ドライミストの加湿利用時における飽差と蒸発率の関係

東京理科大学工学研究科建築学専攻
辻本研究室
小林弘樹

目次

１章　研究背景・目的
１．１　研究背景　・・・・・６
１．２　蒸発について　・・・・・６
１．３　既往研究　・・・・・７
１．４　研究目的　・・・・・８
１．５　研究の流れ　・・・・・８

２章　モリコロパーク体験学習室での加湿実験
２．１　実験概要　・・・・・１０
２．１．１　施設概要
２．１．２　実験室概要　・・・・・１１
２．１．３　測定方法　・・・・・１４
２．２　実験結果　・・・・・１７
２．２．１　絶対湿度算出式　・・・・・１７
２．２．２　全実験測定データ　・・・・・１８
２．２．３　各実験の測定結果　・・・・・２２
２．２．４　蒸発率による考察　・・・・・４４
２．３　数値計算による蒸発率の算出　・・・・・４８
２．４　まとめ　・・・・・５３

３章　スパイラルダクトを使用したドライミスト噴霧実験　・・・・・５６
３．１　実験概要
３．１．１　実験日時・場所　・・・・・５６
３．１．２　実験方法　・・・・・５６
３．２　実験結果　・・・・・６３
３．２．１　温度測定結果　・・・・・６３
３．２．２　蒸発率による考察　・・・・・８１
３．３　数値計算による蒸発率の算出　・・・・・８８
３．３．１　計算方法　・・・・・８８
３．３．２　計算結果　・・・・・８９
３．４　まとめ　・・・・・９３

４章　総括　・・・・・９６

1章　　序論

1章　研究背景・目的

１．１　研究背景

ドライミストとは、水をポンプから圧送し、ノズル先端の小孔から噴射することで、水を微細な粒子として噴霧し、水が気化する際の気化熱によって、周辺空気を冷却するシステムである。低エネルギーで、空気の冷却を行うドライミストシステムは、近年問題視されているヒートアイランド現象の緩和対策として期待されている。

ドライミストシステムは、辻本（現東京理科大学教授）、奥宮（名古屋大学教授）によって開発され、2005 年の愛知万国博覧会「愛・地球博」で初めて導入された。その後、六本木ヒルズ、新丸ノ内ビルディング等の大規模施設向けのシステム、路面店等の小規模施設向けのシステム、家庭用に改良された小型のシステムなど、徐々に普及が進んでいる。2012 年には、東日本大震災の復興支援として、宮城県南三陸町にある復興支援商店街「さんさん商店街」の休憩スペースにも導入された。また、冷却以外にも、加湿を目的とした工業用や農業用のシステムの開発も進んでいる。このように、ドライミストの使用用途は多岐に渡り、それぞれに適したシステムが求められている。

１．２　蒸発について

■水蒸気の移動

物体表面と周辺空気との間に水蒸気圧差があると、表面と空気との間で水蒸気の移動（蒸発）が起きる。表面に近い空間では、水蒸気は拡散によって移動し、拡散層ができる。拡散層の厚さは、物体表面の広さ，形状，風速などの状態により、1 cm 以上になることもあれば２～３mm 以下になる場合もある。水の蒸発速度は、空気の湿度が変わらなくても、拡散層の厚さによって違う。

大気中で蒸発するときは、拡散によって移動した後に、対流が加わる。対流があっても拡散層の水蒸気圧勾配がわかれば、表面からの蒸発量を求めることができるが、湿度の微細な分布を測定する方法がなく、実際にこの方法で蒸発量の測定を行った事例はない。

蒸発の実験式として、自然対流の場合、蒸発速度 w は、以下の式で表すことができる。

$$w = K\frac{e_s - e}{\delta}$$

ここに、K は拡散係数、e_sは蒸発面の水蒸気圧、e は周辺空気の水蒸気分圧、δ は拡散層の有効厚さである。

■微細粒子の蒸発

ドライミストのように、水を微細な粒子として噴霧する場合、面蒸発に影響する水蒸気圧差等の他に、粒子の粒径が大きく影響する。粒子を微細化することによって、液体表面積が増大し、熱移動や化学反応などの促進、粒子数の増加による分散効果、粒子径の微細化による混同の促進などの効果がある。

１．３　既往研究

ドライミストに関する研究は多数行われているが、その多くが夏季の冷却効果を検証したものである。屋外（半屋外）の冷却以外を対象とした主な研究を表１－１に示す。前述の通り、ミストの蒸発には、粒子の粒径や流量の分布が大きく影響するため、加藤は PDPA, PIV といった光学的手法を用いてそれらの測定を行っている。ファーナム・クレイグは、ノズルから鉛直下方にミストを噴霧し、床に置いたビニールシートの重量変化によって蒸発率を測定している。これらの研究から、ノズル毎の特徴などが徐々に明らかになってきているが、実際にノズルの性能や蒸発率を評価する手法は確立されていない。

室内を対象とした研究としては、植村らのクリーンルームの加湿と、三浦らの工場内での冷却を目的としたものがある程度である。つまり、ドライミストを利用した室内の加湿についての研究はまだ行われていない。

表１－１　既往研究

研究者	論文名	掲載	調査内容
三浦寿幸, 板谷俊郎ら	噴霧ミストの蒸発冷却に関する実験研究；その１，その２	日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2, 559-562，2008-07-20	ノズルによる温度低下の比較
植村聡, 鈴木康司, 内山聖士	水噴霧加湿におけるミストの加湿吸収距離	環境工学総合シンポジウム講演論文集 2009（19），509-511, 2009－07－08	クリーンルームの水噴霧加湿
三浦寿幸, 板谷俊郎ら	屋内空間を対象としたミスト噴霧とその蒸発冷却効果に関する研究；その１～その４	日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2, 561-566，2009-07-20	室内冷却（工場）
ファーナム クレイグ, 中尾正喜ら	複数のミスト蒸発冷却ノズルの蒸発率と統一近似式	日本建築学会近畿支部研究報告集, 353-356，2010-05-25	蒸発特性
加藤史郎	ドライミストの噴霧ノズルごとの粒径分布に関する研究	日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2, 127-12８，2010-07-20	ノズルの特性

１．４　研究目的

ドライミストは主に夏季の冷却目的で利用されており、まだ加湿として導入された事例は少ない。さらに、屋内の加湿設備として設置されているのは、愛・地球博記念公園（モリコロパーク）内の地球市民交流センターのみである。ドライミストを室内の加湿として利用する場合は通常半屋外などで使用する場合よりも「濡れない」ということが重要になると考えられる。濡れを防止するためには、ノズル毎の性能を把握し、種種の環境で蒸発率がどの程度であるかを知る必要がある。

そこで、本研究ではモリコロパーク内のドライミストが設置されている一室で、環境を変化させて加湿実験を行い、その効果を検証した。また、加湿によって濡れが発生しない条件を調べた。さらに、飽差が蒸発率にどのような影響を与えるかを分析するためにスパイラルダクトを使用し、ダクト内でミストを噴霧する実験を行った。この実験では、3 種類のノズルを使用しており、飽差が蒸発率に与える影響とノズルの性能が蒸発率に影響しているかを検証している。

１．５　研究の流れ

本論文は以下のような構成で成り立つ。２章では、モリコロパークで行った加湿実験について考察を行っている。室温の変化による絶対湿度上昇の違いを比較し、実測値と数値計算によって求めた値との整合性について検討を行っている。３章では、スパイラルダクトを使用した実験の考察を行っている。ここでは、温度測定結果をもとに、飽差の違いによる温度低下，蒸発率の違いを検証し、ここでも数値計算を行い実測値との比較をしている。４章では総括として、本研究から得られた知見をまとめ、今回検討を行えなかった項目や今後の課題を記述している。

＊参考文献

上田政文：湿度と蒸発，コロナ社，2000 年発行
日本液体微粒化学会：アトマイゼーション・テクノロジー，森北出版，2001 年発行

２章　モリコロパークにおける加湿実験

2 章　モリコロパークにおける加湿実験

２．１　実験概要

２．１．１　施設概要

名称：愛・地球博記念公園（モリコロパーク）　地球市民交流センター

場所：愛知県長久手市茨ヶ廻間１５３３－１

敷地面積：1942000m^2

2005 年の愛知万国博覧会長久手会場の跡地に開設された公園で、公園内には温水プールやアイススケート場、体育館、多目的広場など様々な施設がある。地球市民交流センターは市民参加、交流活動の場として設立され、太陽光発電・風力発電・間伐材利用など自然エネルギーを活用した施設となっている。ドライミストは、この施設の体験学習室、多目的室内に冬季の加湿設備として設置されている。

図２－１　モリコロパークの写真*

引用

＊愛・地球博記念公園 HP

http://www.aichi-toshi.or.jp/park/park(HP)/morikoro/index.html

２．１．２　実験室概要

室名：体験学習室１

面積：106.5m^2

室容積：677.1m^3

用途：座学形式の講演、会議

・室内設備

パッケージエアコン　３台

表２－１　パッケージエアコン吹き出しノズル

ノズルサイズ	１個当りの風量	到達距離
300φ×４個	510m3/h	5.0m

給気ピット

地中に埋めた管や床下に空気を通すことで、夏は涼しく、冬は暖かい空気を室内に供給する。

循環ファン

暖房によって暖められた空気が室内の天井付近に滞留しないように循環ファンを設置している。（図２－２，２－３）

ドライミスト

冬季の加湿用にドライミストシステムが設置されている。ノズルは流量が 50ml/min のものが２つ設置されており、図２－４の●の位置に設置されている湿度センサーで制御している。

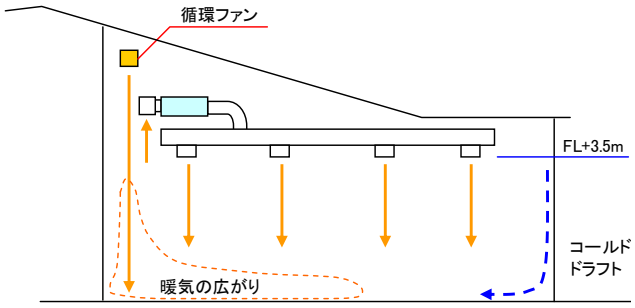


図２－２　循環ファンイメージ図

図２－３　循環ファン設置状況

図２－４に体験学習室の平面図、図２－７に断面図、図２－８にダクト図を示す。

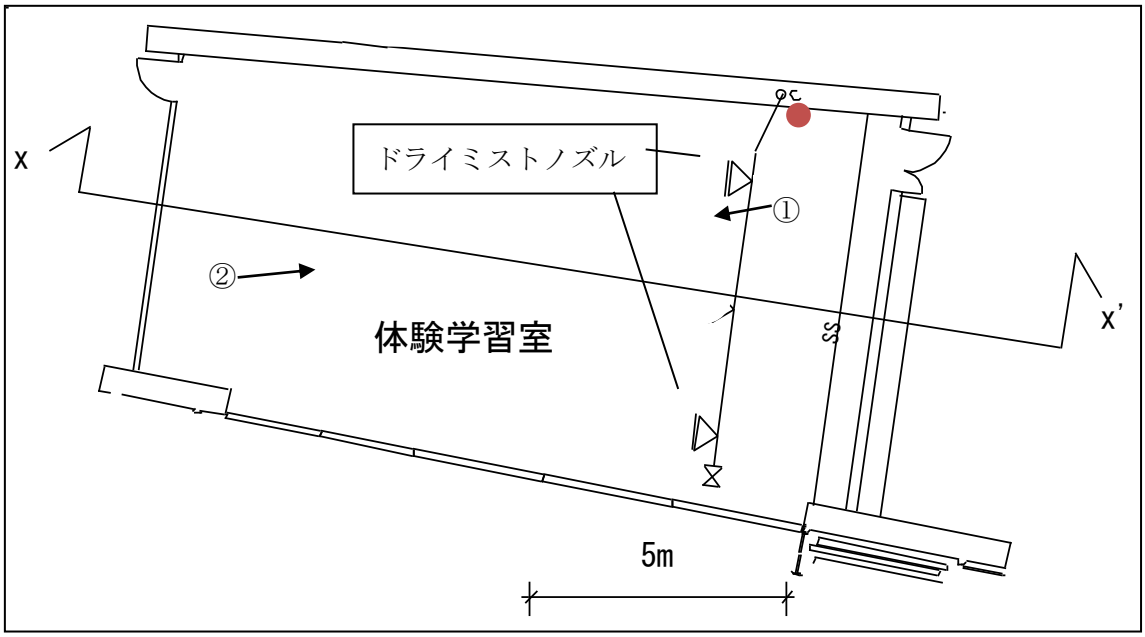


図２－４　体験学習室平面図

図２－５　体験学習室　①

図２－６　体験学習室　②

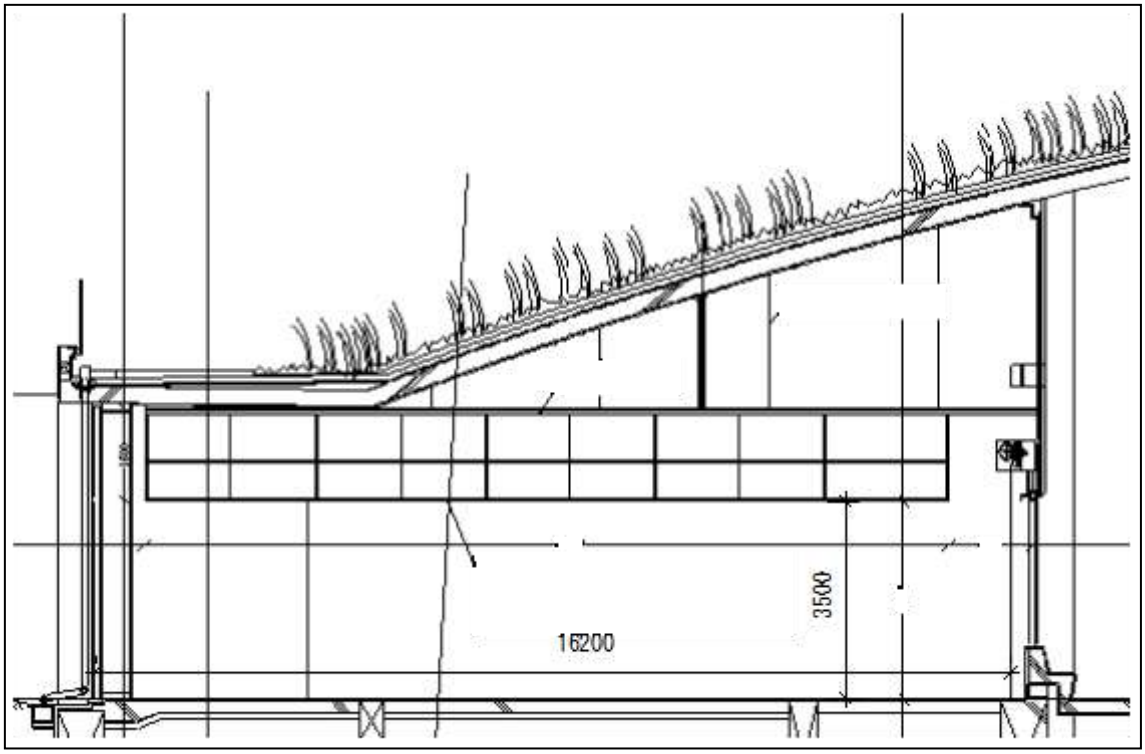


図２－７　x-x'断面図

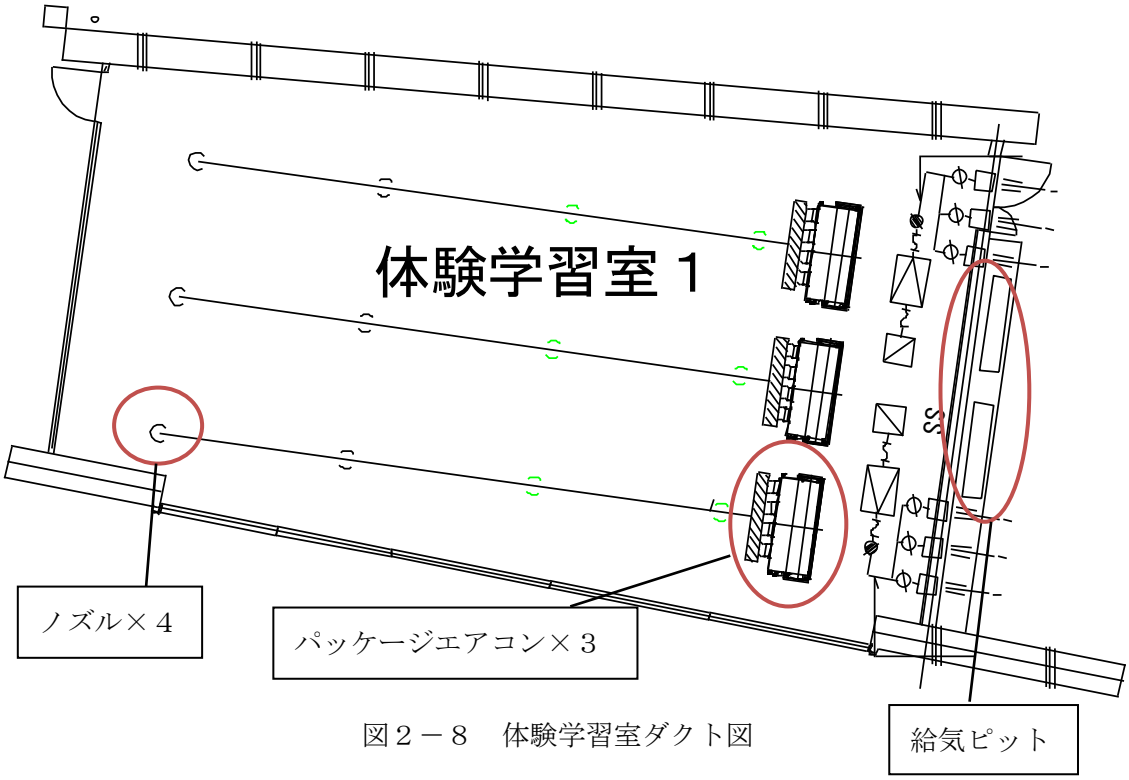


図２－８　体験学習室ダクト図

２．１．３　測定方法

■測定機器：温湿度計（おんどとり Jr.）

表２－２　おんどとり Jr.仕様

取り扱い会社	株式会社　テイアンドデイ	
製品番号	Thermo Recorder RTR-53	
測定チャンネル	温度（チャンネル1）	湿度（チャンネル2）
外付け温湿度センサー	0～55℃	10～95%RH
測定精度	±0.3℃	±5%RT（25℃50%RHにおいて）
測定・表示分解能	0.1℃	1%
センサ仕様	サーミスタ	高分子湿度センサ
記録容量	8000データ×2チャンネル	

図２－９　温湿度計

■測定位置

屋内 16 点、屋外 1 点の計 17 点に温湿度計を設置し、温度と相対湿度を測定した。測定位置を図に示す。床および机上の濡れは、11 近くの床と机上に設置した感水試験紙を使用し、目視によって確認した。

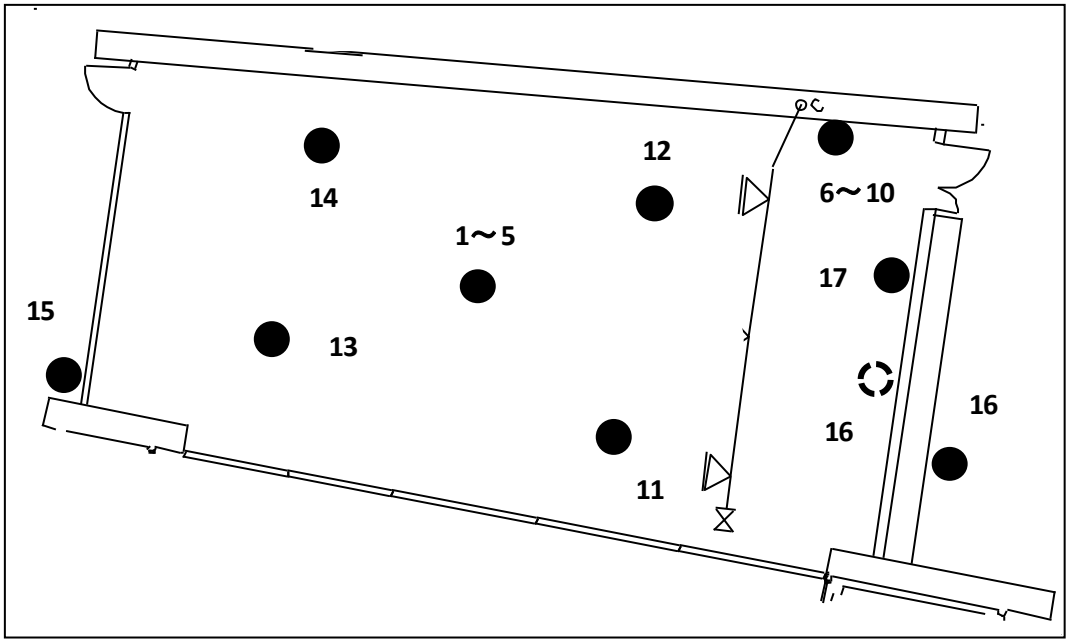


図２－１０　温湿度計設置位置

1	室内中央　0mm	１０	湿度センサー付近　1800mm
2	室内中央　300mm	１１	入口側南　1200mm
3	室内中央　600mm	１２	入口側北　1200mm
4	室内中央　1200mm	１３	窓側南　1200mm
5	室内中央 1800mm	１４	窓側北　1200mm
6	湿度センサー付近　0mm	１５	屋外　1200mm
7	湿度センサー付近　300mm	１６	10：25 頃まで　廊下
8	湿度センサー付近　600mm		10：25 以降　室内頂部
9	湿度センサー付近　1200mm	１７	給気温湿度

■実験方法

実験は、暖房によって室内の温度を変化させて、加湿を行う。ミストの噴霧時間は、20分間（50cc/min×2 個）で、1 つの実験が終了したら、ミストの影響がない状態に戻すために窓を開放した。行った実験の条件は表２－３に示す。実験①～③では給気ピットを稼働させて実験を行った。実験④では、給気ピットを停止させ、循環ファンを稼働させた。循環ファンは、図２－２に示したように暖房によって暖められた空気が室内天井付近に滞留しないように循環させる目的で設計されている。

表２－３　実験スケジュール

	時刻	ミスト噴霧	室内平均温度	空調	給気ピット	循環ファン	ノズル角度
実験①	10:06-10:36	10:11-10:31	13℃	送風	on	off	水平
湿度抜き窓開放	10:36-10:55	—	—	送風	on	off	—
温度調節	10:55-11:00	—	—	冷房19℃	on	off	—
実験②	11:05-11:35	11:10-11:30	14℃	送風	on	off	水平
湿度抜き窓開放	11:35-11:54	—	—	送風	on	off	—
温度調節	11:54-12:12	—	—	暖房20℃	on	off	—
実験③	12:12-12:42	12:17-12:37	18.5℃	送風	on	off	上向き10°
湿度抜き窓開放	12:42-13:20	—	—	送風	on	off	—
給気ピット停止・暖房on	13:20頃	—	—	暖房24℃	off	off	—
循環ファン稼働	15:14	—	—	暖房24℃	off	on	—
実験④	16:00-16:25	16:00-16:23	18.6℃	送風	off	on	上向き10°

２．２　実験結果・考察

２．２．１　絶対湿度算出式

実験結果の絶対湿度は測定した温度と相対湿度から算出した。以下にその算出式を示す。

飽和水蒸気圧（Tetens の式）

$$E = 6.11 \times 10^{\frac{7.5 \times T}{237.3+T}} \quad \cdots（1）$$

水蒸気分圧／飽和水蒸気圧×100＝相対湿度[%]であるから、水蒸気分圧は、

$$Ep = E \times RH \div 100 \quad \cdots（2）$$

絶対湿度は、

$$x = (M_{water} \times Ep)/(M_{air} \times (P - Ep)) \quad \cdots（3）$$

E：飽和水蒸気圧[hPa]
Ep：水蒸気分圧[hPa]
T：乾球温度[℃]
RH：相対湿度[%RH]
x：絶対湿度[kg/kg(DA)]
P：大気圧＝1013.15[hPa]
M_{water}：水のモル質量＝18.015[g/mol]
M_{air}：乾燥空気のモル質量＝28.964[g/mol]

２．２．２　全実験測定データ

図２－１１～２－１３に実験①～④を含む測定した各点の温度、相対湿度、絶対湿度の全データを示す。ミストは 20 分間噴霧し、噴霧終了 5 分後に窓を開放して湿度抜きを行った。また、実験③終了後に給気ピットを停止し、循環ファンを稼働させた。

考察

いずれの実験においてもミストを噴霧することで、相対湿度が 20%程度、絶対湿度で 1.5g/kg（DA）程度上昇している。給気ピットを稼働させて、循環ファンを停止した状態で行った実験①～③を見ると、温度に関しては、実験①②では、約 1℃低下しているのに対して、実験③では 3℃程度低下している。絶対湿度が同程度増加しているにもかかわらず、温度低下に差があるということは、ミストの他にも室内の熱環境に影響を与えている要素があると考えられる。考えられる要素としては、外気温や給気ピットの影響がある。外気温は、実験①②を行った時は、室温よりも高い値であったが、実験③では、室内とほとんど同じ温度であったため、その影響で実験①②の温度低下が小さくなったことが考えられる。給気ピットに関しては、実験①と②では室温に近い空気を供給していたが、実験③を行った時の室温よりも低い温度の空気を供給していたので、その影響でより温度が低下した可能性がある。これらの詳細な分析は、次項の各実験の測定結果で行う。また、給気ピットを停止して、循環ファンを稼働させて行った実験④ではミスト噴霧開始後室温が上昇している。室外の温度も上昇していることから、外気の影響を受けていると考えられる。

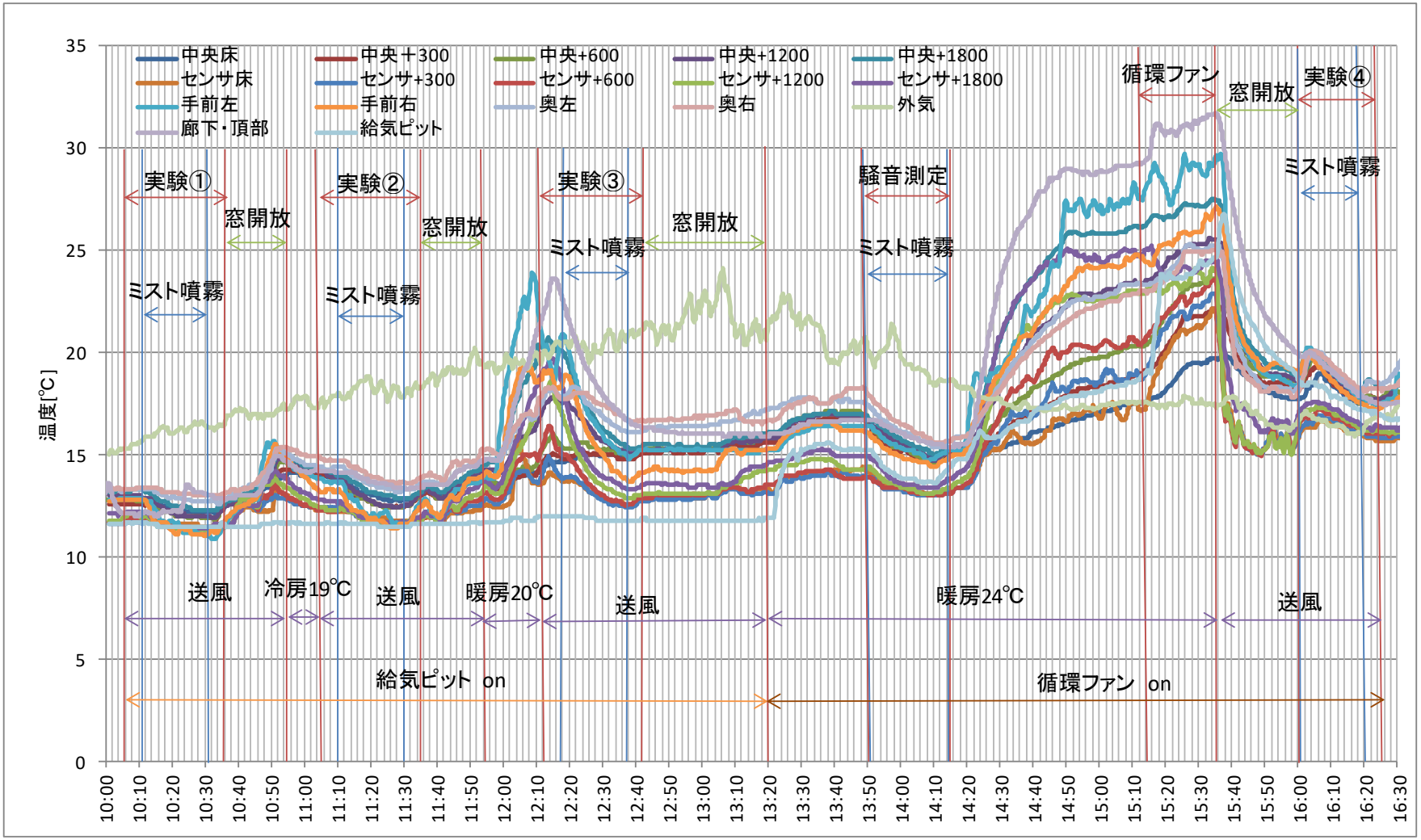


図２－１１　全実験温度測定データ

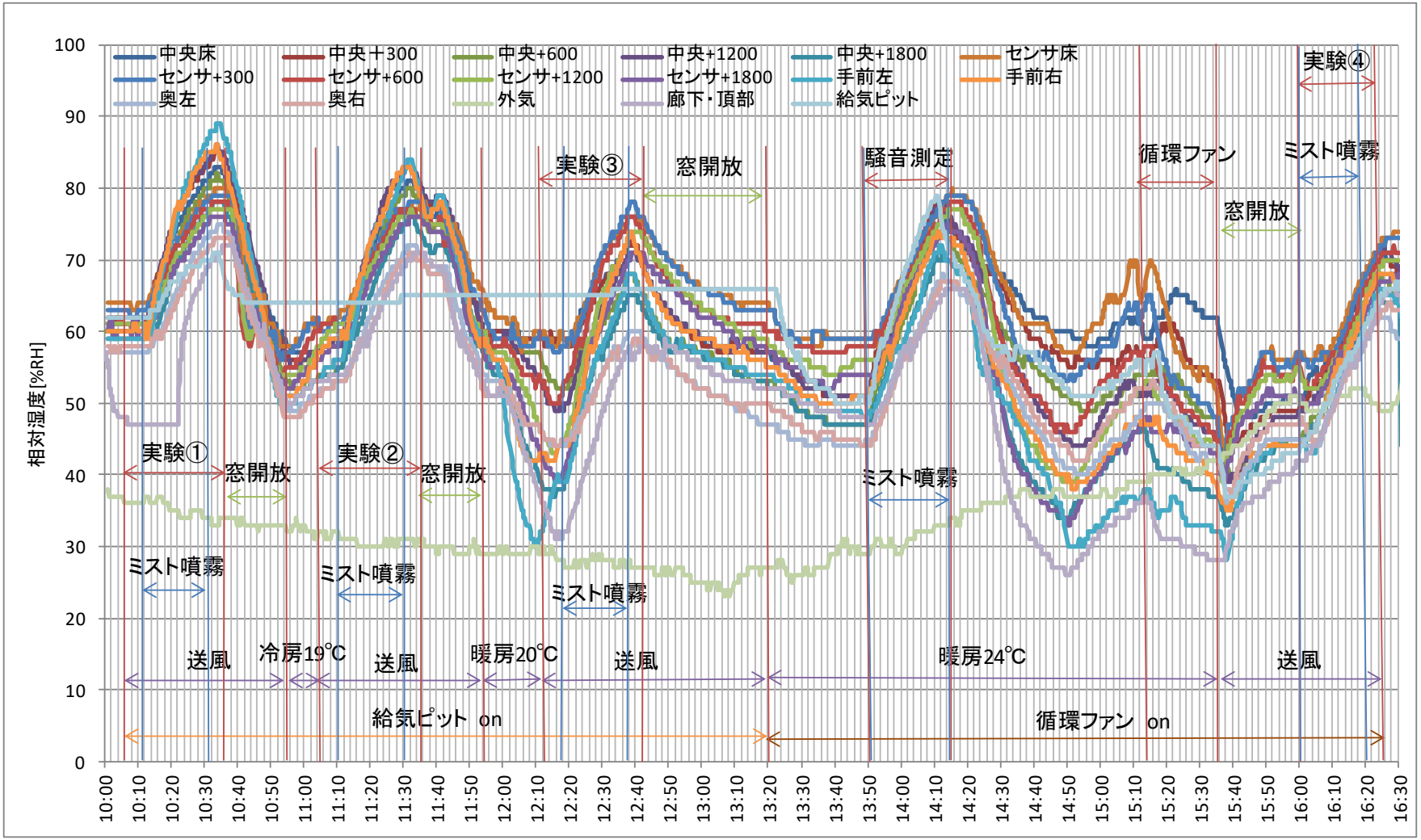


図２－１２　全実験相対湿度測定データ

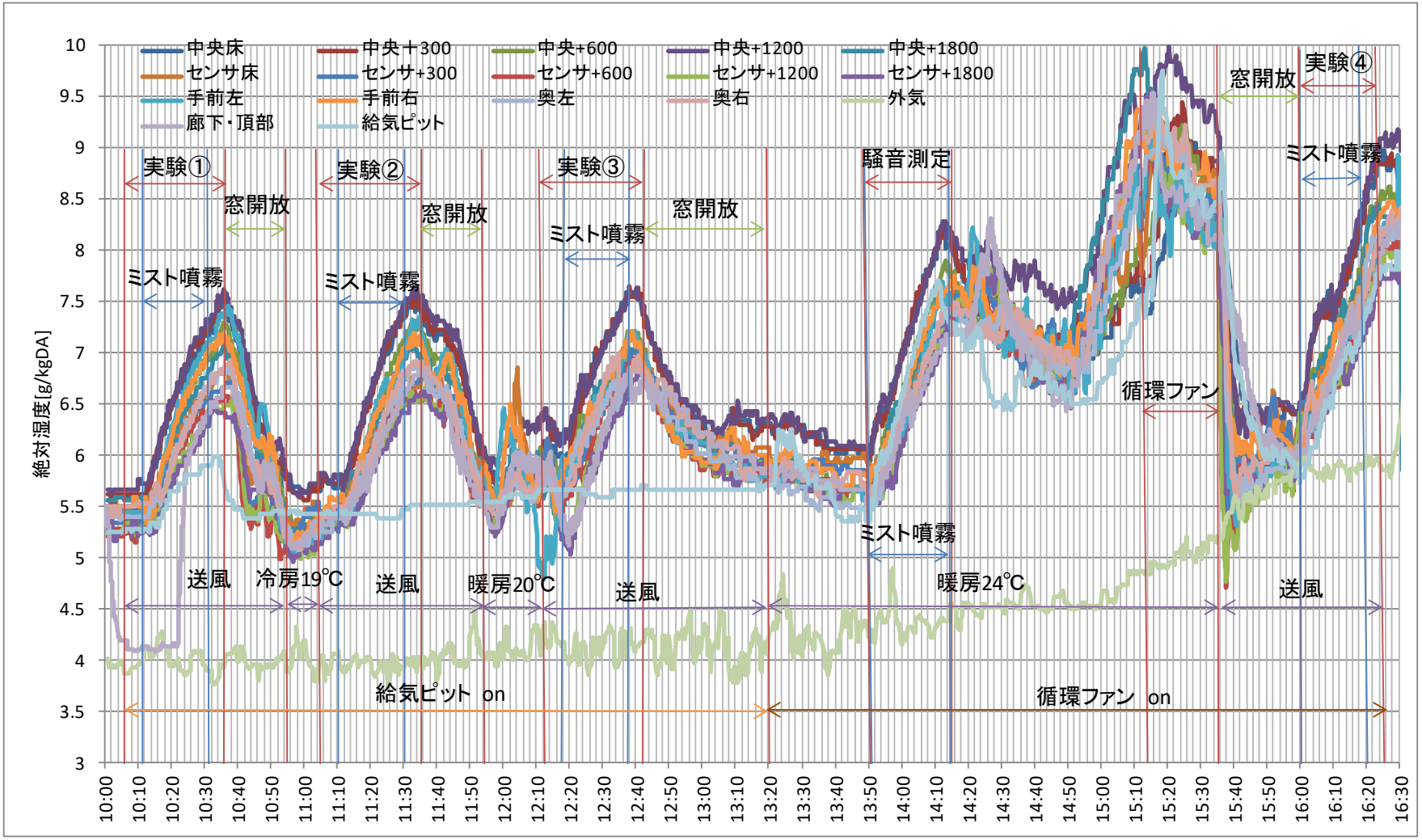


図２－１３　全実験絶対湿度測定データ

２．２．３　各実験の測定結果・考察

以降の各実験のグラフには、ミスト噴霧開始 5 分前から噴霧終了 5 分後までの測定データおよび算出結果を掲載する。

１）実験①

実験①は給気ピットを稼働し、室温 13℃，相対湿度 59%、飽差が 6.14hPa の状態で行った実験である。ミスト噴霧時間は 10：11～10：31 の 20 分間。ミスト噴霧開始直後から感水試験紙で床および机上の濡れが確認でき、噴霧終了時には、ひどく濡れていた。各測定点での測定結果および絶対湿度算出結果を図２－１４から図２－１６に示す。床面からの高さ 1200mm での５測定点 4，11，12，13，14 の平均値を図２－１７から図２－１９に示す。また、平均値を５分毎に湿り空気線図にプロットした図を図２－２０に示す。

