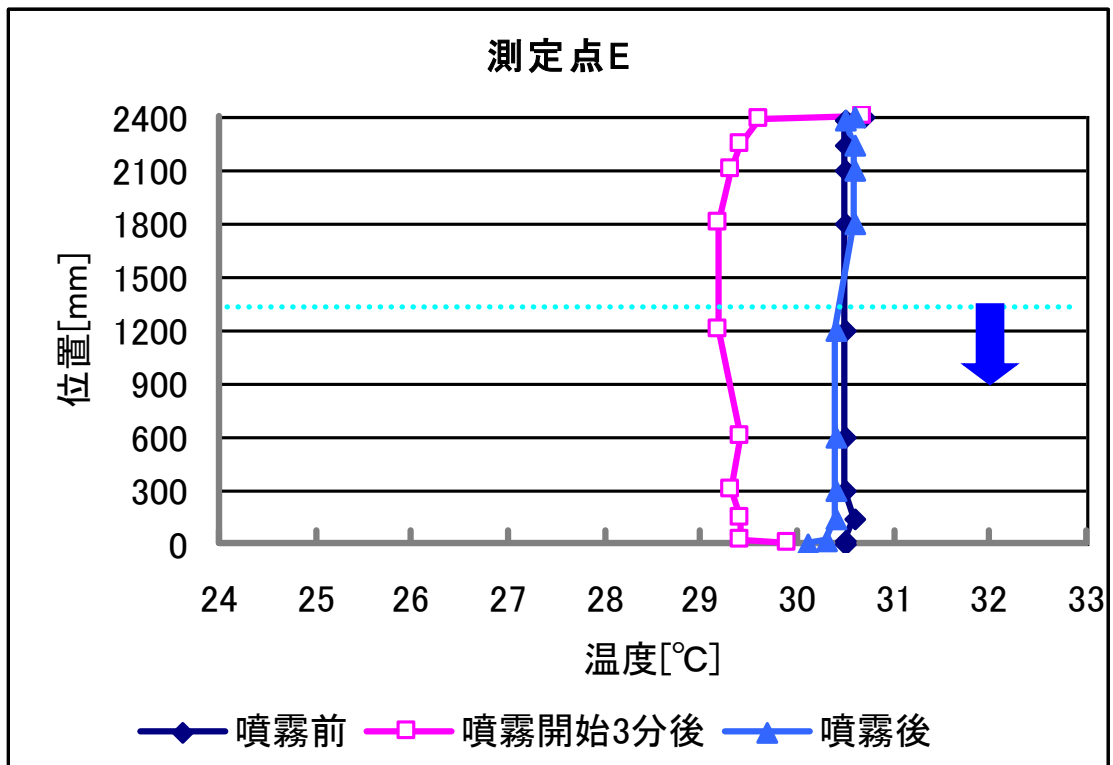


図 5-20

実験 5 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 45°
 噴霧時間 10 分

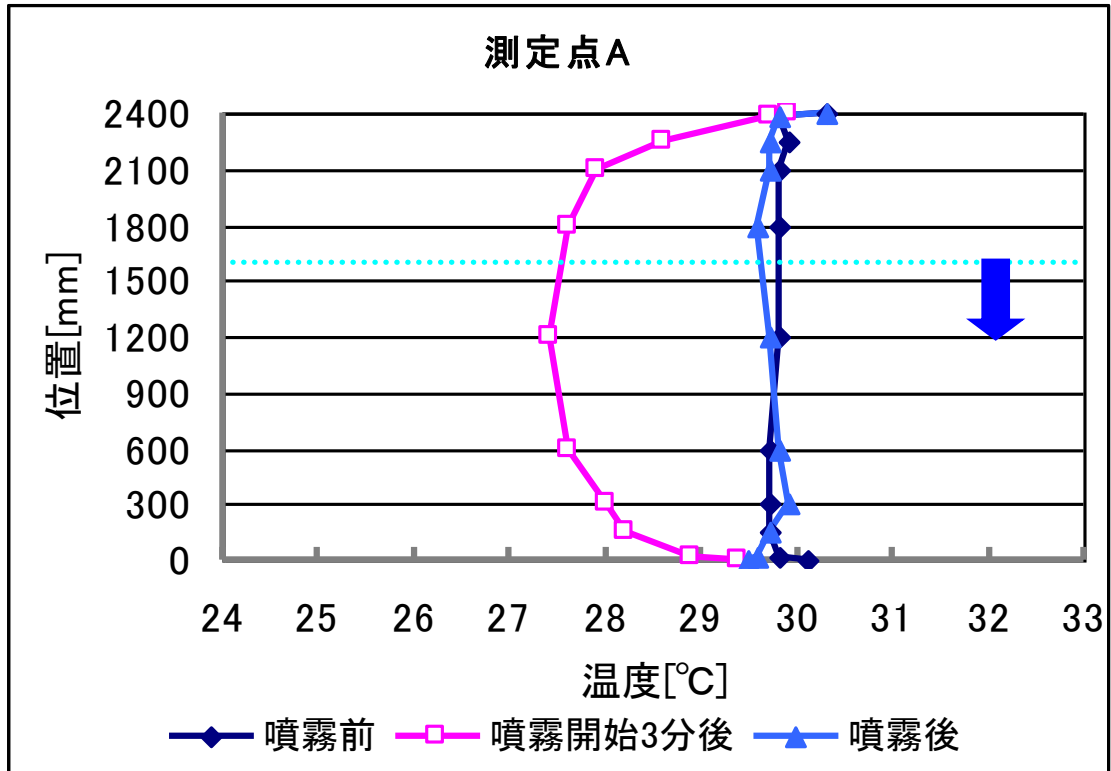


図 5-21

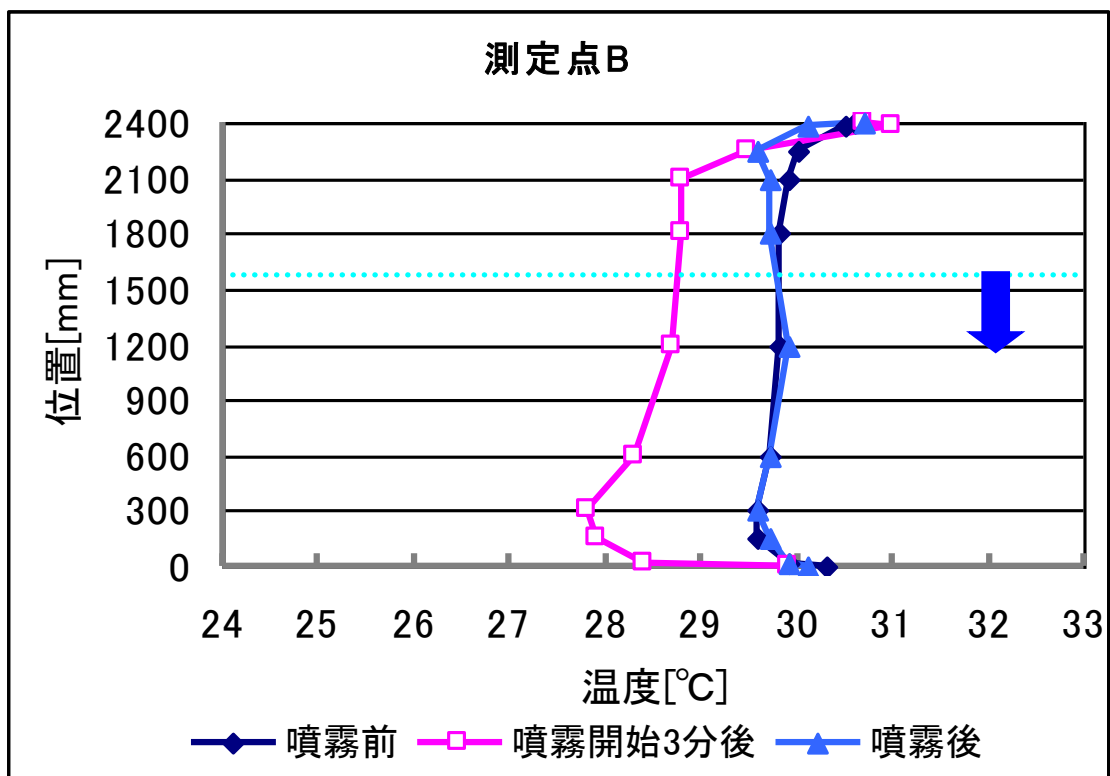


図 5-22

