

**ドライミスト蒸散効果による屋外温熱快適性の改善に関する研究**

**Studies on improvement in outdoor thermal comfort  
using effects of evapotranspiration of Dry Mist**

平成 17 年度修士学位論文  
名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻  
都市持続発展論講座 原田研究室

児玉 奈緒子



# 目次

<b>第 1 章 序論</b> .....	<b>1</b>
1.1. 研究の背景 .....	2
1.1.1. ドライミストシステム開発の背景と目的 .....	2
1.1.2. 屋外および半屋外空間の温熱環境の評価 .....	3
1.2. 研究の目的 .....	3
1.3. ドライミストシステムとその開発状況 .....	3
<b>第 2 章 実験方法</b> .....	<b>5</b>
2.1. 実験概要 .....	6
2.1.1. 屋外空間での実験 .....	6
2.1.2. 半屋外空間での実験 .....	6
2.1.3. 万博会場でのアンケート調査 .....	6
2.2. 実験方法：屋外空間での実験 .....	7
2.2.1. 実験の目的 .....	7
2.2.2. 実験フィールド .....	7
2.2.3. ドライミスト噴霧条件 .....	10
2.2.4. 実験プロトコルと被験者 .....	11
2.2.5. 物理量の測定 .....	12
2.2.6. 生理量・心理量の測定 .....	15
2.3. 実験方法：半屋外空間での実験 .....	17
2.3.1. 実験の目的 .....	17
2.3.2. 実験フィールド .....	17
2.3.3. ドライミスト噴霧条件 .....	21
2.3.4. 実験プロトコルと被験者 .....	21
2.3.5. 物理量の測定 .....	22
2.3.6. 心理量・生理量の測定 .....	25
2.4. 調査方法：万博会場でのアンケート調査 .....	26
2.4.1. 調査の目的 .....	26
2.4.2. 調査スケジュール .....	26
2.4.3. 調査場所 .....	27
2.4.4. 調査対象者 .....	28
2.4.5. ドライミスト制御条件 .....	28
2.4.6. アンケート調査項目 .....	30
2.4.7. アンケート配布・回収方法 .....	30
2.4.8. 物理量計測 .....	31

<b>第 3 章</b>	<b>実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化.....</b>	<b>37</b>
3.1.	2003~2005年夏季の気象条件.....	38
3.2.	屋外空間での実験.....	41
3.3.	半屋外空間での実験.....	45
3.4.	万博会場でのアンケート調査.....	48
<b>第 4 章</b>	<b>屋外空間の温熱環境評価.....</b>	<b>55</b>
4.1.	はじめに.....	56
4.2.	既存の温熱環境指標.....	57
4.3.	屋外空間の評価.....	59
4.3.1.	既存の評価基準との比較.....	59
4.3.2.	他の屋外研究との比較.....	60
4.3.3.	物理量と心理量の相関係数.....	60
<b>第 5 章</b>	<b>一卵性双生児の同等性の検討.....</b>	<b>71</b>
5.1.	はじめに.....	72
5.2.	身体的特徴の同等性.....	72
5.2.1.	身体的特徴の測定.....	72
5.2.2.	体格の同等性.....	72
5.2.3.	血圧、脈拍の同等性.....	78
5.3.	心理反応の同等性.....	80
5.3.1.	同等の程度が高い一卵性双生児の特徴.....	80
5.3.2.	安静室内での申告.....	93
5.3.3.	炎天下での申告.....	99
5.4.	生理反応の同等性.....	105
5.4.1.	安静室内での皮膚温.....	105
5.4.2.	炎天下での皮膚温.....	108
5.5.	本章のまとめ.....	111
<b>第 6 章</b>	<b>ドライミスト噴霧による人体の快適性の改善.....</b>	<b>117</b>
6.1.	屋外空間での実験.....	118
6.1.1.	心理量測定結果.....	118
6.1.2.	温熱環境指標によるミスト内外の比較.....	122
6.1.3.	ミスト内外での心理量の関係.....	123
6.1.4.	物理量と心理量の関係.....	125