■各測定点での測定結果

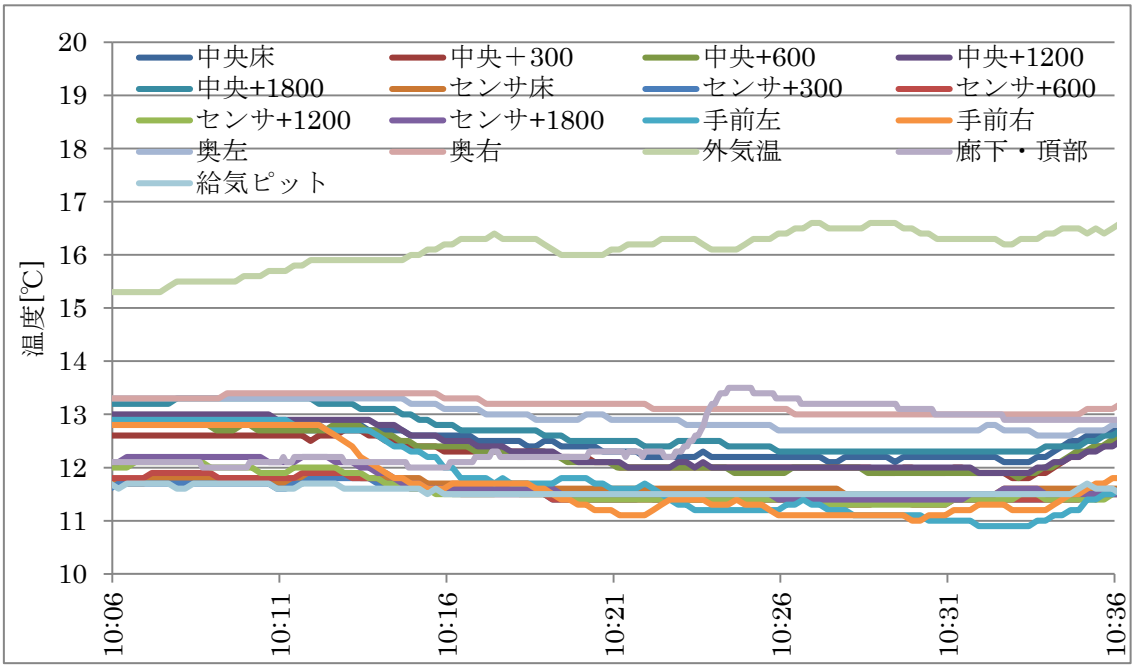


図２－１４　実験①　各測定点における温度変化

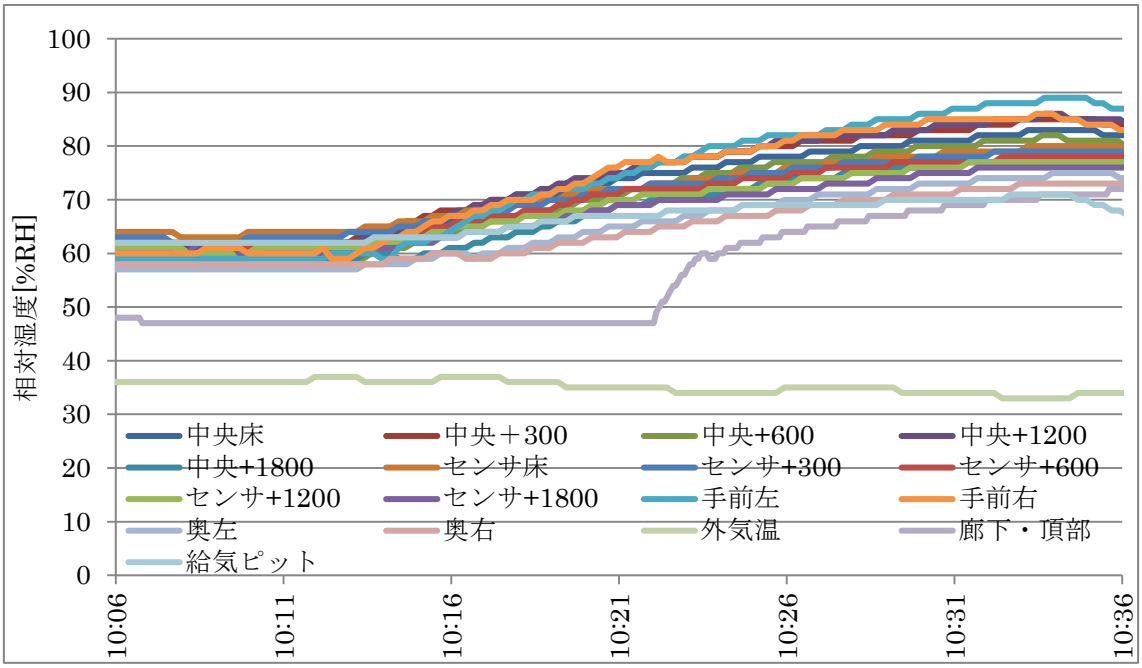


図２－１５　実験①　各測定点における相対湿度変化

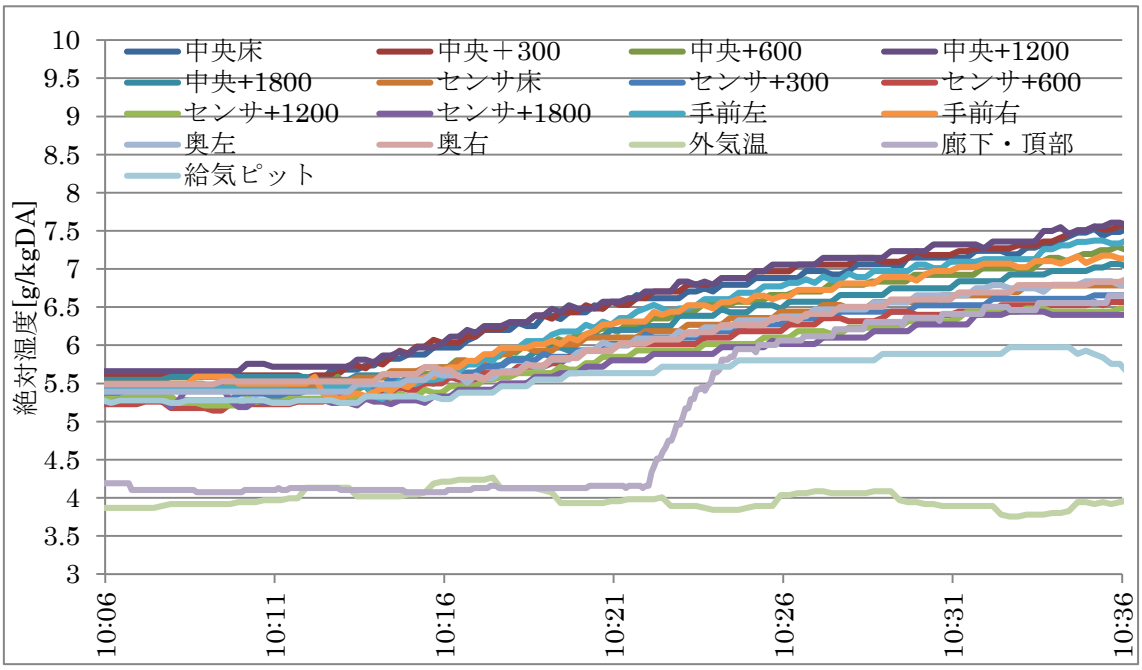


図２－１６　実験①　各測定点における絶対湿度変化

■高さ 1200mm5 点での平均値（4，11，12，13，14）

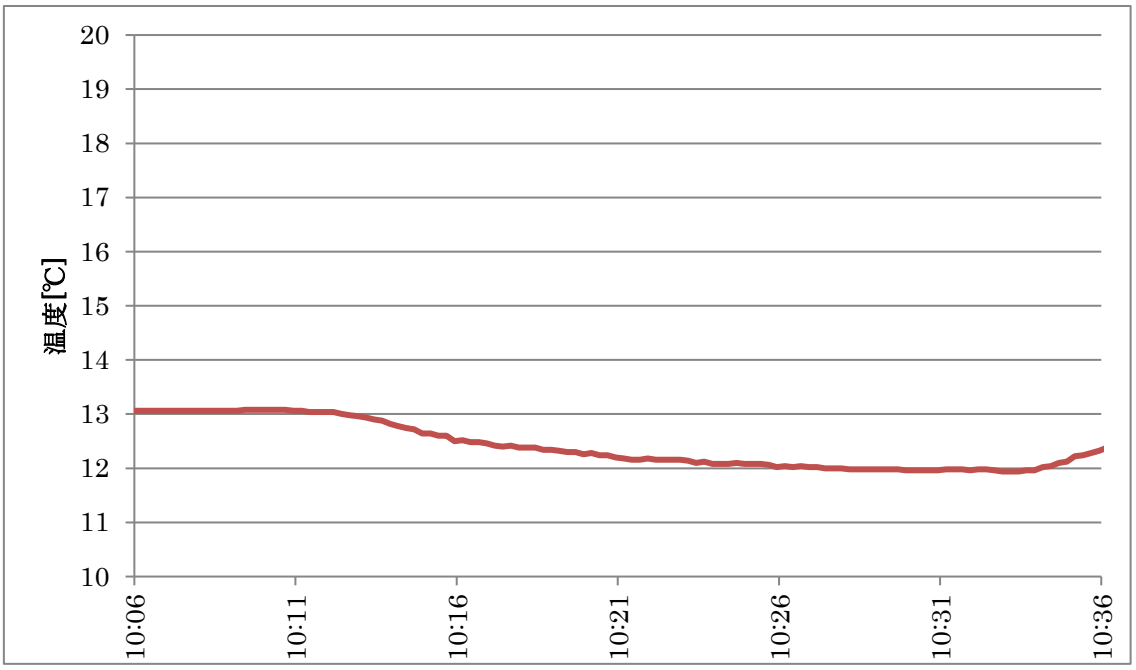


図２－１７　実験①高さ 1200mm の 5 点平均温度

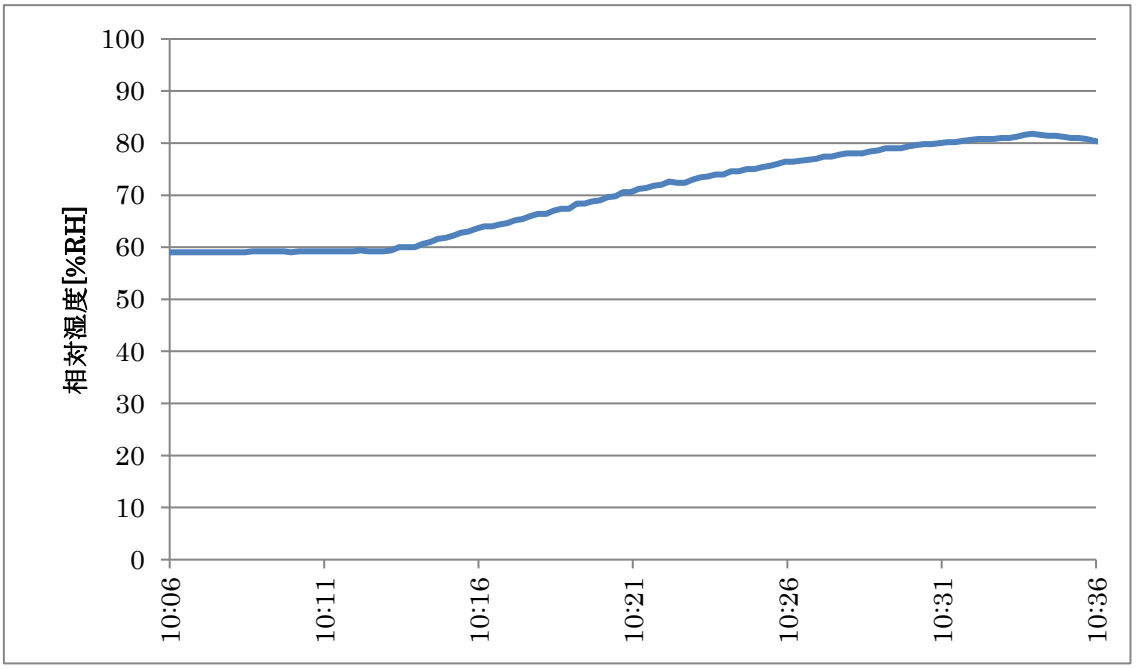


図２－１８　実験①高さ 1200mm の 5 点平均相対湿度

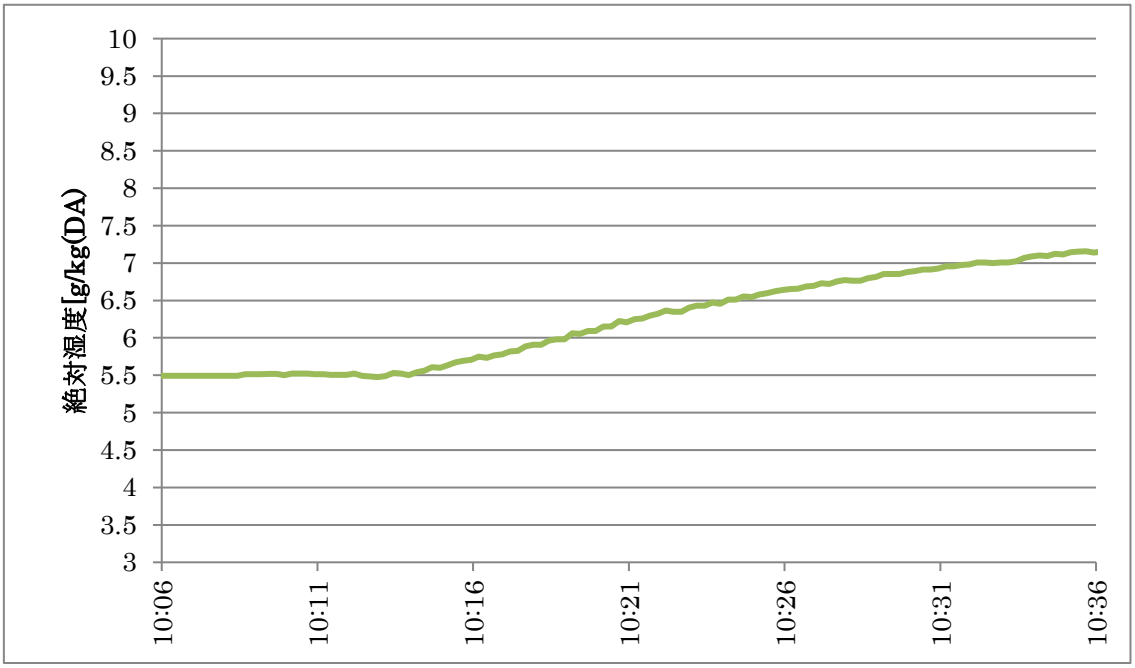


図２－１９　実験①高さ 1200mm の 5 点平均相対湿度

■湿り空気線図にプロットした図

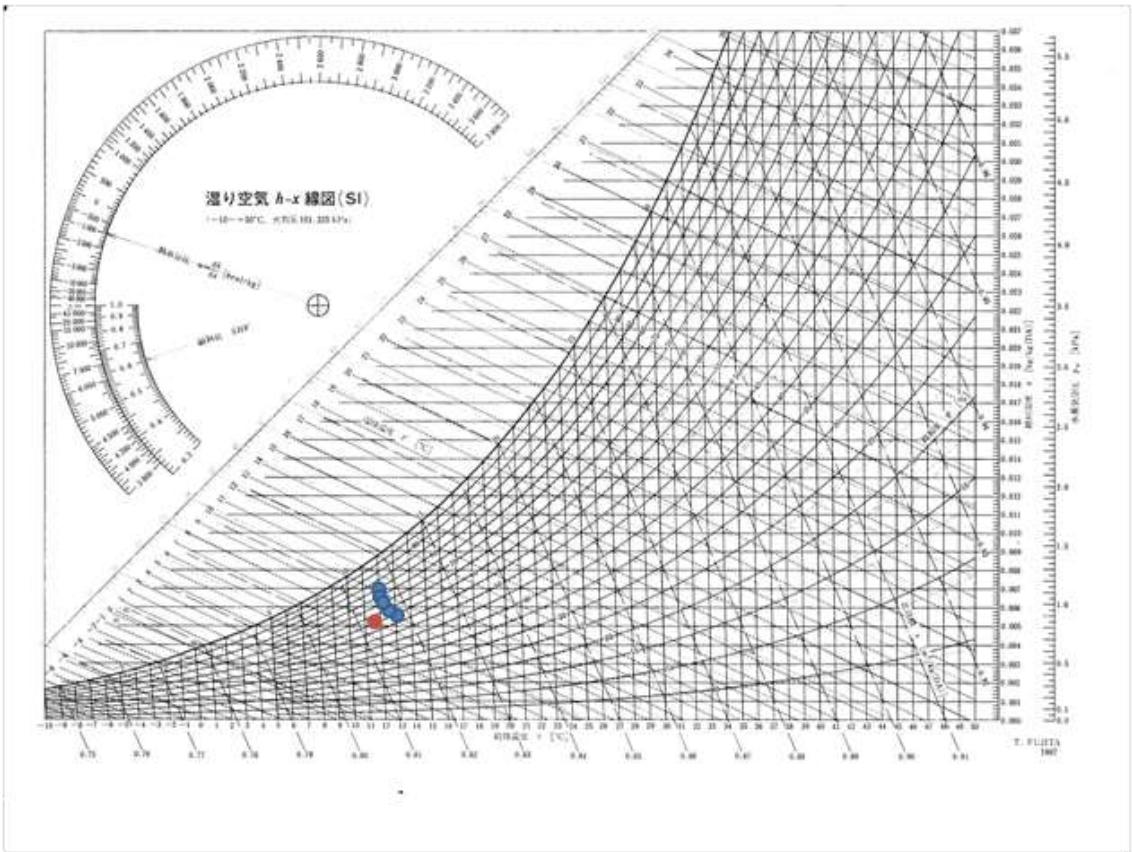


図２－２０　実験①における湿り空気線図上での変化（●：給気空気　●：室内空気）

■考察

実験①は、室温が平均 13℃、相対湿度 59%の状態で測定を行った。ミストを 20 分間噴くことで、室内のどの測定点においても、温度が低下し、相対湿度が上昇している。室内 5 点（4，11，12，13，14）の平均を見ると相対湿度が約 20%、絶対湿度が 1.5g/kg(DA)程度上昇している。しかし、湿度が上昇しているにもかかわらず、室温は約 1℃しか低下していない。湿り空気線図を見ても、ドライミストの蒸発による空気の状態の変化であれば、等エンタルピー線上を移動するはずであるが、実際は等エンタルピー線よりも傾きが大きくなっている。その要因として、外気温が考えられる。この実験を行った時間は外気温の方が室温よりも高く、室内が外気によって暖められたと考えられる。

各測定点をみると、ミストに近い 4，11，12 はミスト噴霧開始から 15 分後には相対湿度が 80%を超えているが、窓側の 13，14 は 70%程度に留まっている。温度も 1.5～2℃程度窓側の方が高くなっており、このことからも外部の影響を受けていることが推察される。また、噴霧終了時には、室内 5 点の平均相対湿度が 80%となっており、床濡れもかなりひどかったことから、ミストを噴霧するには、もっと室温を上げる必要があると考えられる。

■外気温の影響について

ミスト噴霧前の状態から等エンタルピー変化をした時に、相対湿度が測定値と同じになる時の温度は 10.7℃、絶対湿度が測定値と同じになる時の温度は 9.5℃である。それぞれの場合に測定値の 13℃（噴霧開始時の値）にするために必要な熱量を以下の式（４）を使用して求める。

$q = C \times \rho \times V \times \Delta t$　　・・・（４）

q：熱量[kJ]
C：比熱=1.006[kJ/kg・K]
ρ：密度=1.2[kg/m^3]
V：室容積=600[m^3]
Δt：温度差[K]

相対湿度を合わせた場合（室温 10.7℃→12℃）

q=1.006×1.2×600×1.3=941.6[kJ]

絶対湿度を合わせた場合（室温 9.5℃→12℃）

q=1.006×1.2×600×2.5=1810.8[kJ]

外気温（16℃）と室温（13℃）の差から 20 分間に室内に流入してきた熱量を以下の式（５）から求める。

q=K×A×Δt×T/1000　　・・・（５）

q：熱量[kJ]
K：ガラスの熱貫流率=6.2[W/ m^2・K]
A：窓面積=30[m^2]
Δt：室内外温度差=4[K]
T：時間[s]

q=6.2×30×3×1200/1000=669.6[kJ]

上記の結果から、室内に流入してきたと考えられる熱量と、相対湿度を合わせた場合に必要な熱量との差は 272[kJ]，絶対湿度を合わせた場合との差は 1141.2[kJ]であった。この室内を 1℃上昇させるのに必要な熱量が 724.3[kJ]であることを考えると、絶対湿度を合わせた場合は少し差が大きいが、相対湿度を合わせた場合の差は小さく、近い値であると考えられる。このことから、外気温が室内の温度に少なからず影響を及ぼしていたと考えられる。

２）実験②

実験②は給気ピットを稼働し、室温 14℃，相対湿度 56%、飽差が 7.04hPa と実験①に近い状態で行った実験である。ミスト噴霧時間は 11：10～11：30 の 20 分間。ミスト噴霧開始直後から感水試験紙で床および机上の濡れが確認でき、噴霧終了時には、実験①と同様にひどく濡れていた。各測定点での測定結果および絶対湿度算出結果を図３－１１から図２－２３に示す。床面からの高さ 1200mm での５測定点 4，11，12，13，14 の平均値を図２－２４から図２－２６に示す。また、平均値を５分毎に湿り空気線図にプロットした図を図２－２７に示す。