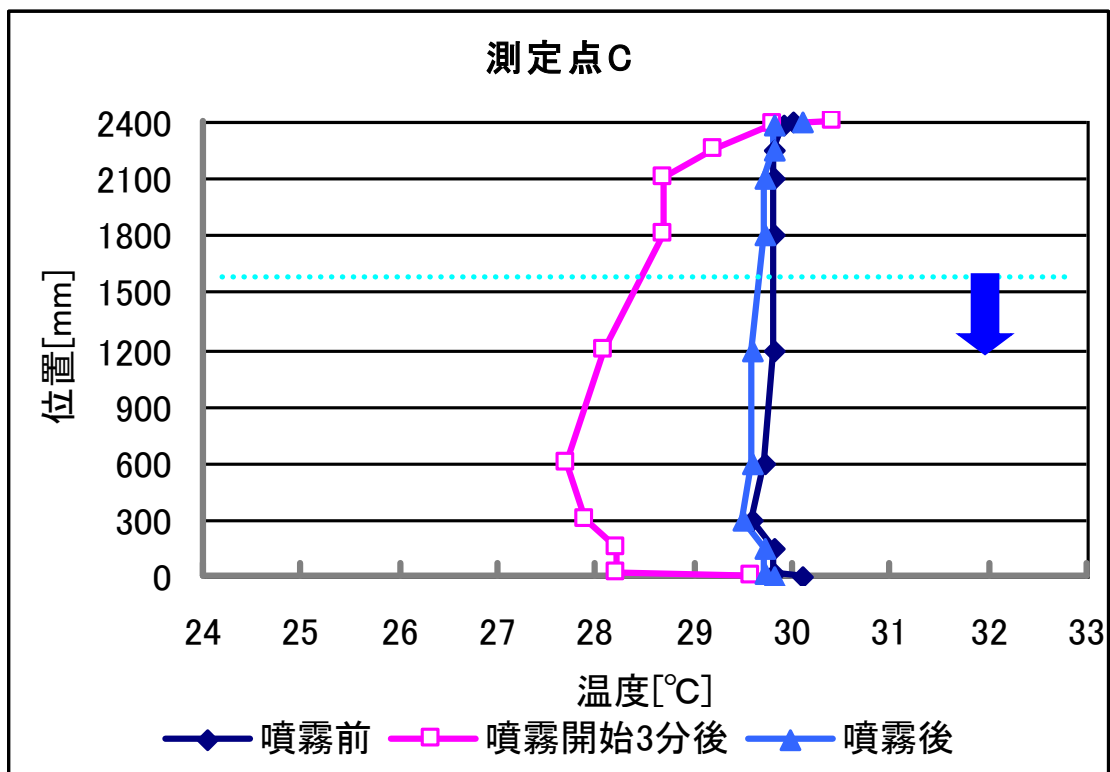


図 5-23

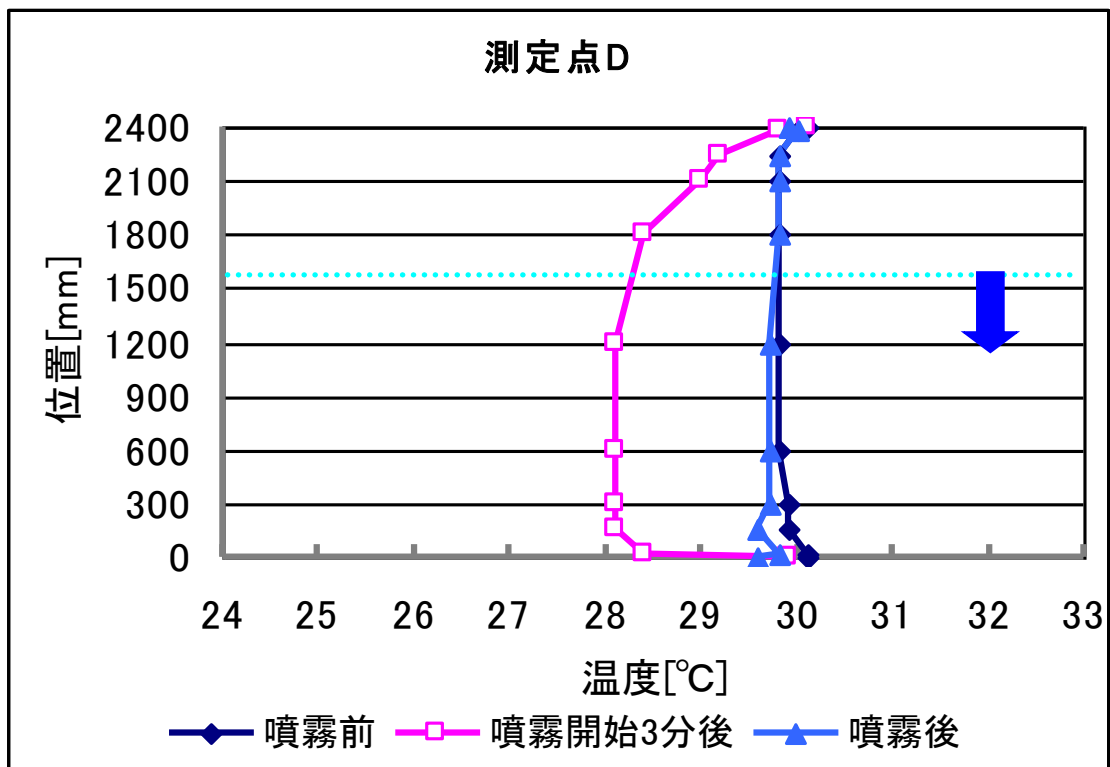


図 5-24

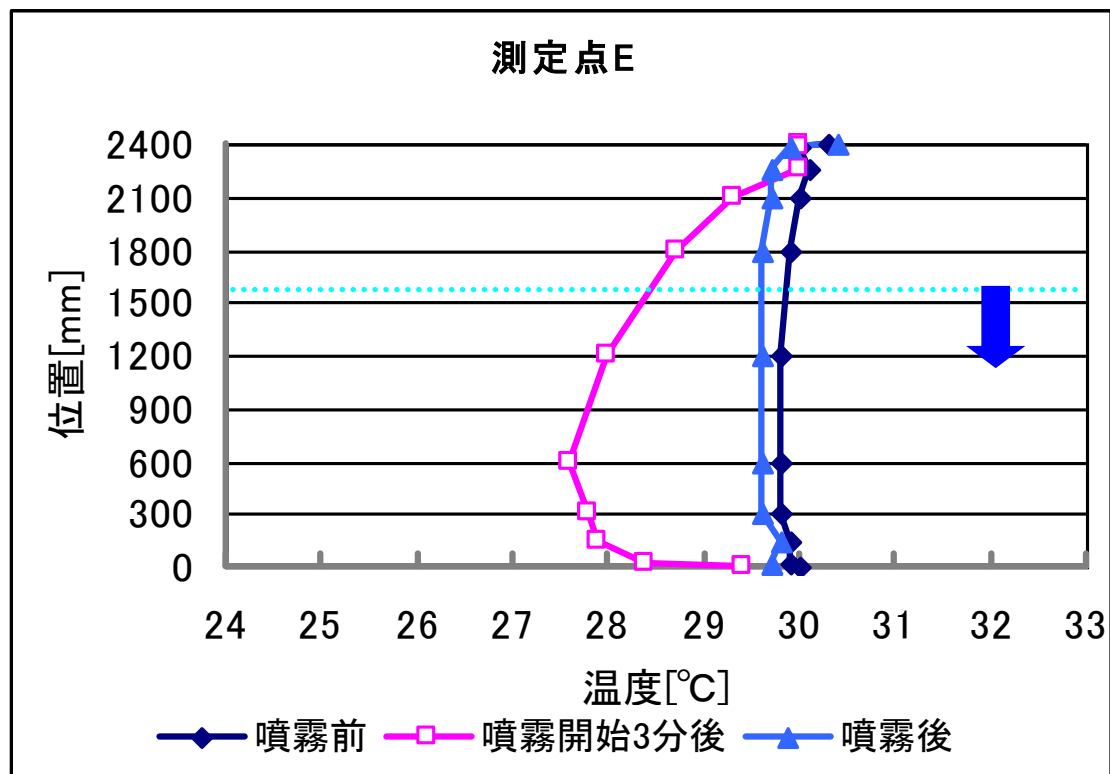


図 5-25

実験 6 噴霧距離 $d=1000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 90°
 噴霧時間 10 分