6.2.	半屋外空間での実験 .....	128
6.2.1.	心理量測定結果.....	128
6.2.2.	温熱環境指標によるミスト有無の比較.....	129
6.2.3.	ミスト有無での心理量の比較 .....	130
6.2.4.	物理量と心理量の関係 .....	131
6.3.	万博会場でのアンケート調査 .....	133
6.3.1.	対象者属性 .....	133
6.3.2.	ウェイティングスペース内での温熱感覚 .....	137
6.3.3.	ウェイティングスペース外での温熱感覚 .....	145
6.3.4.	ミストシステムの性能と応用性 .....	147
6.3.5.	ドライミストの認知度 .....	152
6.3.6.	日進実験との比較 .....	153
6.4.	本章のまとめ .....	155

**第 7 章 総括..... 157**

**参考文献**

**謝辞**

**付録**



## 第1章 序論

## 第1章 序論

### 1.1. 研究の背景

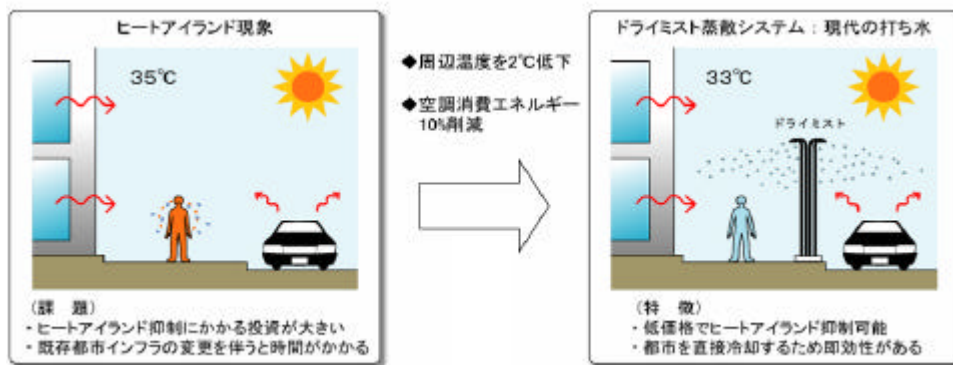
#### 1.1.1. ドライミストシステム開発の背景と目的

CO<sub>2</sub>排出などによる地球の温暖化は、社会全体の課題として、日に日に重要性を増している。中でも、名古屋をはじめとする大都市の夏の不快さは、ヒートアイランド現象と説明され、その緩和は緊急を要するものである。これを解消する方法として、建物の屋上や壁面の緑化、風の道や舗装のポーラス化など種々の提案があるが、インフラ投資の困難さなどが要因であり実現されていない。さらに単純な緑化では効果を期待できない可能性もある。

一方、いわゆる田園地域との比較で、都市に欠落している冷却機能のひとつとして蒸散があげられる。古来、日本の都市ではこの効果の代替として夏の風物詩でもある打ち水が行われてきたが、散布された水の蒸散に寄与する率が低く、水資源の問題から現代では一般性を失っていた。

異分野における研究で、水量の大きいスプリンクラーに代わる消火設備として極小水滴の蒸発によるO<sub>2</sub>の低下を利用し、少水量で消火を目指すミスト消火設備の研究が進められている。この過程で、潜熱冷却効果が大きく、かつ浮遊性の高い(べたつかない)ミストを噴出するノズルが開発されており、高性能に改良することにより応用可能である。

本システムではこの極小径の水滴(ドライミスト)に注目し、これのもつ冷却効果を利用することにより、少水量、低エネルギーで都市の暑熱環境を冷却するシステムを開発する。これにより夏季におけるオープンスペース(街路、都市公園など)や半屋外空間(イベント会場テント下など)の快適性を向上させるとともに、外気温度低下に伴う周辺建物の空調負荷低減、空調機器効率の向上による省エネルギーを目指し、環境負荷の低減を図ることを目的とし、開発が始まりました。



### 1.1.2. 屋外および半屋外空間の温熱環境の評価

近年、ヒートアイランド現象の広がりやアトリウム空間等の半屋外空間の増加などにより、都市空間の屋外および半屋外空間の温熱環境の的確な評価が重要となっている。屋外、半屋外空間は室内空間とは異なり、気温、湿度、放射、気流等の条件が時々刻々と変化する非定常かつ不均一な温熱環境となっていることが特徴である。屋外および半屋外空間の温熱環境の評価に関する研究は増えているが、複雑な屋外温熱環境の評価には更なる研究が必要である。