■各測定点測定結果

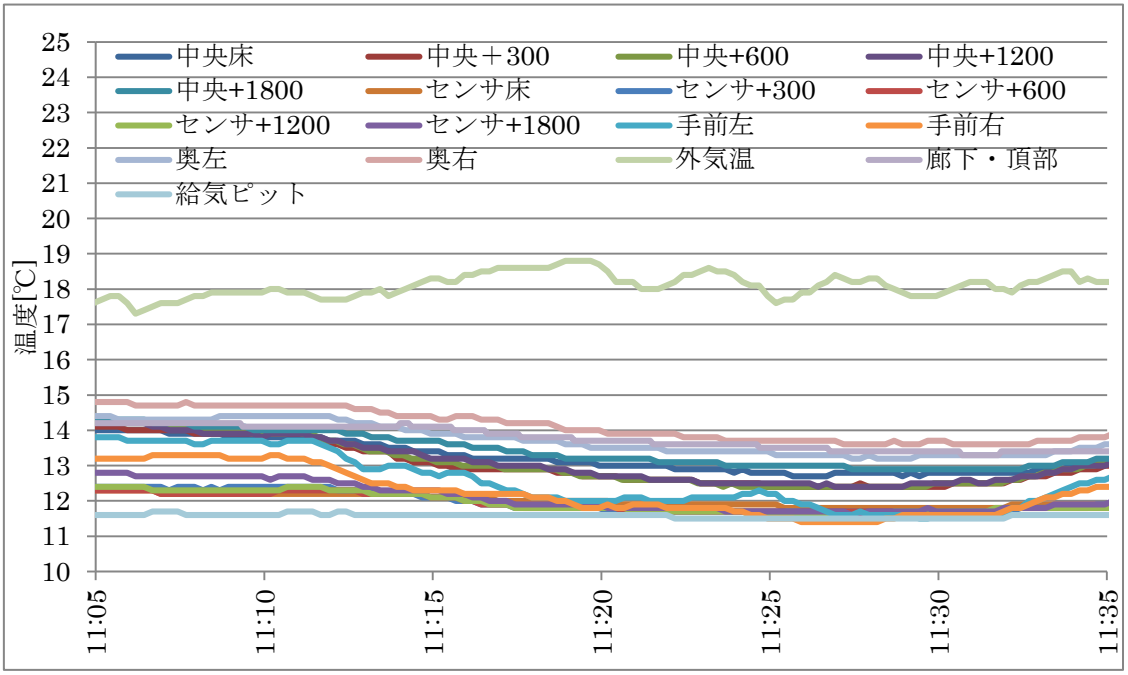


図２－２１　実験②　各測定点における温度変化

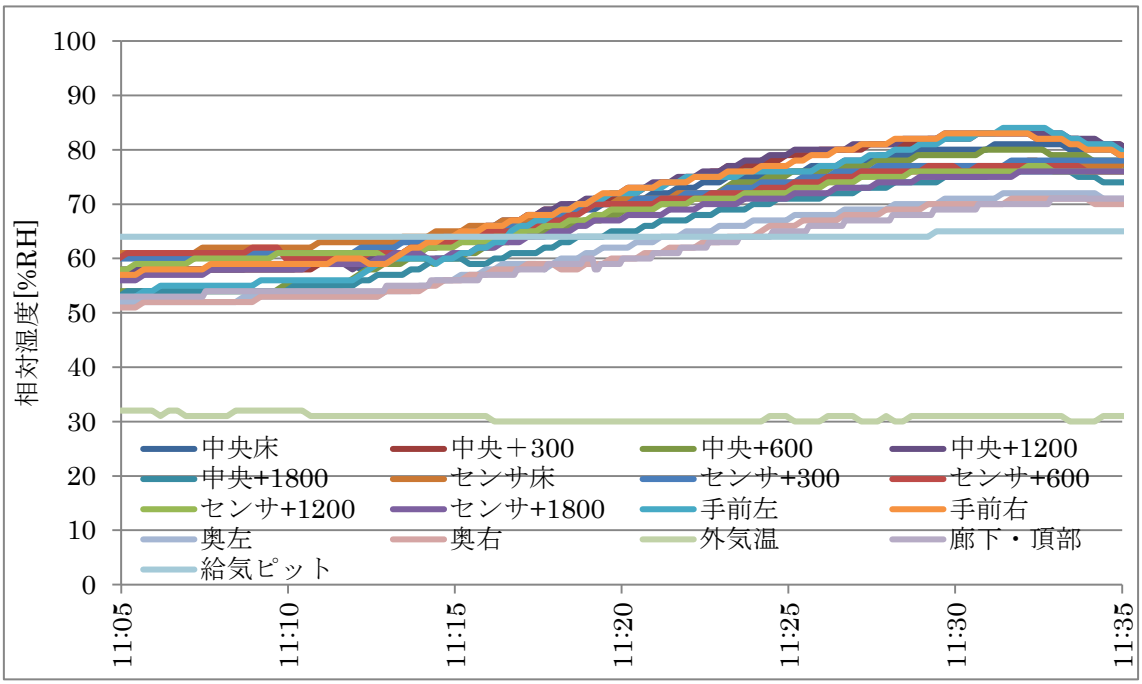


図２－２２　実験②　各測定点における相対湿度変化

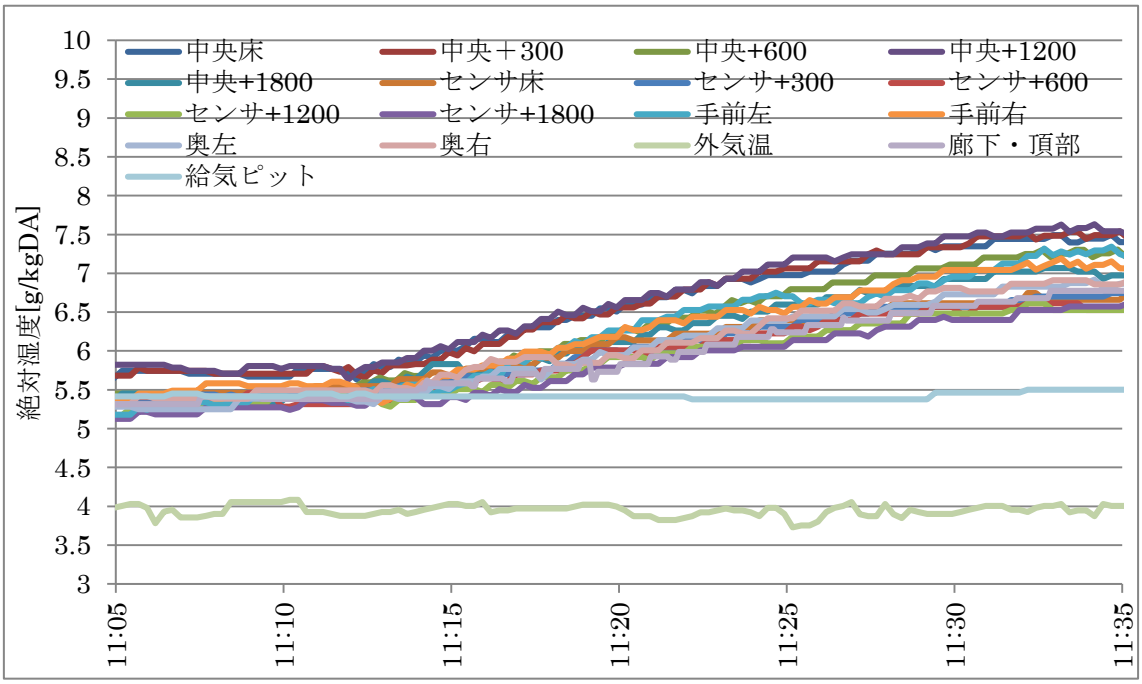


図２－２３　実験②　各測定点における絶対湿度変化

■高さ 1200mm5 点での平均値（4，11，12，13，14）

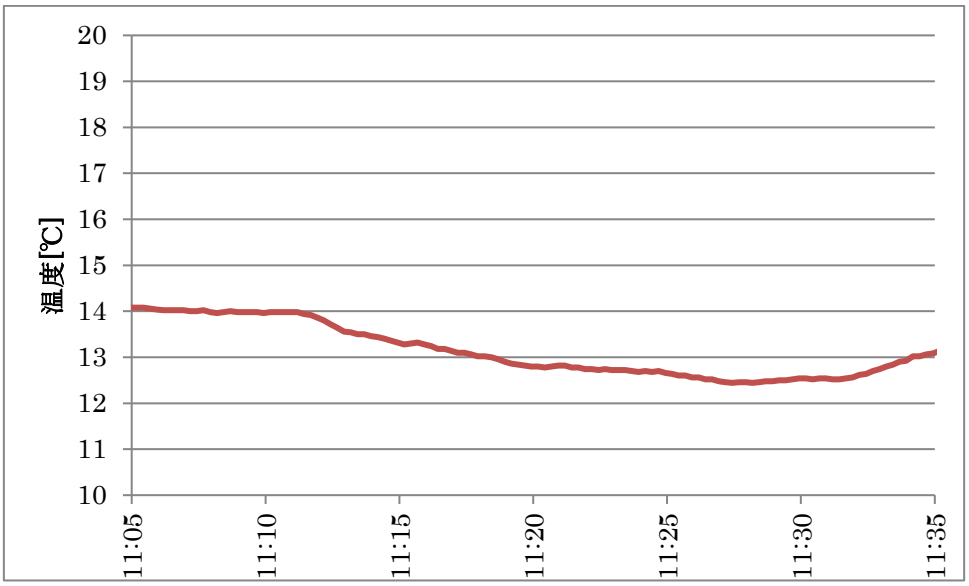


図２－２４　室内 5 点での温度測定結果

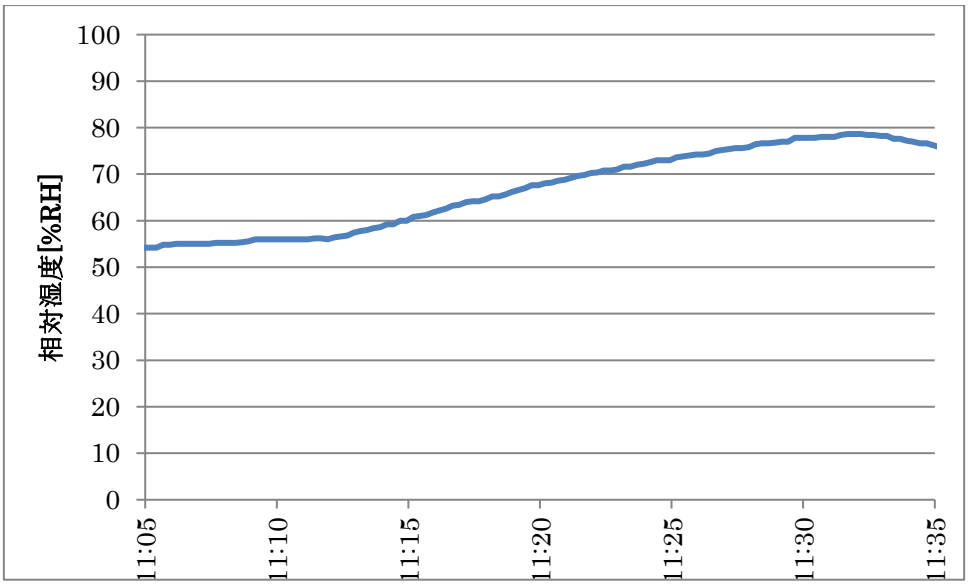


図２－２５　室内 5 点での相対湿度測定結果

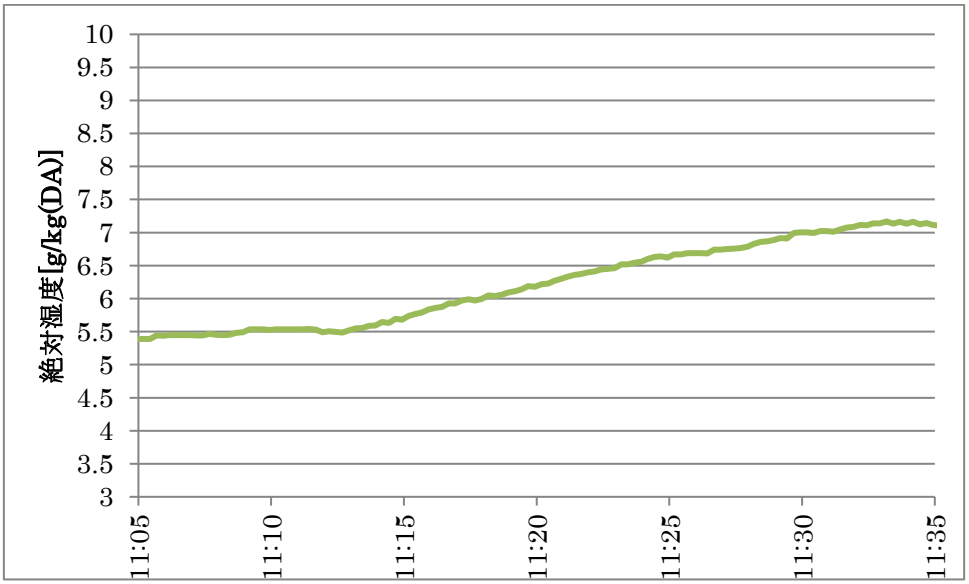


図２－２６　室内５点での絶対湿度算出結果

■湿り空気線図にプロットした図

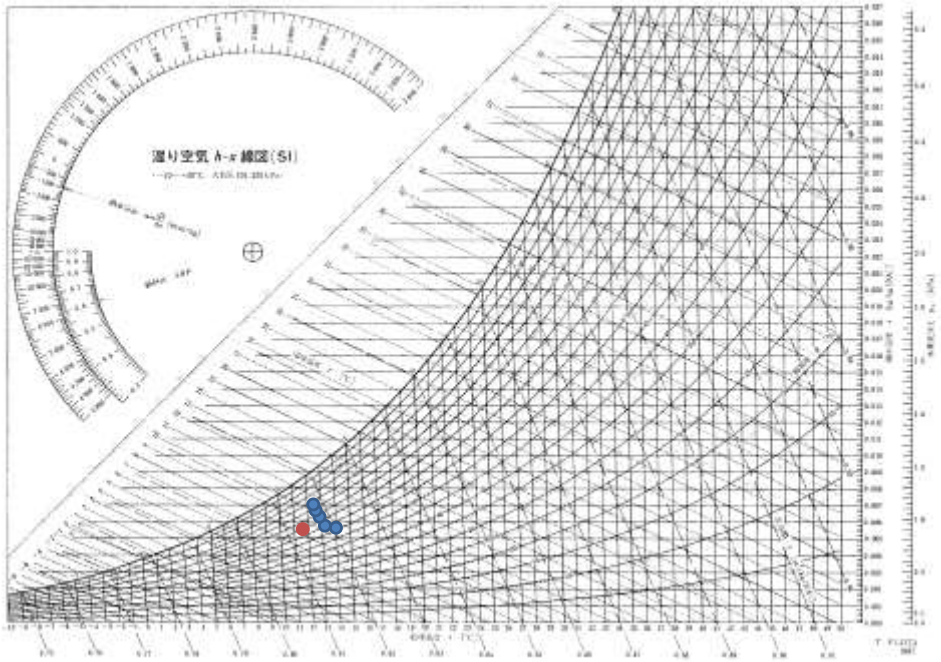


図２－２７　実験②における湿り空気線図（●：給気　●：室内）

■考察

実験②は、平均室温 14℃、相対湿度 56%の状態で行った。ミストを 20 分間噴くことで、室内のどの測定点においても、温度が低下し、相対湿度が上昇している。室内 5 点（4，11，12，13，14）の平均を見ると実験①と同様に相対湿度が約 20%、絶対湿度が 1.5g/kg(DA)程度上昇しているが、室温は 1.5℃程度しか低下していない。また、湿り空気線図についても等エンタルピー線よりも傾きが大きくなっている。これは、実験②を行った時間も外気温の方が室温よりも高くその影響を受けていると考えられる。

各測定点の値をみると、噴霧開始から 15 分後の時点では、室内中央 1200mm のみ相対湿度が 80%を超えている。他の測定点も 80%近い値にはなっているが、実験①で 80%を超えていた 11，12 はそれぞれ 76%、78%となっている。噴霧終了時の室内 5 点の平均相対湿度も 77.6%と実験①と比べて低くなっている。しかし、この実験でも噴霧開始直後から床濡れが生じており、噴霧終了時には、実験①同様、目視ではっきりわかる程度のひどい濡れが生じていたので、さらに室温を高くし、よりミストが蒸発しやすい状態で噴霧する必要がある。

■外気温の影響について

実験①と同様の計算を式（4），式（5）を使用して実験②の場合で行う。

相対湿度を合わせた場合（室温 11.4℃→12.5℃）

q=1.006×1.2×600×1.1=796.8[kJ]

絶対湿度を合わせた場合（室温 10.7℃→12.5℃）

q=1.006×1.2×600×1.8=1303.8[kJ]

外気温（18℃）と室温（14℃）の差から 20 分間に室内に流入してきた熱量

q=6.2×30×4.5×1200/1000=892.8[kJ]

この結果から、実験①と同様に、外気温が室内の熱環境に影響を与えていた可能性は高いと考えられる。

３）実験③

実験③は、室温 18.5℃，相対湿度 44%，飽差 11.9hPa で測定を行った。ミストは 12：17～12：37 の 20 分間噴霧した。実験①②で、床濡れがひどかったため、ミストノズルの角度を 10°程度上向きにして実験を行った。噴霧開始後 10 分間床濡れは起こらなかったが、その後、感水試験紙で水滴が付着していることを確認できた。しかし実験①②のように目視で確認できるような濡れは起こらなかった。各測定点での測定結果および絶対湿度算出結果を図２－２８から図２－３０に示す。床面からの高さ 1200mm での５測定点 4，11，12，13，14 の平均値を図２－３１から図２－３３に示す。また、平均値を５分毎に湿り空気線図にプロットした図を図２－３４に示す。

■各測定点での測定結果

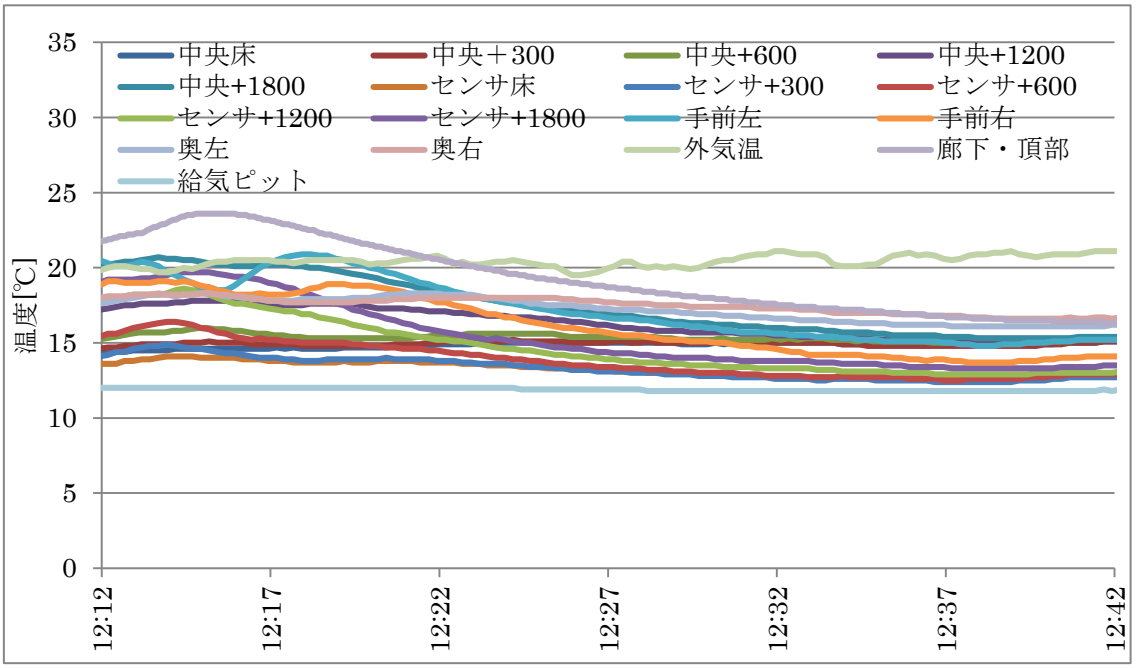


図２－２８　実験③　各測定点における温度変化

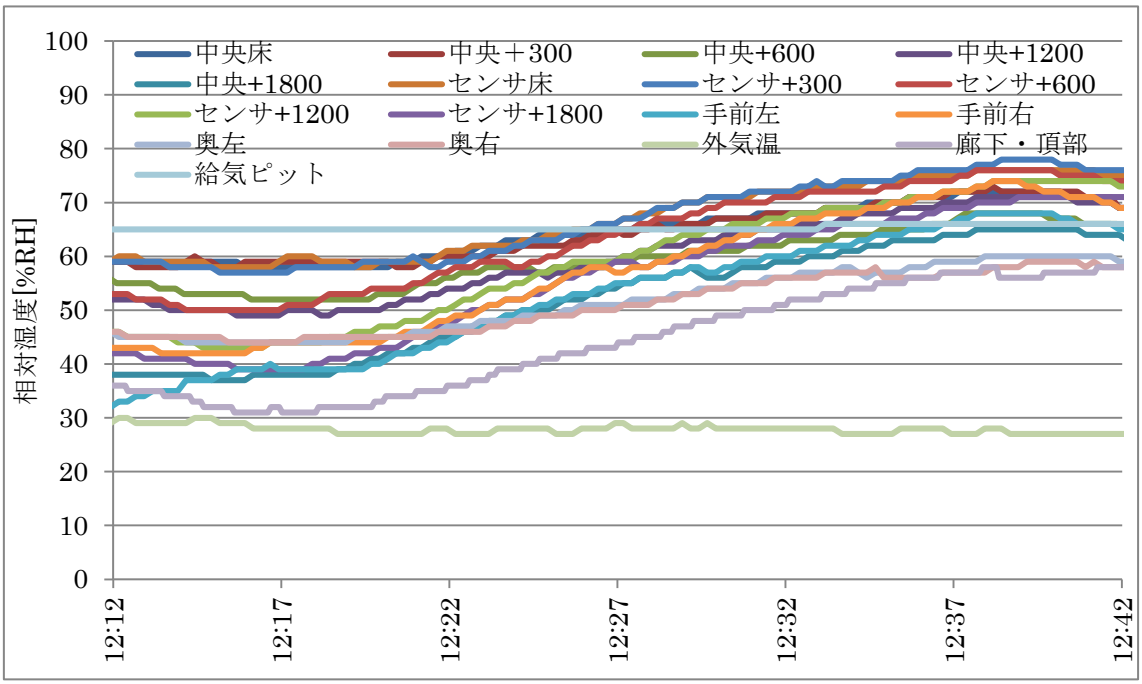


図２－２９　実験③　各測定点における相対湿度変化

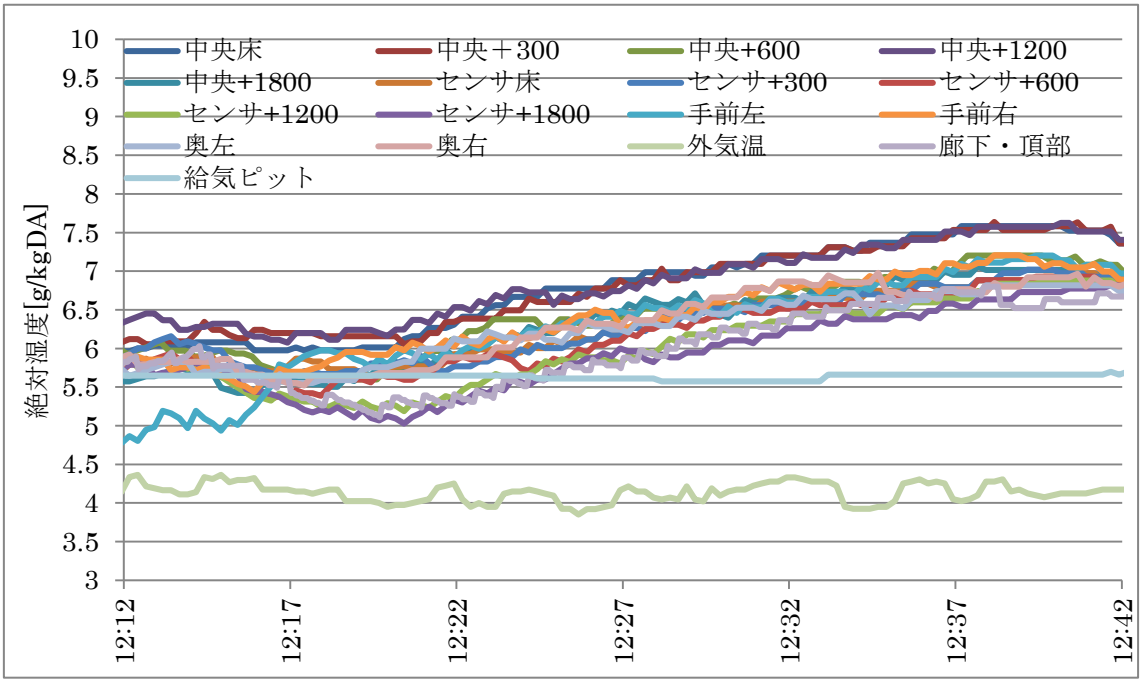


図２－３０　実験③　各測定点における絶対湿度変化

■1200mm5 点平均（4，11，12，13，14）

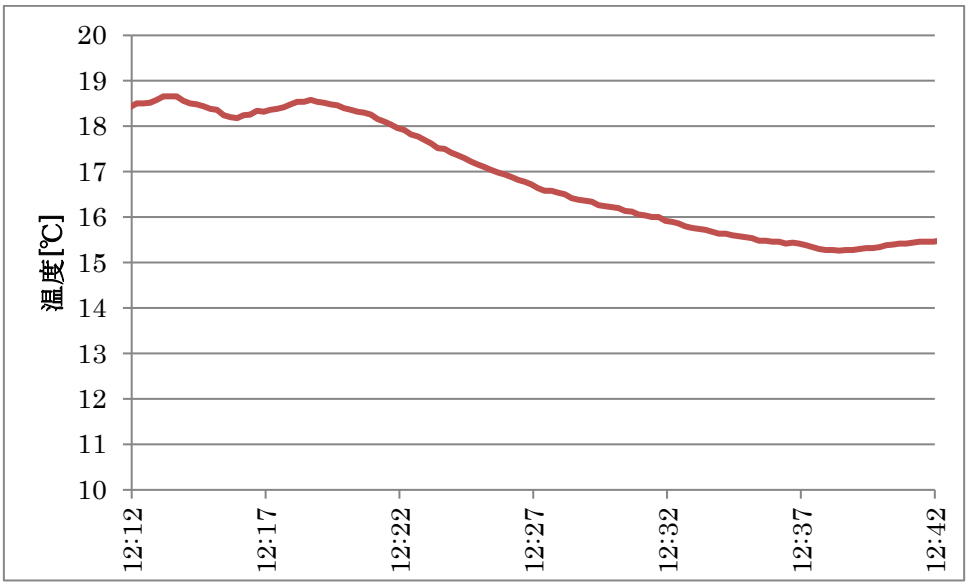


図２－３１　室内 5 点での温度測定結果

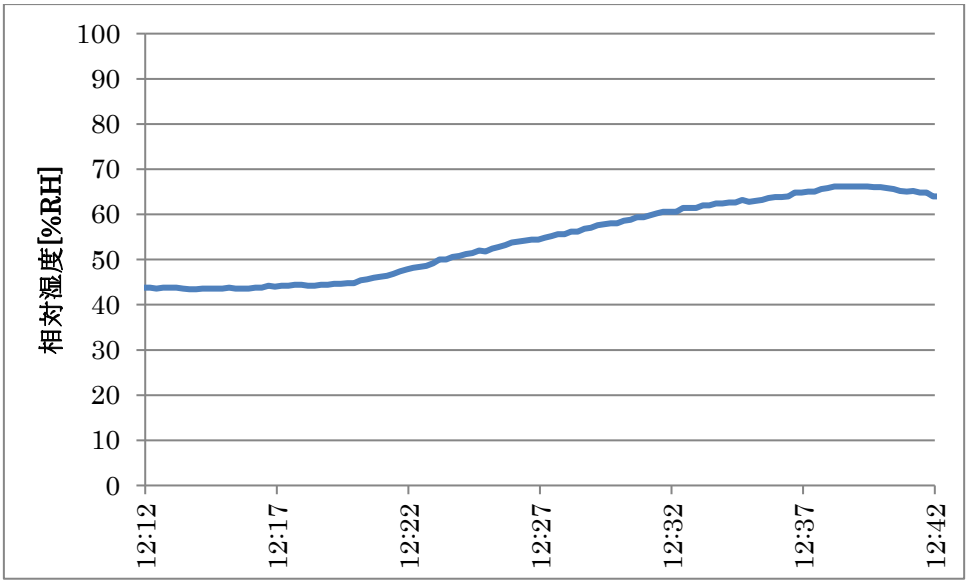


図２－３２　室内 5 点での相対湿度測定結果

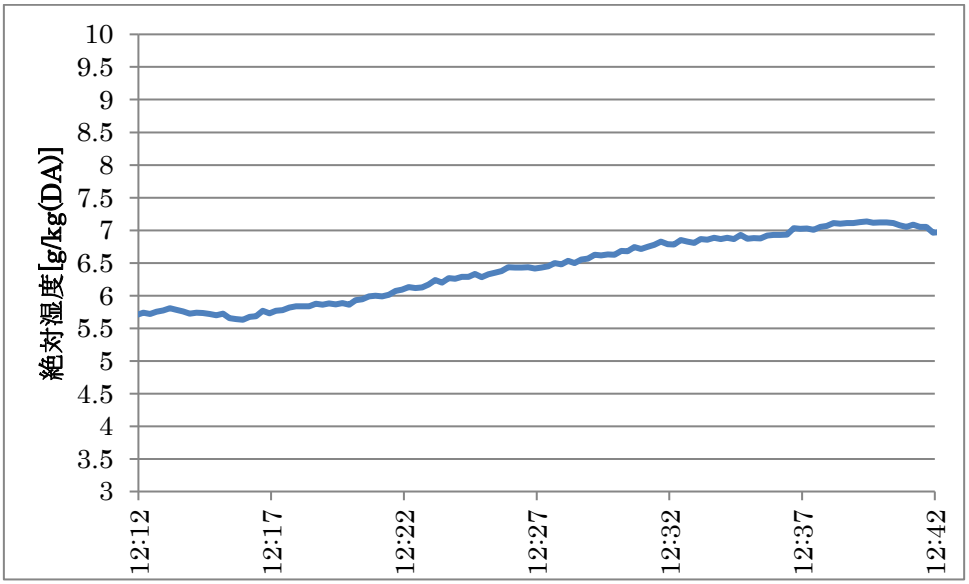


図２－３３　室内５点での絶対湿度測定結果

■湿り空気線図にプロットした図

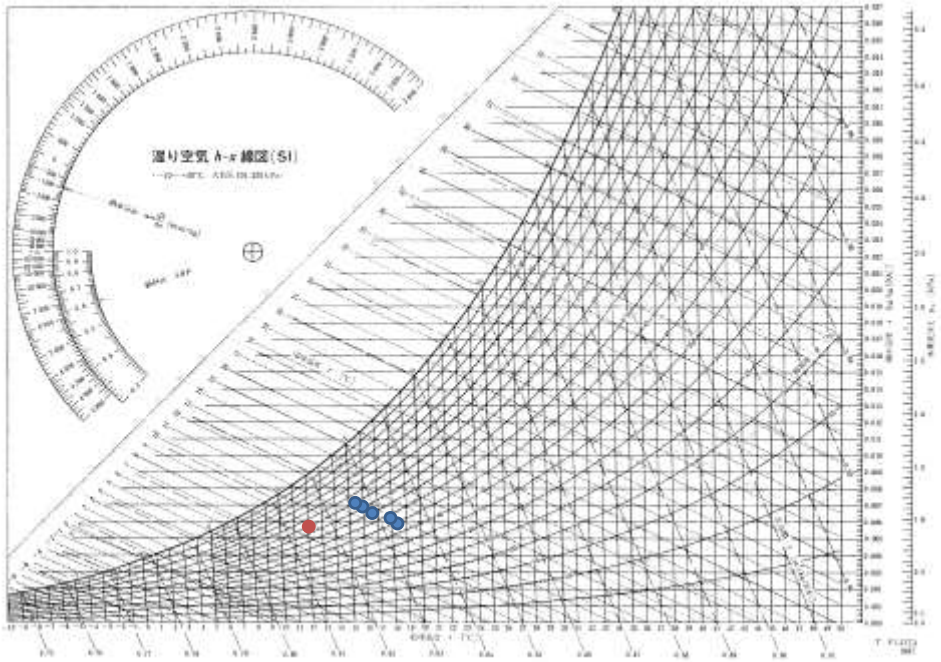


図２－３４　実験③における湿り空気線図（●：給気　●：室内）

■考察

実験③は平均室温 18.5℃、相対湿度 44%の状態で行った。ミストを 20 分間噴霧することで、室内 5 点の平均相対湿度が約 20%、絶対湿度が 1.3g/kg(DA)程度上昇している。実験③では、実験①②とは異なり、ミストの蒸発によって室温が低下し、湿り空気線図をみると室内空気は等エンタルピー変化をしている。これは、実験を開始した時の室温と外気温との差が小さくなったことが要因として考えられる。

各測定点を見ても、噴霧開始から 10 分後に 4（室内中央部の高さ 1200mm）の位置で相対湿度が 60%、同じ高さのミストに近い位置である 11，12 の位置では 55%，57%と 60%以下に留まっている。噴霧終了時にも最も高い値でも、センサー床部分とセンサー位置の 300mm の高さの 76%で、実験①,②と比較すると 10%程度低くなっており、床濡れも少なかった。

この結果から、この実験と同程度の条件で、さらに 3 分 on/ 1 分 off 等の間引き運転を行うことで床濡れのリスクを軽減し、室内を加湿することができると考えられる。

４）実験④

実験④はミスト噴霧前の室温 18.6℃，相対湿度 46%で、給気ピットを停止し、循環ファンを動かした状態で行った。ミストは 16：00～16：23 の 23 分間行った。床濡れは噴霧開始後１０分程度確認されず、その後感水試験紙によって、水滴の付着が確認できた。各測定点での測定結果および絶対湿度算出結果を図２－３５から図２－３７に示す。床面からの高さ 1200mm での５測定点 4，11，12，13，14 の平均値を図２－３８から図２－４０に示す。また、平均値を５分毎に湿り空気線図にプロットした図を図２－４１に示す。

■各測定点での測定結果

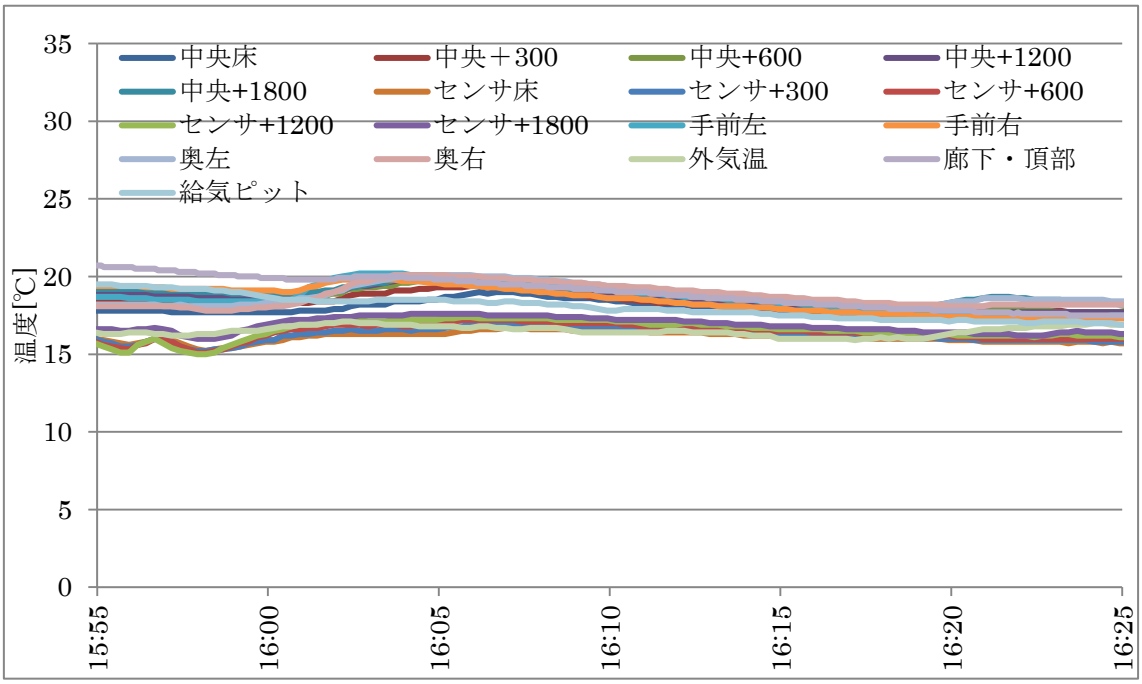


図２－３５　実験④　各測定点における温度変化

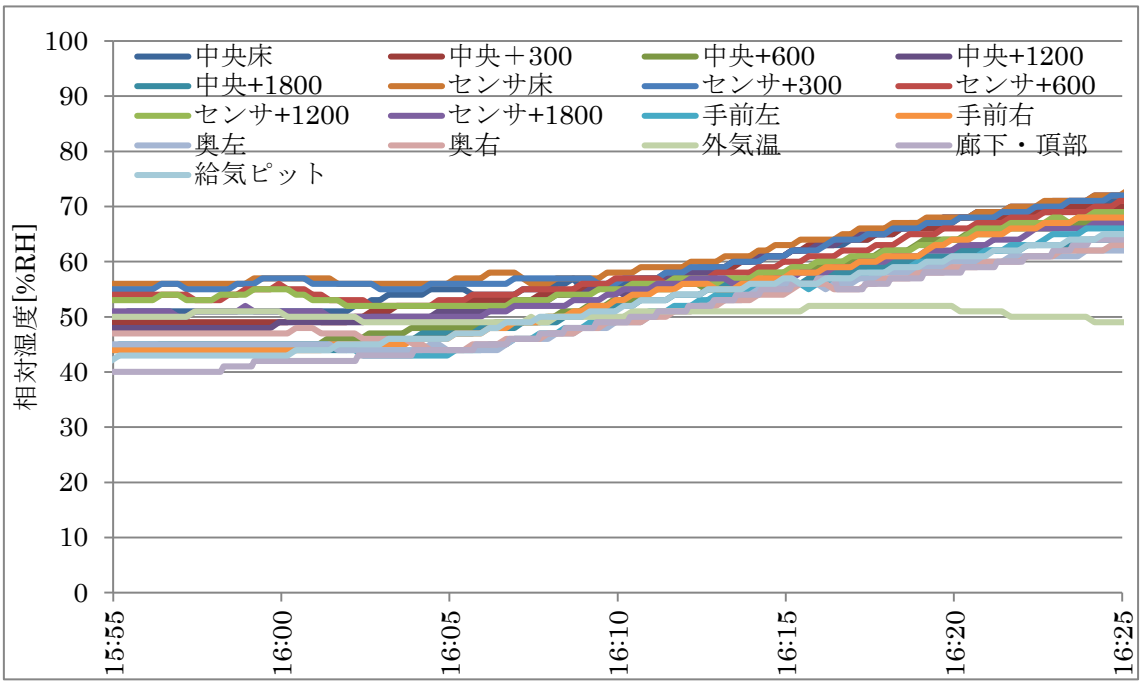


図２－３６　実験④　各測定点における相対湿度変化

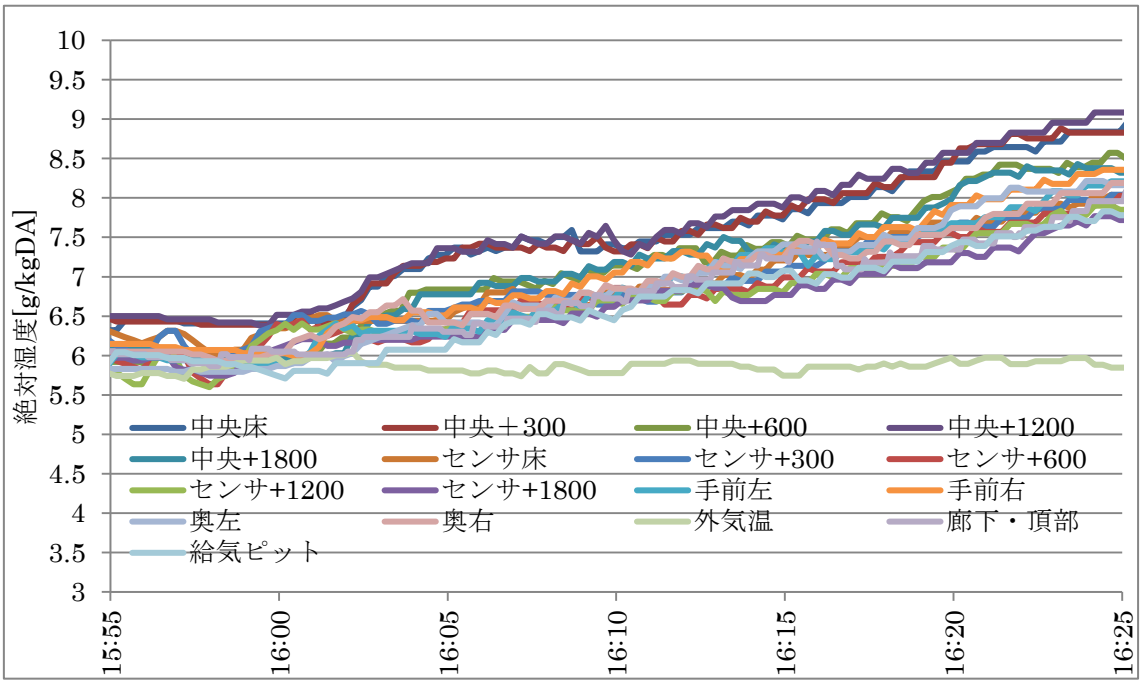


図２－３７　実験④　各測定点における絶対湿度変化

■1200mm5 点平均（4，11，12，13，14）

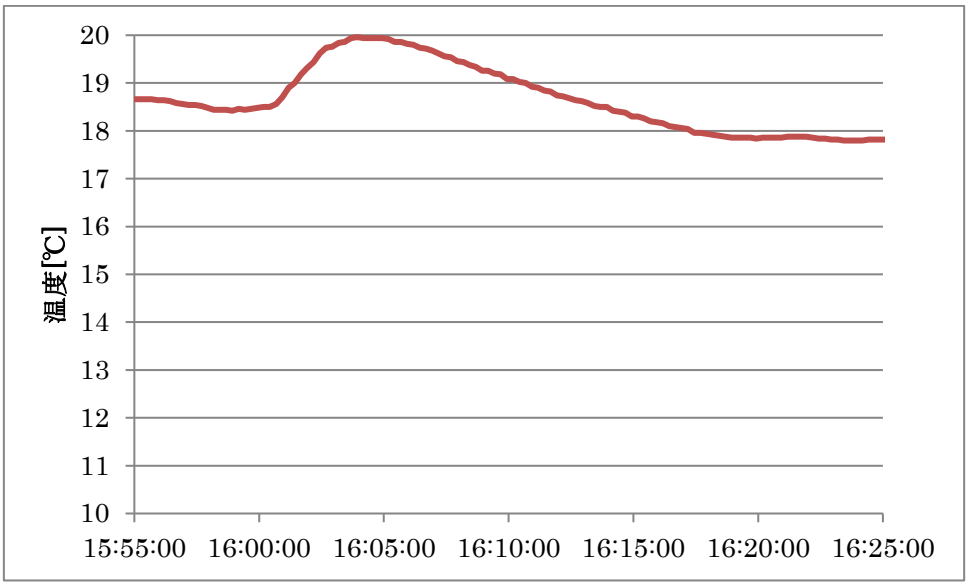


図２－３８　室内平均 5 点温度

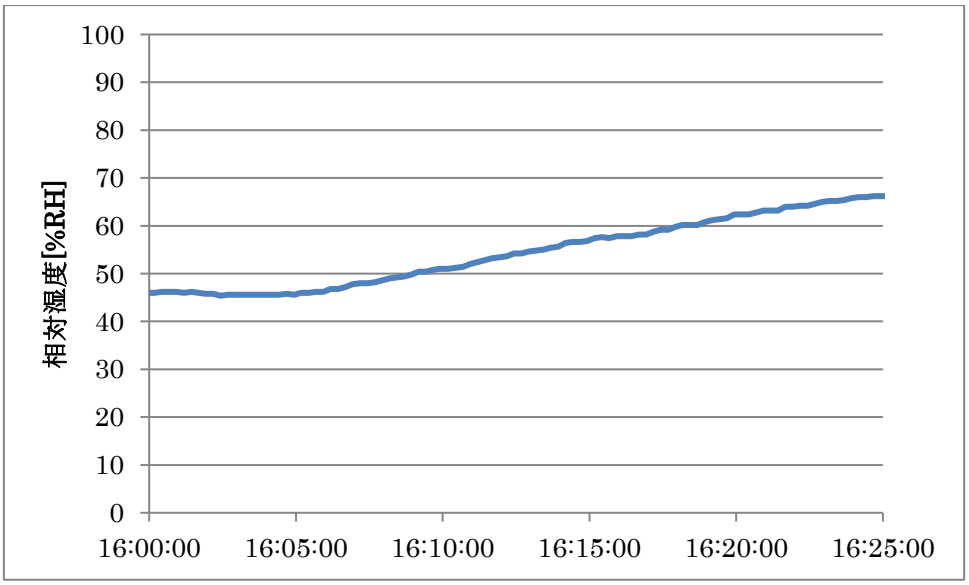


図２－３９　室内平均 5 点相対湿度

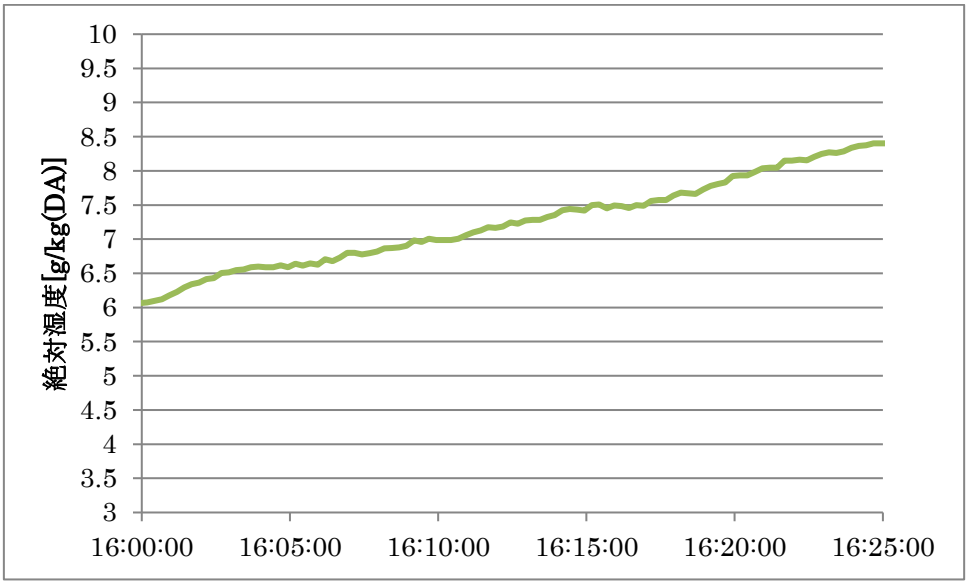


図２－４０　室内平均５点絶対湿度

■湿り空気線図にプロットした図

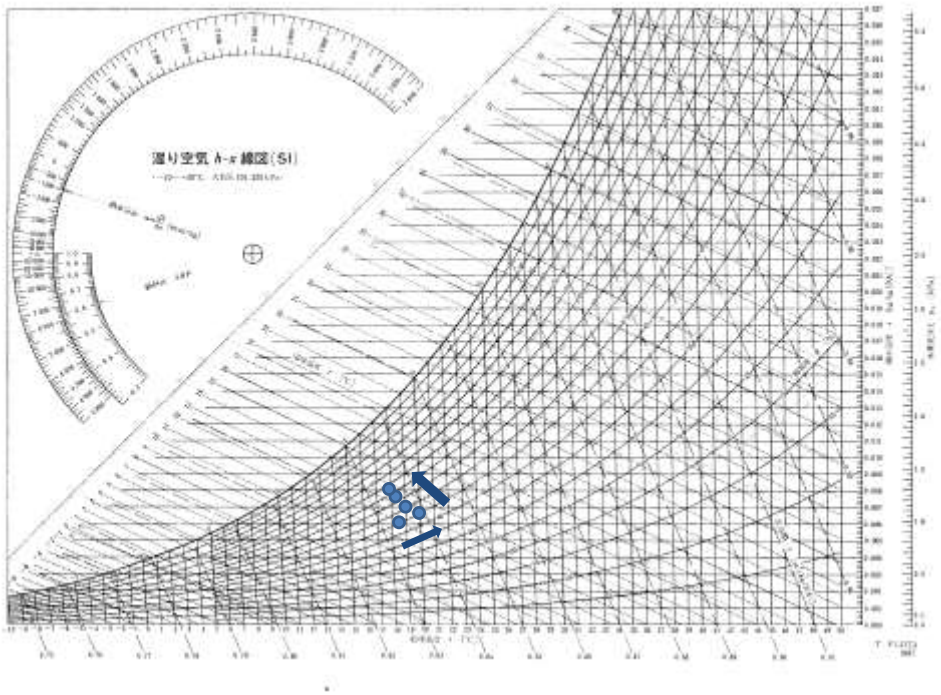


図２－４１　実験④における湿り空気線図
（給気ピットを止めているため室内平均のみプロット）

■考察

実験⑥は、給気ピットを停止し、循環ファンを稼働させた状態で行った。ミスト噴霧前の室温は 18.6℃、相対湿度 46%であり、ミストを 20 分間噴霧することで室温 17.9℃、相対湿度 62%となった。ミスト停止後 5 分間でさらに相対湿度、絶対湿度とも上昇しているのは、ミスト停止するのが遅れ、16：23 まで噴霧を続けてしまったためである。ミスト噴霧開始後に室温が上昇しているのは表に示している通り、ミスト噴霧を開始した 16：00 から日照時間が長くなり、その影響で室温が上がっていると考えられる。