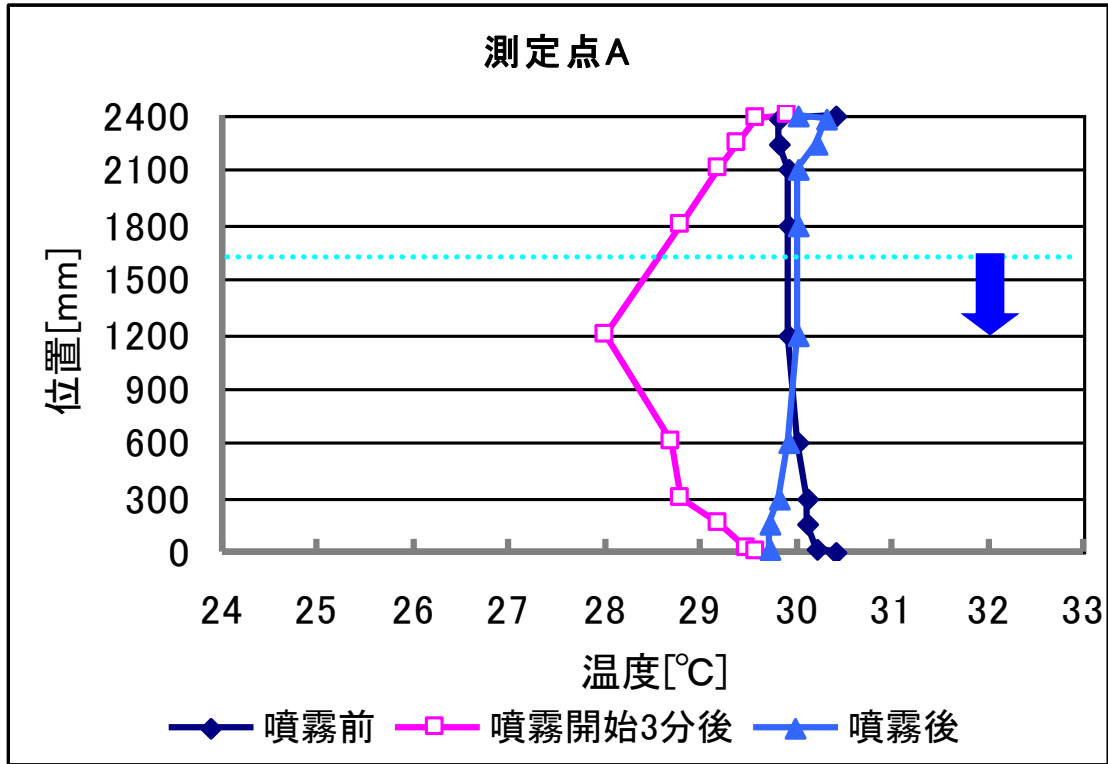


図 5-26

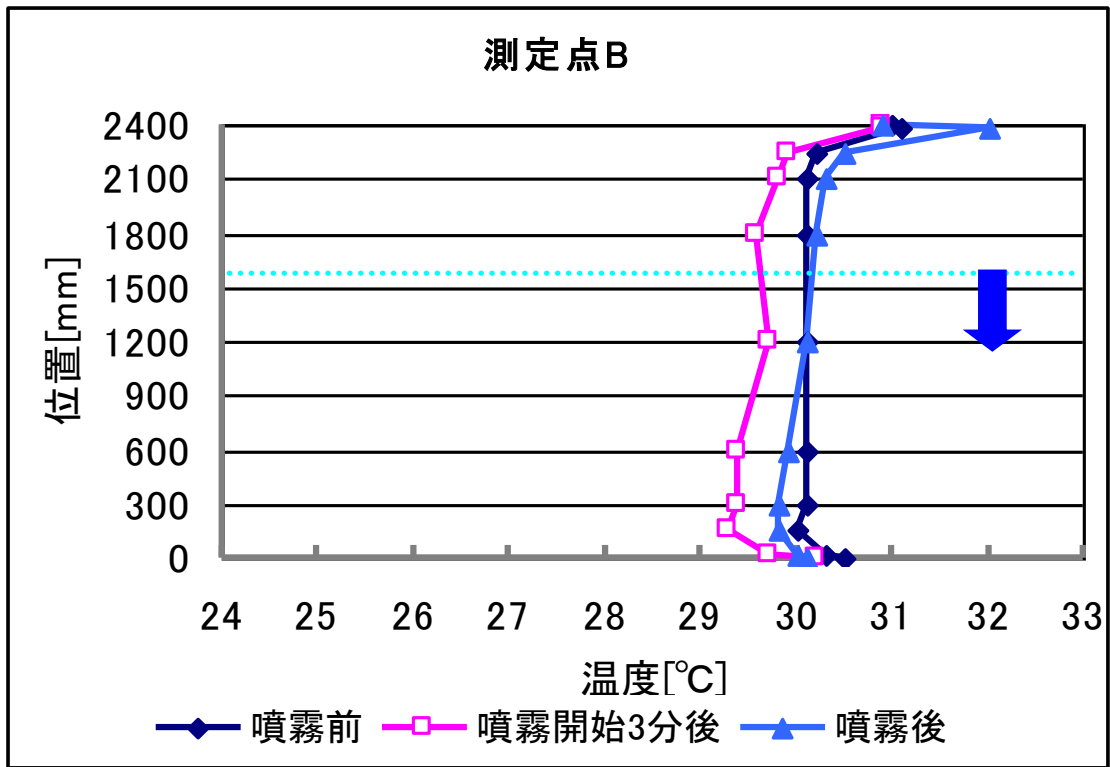


図 5-27

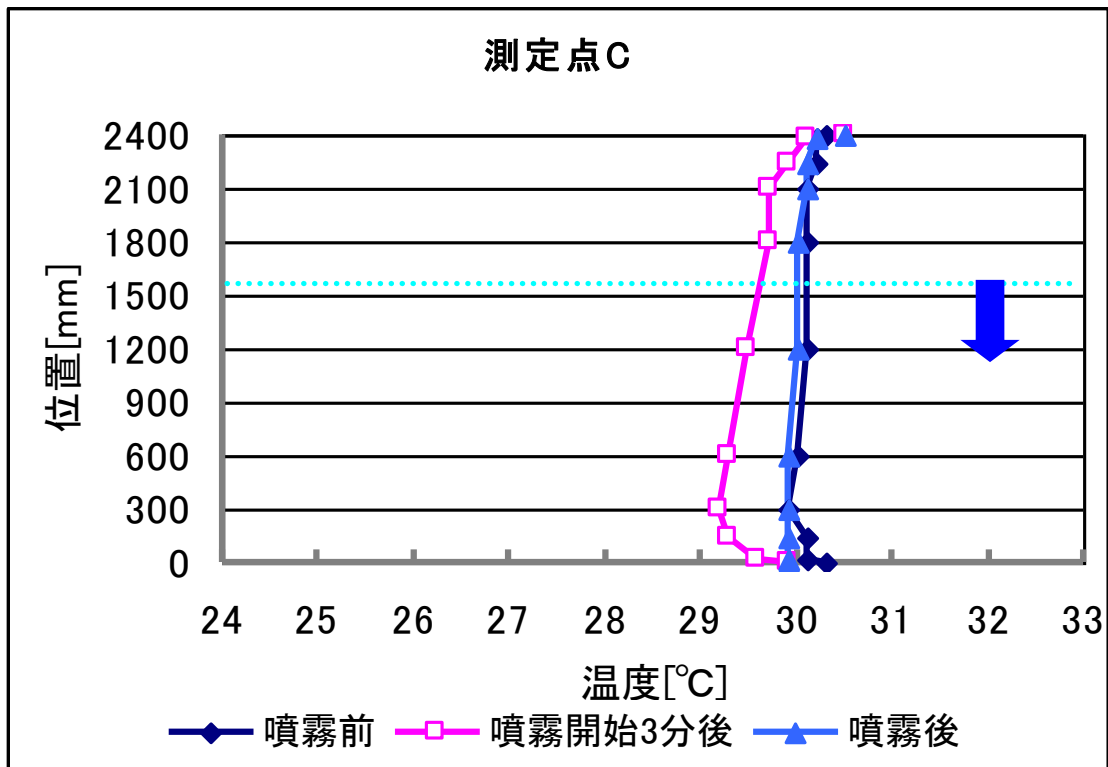


図 5-28