## 1.2. 研究の目的

本研究では、ドライミスト噴霧による人体の快適性への影響について調査することを目的とする。

上述のように非定常状態の温熱環境評価の手法は確立されていない。また、ドライミストの噴霧はもともと複雑な屋外温熱環境をさらに複雑なものにすると考えられる。温熱快適性の評価においても、屋外の評価は屋内の評価とずれるという報告があり<sup>1)2)</sup>、さらにドライミストの噴霧によりより特殊な評価をすることも考えられる。そこで本研究では、実際にドライミストシステムをつくり、屋外および半屋外空間でミストの噴霧を行い、物理量の測定を行うとともに、一卵性双生児を用いた被験者実験を行い、ミストの噴霧が人の快適性にどのような影響を与えるか検討する。温熱環境の改善効果については第3章に、人の快適性への影響については第6章に示す。

第4章では、屋外空間（ドライミストを噴霧していないとき）の温熱環境評価について検討を行う。本実験で得られた結果を既存の温熱環境指標を用いて評価し、屋内環境評価および他の屋外環境に関する研究との比較を通して屋外空間への適用の妥当性を検討する。

第5章では、一卵性双生児の同等性について検討を行う。屋外でのドライミスト噴霧時の温熱快適性の評価に当たり本実験では、ミスト有無の比較を行うために一卵性双生児を被験者として用い、比較することを考えた。そこで、一卵性双生児の同等性の程度について、本実験で一卵性双生児がともに行動をしている時のデータを用い、検討する。

## 1.3. ドライミストシステムとその開発状況

仮に、100m×100mの空間を想定して、クスノキ林と同じ蒸散量を確保すると、「図解生物学データブック」によれば、クスノキの夏季の全蒸散速度として2137(mgH<sub>2</sub>O/dm<sup>2</sup>/h/10mmHg飽差)が与えられ、名古屋市の夏(気温34℃、相対湿度50%)にクスノキ林(有効な葉の面積を地面の面積に同じと仮定)と同量の蒸散量の空間を作り出すとすれば、全蒸散量は、1時間あたり4.5m<sup>3</sup>(75l/min)となる。この量の蒸散による冷却効果が全部空気の温度を下げるために使われると考えると、1分あたり、高さ7mの空気柱に2℃の温度効果を与えることができる。実際には外気風による移送で熱拡散が起こっていると考えられるが、詳しくは実測に頼らざるを得ない。

ドライミストシステムの概念図を図1.3.1に示す。ミスト噴霧の方法には、水のみ1流体

## 第1章 序論

でミストを作る方法と水と空気の2流体で作る方法がある。2003年の実験では2流体、2004年の実験および2005年の万博会場のシステムでは1流体のものを採用した。使用する水は上水で、これを高圧ポンプにより圧送し、ミストノズルから微粒子のミスト(ザウター平均で $16\mu\text{m}$ )を噴霧する。回路の途中にいくつかの弁が取り付けられているが、これはミスト発停時の圧力変化によるミストノズル先端からの水滴の滴下を防ぐように制御される。ポンプ、弁等の制御は、気温、湿度、日射、風速、降雨のセンサーからの信号をもとにした自動制御である。また、ミスト制御盤をコンピュータ上で遠隔操作を行うことも可能である。実験時は、この遠隔操作によりミスト噴霧を行い、実験で得られたデータをもとに制御パラメータを決定し、万博会場では自動制御により運用された。