測定点別にみると、センサーの床付近と、同じくセンサー+300 の位置の相対湿度が最も高くなっている。それは、循環ファンによって室内入口側の下方に空気が流れ、センサー付近に多くのミストが流れているためであると考えられる。絶対湿度に関しては、中央の測定値が一番高い値となっており、その値は 9g/kgDA と他の実験と比べても高い値になっている。室温が高く、噴霧終了時の 5 点の平均で 17.9℃（実験③では 15.4℃）であることが理由であると考えられる。

表２－４　日射の影響　気象庁　過去の気象データ　名古屋

時刻	日照時間（分）
15:40～15:50	0
15:50～16:00	3
16:00～16:10	8
16:10～16:20	8
16:20～16:30	10

５）各実験の比較

実験①②では、室温が 13℃，14℃と低い中で実験を行った。この 2 回の実験では、ミスト噴霧開始直後から、床や机上に濡れが生じていた。ミスト噴霧開始時の室内の飽差は表に示す通り、実験①が 6.1hPa，実験②が 7.0hPa であった（式（１），（２）より算出)。これに対して、室温 18.5℃で実験を行い、濡れの少なかった実験③の飽差は、11.9hPa であった。絶対湿度の上昇量はほとんど同じであったが、濡れの状況から飽差の大きかった実験③ではミスト噴霧後ノズルに近い位置で蒸発していると考えられる。反対に、飽差の小さかった実験①と②ではミストがすぐに蒸発することなく、床面付近にも多くのミストが到達し、濡れに繋がったと考えられる。

実験④では、①～③とは違い、給気ピットを停止し、循環ファンを稼働させて行った。ミスト噴霧開始時の飽差は 11.5hPa で、実験③とほとんど同じ値であった。ミスト噴霧開始時刻から室温が 20℃まで上昇していることもあり、床濡れは実験③と同様にあまり見られなかった。

これらの結果から、飽差の大小が濡れるかどうかに大きく影響していると考えられる。

表２－５　各実験でのミスト噴霧開始時の飽差

	実験①	実験②	実験③	実験④
飽差[hPa]	6.14	7.04	11.93	11.50

２．２．４　蒸発率による考察

下記のザイデルの式を用いて、噴霧したミストが全て蒸発した場合の絶対湿度と、実測値の絶対湿度からミストの蒸発率を求めた。

$$x = x_0 + (x_s - x_0) \times e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{M}{Q}(1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \qquad (6)$$

x：絶対湿度 [g/kg(DA)]

x_0：給気空気の絶対湿度 [g/kg(DA)]

x_s：開始時の絶対湿度 [g/kg(DA)]

Q：換気量 [m^3/min]

V：室容積 [m^3]

M：室内の水蒸気発生量（ミスト蒸発量） [g/min]

M = ミスト噴霧量(g/min) × 蒸発率(%)

t ：ミスト噴霧時間[min]

実験④に関しては、給気ピットを停止しており、換気を 0m^3/minとして、以下の式から算出した。

$$x = x_s + \frac{M \times t}{V \times 1.2} \qquad (7)$$

x：絶対湿度 [g/kg(DA)]

V：室容積 [m^3]

M：室内の水蒸気発生量（ミスト蒸発量） [g/min]

M = ミスト噴霧量(g/min) × 蒸発率(%)

t ：ミスト噴霧時間[min]

表２－６　各実験における蒸発率

	室内絶対湿度	給気絶対湿度	室容積	給気量	時間	噴霧量	蒸発率	噴霧後絶対湿度
開始時刻	g/kgDA	g/kgDA	m3	m3/min	分	g/min	%	g/kgDA
実験① 10:11	5.513	5.244	600	33.33	5	100	41.7	5.751
10:16	5.751	5.244	600	33.33	5	100	85.7	6.252
10:21	6.251	5.244	600	33.33	5	100	88.4	6.650
10:26	6.65	5.244	600	33.33	5	100	89.5	6.960
10:11～10:31	5.513	5.244	600	33.33	20	100	80.9	6.961
実験② 11:10	5.534	5.451	600	33.33	5	100	31.0	5.739
11:15	5.739	5.451	600	33.33	5	100	75.2	6.216
11:20	6.216	5.451	600	33.33	5	100	87.6	6.668
11:25	6.668	5.451	600	33.33	5	100	86.6	7.003
11:10～11:30	5.534	5.451	600	33.33	20	100	75.8	7.004
実験③ 12:17	5.768	5.649	600	33.33	5	100	53.5	6.128
12:22	6.128	5.649	600	33.33	5	100	57.2	6.428
12:27	6.428	5.649	600	33.33	5	100	74.3	6.780
12:32	6.78	5.649	600	33.33	5	100	71.6	7.027
12:17～12:32	5.768	5.649	600	33.33	20	100	66.5	7.026
実験④ 16:00	6.073	－	600	0	5	100	81.5	6.639
16:05	6.639	－	600	0	5	100	50.4	6.989
16:10	6.989	－	600	0	5	100	73.5	7.499
16:15	7.499	－	600	0	5	100	62.6	7.934
16:00～16:20	6.073	－	600	0	20	100	67.0	7.934

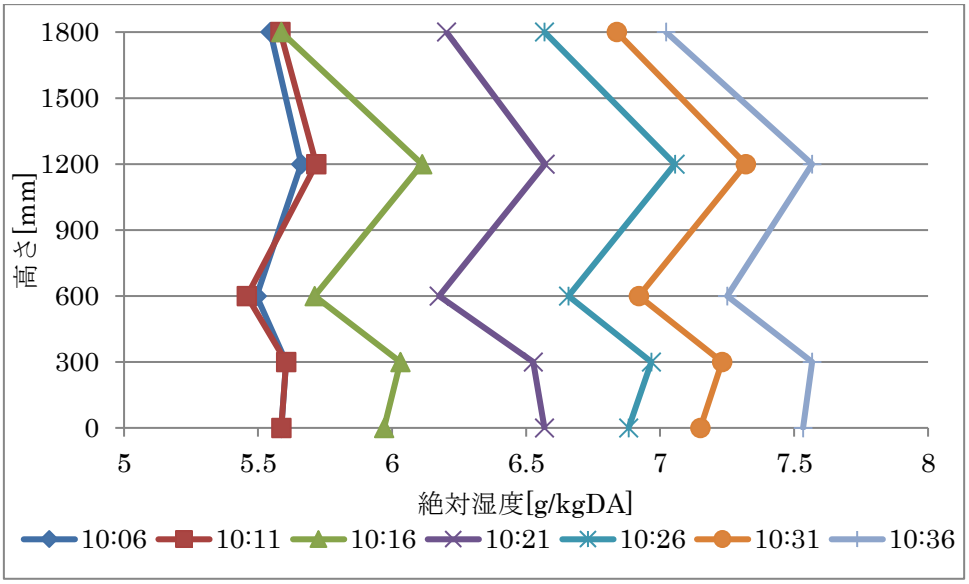


図２－４２　実験①室内中央部の垂直方向絶対湿度分布

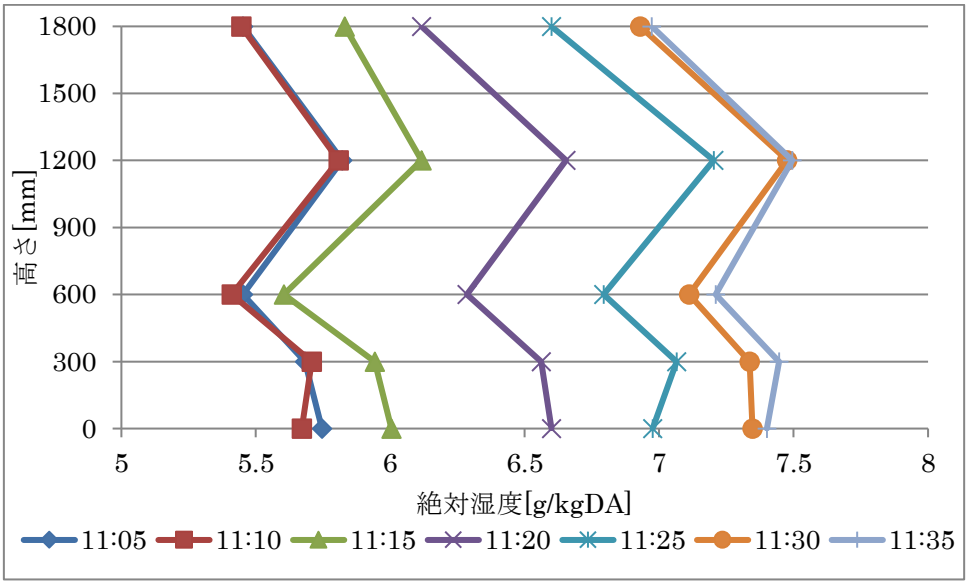


図２－４３　実験②室内中央部の垂直方向絶対湿度分布

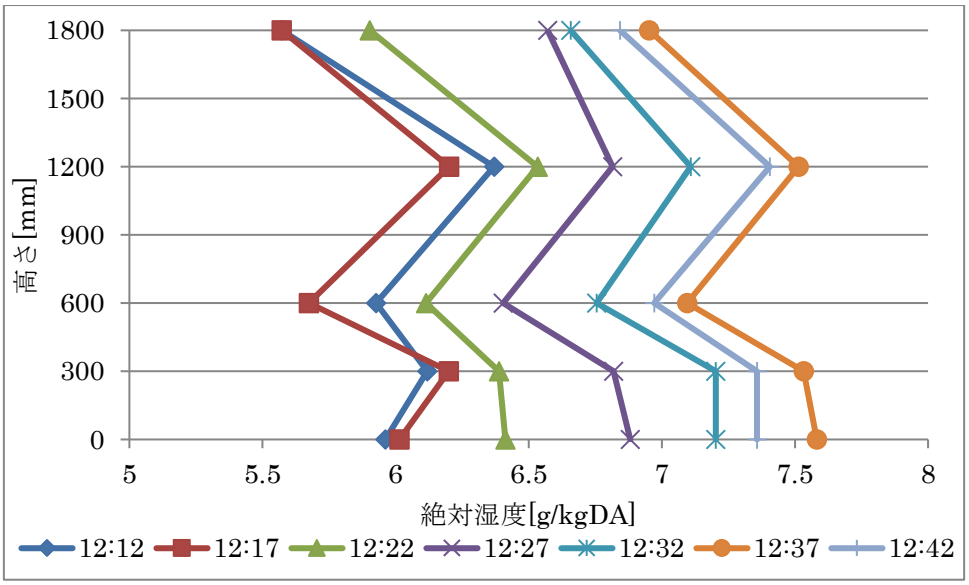


図２－４４　実験③室内中央部の垂直方向絶対湿度分布

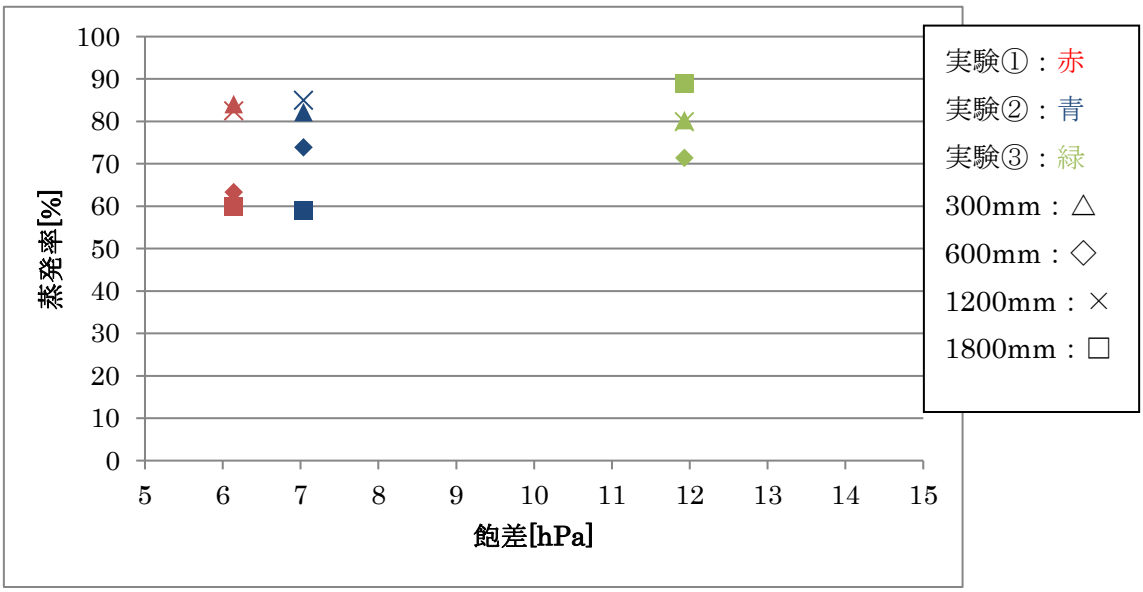


図２－４５　実験①②③の飽差と蒸発率

・考察

表２－６の蒸発率算出結果を見ると、噴霧開始直後から、床や机上の濡れが目立った実験①②では最初の５分間の蒸発率がそれぞれ 41.7%, 31.0%と他と比べて低くなっている。しかし、それ以降は室温の高い状態で測定した実験③④よりも高い蒸発率となっている。20 分間でみても蒸発率は実験①で 80%を超えており噴霧したミストの多くが蒸発したという結果になっている。噴霧終了時の相対湿度が 80%を超えており、同じ給気ピットを稼働させて行った実験③と比較しても蒸発しにくい環境であったにも関わらず、15%程度実験①の方が高くなっている。しかし、実際には、飽差の小さい実験①②では濡れがひどく、実験③よりも多く蒸発しているとは考えられない。

そこで、図２－４５にミスト噴霧開始時の飽差とミスト噴霧開始から 10 分間の蒸発率のグラフを示す。図２－４２～図２－４４の垂直方向の絶対湿度分布をみるとミストを噴霧する前から 300mm と 1200mm の絶対湿度が高くなっており、ミスト噴霧後も変わっていない。図の 300mm と 1800mm の蒸発率を比較すると実験①と②では 300mm の方が 20%程度高くなっている。実験③では、1800mm の方が 300mm よりも高い値となっている。実験③のミスト噴霧前の 300mm の絶対湿度が 1800mm の絶対湿度よりも 0.6g/kg(DA)程度高かった影響も考えられるが、飽差が小さい場合と比較して蒸発率の差が小さいと考えられる。つまり、飽差が小さい環境では測定している床上 300mm から 1800mm の間で蒸発するミストの量が多く、飽差が大きい場合は測定点よりも上部で蒸発し、床面から 1800mm よりも下での蒸発は少ないと考えられる。

２．３　数値計算による蒸発率の算出

■算出方法

飽差と蒸発率が線形関係であるとして、以下の式（８）によって、微小時間後（温度の測定間隔である 15 秒後）の温度を算出した。定数 a にミスト噴霧量 M を乗じた値を水蒸気発生量としているため、a と M の積を蒸発率と定義している。a の値は実験①でのミスト噴霧開始から 15 秒の蒸発率が 50%になる時の値（=0.0814）に設定した。初期条件の飽差は測定した温度と絶対湿度によって算出し、ミスト噴霧開始後は測定した温度と式（８）によって算出した絶対湿度を使用し、15 秒後の値を式（１），（２）によって求めた。

$$\partial x = \frac{(a \cdot E_d \cdot M + x_p \cdot Q \cdot \rho - x \cdot Q \cdot \rho)}{V \cdot \rho} \cdot \delta t \qquad (8)$$

∂x：絶対湿度の変化量[kg/kg(DA)]，a：定数，E_d：飽差[hPa]，
x_p：給気ピットの絶対湿度[kg/kg(DA)]，
Q：風量=0.56[m^3/s]，
ρ：空気密度=1.2[kg/m^3]，x：室内絶対湿度[kg/kg(DA)]，
V：室容積=677.1[m^3]，t：時間[s]

■算出結果

実験①～④の蒸発率の算出結果を図２－４６に示す。x 軸はミスト噴霧開始時刻を 0 とし 1200 秒（20 分）までのデータを掲載している。実験①での噴霧開始から 15 秒の蒸発率が 50%になるように定数 a を設定したが、同じ値を使用すると実験③，④では 90%を超える蒸発率となっている。ミスト噴霧終了時の 1200 秒でも蒸発率は 50%を超えている結果となった。

図２－４７には絶対湿度の算出結果と実測結果を示す。計算結果の絶対湿度の上昇量を見ると、実験④での上昇量が他の実験と比較して大きくなっている。これは、給気ピット稼働させた場合、室内空気よりも絶対湿度の低い空気を供給していたため、除湿をしている状態になっていたが、実験④では給気ピットを停止して実験を行ったため上昇量が高くなっていると考えられる。図２－４７で実測値と比較すると、飽差の小さい環境で実験を行った①，②では絶対湿度の差が大きく、実測値の方がそれぞれ 0.99g/kg(DA),0.74g/kg(DA) 高い結果となった。実験③と④でも、実測値の方が高いが、差が小さくなっている。このことから、２．２．３での考察にもあるように実験①②では外気の影響を大きく受けていた可能性が高く、そのことがこの計算結果にも影響していると考えられる。

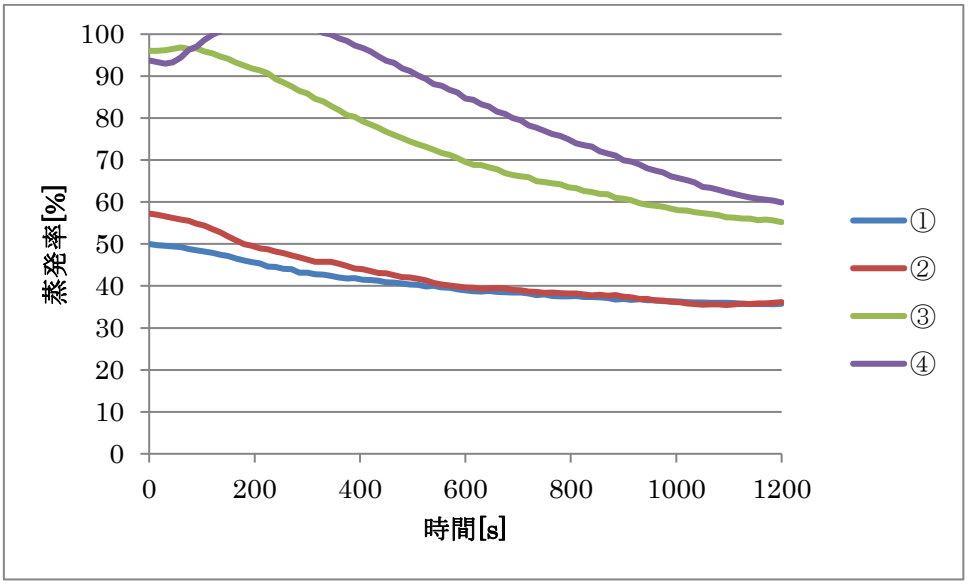


図２－４６　蒸発率算出結果

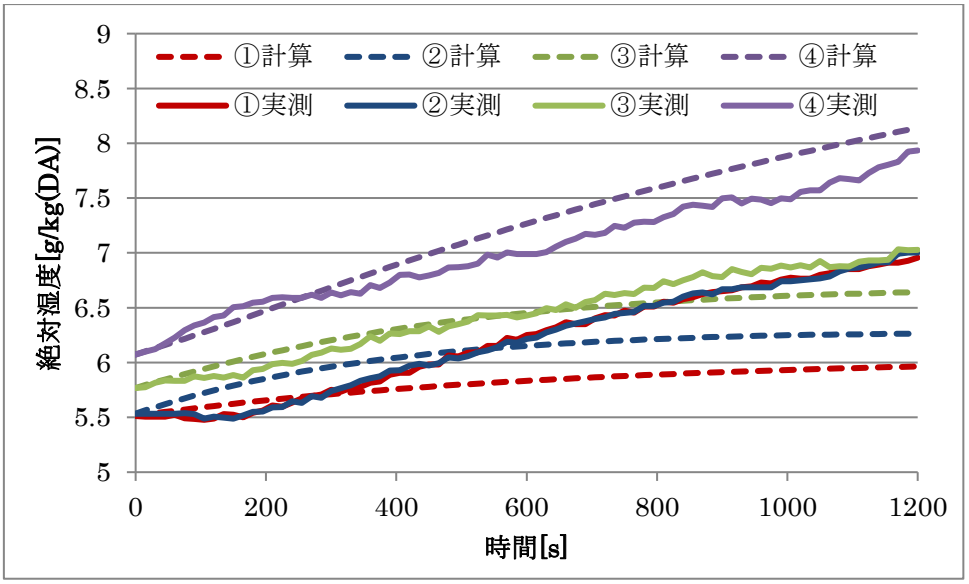


図２－４７　絶対湿度算出結果と実測結果

■温度も計算によって求めた場合

式（８）と同様に、温度も計算によって算出する。算出式を（９）に示す。飽差の値 a は、前の計算と同様に実験①でのミスト噴霧開始から 15 秒の蒸発率が 50%になる時の値（=0.0814）に設定した。

$$\partial T = \frac{(-a \cdot E_d \cdot M + T_p \cdot Q \cdot \rho \cdot C_p - T \cdot Q \cdot \rho \cdot C_p)}{V \cdot \rho \cdot C_p} \cdot \delta t \qquad (9)$$

∂T：温度変化量[℃]，T_p：給気ピットの温度[℃] T：室温[℃]，C_p：定圧比熱=1.006[kJ/kg·K]

■算出結果

実測結果と計算結果の比較を行う。図２－４８には温度、図２－４９には絶対湿度のグラフを示す。結果を見ると、実験①と実験②では温度は近い値を示しているが絶対湿度は実測値の方が大きく上昇している。実験③と④では反対に温度において実測結果と計算結果に大きな差がある。次に実験①～③において給気ピットの影響を考慮せずに（Q=0）計算を行った時の結果を図２－５０，図２－５１に示した。この結果では、給気ピットを考慮した計算よりも実測に近い値となっている。実験①と②で計算値の温度が実測値と比較して低くなっているのは２．２．３で述べたように、実測値では外気温が室温よりも高かったため、その影響を受けていると考えられる。実験③は給気ピットの影響を考慮した場合は計算値の絶対湿度の方が低い値であったが、給気ピットの影響を無視すると計算値の方が高い値となっている。このことから、実際には、計算に使用した $0.56 m^3/s$よりも影響は少ないが室内の熱環境に影響を与えていたことがわかる。

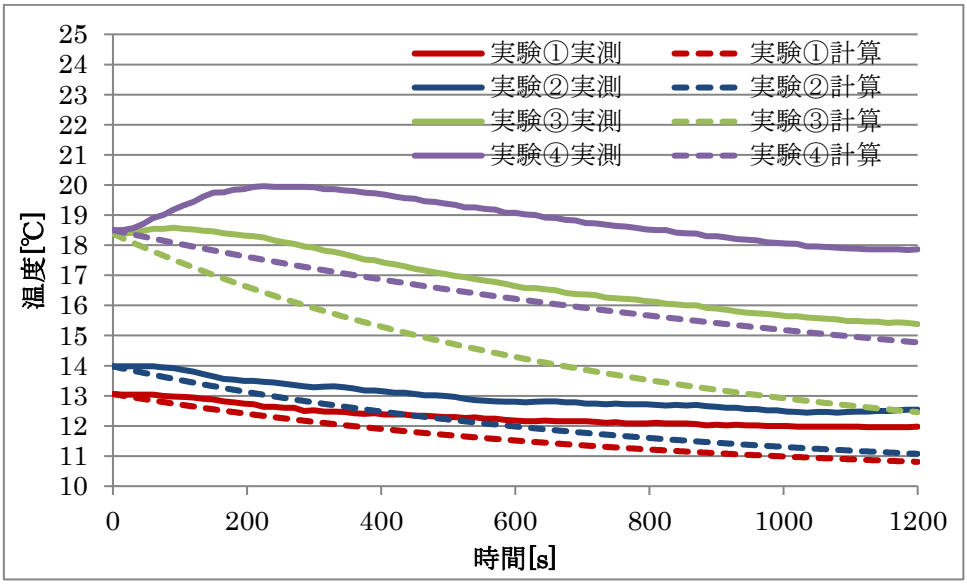


図２－４８　温度測定結果と結果

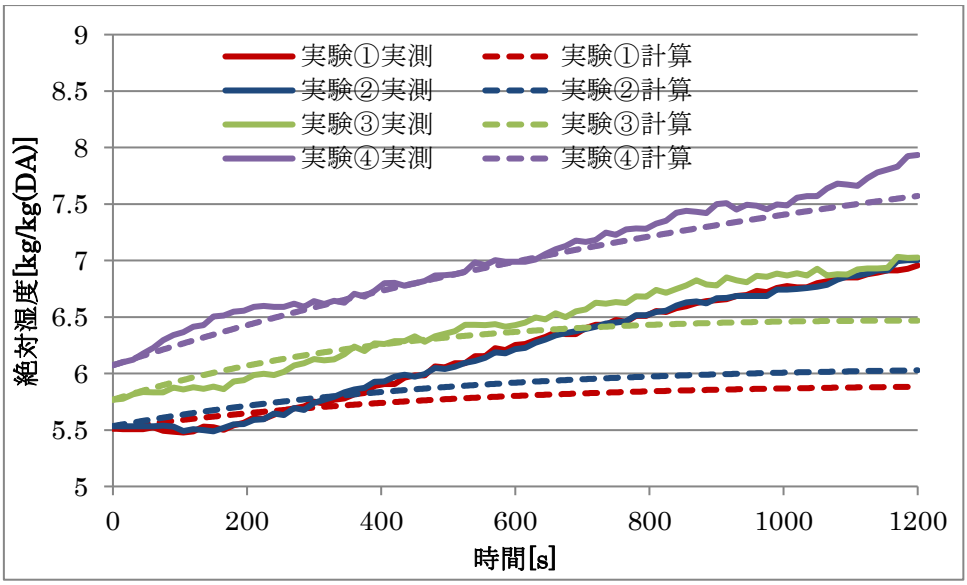


図２－４９　絶対湿度測定結果と結果

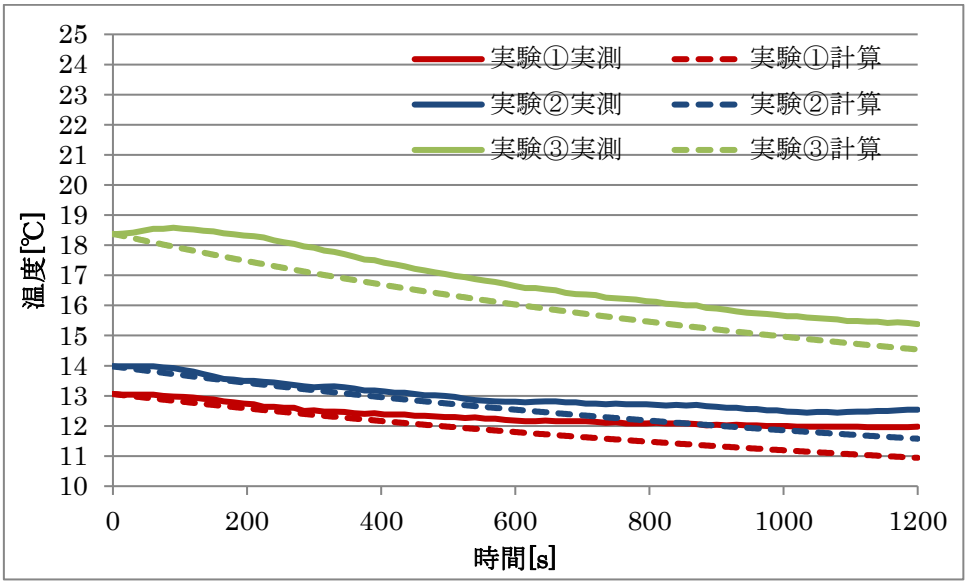


図２－５０　温度測定結果と結果（Q=0）

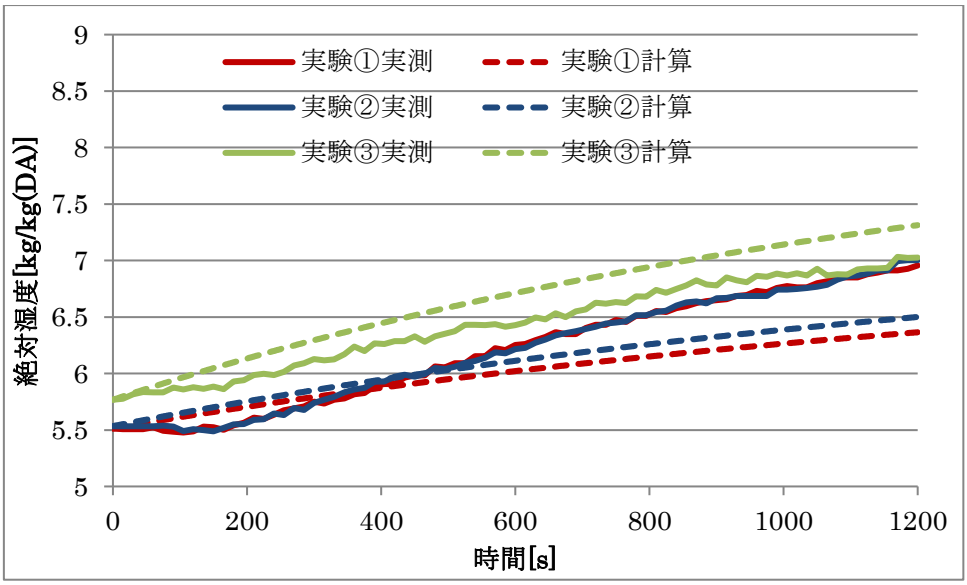


図２－５１　絶対湿度の測定結果と結果（Q=0）

２．４　まとめ

本章ではモリコロパーク内の体験学習室において行った加湿実験の測定結果、数値計算結果を示した。

実験①と②では、飽差が小さく、ミストが蒸発しにくい環境で実験を行った。ミスト噴霧を行うことで十分に加湿することはできたが、床や机上の濡れを引き起こしていたため加湿条件としては望ましくない。また、湿り空気線図による室内空気の変化を見ると等エンタルピー線よりも傾きが大きく、絶対湿度上昇量が多かった。室内よりも外気温の方が高い環境で実験を行ったために、入ってきた熱量の分ミストが多く蒸発していることも考えられる。