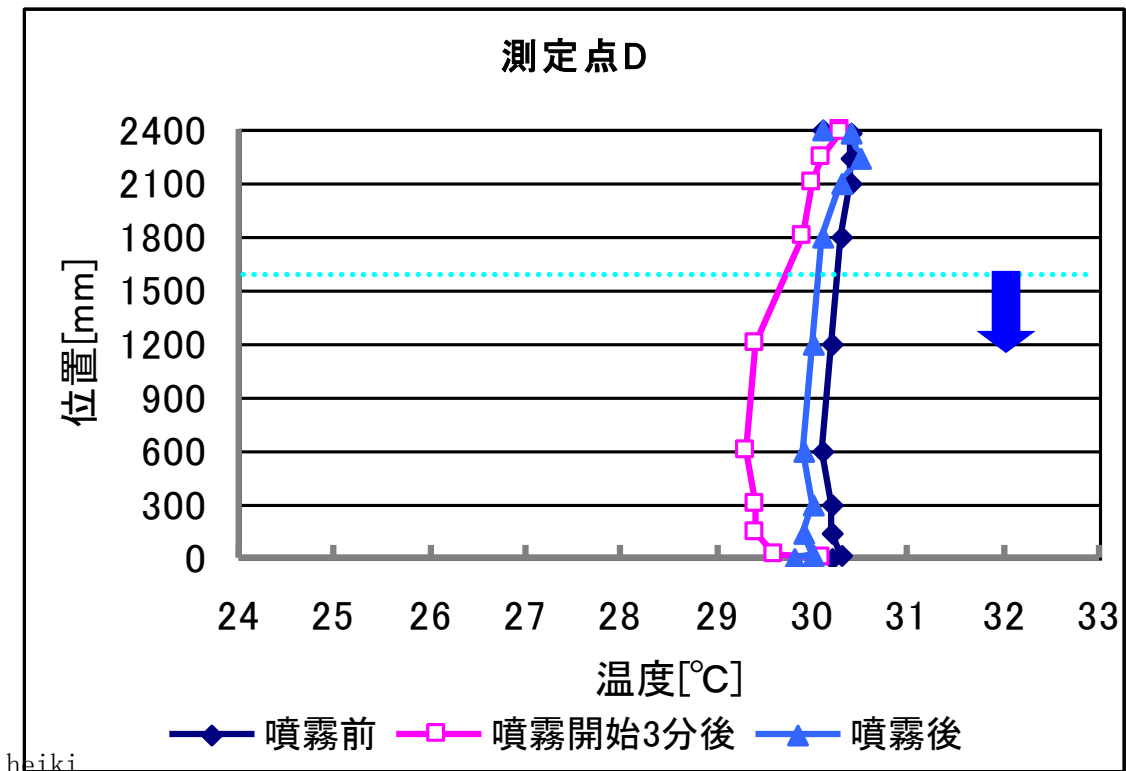


図 5-29

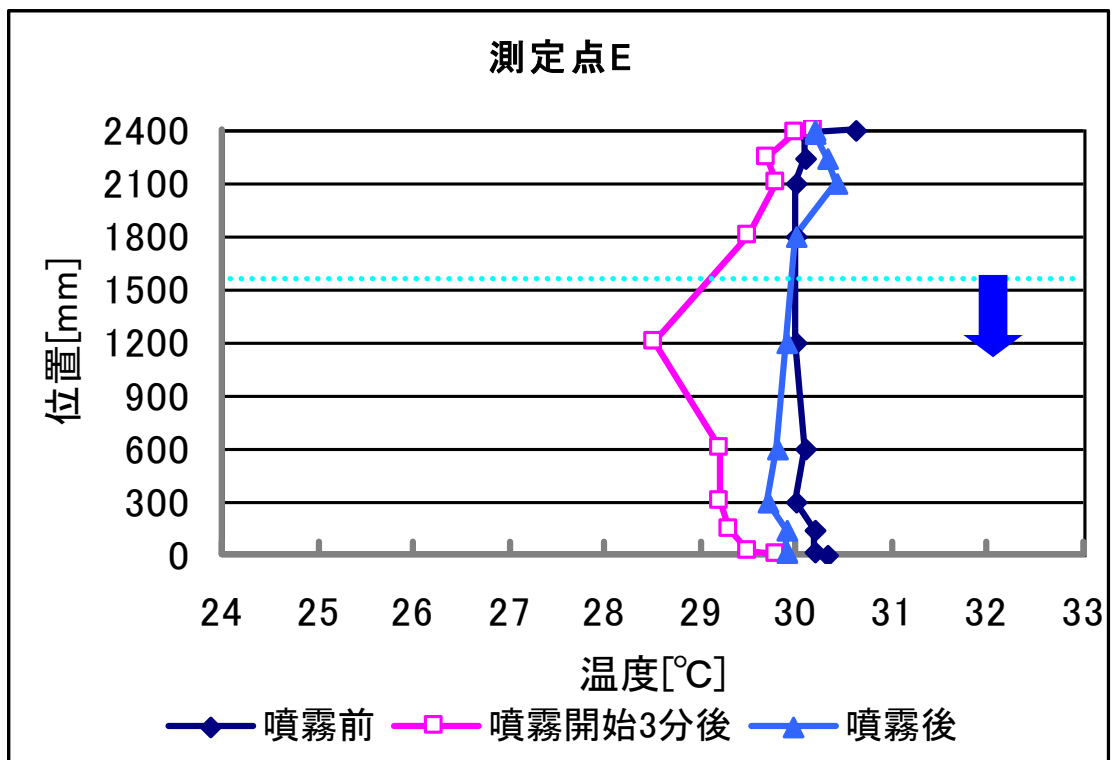


図 5-30

実験 7 噴霧距離 $d=2000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 0°
 噴霧時間 10 分