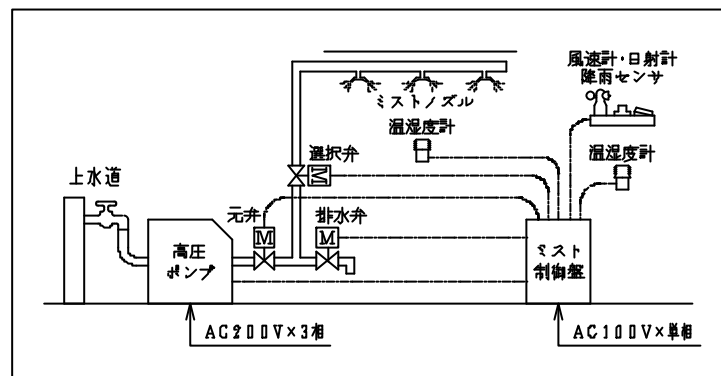


図 1.3.1 ドライミストシステムの概念図

## 第2章 実験方法

## 2.1. 実験概要

### 2.1.1. 屋外空間での実験

2003年7月下旬から8月中旬にかけて、旧国鉄操車場跡地（ささしまライブ24：名古屋市 中村区）の南東部にある駐車場（アスファルト敷）約3080m<sup>2</sup>に24m×24mのミスト放出区画を設け、物理条件としてミスト噴霧量、噴霧高さを変化させ、外気での成り行き状態下で、温熱環境変化について測定するとともに、一卵性双生児群（16～25歳、14組、実験数延べ28組）を被験者に、ミスト内外での温冷感、快適感等を測定した。ミスト噴霧量としては文献より、真夏のクスノキの蒸散量と同程度の1m<sup>2</sup>あたり6.0ml/minとその倍の水量12.0ml/minとした。

### 2.1.2. 半屋外空間での実験

2003年度に行った屋外開放空間（ささしまライブ24）での実験では、完全に開放された屋外空間でのドライミスト噴霧の物理的、心理的改善効果を検証した。半屋外空間の実験では、屋根と北側1面にのみ壁を持ち、3面が開放された半屋外空間において、ドライミストがどのような性状を示し、また心理的影響を与えるか検証した。

2004年7月下旬から8月中旬にかけて、日進東京海上火災グラウンド（日進市折戸町笠寺山13）約3000m<sup>2</sup>に12m×20mのテントを2組設け、ドライミスト噴霧システムを設置し、外気での成り行き状態下で、温熱環境変化について測定するとともに、一卵性双生児群（15～28歳、16組、実験数延べ35組）を被験者に、ミスト内外での温冷感、快適感等を測定した。ミスト噴霧量は1m<sup>2</sup>あたり10ml/minとした。

### 2.1.3. 万博会場でのアンケート調査

屋外開放空間および半屋外空間における被験者実験で、ドライミスト噴霧時の物理的、心理的改善効果を検証した。万博会場でのアンケート調査は、人が不特定多数存在する空間において、ドライミストが人々に対しどのような心理的影響を与えるか検証した。

愛・地球博「ワンダーサーカス電力館」のウェイティングスペースにドライミスト噴霧システムを設置し、万博会期中、自動制御により運用した。2005年7月下旬から8月下旬に、一般利用者（延べ1424名）を対象に、ドライミスト環境下での快適感や暑さ感という温熱感覚やドライミストによって濡れたように感じるかというミストシステムに関して問うアンケート調査を行った。ミスト噴霧量は1m<sup>2</sup>あたり13ml/minとした。

## 2.2. 実験方法：屋外空間での実験

### 2.2.1. 実験の目的

ドライミスト噴霧時の人体の快適性を調査するために、ドライミストの効果が期待される位置（ミスト内）と効果が期待されない位置（ミスト外）において一卵性双生児を被験者とする申告実験を行った。その際、被験者は屋外と屋内を移動し、人体の周囲環境が変化した際の生理状態、心理状態の経緯の様子を観察し、ミスト内の位置とミスト外の位置における比較を行い、ミスト噴霧による人体への効果があるのかどうかを確かめる。それと同時に、ミスト噴霧量、噴霧高さなどの条件を変え、人体にとって快適なミスト噴霧条件を探ることを目的とする。



図 2.2.1 ミストノズル写真（ささしま）

### 2.2.2. 実験フィールド

実験に用いたフィールドは、図 2.2.2 および図 2.2.3 に示す旧国鉄操車場跡地（ささしまライブ 24：名古屋市中村区）の南東部のエリアで、従来は駐車場（アスファルト敷）として利用されていた場所で、南北 96.3m、東西 32.0m、大きさ約 3080 m<sup>2</sup>の大きさをもつ。図 2.2.3 に示すこの敷地のほぼ中央に、6m 間隔で 5 本×5 本、計 25 本のミスト発生システムを設置した区画（24m×24m）を設けた（図 2.2.4）。さらに、ミスト噴霧の影響を受けない領域（ミスト外）として、ミスト噴霧区画の南側と北側に 2カ所の領域を用意した。2カ所用意した理由は、ミスト噴霧の影響のおよぶ範囲が、風向、風速により変化し、その影響を最小にするためである。ミスト外の被験者の位置については、被験者が屋外に出る少し前の 10 時 50 分頃の風向によりミストの影響が少ないと思われる風上側の位置（図 2.2.4 の T12 または T13）をとったが、実験時間中の風向変化のためミスト外においてもミストの影響がでていることがあった。