実験③は、飽差が大きい環境（11.9hPa）でミスト噴霧を行った。結果は、実験①，②とは異なり室内は等エンタルピー変化をした。濡れに関しても、噴霧開始から 10 分間は観測されず、20 分間連続噴霧を行っても感水試験紙でミストの付着はあったが水溜りはできていなかった。しかし、絶対湿度の上昇量は実験①，②よりも少なかった。原因としては、実験前に温度調節のため室内を暖房していたため、室内上部に暖気が滞留していたと考えられ、ミスト噴霧後すぐにミストが蒸発したため測定位置での絶対湿度上昇量が少なくなり、見掛け上実験①，②の方が蒸発量が多くなったと考えられる。

実験④では、実験①～③で稼働させた給気ピットを停止し、循環ファンを稼働させた。実験開始時に日射が室内に入ってきたことで室温が上昇したが、その後は等エンタルピー変化をしていた。絶対湿度上昇量が最も多く、循環ファンによって室内上部の暖気が測定点の高さまで降下してきたために、蒸発しやすい環境であったと考えられる。濡れに関しては、実験③と同様にミスト噴霧開始から 10 分間は濡れが観測されず、その後、感水試験紙によってミストの付着が確認できた。

２．２．４では実測値から求めた絶対値を使用して、ザイデルの式のよって蒸発率を算出した。各実験での絶対湿度変化からもわかるが、濡れのひどかった実験①と②での蒸発率が高く、実験③と④よりも高い値となっている。給気ピットを稼働させて行った実験①～③の室内垂直温度分布から、床面からの高さ 300mm と 1800mm の高さでの絶対湿度の差が実験①と②では大きく、実験③では小さいことがわかり、測定点での蒸発が少ないことがわかる。実験開始時の飽差が大きく、開始前に暖房をしていたことで、ミスト蒸発しやすい環境であり、1800mm よりも上部で蒸発していると考えられる。

２．３では、まず、実測温度と数値計算によって求めた絶対湿度から、蒸発率を求めた。結果から、等エンタルピー変化をしている実験③，④では比較的近い値となったが、外気温の影響を受けていると考えられる実験①，②では実測値と計算値に大きな差があった。次に、実測温度を使用せずに温度と絶対湿度を計算で求めた場合の結果では、給気ピットの影響が計算では大きくなり、計算結果と実測結果で温度差に差があった。給気ピットの影響を無視することで、実測結果と近い値を示した。今回の実験では、風量の測定は行っておらず、設計値の風量を使用して計算を行ったが、実際に実験を行った時の風量は設計値よりも少なかった可能性がある。

これらの結果から、ドライミストで加湿を行う場合、実験③または④よりも飽差が大きい環境（飽差 12hPa 程度）であれば、噴霧後すぐに床や机上の濡れが生じることはなく加湿に適していると考えられる。また、飽差と蒸発率の関係が線形関係であるとして数値計算を行ったが実測結果とは差があった。しかし、給気ピット等の条件を変えることで、近い値を示すことはできたため、線形に近い関係であると考えられる。

３章からスパイラルダクトを使用した実験に関する考察を行い、飽差と蒸発率の関係をより詳細に分析する。

３章　スパイラルダクトを使用したドライミスト噴霧実験

3 章　スパイラルダクトを使用したドライミスト噴霧実験

３．１　実験概要

３．１．１　実験日時・場所

実験日時：2012 年 10 月 4 日～12 日

実験場所：東京理科大学　野田キャンパス

火災科学研究センター実験棟 1 階大規模実験室

３．１．２　実験方法

実験は垂直に立てたスパイラルダクト内で、ドライミストを 3 種類のノズルを使用して鉛直下向きにミストを噴霧し、ダクトの温度変化、湿度変化を熱電対、温湿度計を用いて測定する。ミストの噴霧時間やノズルを変えて実験を行い、ノズルの特性や飽差と蒸発率の関係を考察する。また、ダクト内の流量を測定するために、3 次元風向風速計を使用してダクトから出てくる風速を測定した。

■使用したノズル

使用ノズルは、噴霧角度・噴霧水量の異なる３種類のノズルを使用する。１種類目の X 社製ノズル（図３－１）は、愛知万国博覧会などの主に半屋外空間で使用されている（ノズル（イ））。他の２種類は Y 社製ノズル（図３－２）で、主に現在家庭用のドライミストシステムに使用されている。Y 社製のノズルは噴霧水量が異なる２種類のノズルを使用した（ノズル（ロ），ノズル（ハ））。X 社製のノズルと Y 社製ノズルの特徴の大きな違いはミストの噴霧角度にある。X 社製のノズルはミストを遠くまで飛ばすために噴霧角度が狭くなっており、Y 社製のノズルは、周囲を均一に冷却するために、噴霧角度の広いノズルとなっている。ノズルの流量は、実測値でノズル(イ)が 46.9ml/min，ノズル(ロ)は 46.5 ml/min，ノズル(ハ)は 27.0 ml/min であった。

図３－１　X 社ミスト噴霧時

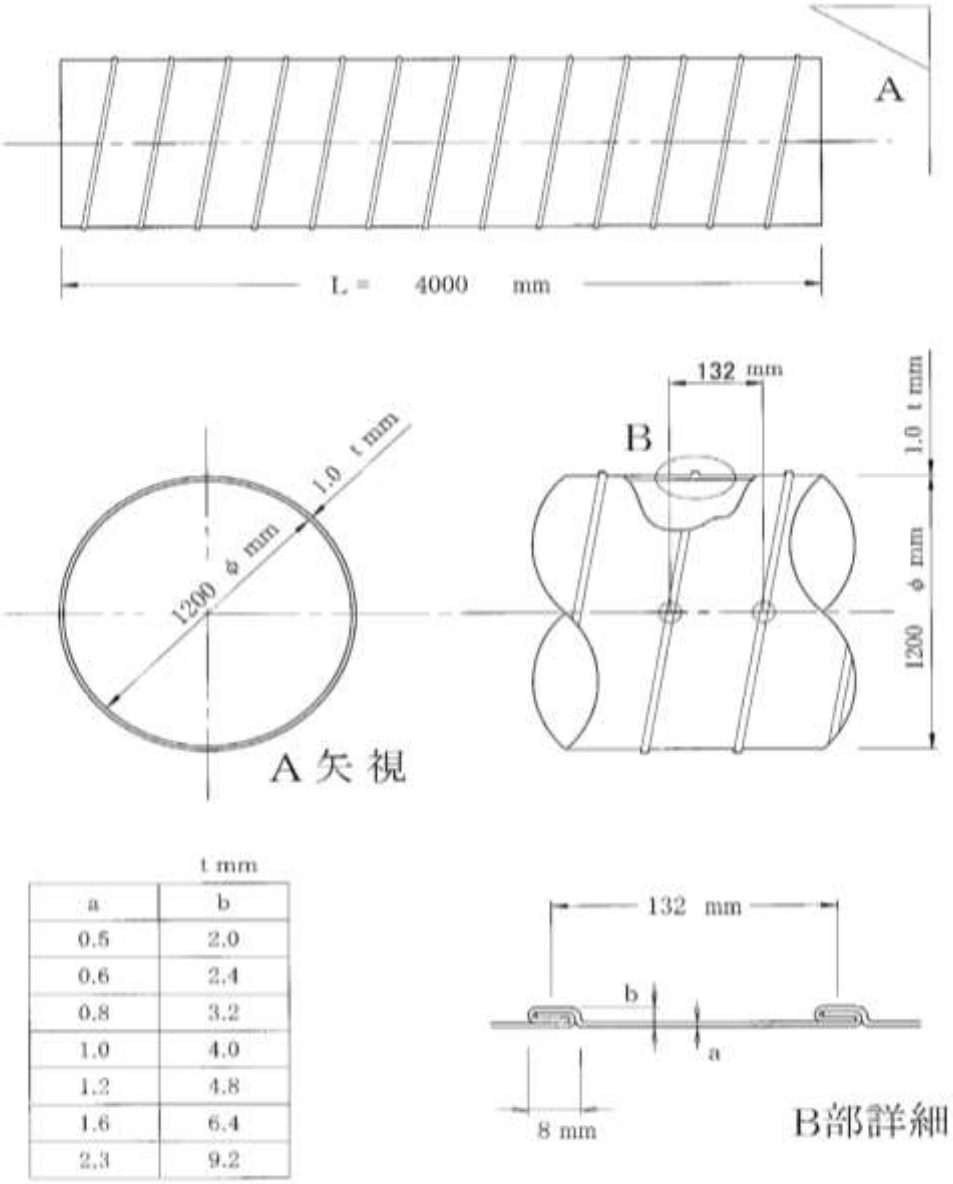
図３－２　Y 社ミスト噴霧時

■スパイラルダクト仕様

使用したスパイラルダクトは内径 1200mm，長さ 4000mm，厚さ 1mm のリブ付きのスパイラルダクトである。写真を図３－３に示し、ダクトの概要を図３－４に示す。

図３－３　実験に使用したスパイラルダクトの写真

スパイラルダクト概要



t mm	
a	b
0.5	2.0
0.6	2.4
0.8	3.2
1.0	4.0
1.2	4.8
1.6	6.4
2.3	9.2

図３－４　スパイラルダクト概要

■実験スケジュール

実験は、ミストの噴霧時間を変えて各ノズルでの温度・湿度の変化を調べた。実験日程を表３－１に示す。噴霧時間は、30 秒，60 秒，90 秒の実験を各ノズルで 3 回ずつ行った。ノズル（イ）で 60 秒噴霧を 4 回行っているのは、1 回目の実験後にノズルの向きを変更したため、その後 3 回測定を行った。

また、ダクトから出てくる空気の速度を測るために、ダクトの下に 3 次元風向風速計を置き、ミストを 5 分間噴霧して、風速の測定を行った。詳細は風速測定の項目で述べる。

表３－１　実験スケジュール

10月10日	10月11日	10月12日
ノズル(イ)	ノズル(ロ)	ノズル(ハ)
1分噴霧×4回	1分噴霧×3回	30秒噴霧×1回
30秒噴霧×3回	30秒噴霧×3回	90秒噴霧×3回
90秒噴霧×3回	90秒噴霧×3回	風速測定
	ノズル(ハ)	ノズル(イ)
	1分噴霧×3回	ノズル(ロ)
	30秒噴霧×2回	ノズル(ハ)

■温度・相対湿度の測定

温度の測定は、図３－５のようにダクト上端（A 点）とミストノズルから下に 2500mm（B 点），3000mm（C 点），3500mm（D 点）の位置の 4 か所で、図３－６に示すダクト内外表面に 8 点ずつ、内部に 9 点の計 25 点に熱電対を設置して測定を行った。相対湿度は、A～D 点の各中央に設置した。

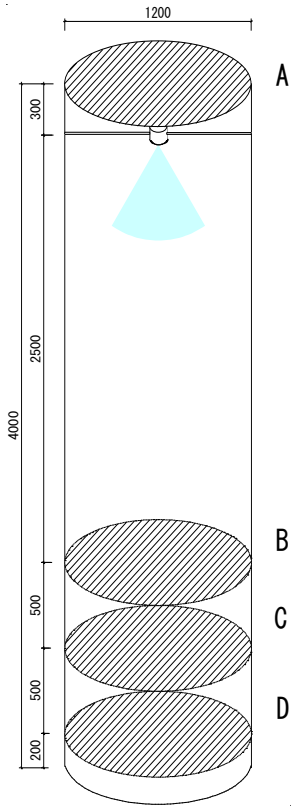


図３－５　測定機器配置図

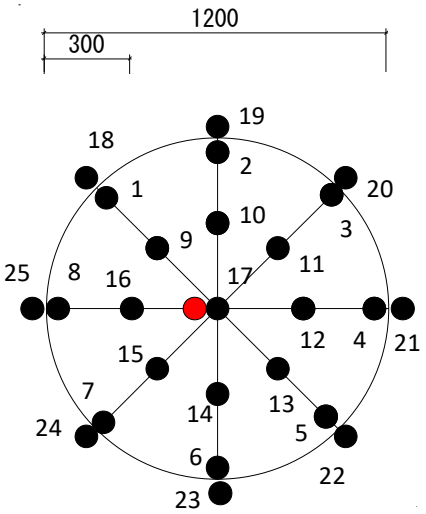


図３－６　熱電対･温湿度計配置図（2 が北）
（●：熱電対，●：温湿度計）

■風速測定

風速はダクトの下 300mm の位置の 5 か所で場所を変えて測定した。測定は各ノズルでミストを 5 分間噴霧して行った。測定データは、図３－８のように、外側 1 点の風速（塗りつぶし）と中央（斜線）の風速に対応する面積が等しくなるように加重平均（中央の風速を他点よりも 4 倍重み付け）した値を使用する。

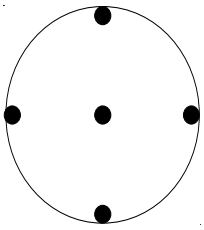


図３－７　風速測定位置

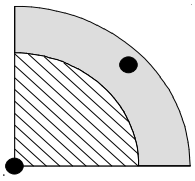


図３－８　風速データ平均方法

■測定機器

測定機器は、温度測定に熱電対,データロガー、湿度測定に温湿度計（おんどとり jr.）を使用した。また、ダクト内の流量を知るために、3 次元風向風速計を使用した。

・温度測定

熱電対

表３－２　熱電対仕様

取扱会社	二宮電線工業株式会社
名称	テフロン被覆熱電対線（T タイプ）
使用温度	～＋２００℃

図３－９　熱電対の写真

データロガー

表３－３　データロガー仕様

取扱会社	江藤電機株式会社
名称	高速型多点分散データロガー　サーモダック 6
製品番号	3060A（サーモダック本体），3002A（入力ステーション）
測定精度	±0.3℃
分解能	0.1℃

・相対湿度

おんどとり Jr.

おんどとり Jr.は２章に掲載したものと同じ測定器を使用

・風速

3 次元風向風速計

表３－４　風速計仕様

取扱会社	クリマテック株式会社
仕様	アナログ出力タイプ
型式	CYG-81000
電源	１２ －24VDC 110mA
温度測定範囲	—50 ～＋50 ℃
精 度	±１ ％
分解能	０．01m ／s
サンプルレート	160Hz
平均化	設定可能
測定範囲	0- 40m/s(40m/s 以上は精度減少)
耐風速	60m/s 以上
出力レート	８ ～32Hz
デジタル出力	RS- 232C/RS- 485 9600- 38400 BPS
デジタル出力内容	u,v,w,音速、温度、２ 次元風速、３ 次元風速、
	水平角度、鉛直角度より選択
アナログ出力	4ch （２ 方法）u,v,w,温度
	speed,水平角度,鉛直角度,温度
	0-5VDC 12bit ±0.1%FS
アナログ入力	なし

図３－１０　風速計設置写真

３．２　測定結果

３．２．１　温度測定結果

■60 秒噴霧　各測定点温度測定結果，平均温度算出結果

各ノズルとも 1 回目の測定は、各測定点でのダクト内外表面を除く１７点の温度測定結果と測定点ごとに温度を平均したグラフを掲載する。2 回目以降の実験では測定点ごとに平均した温度の実を掲載する。平均温度では、測定した 17 点の温度のうちミスト噴霧停止 1 分後にダクト内部の表面温度から 1℃以上離れているデータは除外している。グラフはミスト噴霧 1 分前からミスト噴霧 2 分後までのデータを掲載している。