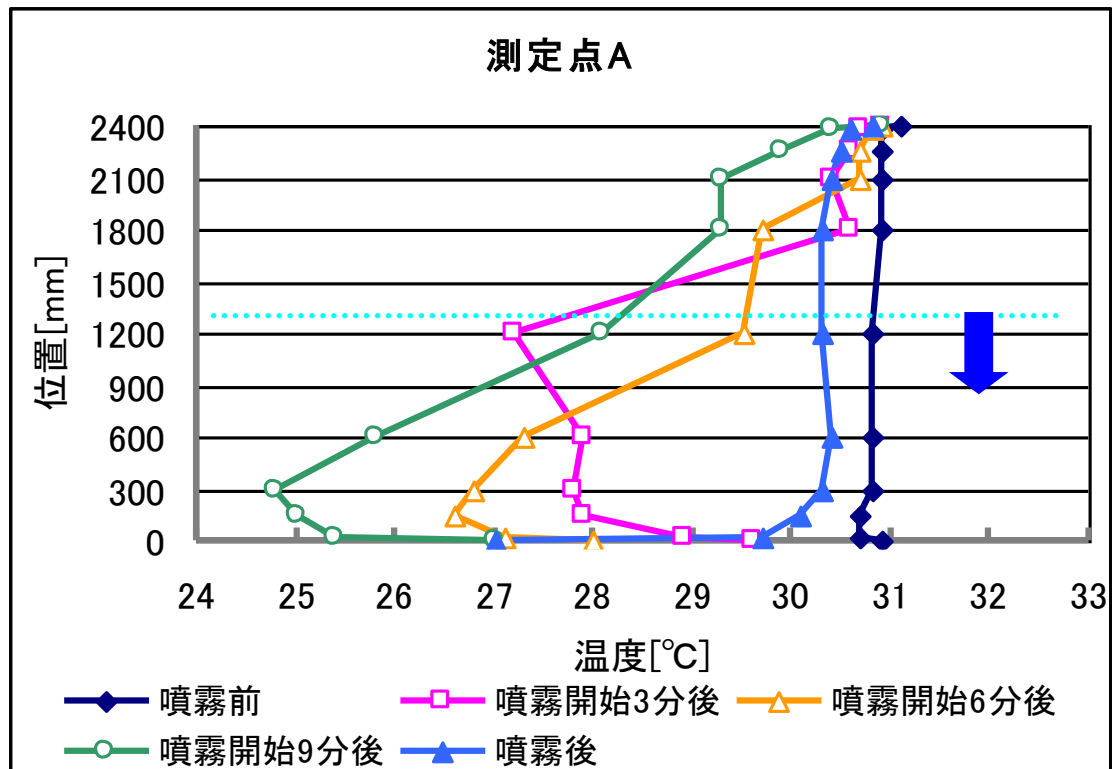


図 5-31

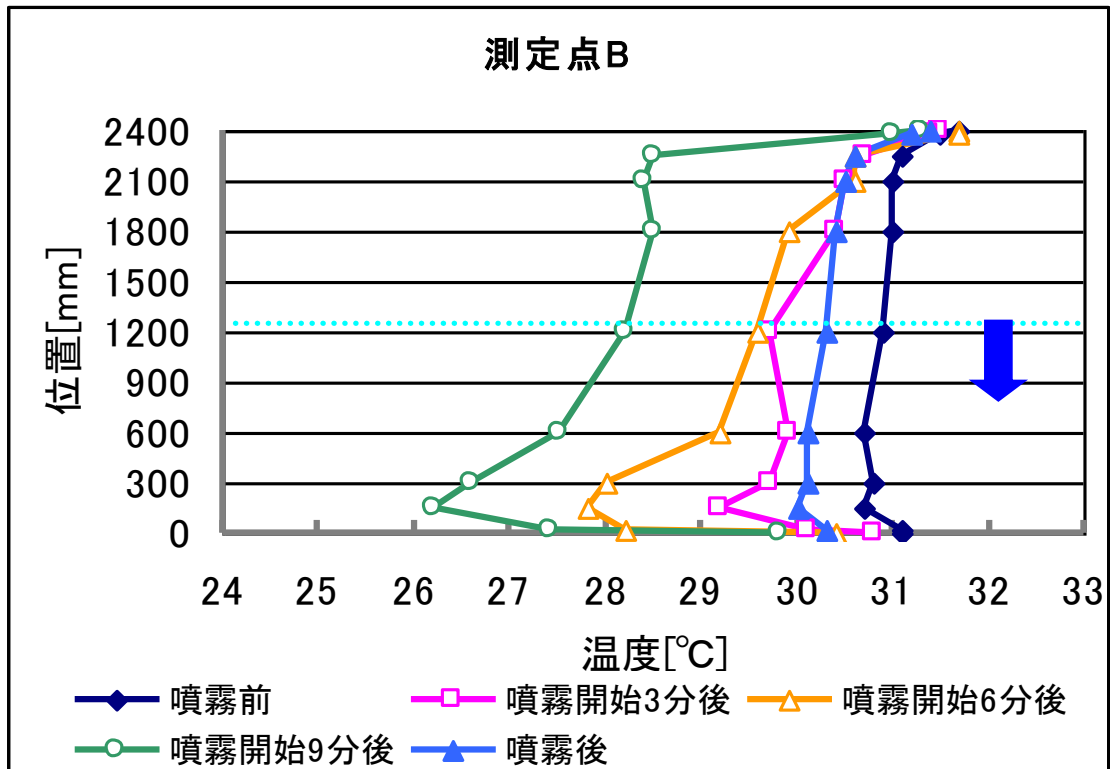


図 5-32

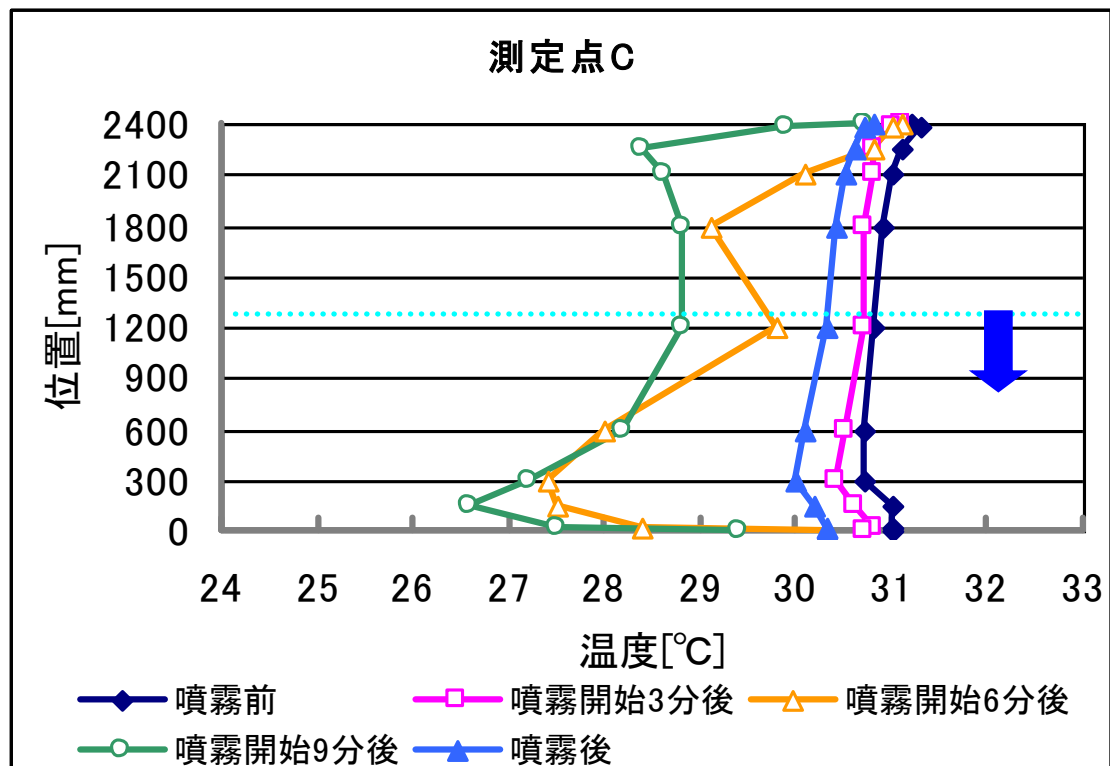


図 5-33

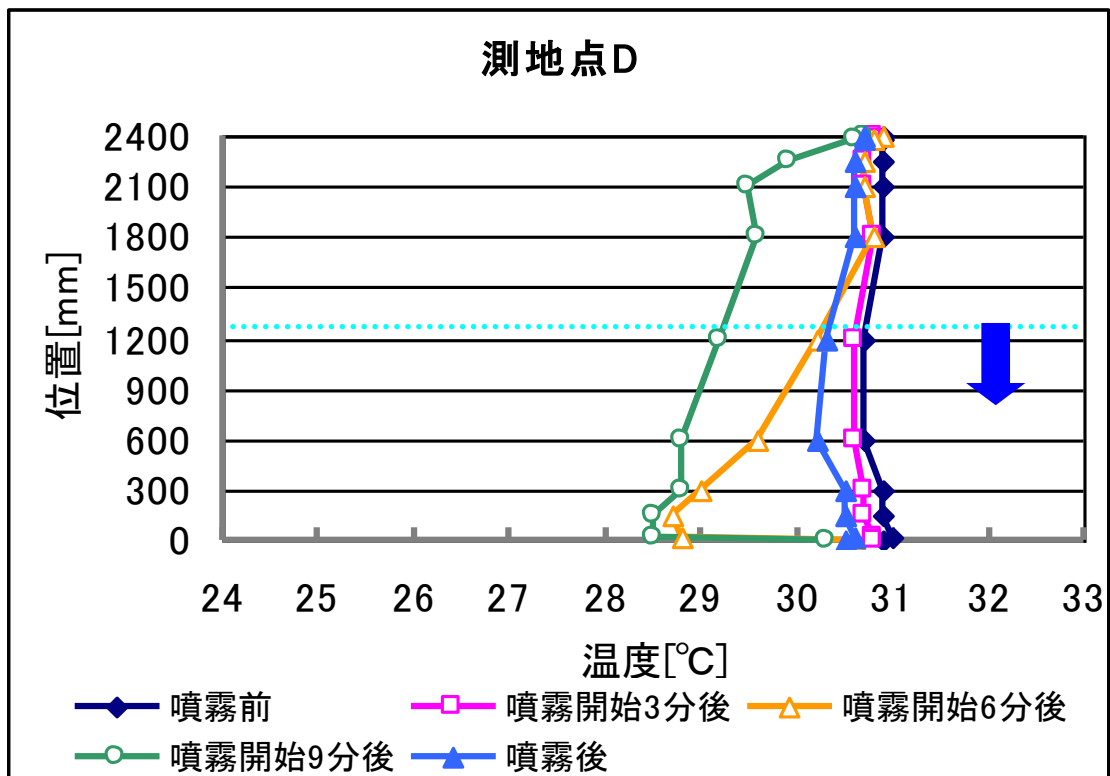


図 5-34

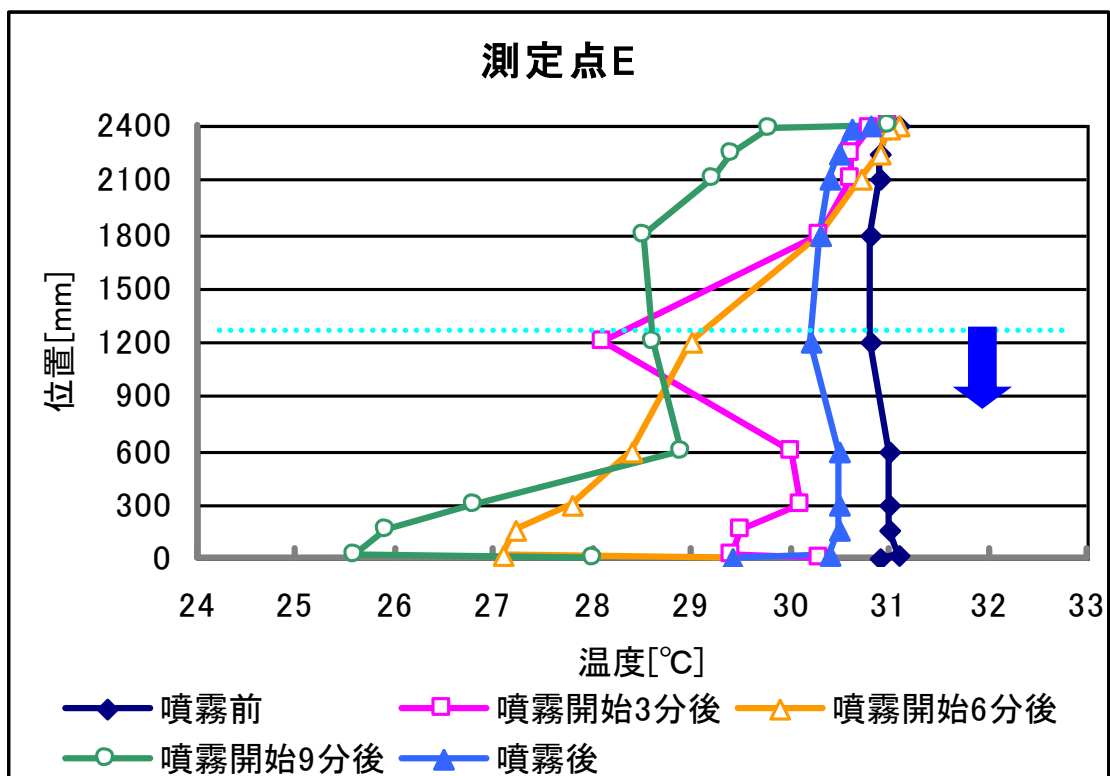


図 5-35

実験 8 噴霧距離 $d=2000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 45°
 噴霧時間 10 分

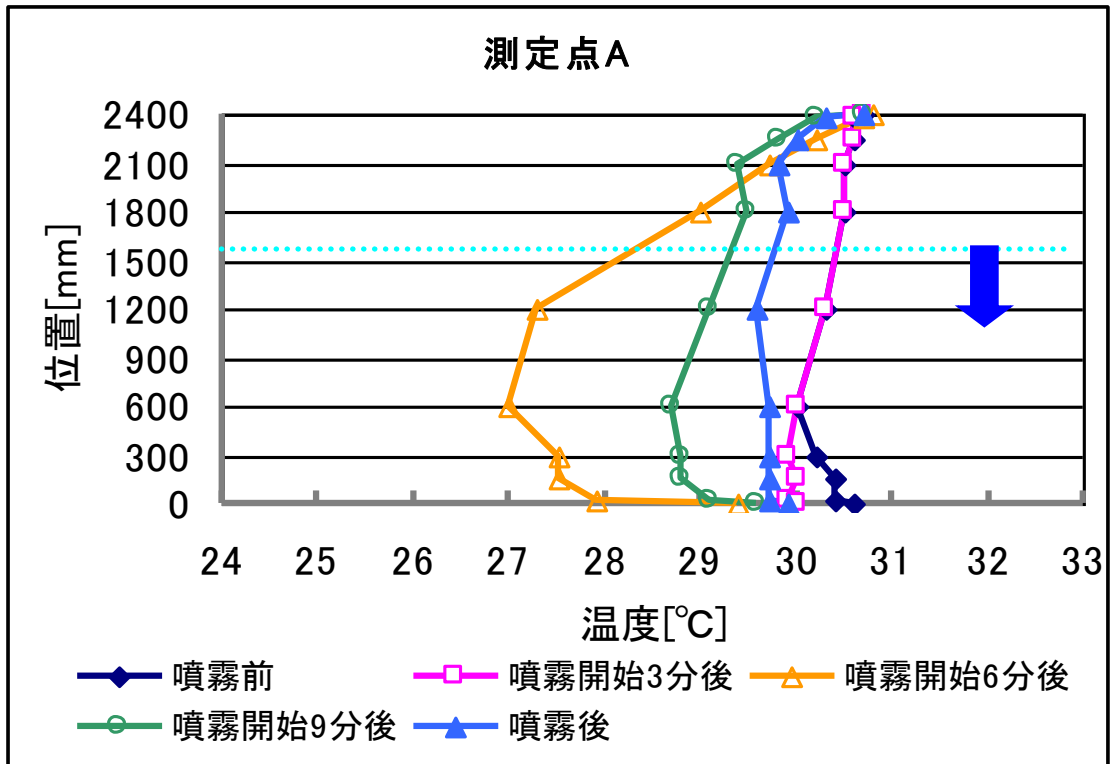


図 5-36

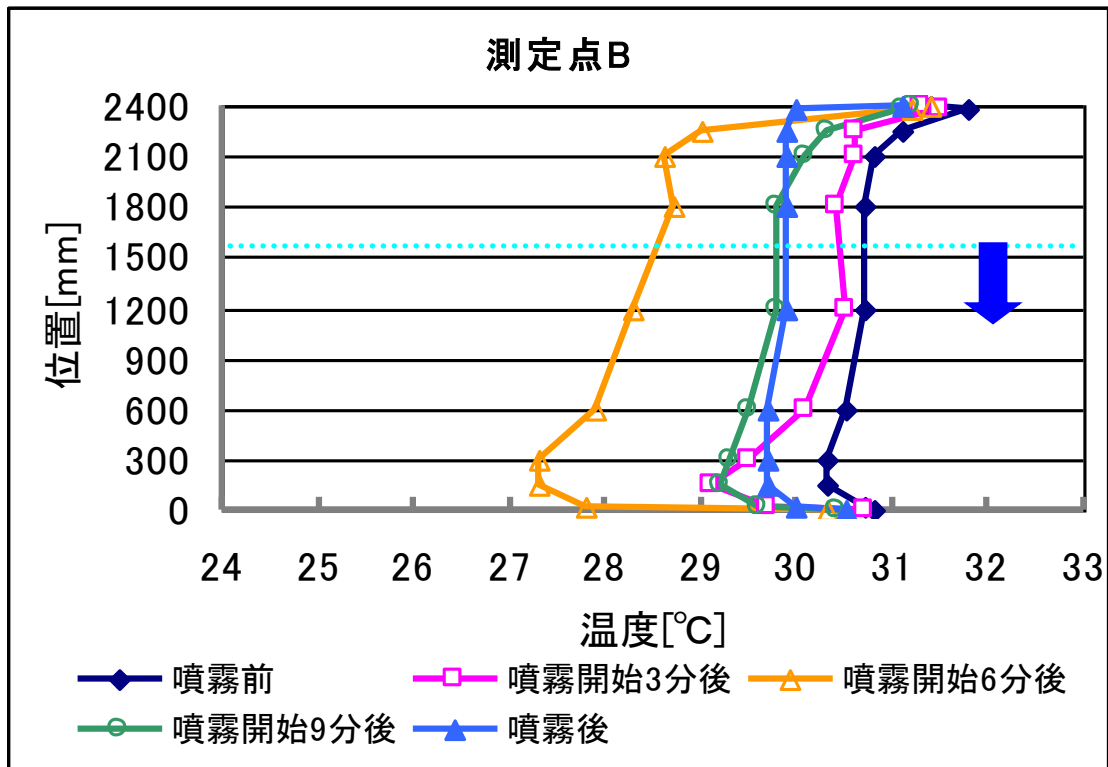


図 5-37

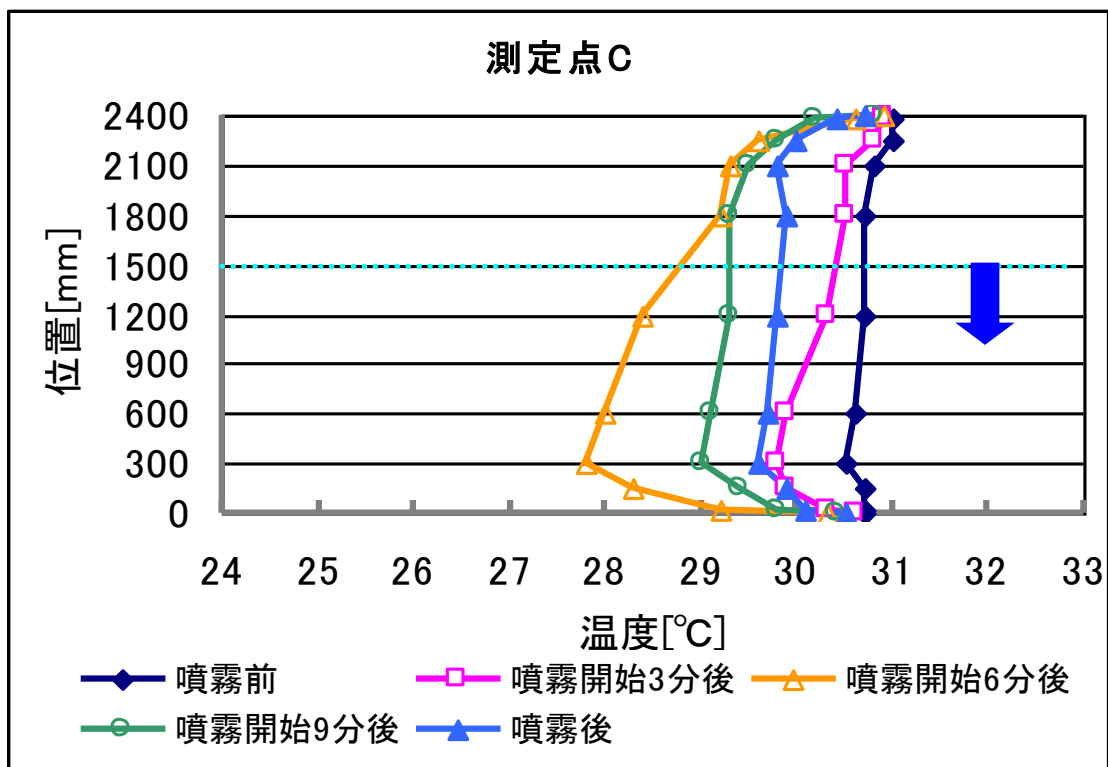


図 5-38

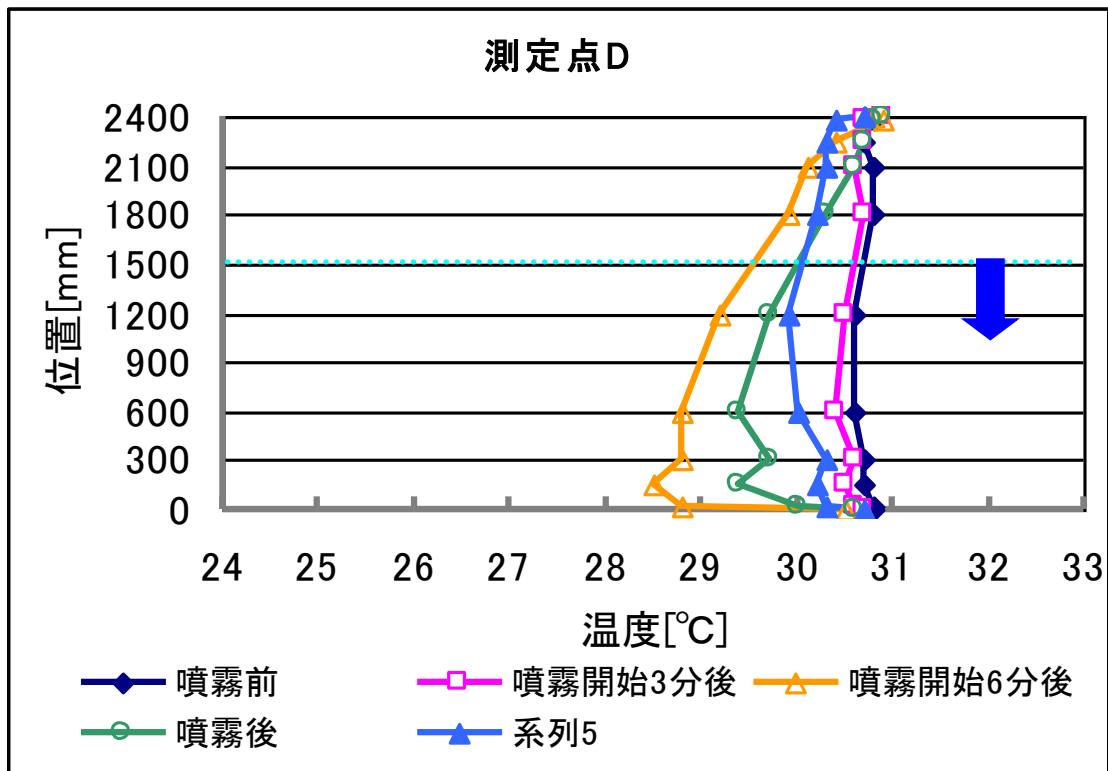


図 5-39

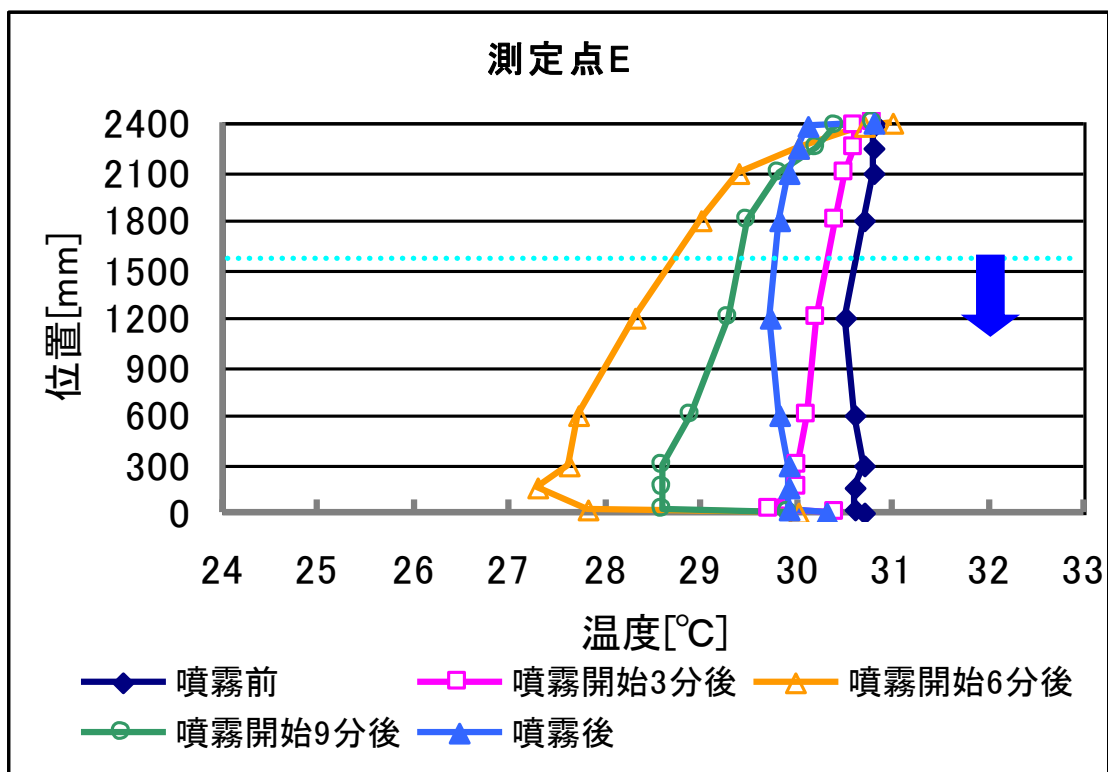


図 5-40

実験 9 噴霧距離 $d=2000$ 噴霧高さ $h=1400$ 噴霧角度 90°
 噴霧時間 10 分

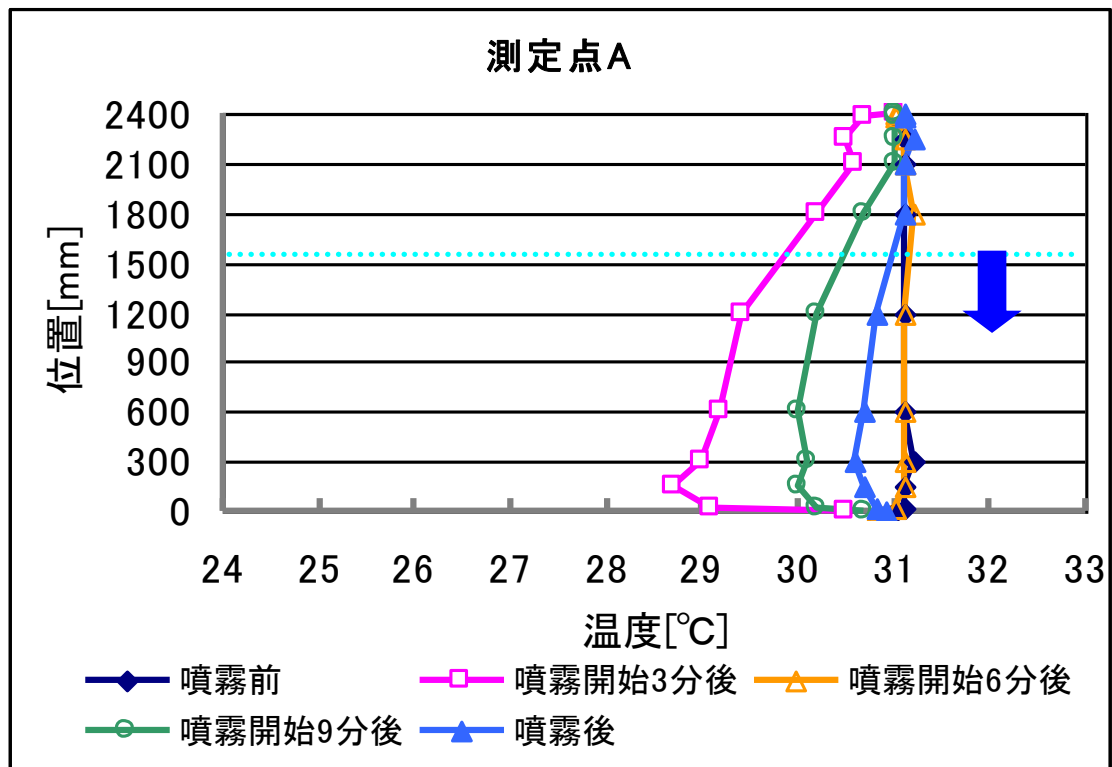


図 5-41

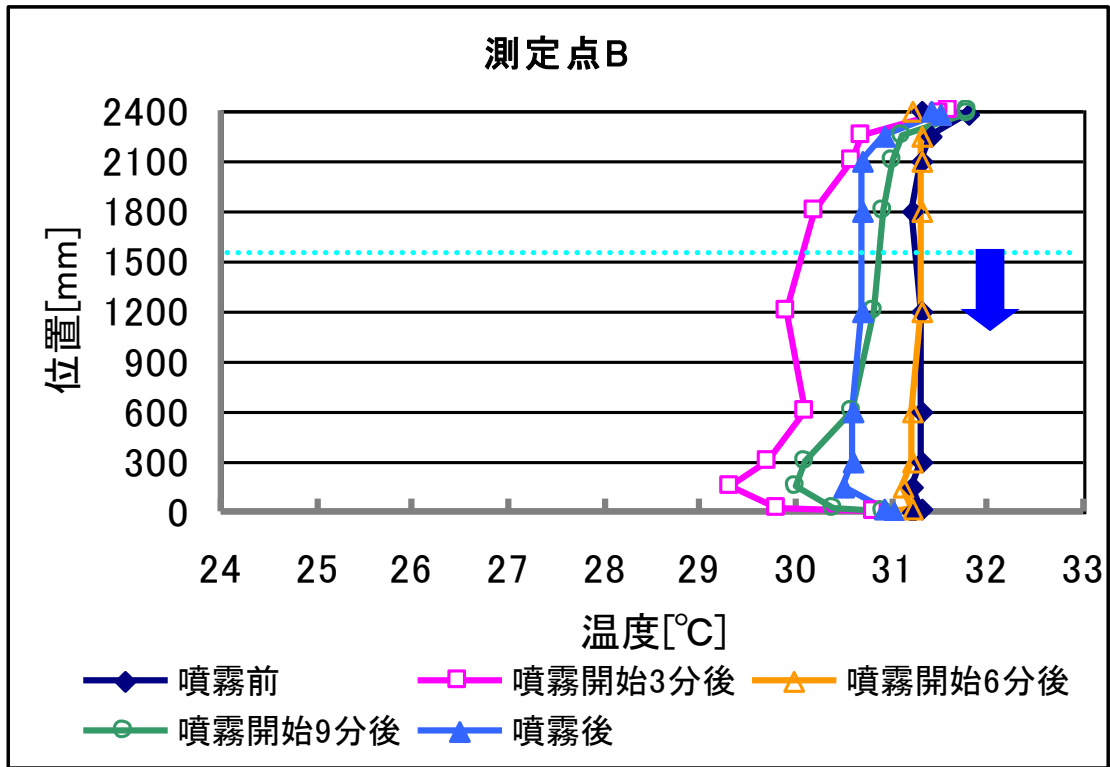


図 5-42

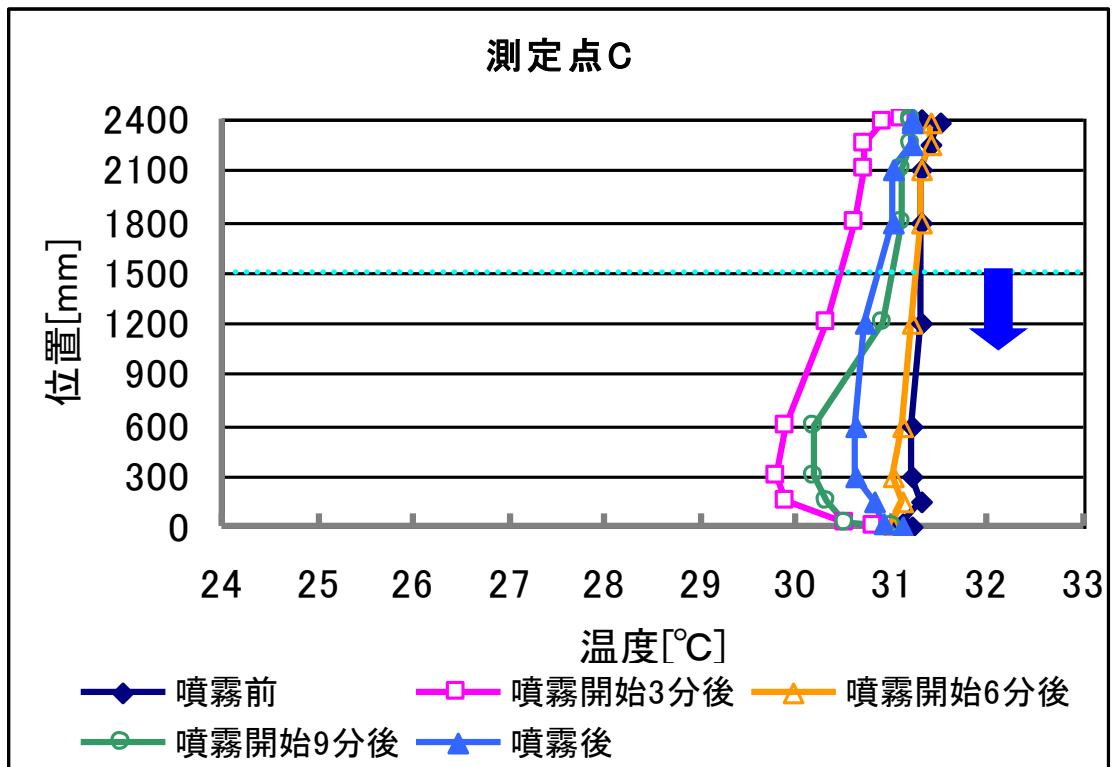


図 5-43

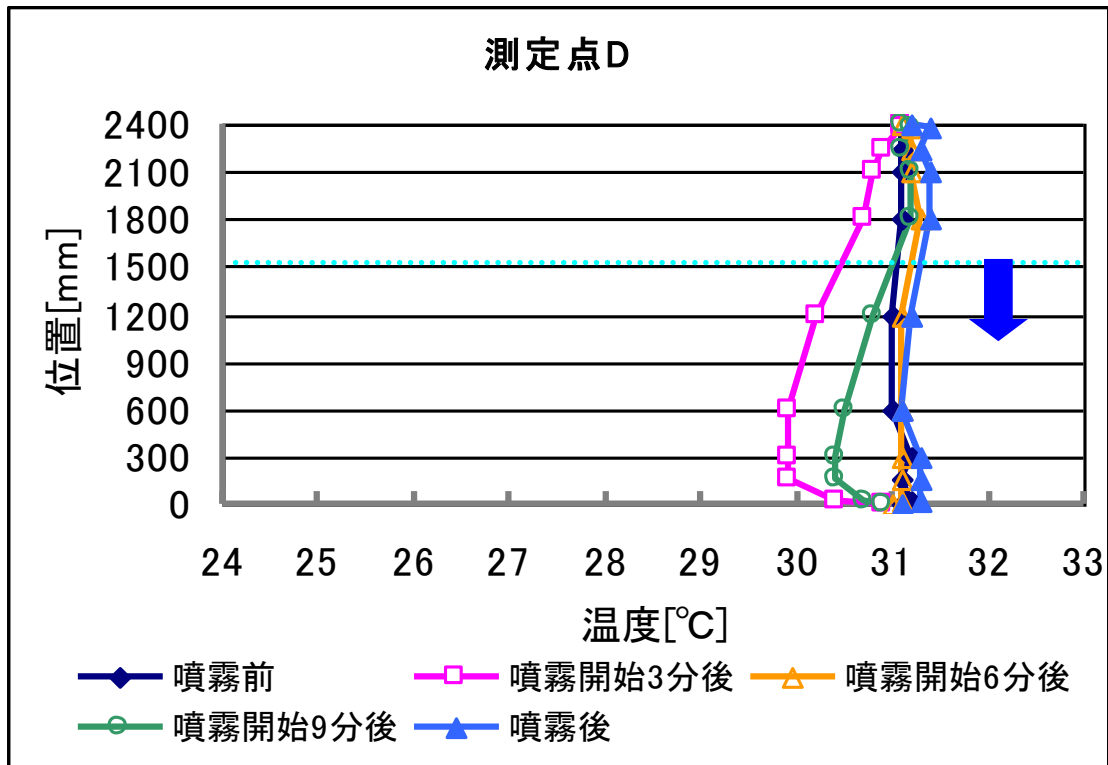


図 5-44

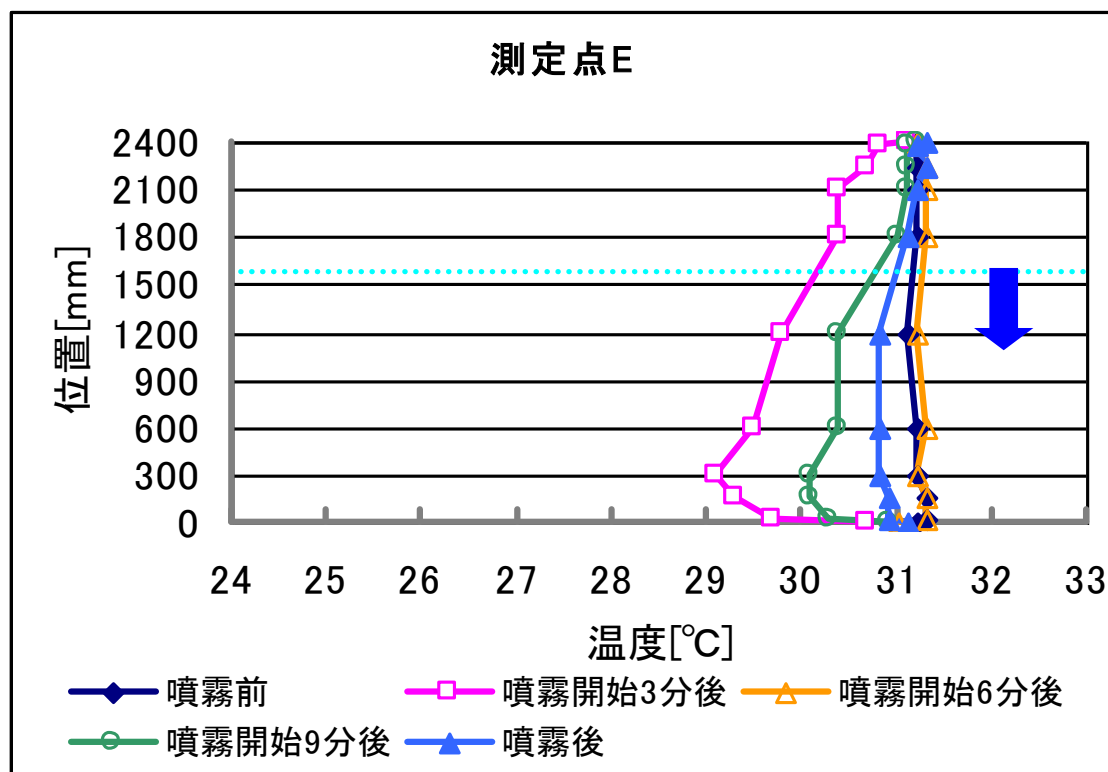


図 5-45

3.3 整合性の検討