・ノズル（イ）１回目

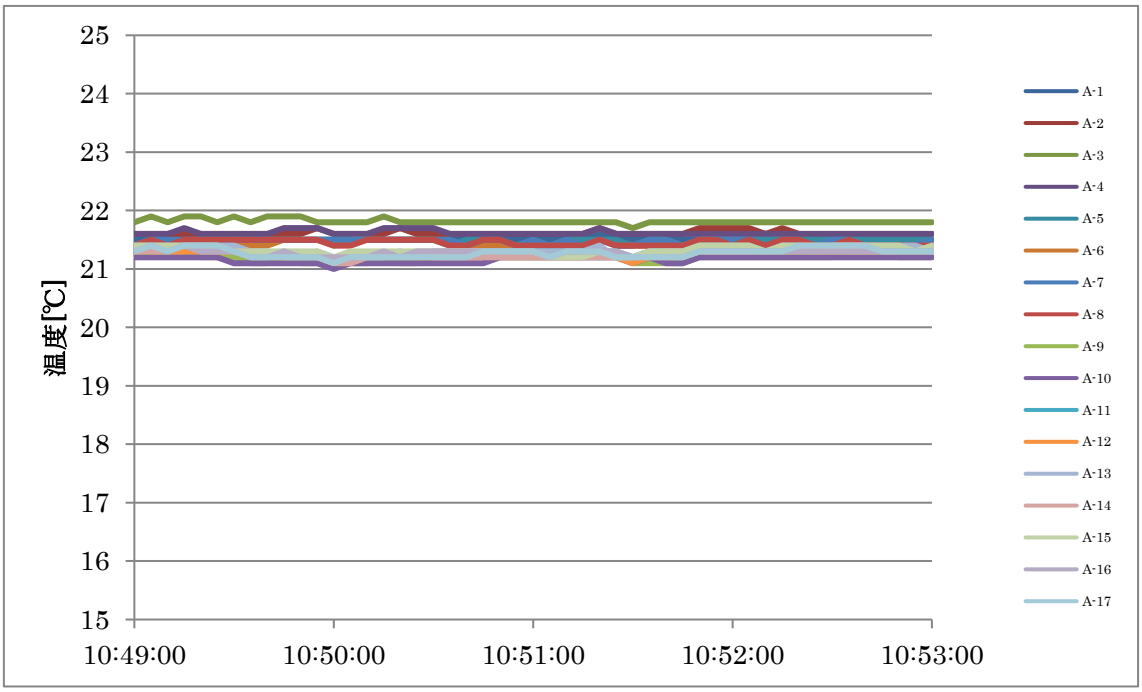


図３－１１　A 点温度測定結果

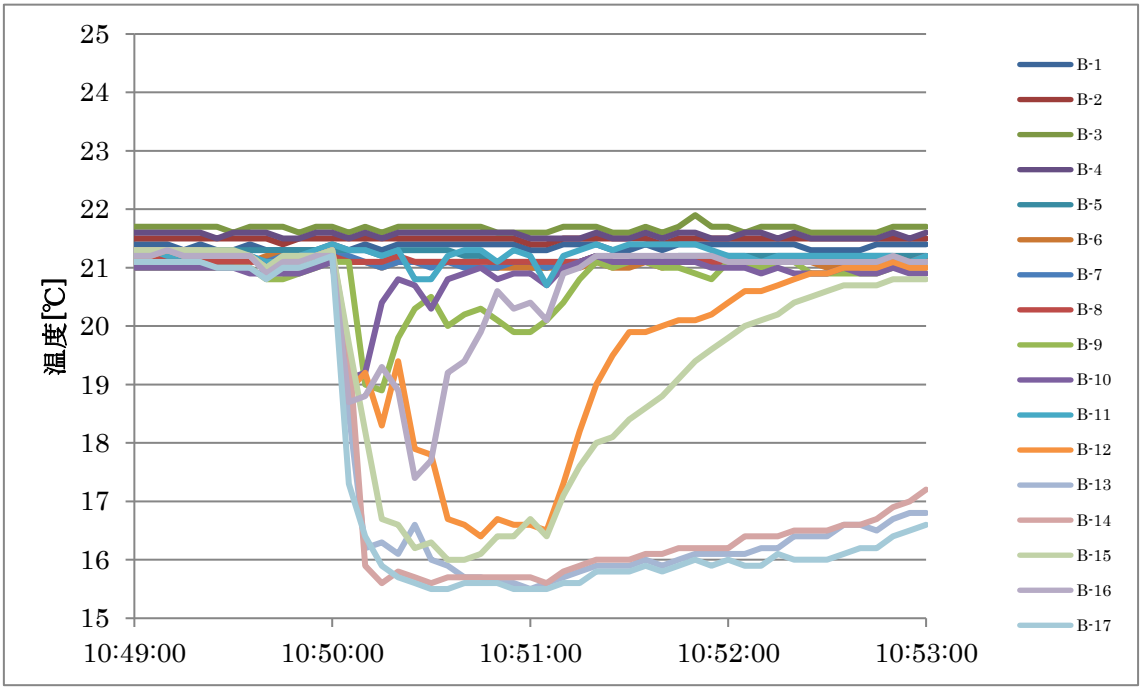


図３－１２　B 点（ミスト下 2500mm）温度測定結果

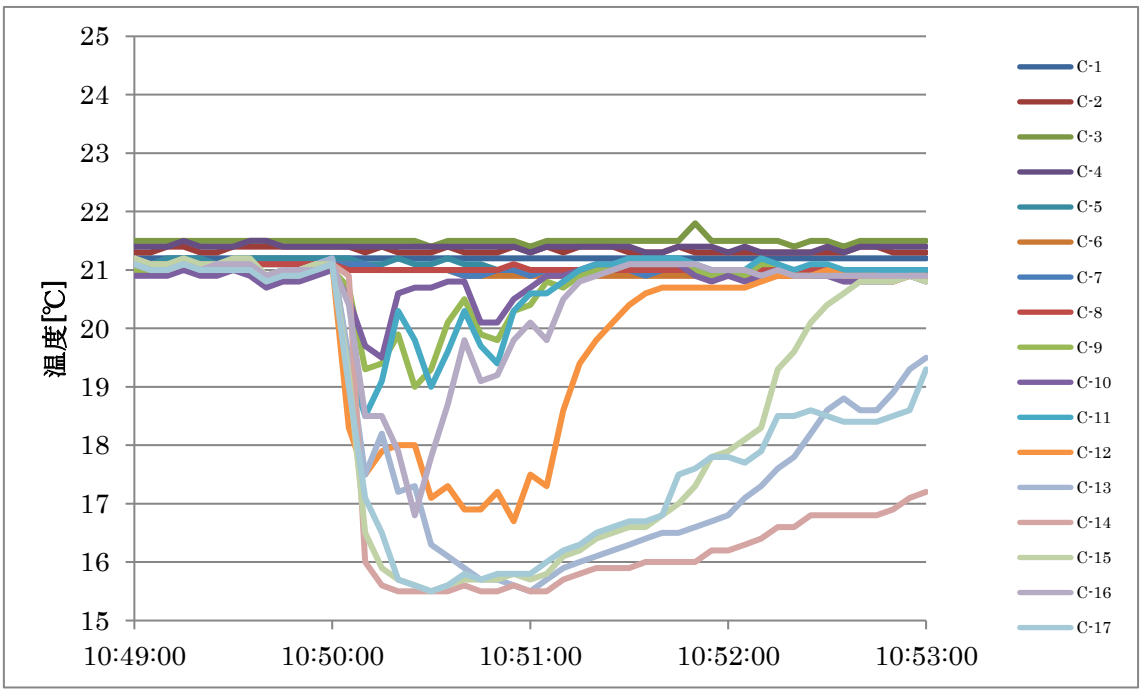


図３－１３　C 点（ミスト下 3000mm）温度測定結果

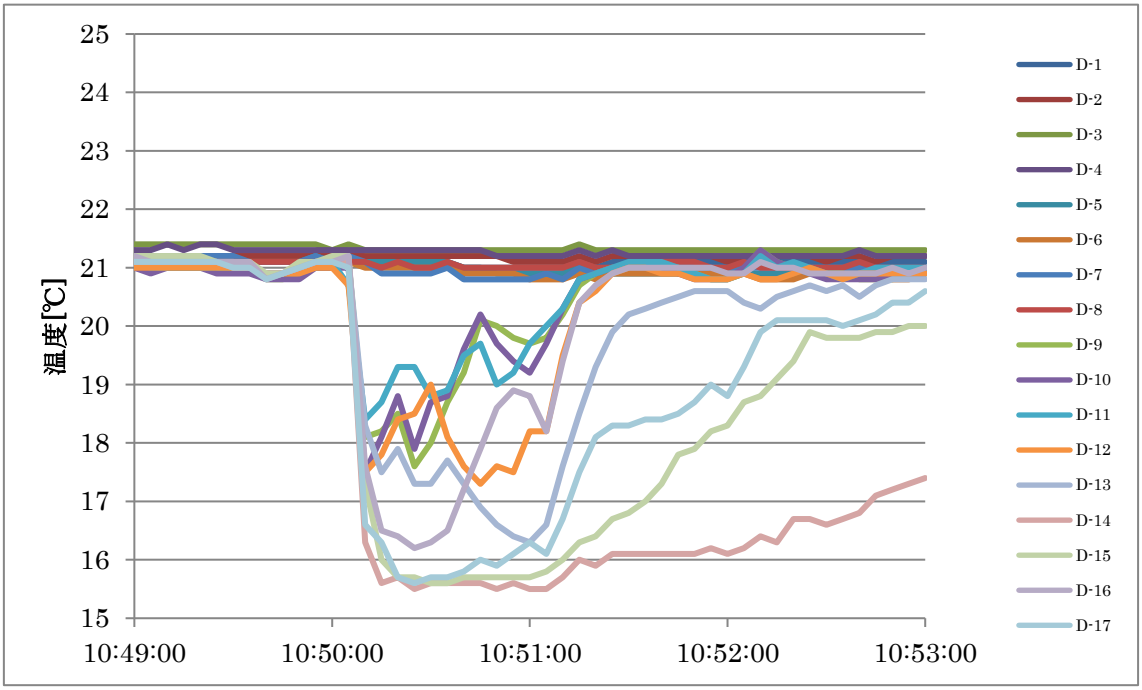


図３－１４　D 点（ミスト下 3500mm）温度測定結果

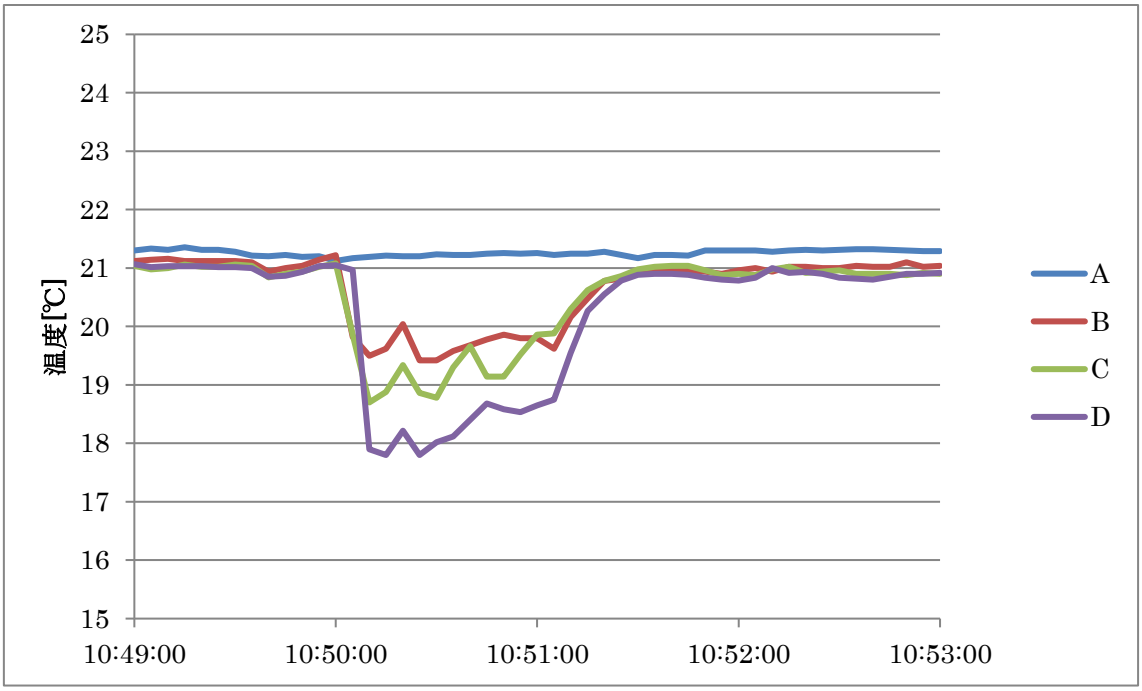


図３－１５　平均温度算出結果

２回目

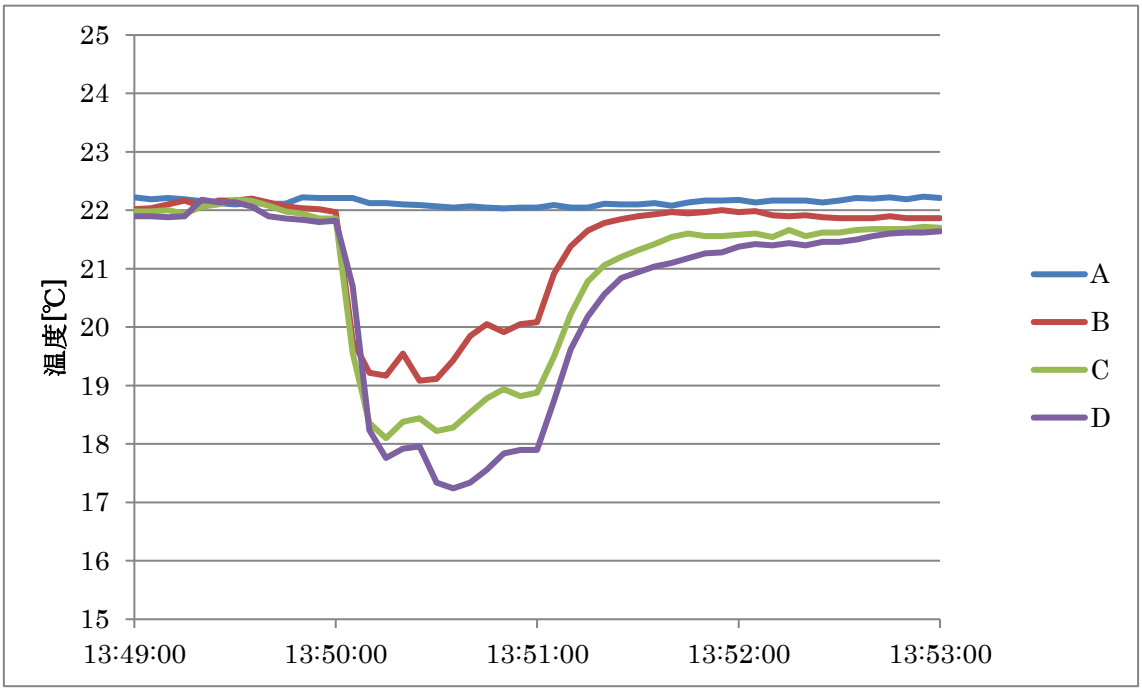


図３－１６　平均温度算出結果

3 回目

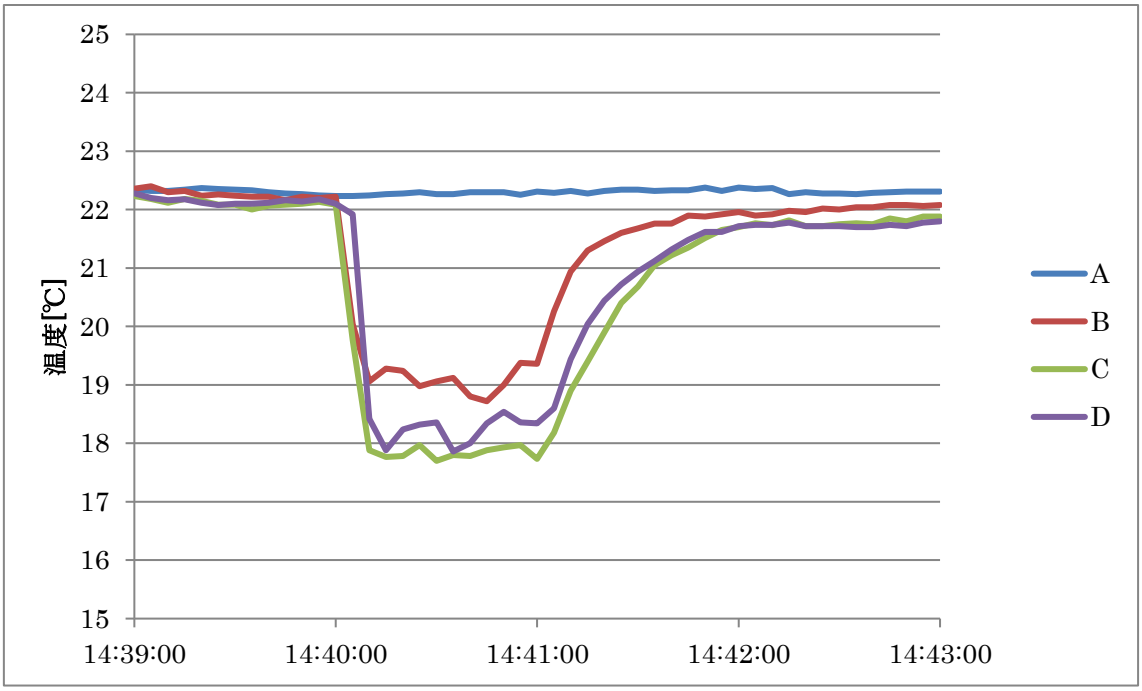


図３－１７　平均温度算出結果

4 回目

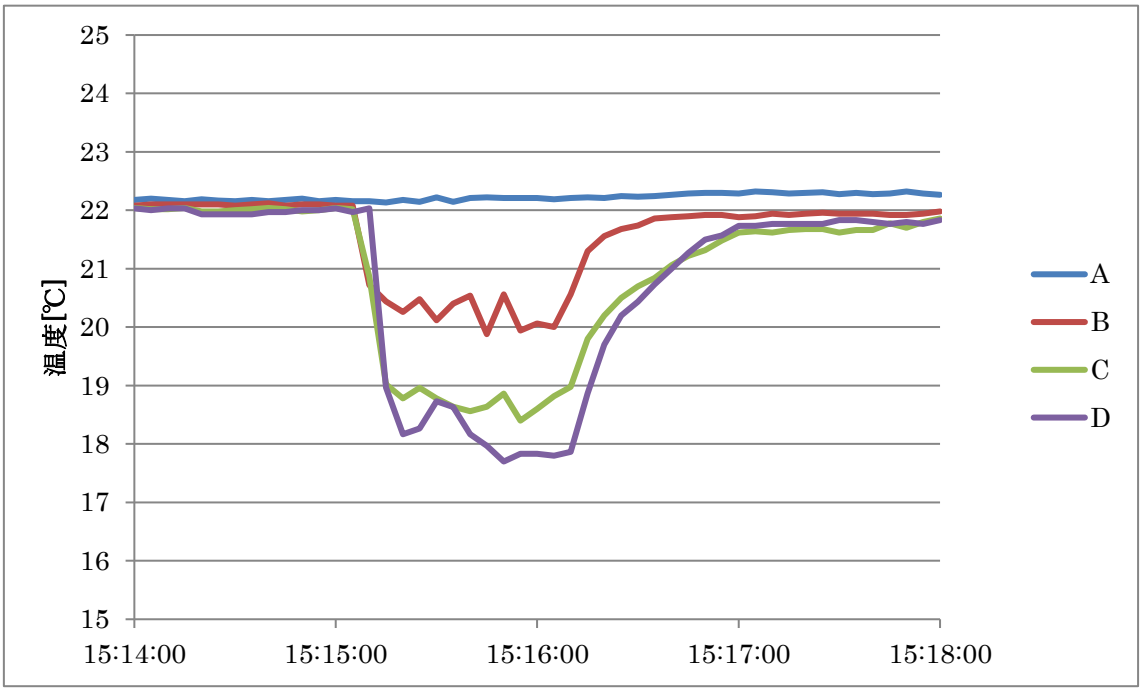


図３－１８　平均温度算出結果

ノズル（ロ）

1 回目

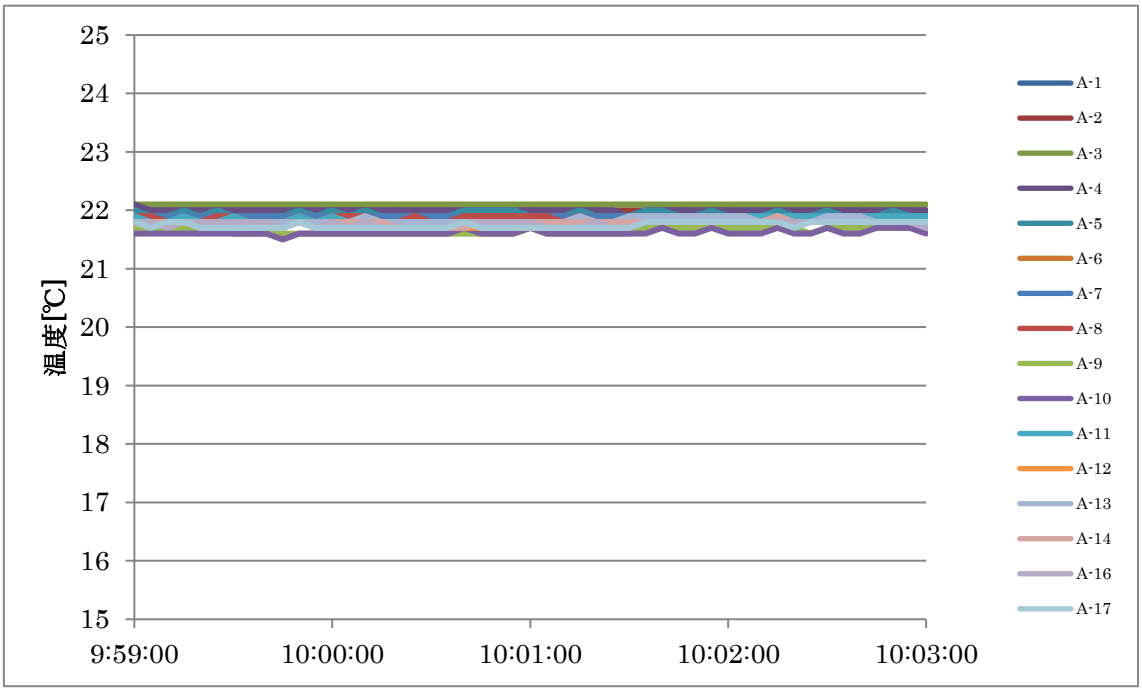


図３－１９　A 点温度測定結果

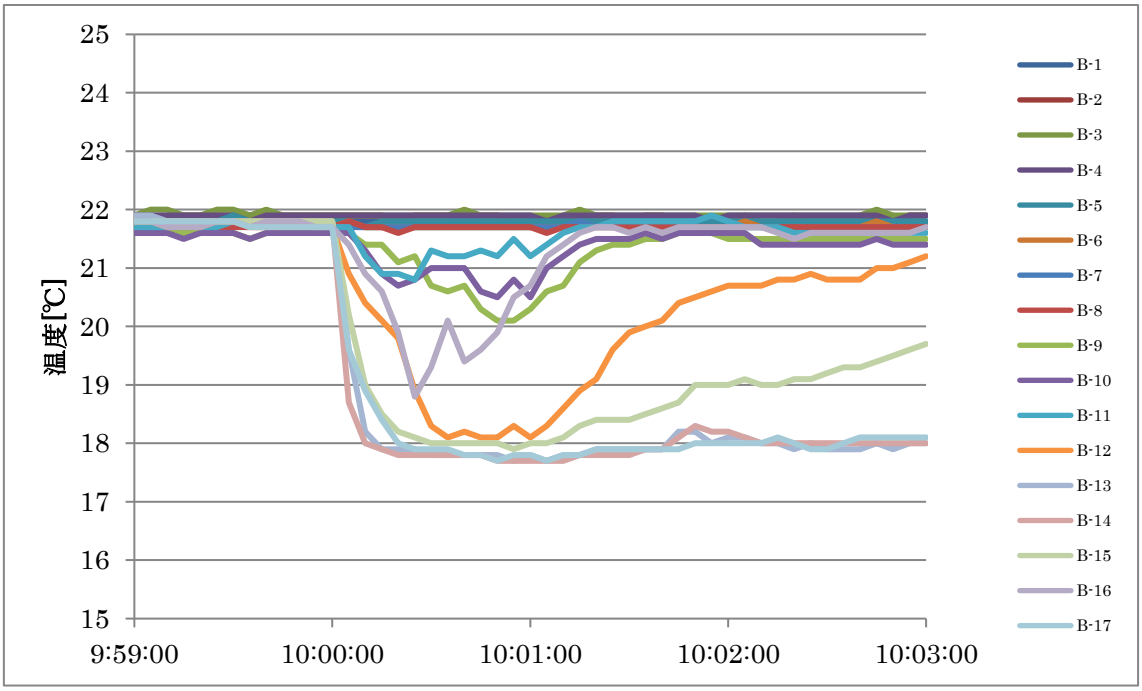


図３－２０　B 点温度測定結果

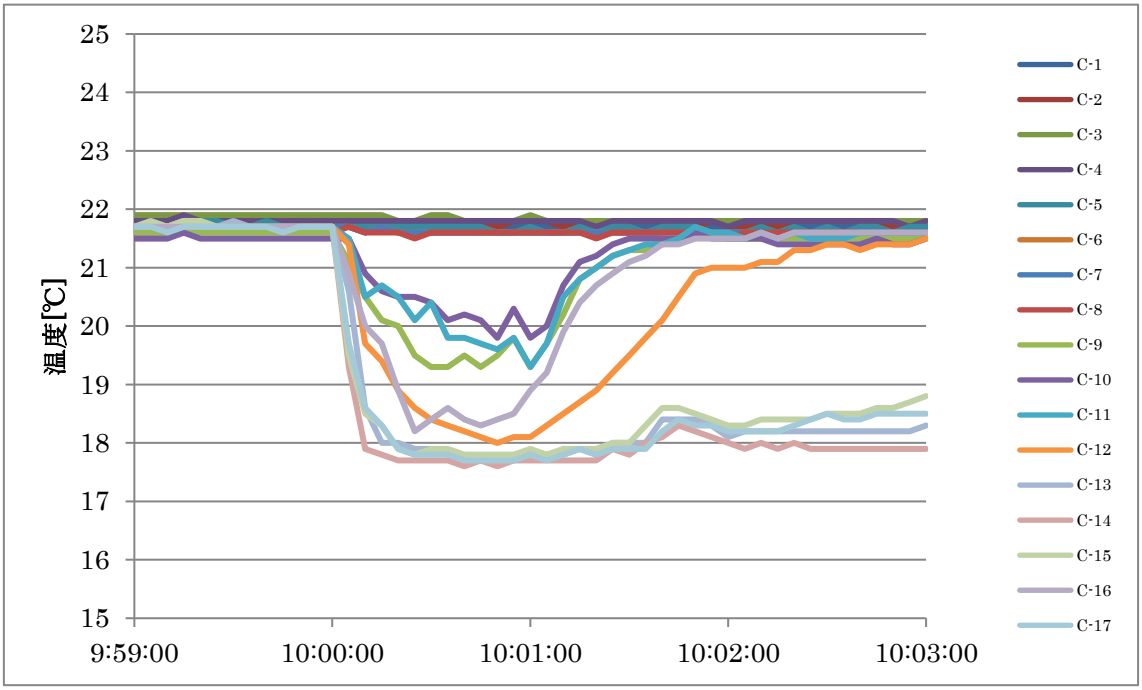


図３－２１　C 点温度測定結果

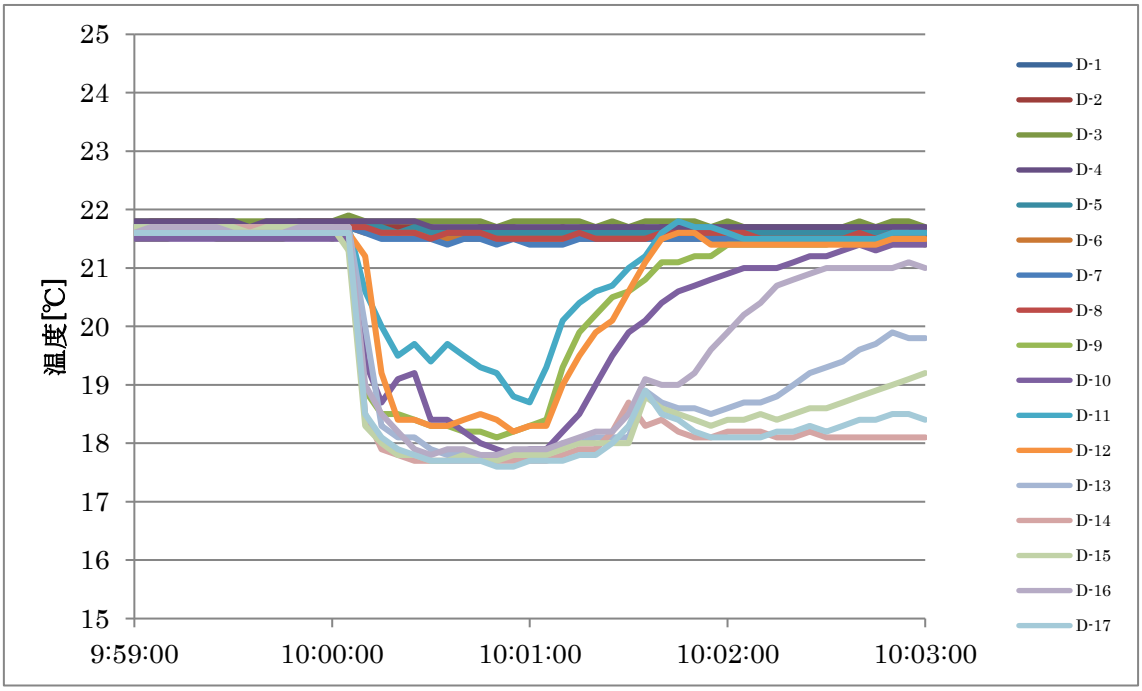


図３－２２　D 点温度測定結果

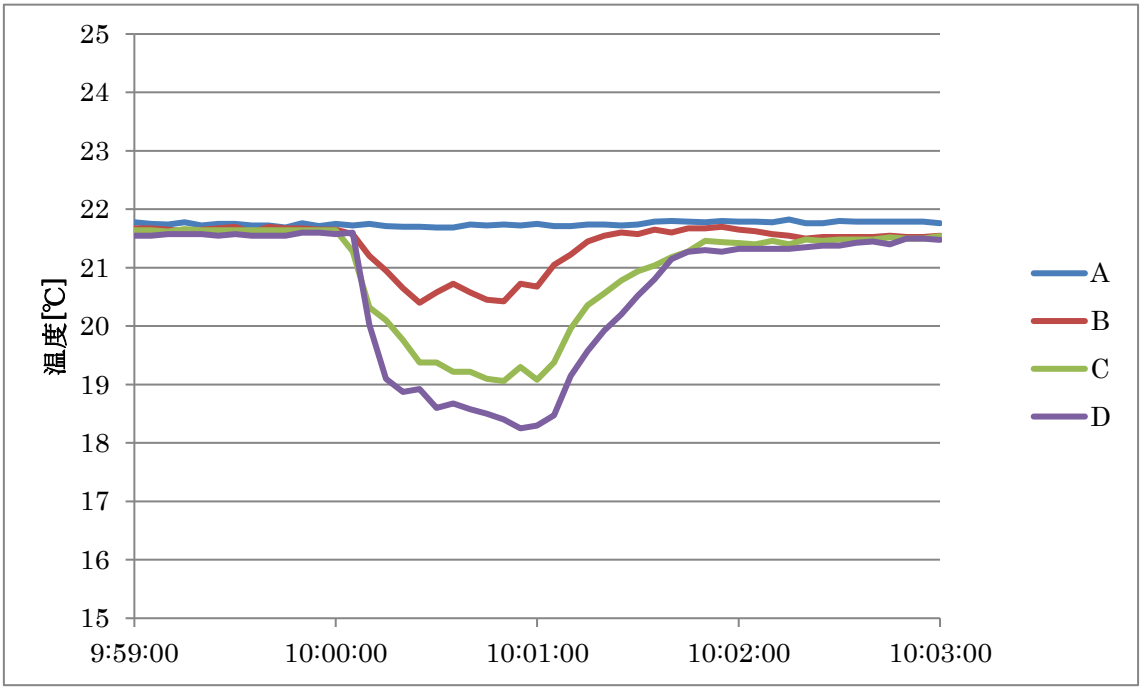


図３－２３　平均温度算出結果

2 回目

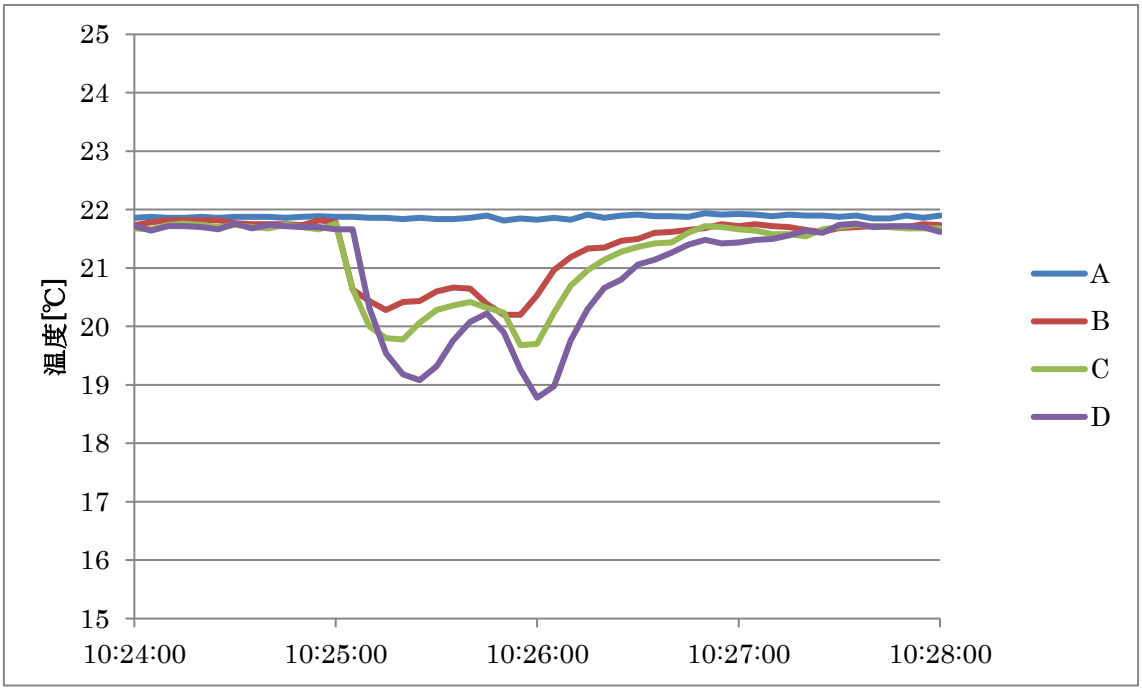


図３－２４　平均温度算出結果

3 回目

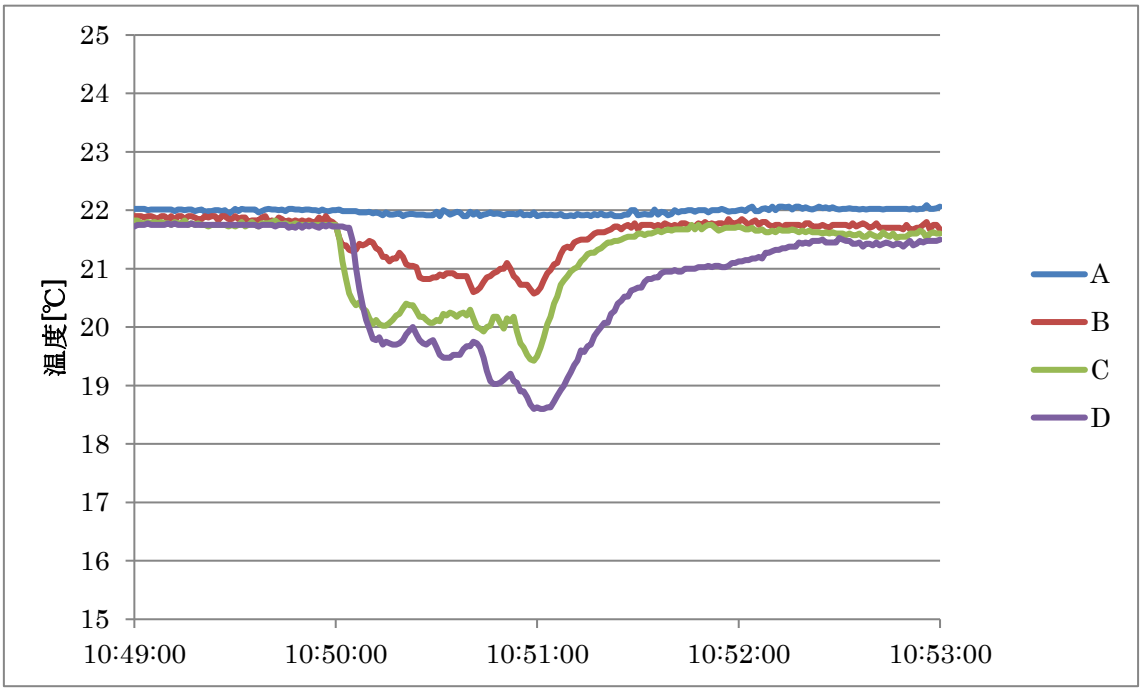


図３－２５　平均温度測定結果

ノズル（ハ）

1 回目

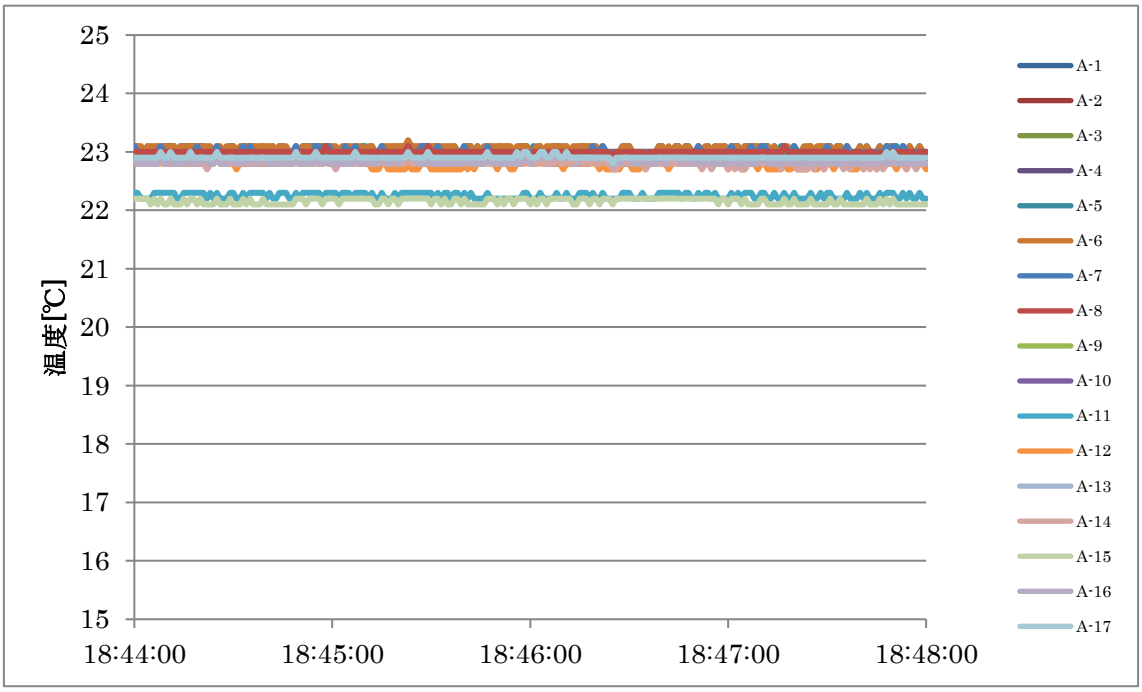


図３－２６　A 点温度測定結果

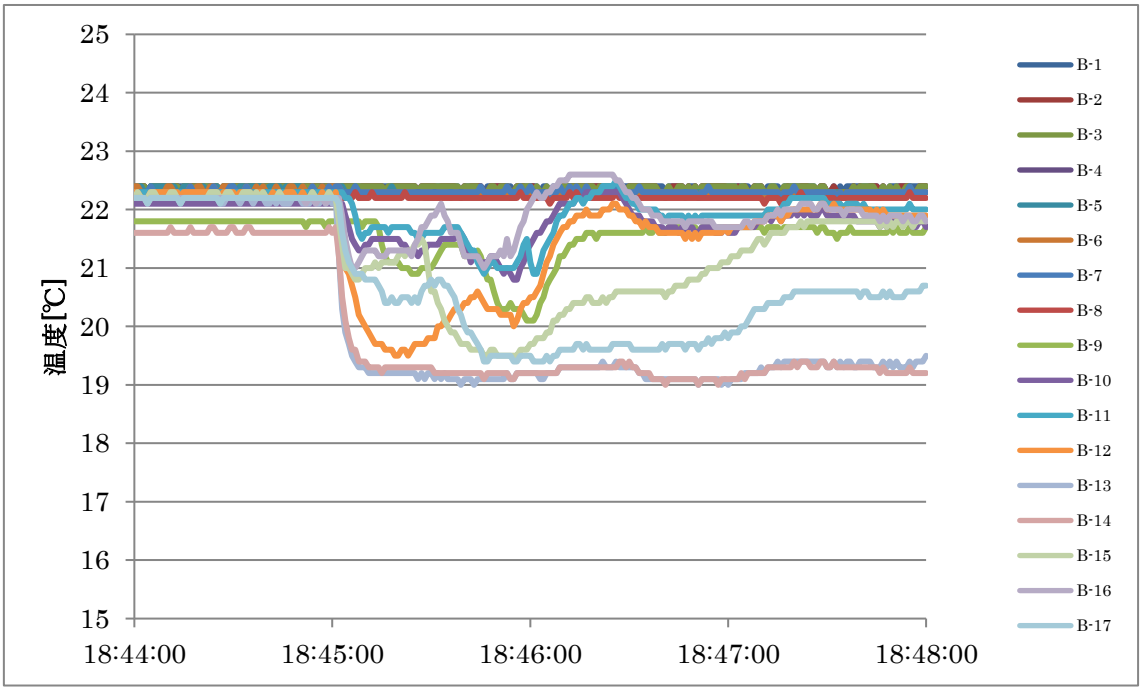


図３－２７　B 点温度測定結果

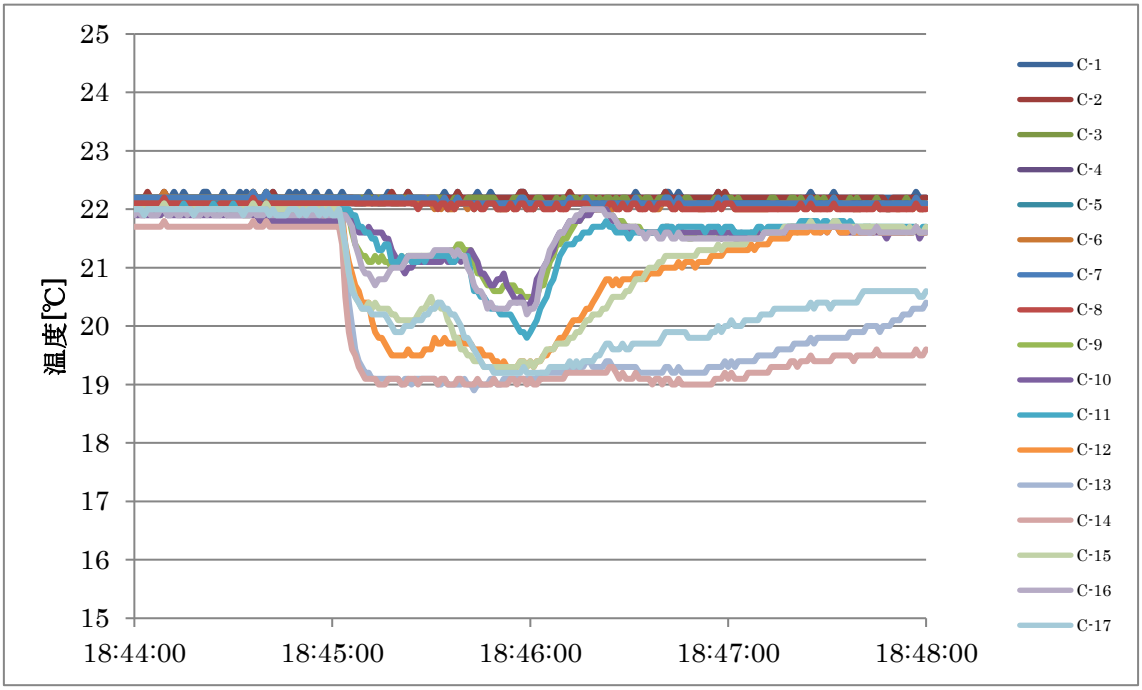


図３－２８　C 点温度測定結果

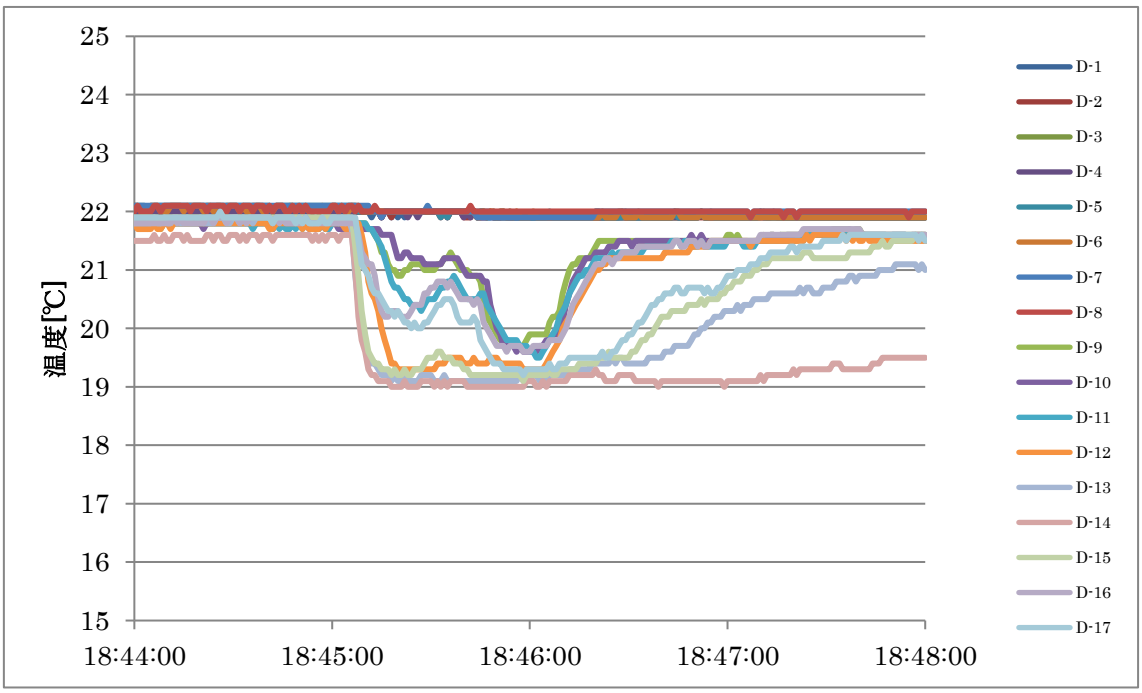


図３－２９　D 点温度測定結果

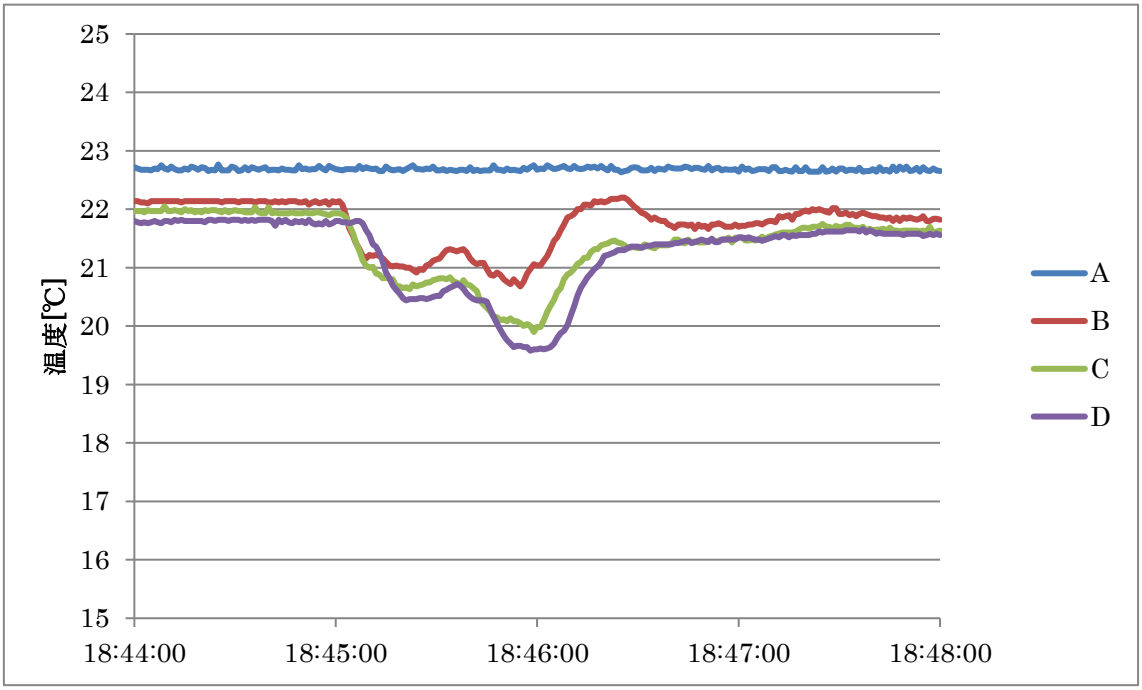


図３－３０　平均温度算出結果

2 回目

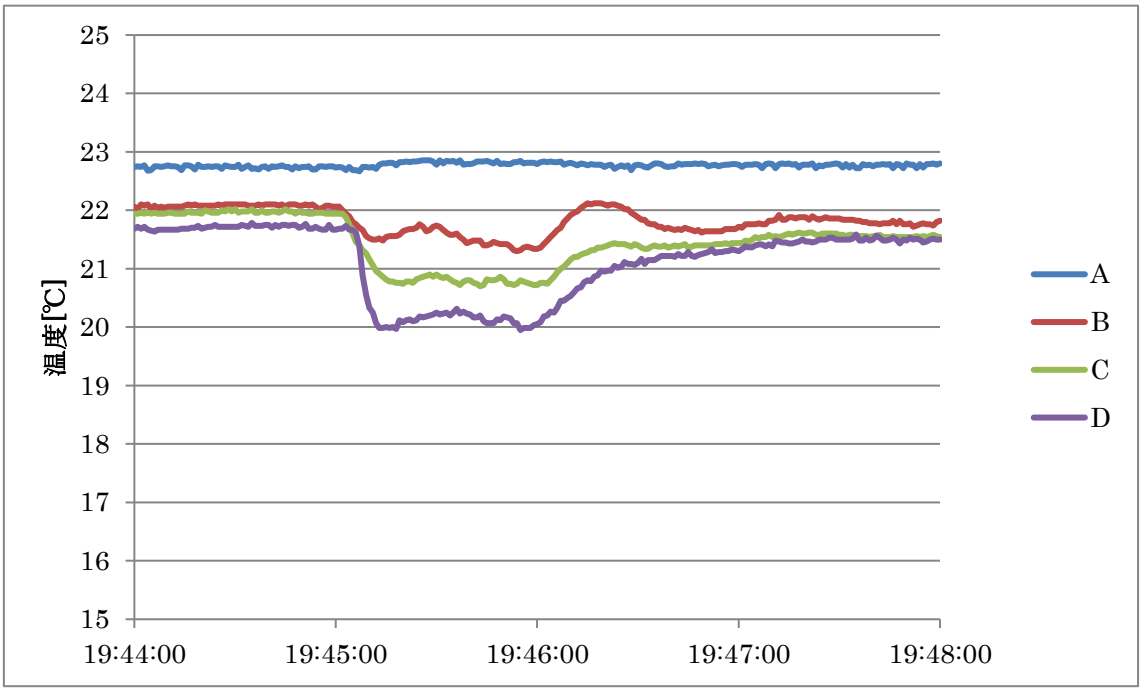


図３－３１　平均温度算出結果

3 回目

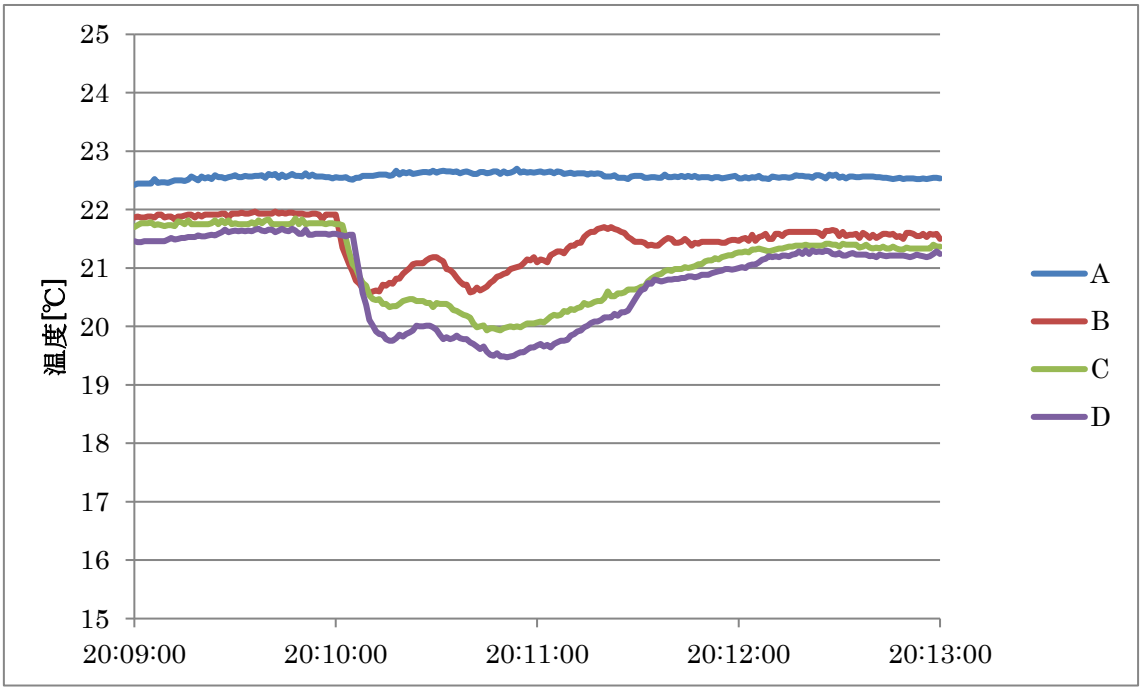


図３－３２　平均温度算出結果

■考察

ノズル（イ），（ロ），（ハ）で 60 秒間ミストを噴霧した時のデータを図３－１１～図３－３２に示した。まず、ノズル（イ）に関しては D 点で３回目の実験を除き、D 点の温度が最も低くなっており、A 点と比較して３～４℃温度が低下している。続いて C 点，B 点の順に温度が低くなっている。このことから、AB 間，BC 間，CD 間でミストが蒸発していることがわかる。ミストを 60 秒間噴霧することで、温度が下がり続けるということはなく、噴霧開始から 20 秒後あたりからほとんど温度は下がっていない。