ミストの軌道計算から、水色の点線近辺の空気が冷却されると考えられる。また、冷却された空気や大きいミスト粒子は降下していくので、点線以下の温度が下がると考えられる。このことを考慮して検討する。

実験 1 (図 5-1~5)、実験 3 (図 5-10~15)、実験 6 (図 5-26~30)、実験 7 (図 5-31~35)、実験 8 (図 5-36~40)、実験 9 (図 5-41~45) は点線以下の温度が下がった。

実験 2 (図 5-6~10)、実験 4 (図 5-16~20)、実験 5 (図 5-21~25) では、点線以下の温度が下がったが、上方も下がった。これは、風によって室内の空気がよく混ざった為と考えられる。

7 まとめ

簡易的なシミュレーションでもある程度の温度降下の予想が付くことがわかった。本実験では、ミストが長く浮遊する、つまり噴霧角度 90° 、噴霧距離 1000mm のときが床濡れを起こさず、一番安定していた。また、人の平均身長を 1600mm とすると、これより下方の空気が冷却されるのが望ましい。

今後精度の高いシミュレーションを行うには、ドライミストの噴流に関する実験的データが必要である。また、今回のような定常時ではなく非定常時におけるシミュレーションも検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) GMM テック 株式会社 ホームページ <http://www.gmmtech.co.jp/index.htm>
- 2) 株式会社江藤電気 ホームページ <http://www.etodenki.co.jp/index.html>
- 3) 株式会社レックス <http://www.rex-rental.jp/tik/kan2701.htm>
- 4) 伊 奎英、山田英貴、奥宮正哉、辻本 誠：ドライミスト冷却効果の検証と CFD 解析
日本建築学会環境系論文集 pp.1320 2008.11
- 5) 噴流工学 —基礎と応用— 社河内俊彦 森北出版 pp.185 2004.3.24
- 6) 流体の力学 水力学と粘性・完全流体力学の基礎 松尾一泰 理工学社 2007.10.30
- 7) 紅谷真司：実験住宅における家庭用ドライミストの噴霧条件について 東京理科大学
辻本研卒業論文梗概 2008
- 8) 渡辺明美：家庭用ドライミストの効果測定 東京理科大学 辻本研卒業論文 2007

謝辞

本論文を書くにあたって、辻本誠教授には多大なるご迷惑をお掛けしましたが、熱心な指導とご配慮、本当に有難うございました。並びに、西田幸夫先生からの貴重なご意見、心配りに感謝します。

また、忙しい中、親身になって相談に乗ってくれた院生の先輩方、辻本研究室の皆さん、一年間という短い間でしたが、本当に有難うございました。