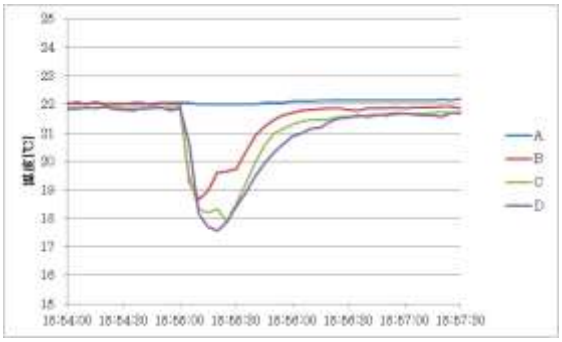
次にノズル（ロ）は、ミスト噴霧開始後に２０秒程度で D 点において２～３℃温度が低下している。続いて C 点，B 点の順に温度が低くなっている。２０秒以降も１回目と３回目の測定では徐々に温度が低下している。

ノズル（ハ）では、D 点での温度低下が２℃程度となっている。1 回目の測定では、ミスト噴霧によって徐々に温度が低下しているが、２回目と３回目の測定では２℃程度下がった後、温度はほとんど変化していない。

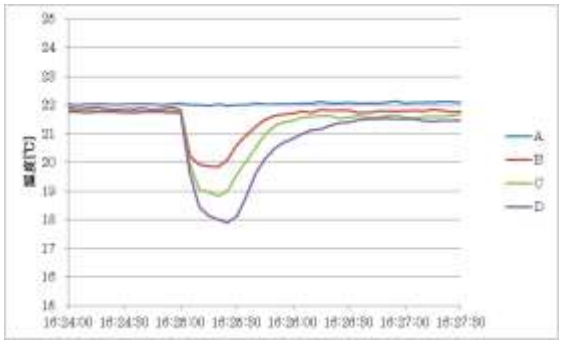
各ノズルを比較すると、ノズル（イ）が最も温度が低下している。4 回の実験のうち１回目を除く 3 回の実験で最も低下した点での温度低下は 4℃程度であった。温度は噴霧開始後すぐに下がり、その後はほとんど下がっておらず定常状態となっている。次項３．２．２で等エンタルピー変化をしているとして計算を行っているが、いずれの実験においても相対湿度 80～85％程度になると温度が低下しなくなっている。このことから、相対湿度が 80％を超える環境ではミストはほとんど蒸発しないことがわかる。ノズル（ロ）は（イ）よりも温度低下は小さいが、噴霧開始後２０秒程度で大きく温度が下がった後も少しずつ温度が低下している。このことから、ノズル（イ）は（ロ）と比較してミスト噴霧後すぐに飽和状態となると考えられる。

■30 秒噴霧測定結果

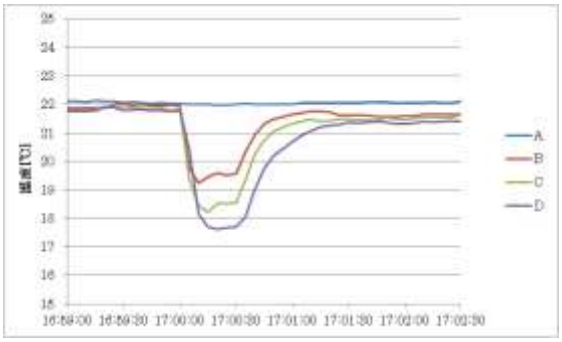
これ以降は、各測定位置で測定した 17 点のうちミストが付着したと考えられる測定点を除外して平均した温度のみを掲載する。



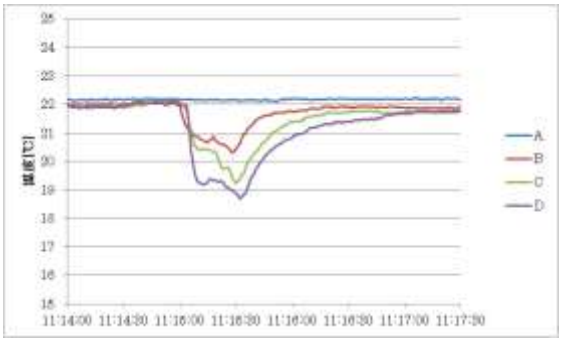
ノズル（イ）30 秒噴霧 1 回目



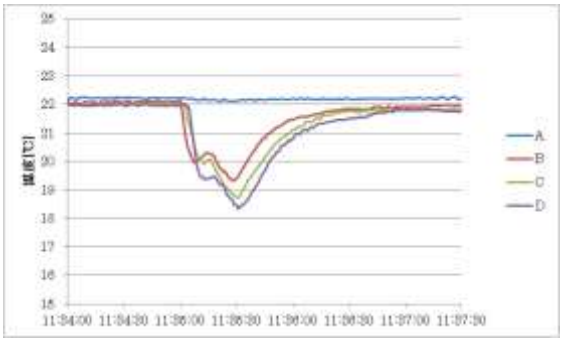
ノズル（イ）30 秒噴霧 2 回目



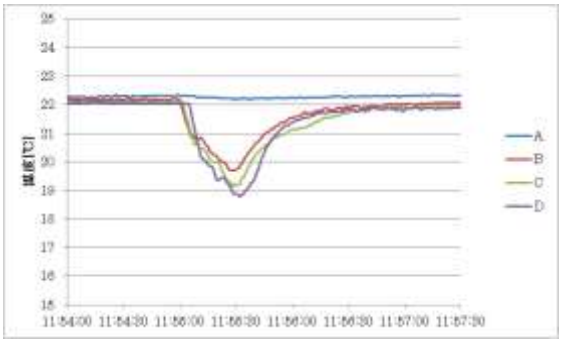
ノズル（イ）30 秒噴霧 3 回目



ノズル（ロ）30 秒噴霧 1 回目

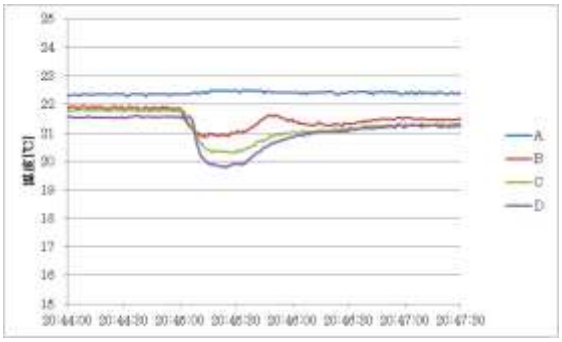


ノズル（ロ）30 秒噴霧 2 回目

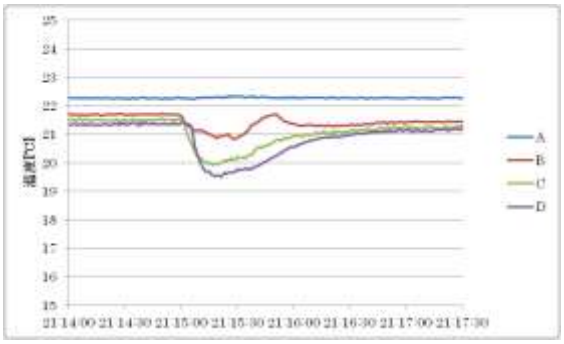


ノズル（ロ）30 秒噴霧 3 回目

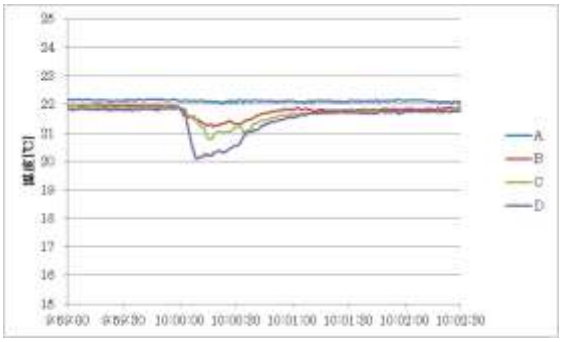
図３－３３　３０秒噴霧温度測定結果



ノズル（ハ）30 秒噴霧１回目



ノズル（ハ）30 秒噴霧２回目



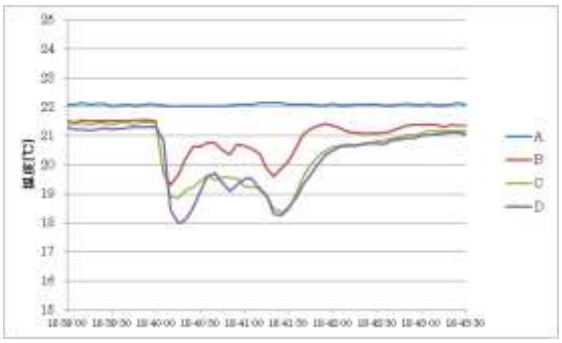
ノズル（ハ）30 秒噴霧３回目

図３－３３　３０秒噴霧平均温度算出結果

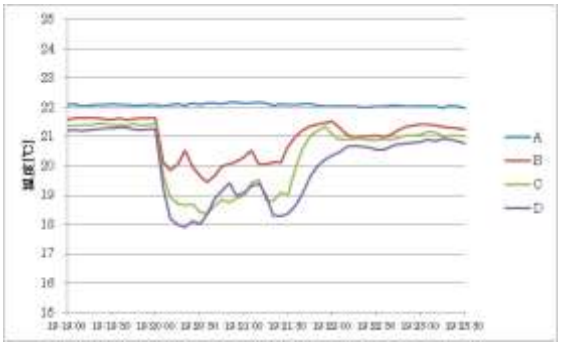
考察

この結果から 30 秒の測定でも、ミスト噴霧によって十分に温度が低下していることがわかる。いずれのノズルにおいても 60 秒間噴霧した場合と同程度温度が低下している。ノズル（イ）と（ロ）では、30 秒間温度が下がり続けているが、ノズル（ハ）では、噴霧開始後に温度が下がって以降は、低下していない。流量の少ない（ハ）の方が飽和状態になるまでに時間がかかると考えられるが、（イ）と（ロ）よりも温度が低下している時間は短いという結果になった。この原因として、60 秒噴霧の実験で述べたように、ミスト噴霧開始前の飽差がノズル（イ），（ロ）の場合と比べて小さかったため、すぐに相対湿度 80%に達したと考えられる。

■90 秒間噴霧測定結果

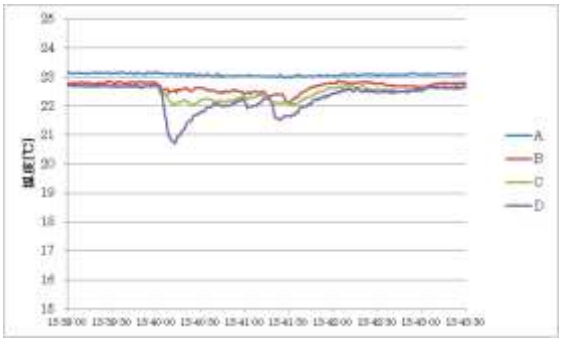


ノズル（イ）90 秒噴霧１回目

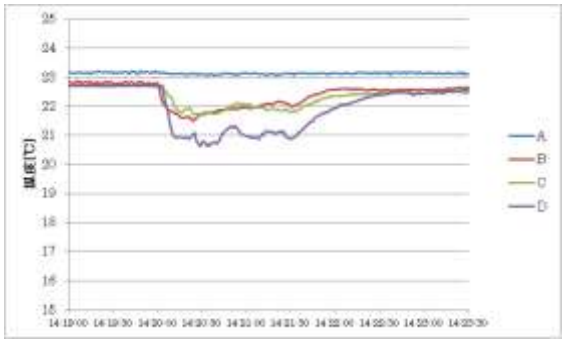


ノズル（イ）90 秒噴霧２回目

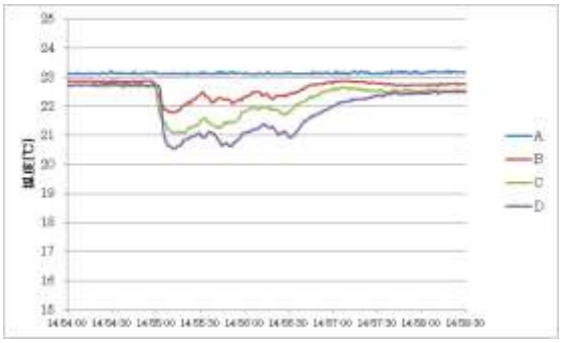
ノズル（イ）90 秒噴霧３回目



ノズル（ロ）90 秒噴霧１回目

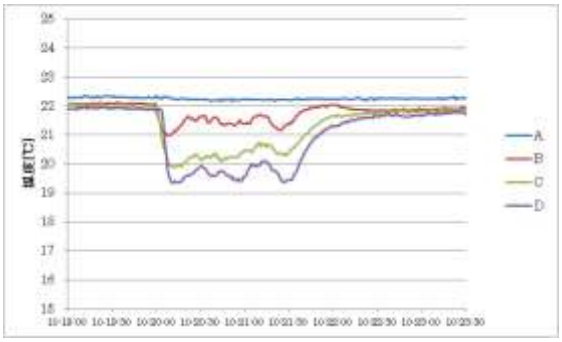


ノズル（ロ）90 秒噴霧２回目

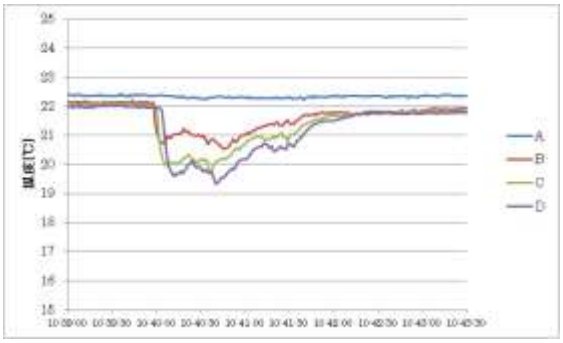


ノズル（ロ）90 秒噴霧３回目

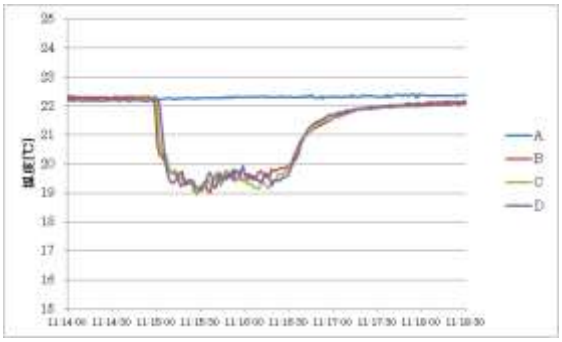
図３－３４　９０秒噴霧平均温度算出結果



ノズル（ハ）90 秒噴霧１回目



ノズル（ハ）90 秒噴霧２回目



ノズル（ハ）90 秒噴霧３回目

図３－３４　９０秒噴霧平均温度算出結果

考察

90 秒間ミストを噴霧しても多くの測定で、30 秒の測定と同程度の温度低下しか起こらなかった。ノズル（ハ）の 3 回目の実験で B,C,D 点の温度が同程度になっていることから BC 間，CD 間ではほとんど蒸発していないと考えられる。この結果についての詳細な分析は次項から行うが、この実験を行った時は、ミスト噴霧前の飽差が他の実験よりも大きくミストが蒸発しやすい環境であり、ミストが B 点よりもノズルに近い位置で蒸発したためであると考えられる。しかし、この場合でも温度低下は 3℃程度であり、1 回目の D 点とほとんど低下した温度に差はない。3 回目の実験では相対湿度は 60%程度までしか上昇していないことから、飽和状態になったわけではなく、粒径が大きく蒸発しにくい粒子を除く、蒸発可能なミストが全て蒸発したと考えられる。

３．２．２　蒸発率による考察

■算出方法

測定した温度を使用し、蒸発率を算出した。算出には以下の式（１０），（１１）を用いた。

$$蒸発率 = (x_{out} - x_{in}) \times S \times \frac{v}{M} \times 100 \qquad （１０）$$

蒸発率[%]
x_{out}：D 点の絶対湿度[kg/kg(DA)]
x_{in}：A 点の絶対湿度[kg/kg(DA)]
S：ダクト断面積=11.31[m^2]
v：ダクト下部での下向きの風速[m/s]
M：噴霧水量[kg/s]

絶対湿度の算出について、ミスト噴霧前の値は、測定した温度と相対湿度から式（1）～（3）によって算出した。ミスト噴霧開始後は、温湿度計の時定数が大きく、測定した相対湿度と温度と併せて扱うことが困難であったため、測定した温度から等エンタルピー変化をしているとして絶対湿度を求めた。

比エンタルピーの算出式

$$h = C_{pa} \times T + (C_{pw}T + r) \times x \qquad （１１）$$

h：比エンタルピー[kJ/kg(DA)]
C_{pa}：乾き空気の定圧比熱=1.006[kJ/kg・K]
C_{pw}：水蒸気の定圧比熱=1.805[kJ/kg・K]
T：乾球温度[℃]
r：水の蒸発熱=2501[kJ/kg]
x：絶対湿度[kg/kg(DA)]

■各ノズルの風速

図３－３５から図３－３７には、ノズル毎に５か所で測定した鉛直方向の風速測定結果を示す。グラフは上向きの風速を正としている。結果を見ると風速は各測定点で均一ではなく、測定位置によって風速にばらつきがある。いずれのノズルについても南側の風速が高くなっており、北側は低くなっている。ミスト噴霧を行っていない状態での風速はほぼ０m/s なので、ミストを噴霧することで、ダクト内に気流が発生し、その影響で風速に違いが出ていると考えられる。また、図３－３５において４００秒付近の風速が高くなっているのは濡れた熱電対を乾かすために扇風機を稼働させたためである。

１．２に示した方法によって算出した風速結果を表３－５に示す。算出結果は、風速測定を行った時の温度と各実験開始時の温度で補正を行ったが、どの実験においても 0.1 未満の違いしかなかったため全て表３－５の値を用いて蒸発率を算出した。

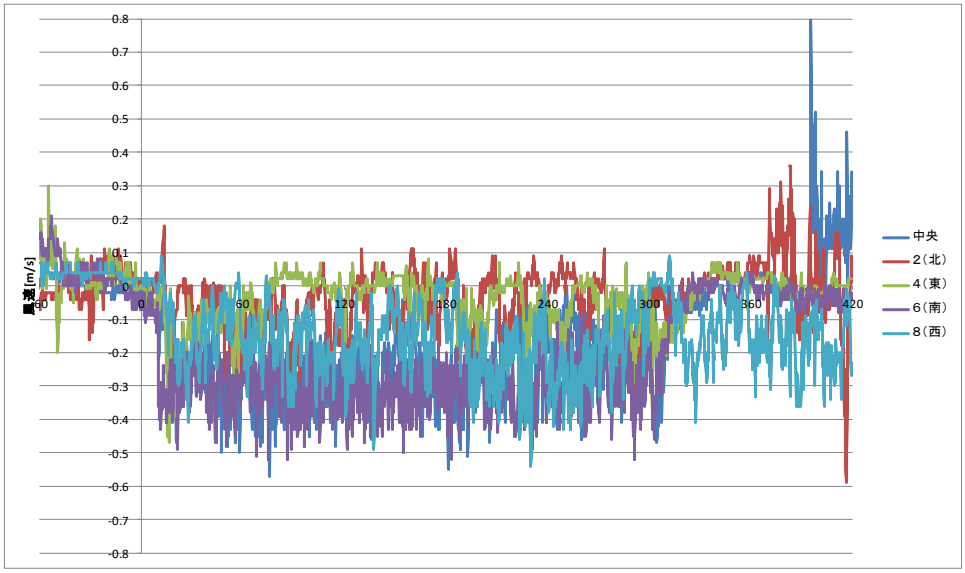


図３－３５　ノズル（イ）の風速測定結果

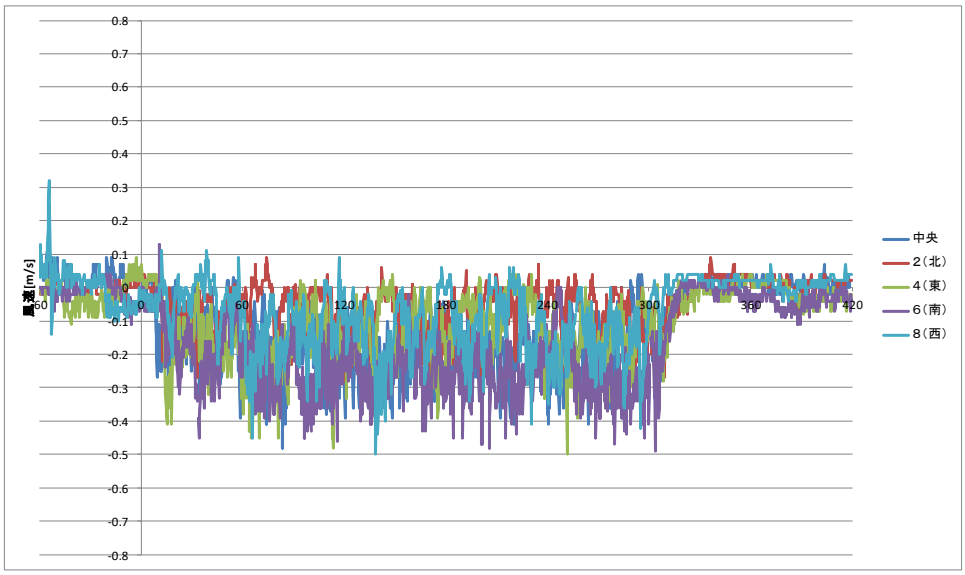


図３－３６　ノズル（ロ）風速測定結果

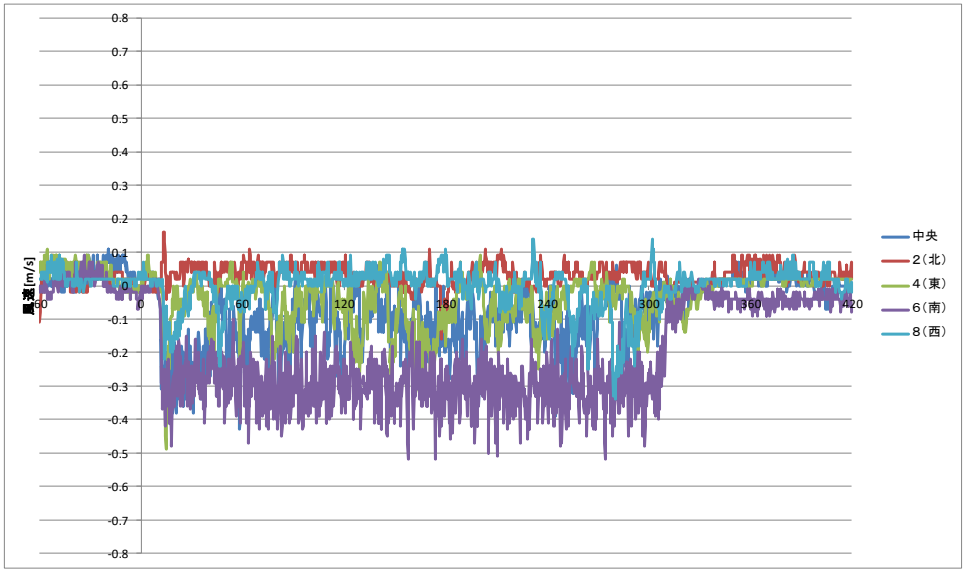


図３－３７　ノズル（ハ）風速測定結果

表３－５　ノズル毎の平均風速算出結果

	ノズル(イ)	ノズル(ロ)	ノズル(ハ)
風速[m/s]	0.20	0.17	0.10

各ノズルの風速測定結果をみると、測定位置によって風速にばらつきがあることがわかる。中央や南側の風速が高く、北側では、低くなっている。実際に、実験中は目視によってミストが南側に流れていることは確認できた。いずれのノズルにおいても同じような分布になっていることから、南側にミストが流れているのはノズルによるものではなく、ダクトが螺旋状になっていることによって発生したと考えられる。

平均風速算出結果をみると、流量の少ないノズル（ハ）よりもノズル（イ），（ロ）の方が 0.1m/s 程度高い値となった。特に、遠くまでミストが飛散するように設計されている X 社のノズル（イ）のノズルが高くなっている。

■各実験での飽差

各実験でのミスト噴霧開始時の A 点の飽差を表３－６に示す。色の付いている実験（ｉ）～（ix）で考察を行う。飽差の算出は、式（１），（２）を用いて行った。

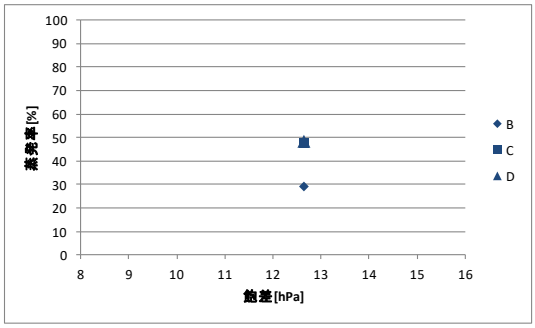
表３－６　各実験でのミスト噴霧前の飽差

飽差[hPa]		（イ）	（ロ）	（ハ）
60秒	１回目	12.20	9.57(iii)	8.95
	２回目	12.59	10.05	9.04(ｖ)
	３回目	12.21	10.29	8.08(ｖｉ)
	４回目	12.64(ｉ)	－	－
30秒	１回目	12.36	10.03	8.08
	２回目	12.44	10.14	7.75
	３回目	12.28	10.15	9.75
90秒	１回目	12.04	10.59(iv)	11.32(vii)
	２回目	11.75	9.92	12.31(viii)
	３回目	11.39(ii)	10.14	15.52(ix)

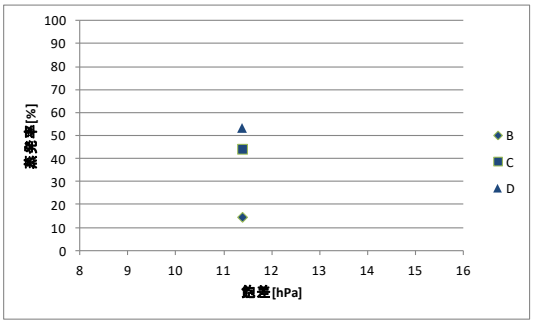
ノズル（イ）と（ロ）では、各実験で飽差の違いは最大でも 1.2hPa 程度と小さかった。ノズル（ハ）に関しては、8.1～15.52hPa と幅広い飽差で実験を行った。（ハ）の実験で飽差が大きく変動しているのは、表３－１に示した通り、２日にまたいで実験を行っていることと、外気の影響を受けていると考えられる。飽差と蒸発率の関係を検証するために、以降ノズル（ハ）での実験を中心に考察を行う。

■算出結果

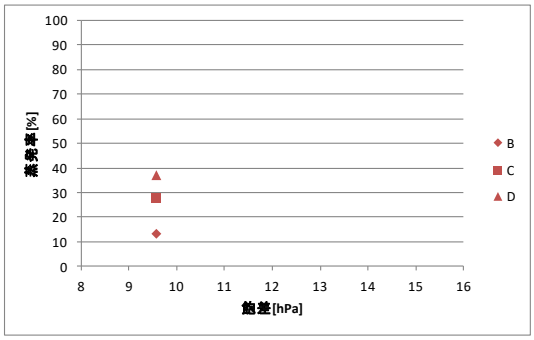
x 軸に飽差，y 軸に蒸発率をとったグラフを図３－３８に掲載する。飽差はミスト噴霧前の A 点の飽差､蒸発率はミスト噴霧開始から 30 秒後の蒸発率を示す。考察は表の(ｉ)～(ix)の９つの実験で行う。



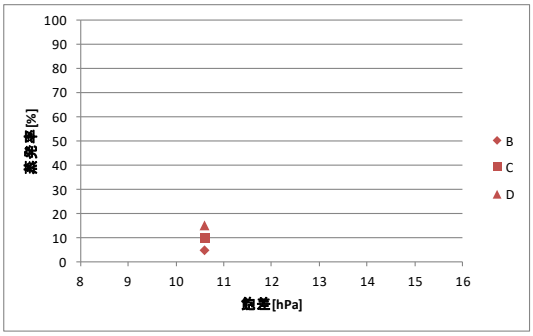
ノズル（イ）（ｉ）



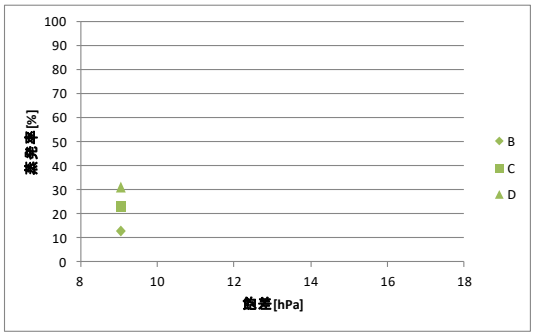
ノズル（イ）（ii）



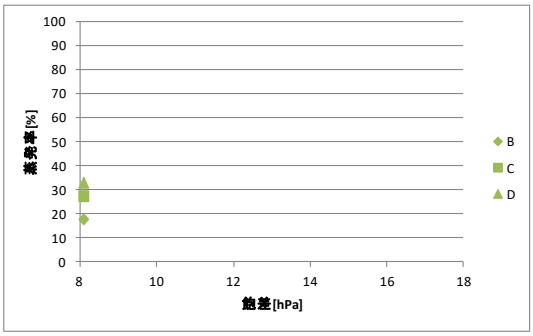
ノズル（ロ）（iii）



ノズル（ロ）（iv）

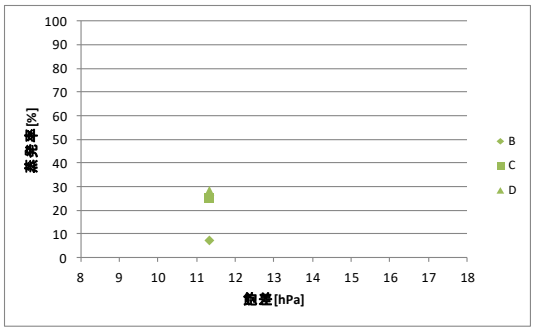


ノズル（ハ）（ｖ）

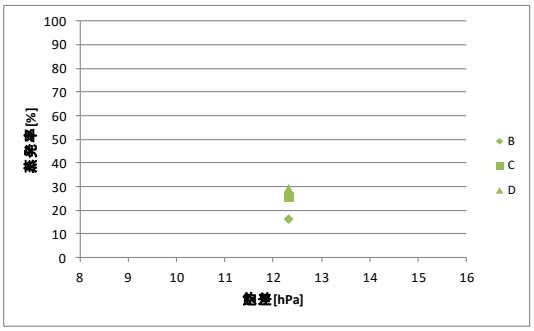


ノズル（ハ）（vi）

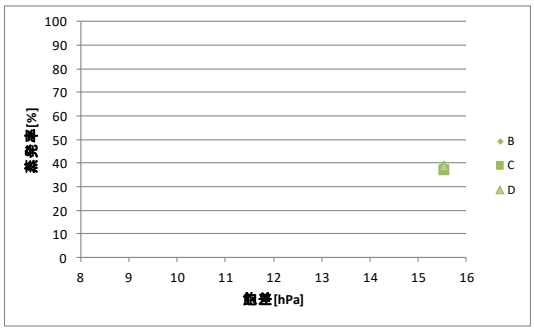
図３－３８　ミスト噴霧前の飽差とミスト噴霧開始から３０秒後の蒸発率



ノズル（ハ）（vii）



ノズル（ハ）（viii）



ノズル（ハ）（ix）

図３－３８　ミスト噴霧前の飽差とミスト噴霧開始から３０秒後の蒸発率

■考察

ノズル（イ）で行った（ｉ）と（ii）では、実験開始前の飽差が 1.2hPa あり、（ｉ）の実験の方が大きい値となっている。（ｉ）では、C 点と D 点の蒸発率がほとんど同じ値となっている。（ii）では、C 点と D 点の蒸発率に５％程度の差がある。どちらの実験でも B 点よりも C 点の蒸発率が大きくなっていることから、BC 間ではミストが蒸発していると考えられる。しかし、CD 間においては、（ii）では蒸発しているが、（ｉ）では蒸発率が近い値であることからほとんど蒸発していないと考えられる。

ノズル（ロ）で行った（iii）と（iv）では、（iv）の飽差が約 1.0hPa 大きい実験であった。蒸発率を見ると、飽差の小さい（iii）の実験の方がどの測定点においても蒸発率が高くなっている。（iv）では、噴霧開始直後温度が大きく低下しているが、その後温度が上昇しているため、３０秒での蒸発率が低くなった。温度が上昇した要因としては、粒径が大きく蒸発しにくいミストが多かったため、ミストが蒸発せずにそのまま落下したということが考えられる。

ノズル（ハ）では、飽差が 8.1hPa から 15.5hPa までの 5 つの実験で考察を行う。飽差の小さい環境で行った（ｖ），（vi）においては B,C,D 点で飽差に差があり、10%ずつ程度ミストが蒸発していることがわかる。一方、飽差の大きい（vi），（vii）では、C と D の蒸発率が共に約 30%でほとんど同じ値となっている。（vi）よりも（vii）では飽差が 1hPa 程度大きい環境であり、B 点の蒸発率が 10%程度高くなっている。さらに、最も飽差の大き

い環境で実験を行った（viii）では B,C,D 点で約 40%と他の実験よりも高い。これらの結果から飽差が 7hPa 程度大きくても蒸発率は 10%程度しか違わず、ほとんどの実験で最も高い蒸発率が 30%であった。つまり、ミストがある程度蒸発すると、それ以上温度は低下しなくなるが、その位置が飽差によって変わり、飽差が大きい程ノズルから近い位置で多くのミストが蒸発することがわかる。

３．３　数値計算による蒸発率の算出

３．３．１計算方法

噴霧されたミストが、ダクト内を落下する間にどれだけ蒸発するかを計算によって求める。計算には以下の式（１２），（１３）を用いる。計算はノズルから 0.1m 毎に 3.5m まで行う。

$$\partial M = \frac{a \cdot M \cdot E_d}{\rho \cdot v \cdot S} \cdot \partial l \qquad （１２）$$

$$\partial T = -\partial M \cdot r/(C_p \cdot \rho \cdot v \cdot S) \qquad （１３）$$

$$\partial x = \partial M/(\rho \cdot v \cdot S) \qquad （１４）$$

M：ダクト内のミストの量[kg]
a：定数
E_d：飽差[hPa]
ρ：密度=1.2[kg/m^3]
v：ダクト下部での下向きの風速[m/s]
S：ダクト断面積[m^2]
l：ノズルからの距離
T：温度[℃]
r：蒸発熱=2501[kJ/kg]
C_p：定圧比熱=1.006[kJ/(kg·K)]
x：絶対湿度[kg/kg(DA)]

蒸発率は、定数 a×飽差であるとした。ノズルからの距離が 0m の位置での飽差は A 点の実測値から算出した。式（１１）で δl ミストが落下した時のダクト内のミストの量の変化を求める。その結果から（１２），（１３）を使用して δlm 先の温度と絶対湿度を求めた。算出した温度と絶対湿度から飽差を求め、さらに δlm 先の計算を行った。これを繰り返し行い、0 から 3.5m までの温度と絶対湿度を求めた。l=0 におけるミストの量 M は、単位時間当たりのミストの噴霧量としている（１．２で示した流量の 1/60)。その値は、ノズル（イ）が 0. 782g,（ロ）が 0.775g,（ハ）が 0.45g である（式では kg 換算している)。

３．３．２　計算結果

■ノズル（ハ）での飽差の違いによる比較

表３－６の実験（vi）（viii）（ix）における計算結果を図３－３９に示す。（vi）（viii）（ix）の実験では、飽差に違いがあったにも関わらず、最も温度が低下した点での温度降下が 3℃程度と差はなかった。そこで、蒸発可能なミストが全て蒸発した場合に、温度が 3℃低下するとして計算を行った。式（８），（９）の定数 a は、（vi）において D 点で温度が 3℃低下するとした時の値に設定した。また、その時の 0m から 3.5m までの合計の蒸発量 0.16g を超えた時点で、（viii）（ix）においてもそれ以上蒸発は起こらないとしている。

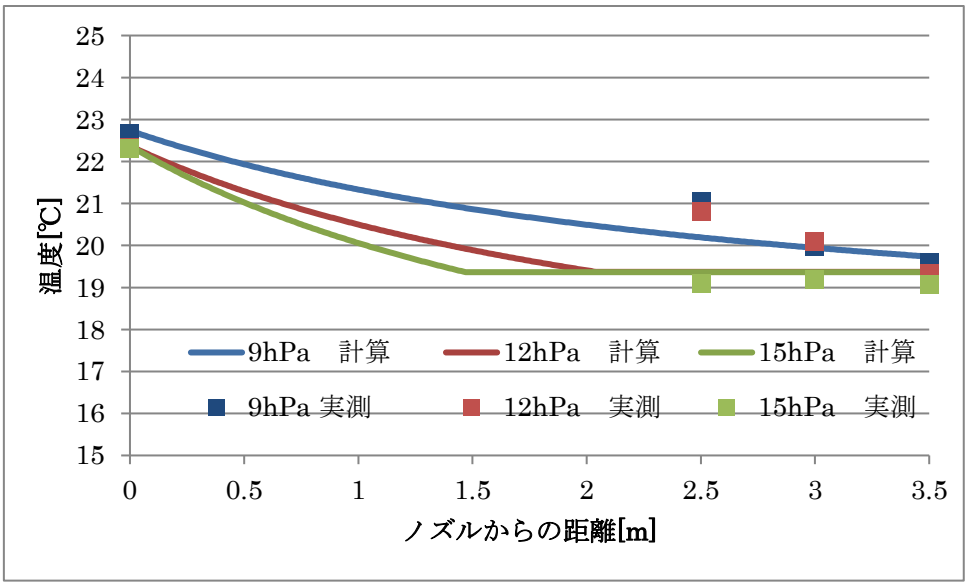


図３－３９　温度計算結果

算出結果を見ると、飽差が大きいほど 0.16g のミストが蒸発するまでの距離が短くなっていて、飽差が約 12.3hPa の（viii）では、2.03m で蒸発しており、飽差が約 15.5hPa の（ix）では、1.46m で蒸発している。しかし、実測結果では、実験（viii）で、2.5m～3.0m でミストが蒸発しているため、実際は計算結果よりも AB 間の蒸発率が低く、BD 間で多くのミストが蒸発していると考えられる。

■ノズル（イ）と（ロ）の比較

実験（ｉ）～（ⅳ）の計算結果と実測値の比較を行う。計算の a の値は 3500mm での温度が D 点の温度が最も低い時の値になるように設定した。各実験での a の値は（ｉ）から順に、0.00950，0.00673，0.00552，0.57 である。実測値の B,C 点も D 点と同時刻の値を使用している。結果を図３－４０～図３－４３に示す。

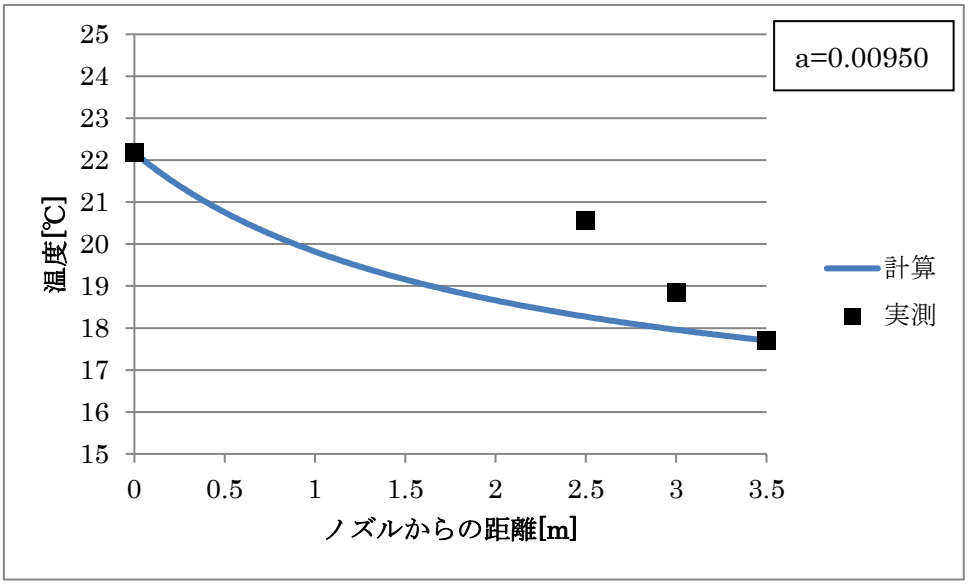


図３－４０　（ｉ）の計算値と実測値の比較

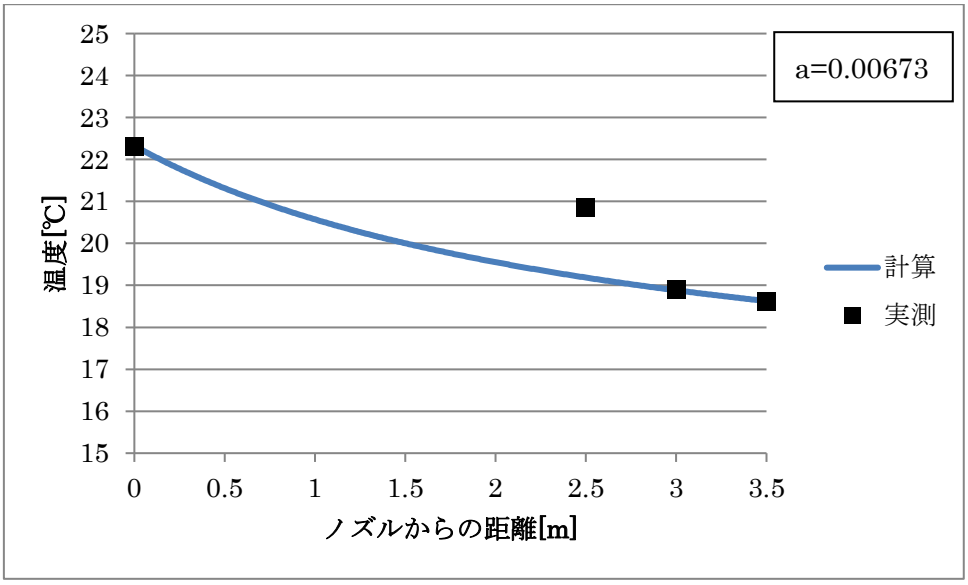


図３－４１　（ⅱ）の計算値と実測値の比較

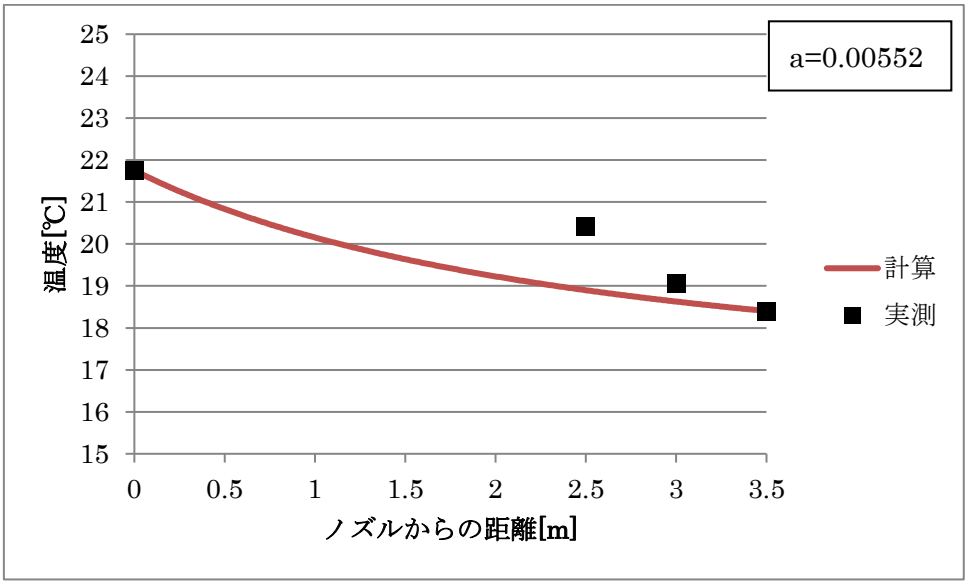


図３－４２　（iii）の計算値と実測値の比較

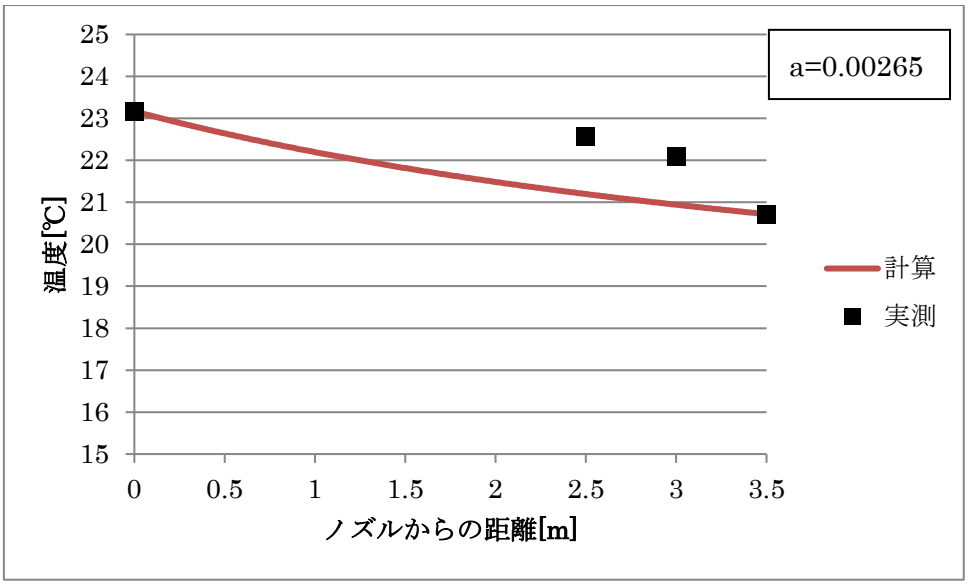


図３－４３　（iv）の計算値と実測値の比較

考察

D 点の温度に合わせて計算を行ったが、実測値と差がある結果となった。（ii），（iii）では、C 点で近い値を示しているが、B 点では 1℃以上の差がある。（i），（iv）では B 点，C 点共に実測値と差があった。実測結果では、AB 間の距離の方が BD 間よりも長いにもかかわらず、BD 間で AB 間よりも温度が大きく低下している。ノズル近くでは、ミストの噴流による速度が大きく、粒径の小さい粒子は距離が離れていくにつれてその勢いが減衰していくと考えられる。そのため、AB 間よりも BD 間の速度の方が小さいため、温度が大きく低下していると考えられる。

■各実験での定数 a の比較

各実験で、計算によって求めるノズルから 3500mm の温度が、D 点の温度が最も低い時の値となるように a を設定した。その時の値を表３－７に示す。

表３－７　各実験における定数 a の値　(10^{-3})

		(イ)	(ロ)	(ハ)
60秒	1回目	3.77	5.52	3.27
	2回目	8.58	4.56	3.30
	3回目	9.64	4.66	4.00
	4回目	9.50	－	－
30秒	1回目	10.09	5.49	3.90
	2回目	8.00	7.20	3.29
	3回目	9.29	5.58	2.22
90秒	1回目	8.27	2.65	2.02
	2回目	8.79	3.11	1.80
	3回目	6.73	3.23	1.47

計算結果を見ると、ノズル（ハ）が最も低い値となっている。このことから流量が少ないことは蒸発率が低くなる要因としては考えられず、ノズル（ハ）のダクト下部での風速が小さいことが影響していると考えられる。つまり、ダクト下部での風速が大きいほど蒸発率が高いと考えられる。また、飽差の小さい 60 秒，30 秒の実験での値が大きく、飽差の大きい 90 秒の実験の方が低い。これは、３．２で述べたように、飽差の大きい環境での蒸発量は飽差の小さい場合と変わっておらず、その原因として、飽差が大きい環境の実験では飽和しているわけではなく、蒸発可能なミストが全て蒸発したためであると考えられる。そのため、蒸発率を飽差と a の積としているため、蒸発率が等しければ、飽差の小さい実験では a の値が高くなり、飽差の大きい実験では低くなっていると考えられる。また、流量が同等の（イ）と（ロ）では（イ）の方が 60 秒噴霧の 1 回目と 90 秒噴霧の 3 回目を除いて*8.00～10.09 の間の値となっており、高い値を示している。ノズル（ロ）は（イ）と比較して粒径の大きいミストが多かったために a の値が低くなっていると考えられる。

＊（イ）ノズルで 60 秒噴霧の 1 回目の実験で a の値が小さいのは、この実験を行った後ノズルを再度設置し直したことで、粒径分布、風速分布が他の実験と異なっていることが影響していると考えられる。

３．４　まとめ

スパイラルダクト内部で 3 種類のノズルを使用してミスト噴霧を行い、各実験での温度低下、飽差の蒸発率に与える影響、ノズルの違いについての結果を示した。

２．１では、実験毎に温度低下を示した。噴霧時間による低下温度の差はなく、30 秒間のミスト噴霧でも 60 秒, 90 秒間と同等の温度低下が見られた。ノズル（ハ）の飽差が 15hPa の環境で行った実験では、B,C,D 点での温度が同じになっていることから AB 間で多くのミストが蒸発し、2500mm よりも下ではほとんどミストは蒸発していないと考えられる。ダクト下部の D 点で低下した温度は他の実験と変わらないため、飽差が蒸発量に与える影響は少ないと考えられる。２．２には飽差と蒸発率のグラフを示したが、飽差が大きく違っていても蒸発率は、10%程度しか違いはなく、ある一定量のミストが蒸発すると、それ以上蒸発しなくなっている。この結果から、飽差の違いは蒸発する位置に影響し、飽差が大きいほどノズルに近い位置での蒸発が多くなると考えられる。

２．３では、実測データを基に数値計算を行った。飽差と蒸発率が線形関係であるとして計算を行った。２．１，２．２の結果から 0.16g 以上ミストは蒸発しないとして、ノズルからどの程度離れた位置でミストが蒸発しなくなるかを求めた。結果は実測値と計算値で差があり、再現することはできなかった。次に、実測の値に合わせて、蒸発に関わる定数 a 求めた。流量の少ないノズル（ハ）の a の値が小さく、ノズル（イ）が最も高い値であった。ノズル（ハ）が最も低かったことから蒸発率には風速が大きく影響していると考えられる。また、ノズル（イ）と（ロ）を比較すると、ノズル（イ）の方が高くなっているのは、ノズルによって粒径分布、風速分布が異なるため、そのことが影響していると考えられる。

今後の課題としては、ノズル（イ），（ロ）の実験では飽差が異なる環境で実験を行うことができなかったため、ミストを噴霧しても周辺空気に影響がないような大規模空間で飽差を調節する方法を検討する必要がある。また、飽差を変えてダクトの長さをさらに長くし、実験（ix）のように温度が下がらなくなる位置を知ることで、飽差と蒸発率の関係をより詳細に調べることができると考える。また、その距離がノズルによってどう変化するか調べることで、ノズルの性能の違いを検証する必要があると考える。

４章　総括

4 章　総括

本研究では、まだ事例の少ない加湿としてドライミストを利用する際の飽差と蒸発率の関係について検証した。日本で唯一室内の加湿にドライミストを使用しているモリコロパーク内の施設での加湿実験では、室内の温度を変化させて実際に加湿を行い、絶対湿度上昇量と床や机上の濡れ発生について検証し、数値計算を行った。次に、モリコロパークの加湿実験から飽差と蒸発率の関係に着目し、スパイラルダクト内部にドライミストを噴霧する実験によって飽差と蒸発率の検討を行っている。

2 章ではモリコロパーク体験学習室内での加湿実験から室温（飽差）の違い絶対湿度上昇について考察した。飽差小さい環境（6，7hPa）でも十分に加湿できるが、床や机上の濡れが生じてしまう。12hPa 程度の環境でミスト噴霧を行うことで、約 10 分間は濡れを引き起こさずに加湿することができることがわかった。数値計算では、飽差と蒸発率が線形関係であるとして計算を行ったが、給気ピットの影響が計算では大きく、実測値と差が生じた。垂直方向の測定点を増やし、給気ピットの風量の測定等も行うことで、現象を詳細に把握し再現性を高める必要がある。

３章では、日射などの影響がない大規模な空間で、スパイラルダクトを使用して行ったドライミストによる加湿実験について考察を行った。相対湿度による分析は行えなかったため、温度での考察を行った。３種類のノズルを使用して検証を行ったが、いずれのノズルにおいても噴霧後すぐに温度が低下し、相対湿度が 80%を超えると、ほとんど温度が下がらなかった。また、飽差の大きい実験と小さい実験で、蒸発率はほとんど変わらなかったが、ミストが蒸発する位置が、飽差が大きいほどノズルに近い位置で蒸発し、飽差が小さい環境では同じ量のミストが蒸発するのに長い距離を必要とした。数値計算によって、飽差が蒸発率と線形関係であるとして、ダクト内をミストが落下する間にどの程度蒸発するかを検証した。3500mm で実測結果と計算結果が合うように定数を設定して計算を行った場合に他の測定点の値とは差があった。実測の値は、AB 間よりも BC 間，CD 間の方が温度低下が大きかったため計算の値とずれが生じた。ダクト内の気流はノズルからミストが噴き出る勢いが影響していると考えられるため、AB 間の方がダクトを流れる気流の速度が速く蒸発量が少なくなったと考えられる。また、ノズル毎の a の値の算出結果から、蒸発率にはノズルの流量が大きく影響すること、また同等の流量であってもノズルによって多少のばらつきがあり、その違いはノズルの性能の違いによるものであると考えられる。

今後の課題として、ミスト噴霧による周辺空気への影響の少ない大規模空間での飽差の調節方法を検討すること、今回の実験よりも長いダクトを使用し、各ノズルで飽差の低い環境でも温度変化がなくなる距離を調べることが挙げられる。

参考文献

・上田政文：湿度と蒸発，コロナ社，2000
・日本液体微粒化学会：アトマイゼーション・テクノロジー，森北出版，2001
・植村聡：水噴霧加湿におけるミストの加湿吸着距離，環境工学総合シンポジウム講演論文集 2009（19），509-511，2009
・加藤史郎：ドライミスト粒子の粒径・速度分布に関する研究，東京理科大学修士論文，2010
・ファーナム・クレイグ：複数のミスト蒸発冷却ノズルの蒸発率と統一近似式，日本建築学会近畿支部研究報告集，353-356，2010

謝辞

本研究を進めるにあたって、指導して頂いた東京理科大学の辻本誠教授には大変感謝しております。筆者が研究に行き詰るたびに、適切な助言を頂き、最後の最後までご迷惑をおかけしましたが、このような形で論文をまとめることができました。ありがとうございました。西田幸夫先生にも、大学 4 年次からの 3 年間に渡ってご指導頂き、多くの助言を頂いたことを深く感謝致します。また、本論文をご精読頂きました倉渕隆教授、伊藤拓海講師に感謝致します。

実験に協力して頂いた、松山賢准教授、沖永誠治氏に深く感謝致します。

多くの助言をいただき、協力して頂いた石井智洋氏に深く感謝致します。

辻本研究室の前川結宇理氏には、様々な面で大変お世話になりました。深く感謝致します。

共に辻本研究室で 3 年間を過ごした大場正直氏とは、唯一の同期として大学生活を楽しく過ごせたことを嬉しく思います。この謝辞を書いている時に直面していた大きな壁を乗り越えていることを心から祈っています。修士 1 年の長谷川雅浩氏とは、研究室で二人になることが多かったので、色々とお世話になりました。感謝致します。小澤竜也氏は、昨年あまりお目にかかることがなかったので、今年は長谷川氏と共に頑張ってくれることを期待しています。

国際火災科学研究科の太田まどか氏、陶山和信氏、熊野未有氏、卒研生の皆様にも、研究や学生生活においてお世話になりました。感謝致します。

付録

■宮城県南三陸町　復興商店街でのドライミストの設置

■宮城県南三陸町　復興商店街でのドライミストの設置

背景

2012 年 2 月 25 日に宮城県南三陸町に「南三陸さんさん商店街（南三陸志津川福興名店街)」が、商店街支援プロジェクトの一環でオープンした。商店街には、約３０店舗の商店が入り、連日賑わっている。

このように、甚大な被害を受けた町に商店街をつくることで、人々が集まり、物資供給が安定することは、復興の役割として大きな一因となる。

商店街の賑わいを継続的に保つために、夏季に想定される暑熱環境改善対策としてドライミストを設置することは有効である。また、太陽電池と組み合わせてミスト噴霧を行うことで、電力供給に負担をかけることなく支援に参加することが可能である。

図１　南三陸町さんさん商店街

ドライミストの設置

ドライミストは、商店街の休憩所に設置した。設置期間は、7 月 2 日から 9 月末までとした。この施設は、周囲を囲むように配置された商店で購入した飲食物を持ち込んでの休憩スペースとして利用されている。設置箇所は、休憩室の西側入り口とし、ノズルは 7 個設置した（350ml/min）。太陽光パネルは、休憩所の南側のスペースに設置した。

図 2　ドライミスト設置風景

図 3　ドライミストノズル

図 4　太陽光パネル

温湿度計の設置

温湿度計は、図５の①～⑨に設置した。設置高さは 2400mm で、⑨は休憩スペースの外に設置した。

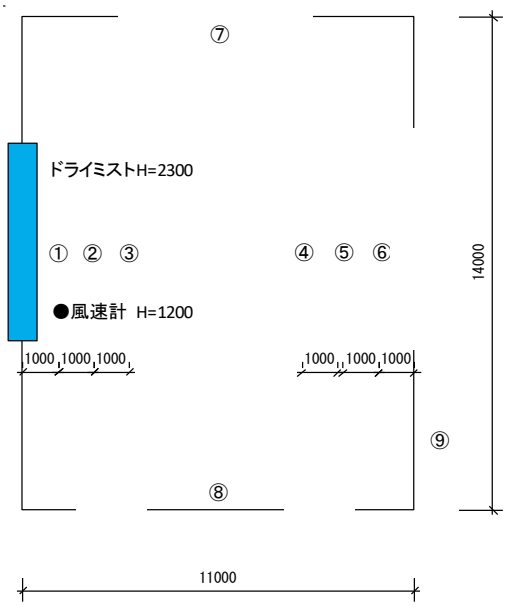


図５　温湿度計配置図

測定結果

気象状況が安定しており、噴霧時間が多かった 7 月 4 日の温度，相対湿度の測定結果を図６，７に示す。測定点④は、測定ミスがあったため、掲載していない。

測定結果を見ると、休憩スペースは、12 時 30 分ごろ 35℃近い温度となっており、かなり不快な環境であると考えられる。ミスト噴霧をしてもほとんど温湿度は変化しておらず、点と外部に設置した⑨の温湿度と同じ変動をしている。その原因として、測定機器が休憩スペース利用者の妨げにならないように休憩室上部に設置してあり、さらにミストは鉛直下向きに噴霧していたため測定位置では、ミスト噴霧による温度低下が得られなかったと考えられる。風向きにもよるが、休憩スペース内に風が吹き込んでくる状況ではミストも休憩スペース内に流入しており、冷却効果はあったと考えられる。実際に、利用者からはミスト噴霧によって涼しくなっているという感想が聞かれた。太陽電池に関しても、雨が降っていないミスト噴霧に適した環境では、ミスト噴霧に要する電力を十分に供給できており、太陽電池が原因でミストが停止することはなかった。

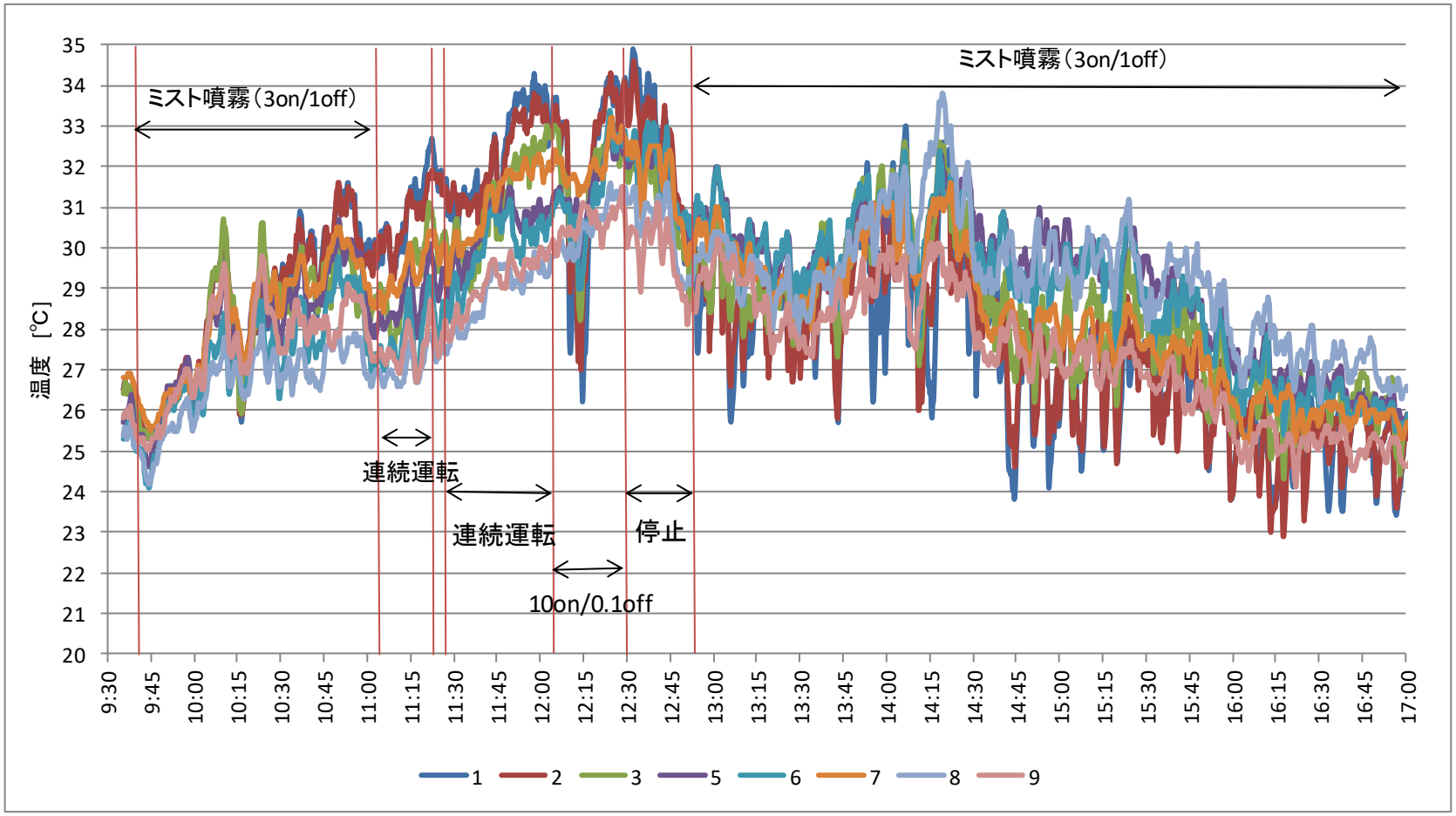

ミスト噴霧（3on/1off）
ミスト噴霧（3on/1off）
連続運転
連続運転
停止
10on/0.1off
温度［℃］
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
9:30
9:45
10:00
10:15
10:30
10:45
11:00
11:15
11:30
11:45
12:00
12:15
12:30
12:45
13:00
13:15
13:30
13:45
14:00
14:15
14:30
14:45
15:00
15:15
15:30
15:45
16:00
16:15
16:30
16:45
17:00
1
2
3
5
6
7
8
9

図６　温度測定結果

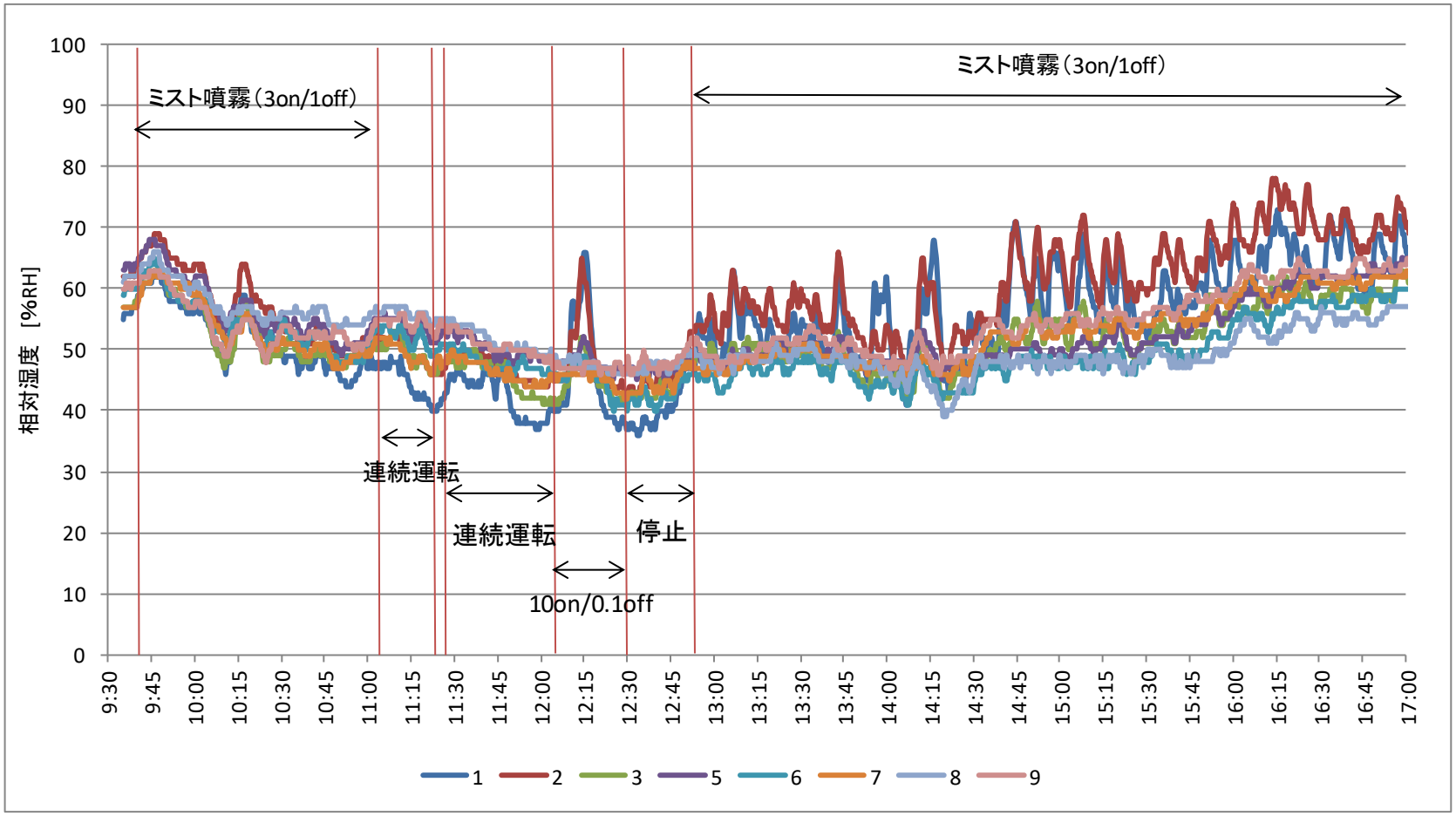

ミスト噴霧（3on/1off）
ミスト噴霧（3on/1off）
連続運転
連続運転
停止
10on/0.1off
相対湿度 [%RH]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
9:30
9:45
10:00
10:15
10:30
10:45
11:00
11:15
11:30
11:45
12:00
12:15
12:30
12:45
13:00
13:15
13:30
13:45
14:00
14:15
14:30
14:45
15:00
15:15
15:30
15:45
16:00
16:15
16:30
16:45
17:00
1
2
3
5
6
7
8
9

図７　相対湿度測定結果