その他、測定装置等を設置したプレハブ小屋 A と図 2.2.5 から図 2.2.7 に示す被験者の安静室に用いたプレハブ小屋 B（エアコンにより 26℃ に調整）、ミスト発生への給水用の水タンク、搬送・噴霧用のコンプレッサ等は、敷地東側中央に設置した。

## 第2章 実験概要



図 2.2.2 実験風景 (ささしま)

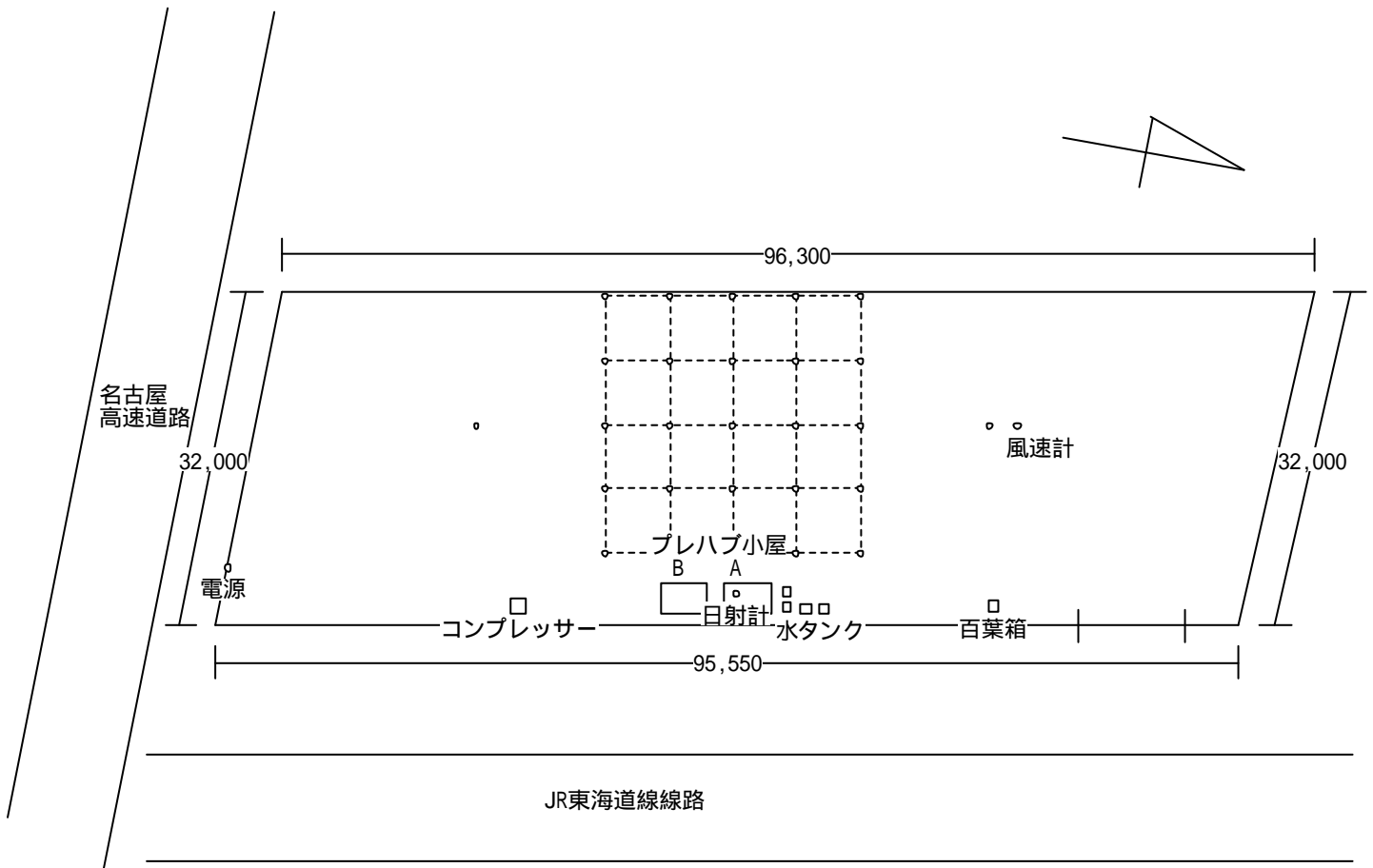


図 2.2.3 実験フィールド (ささしま)

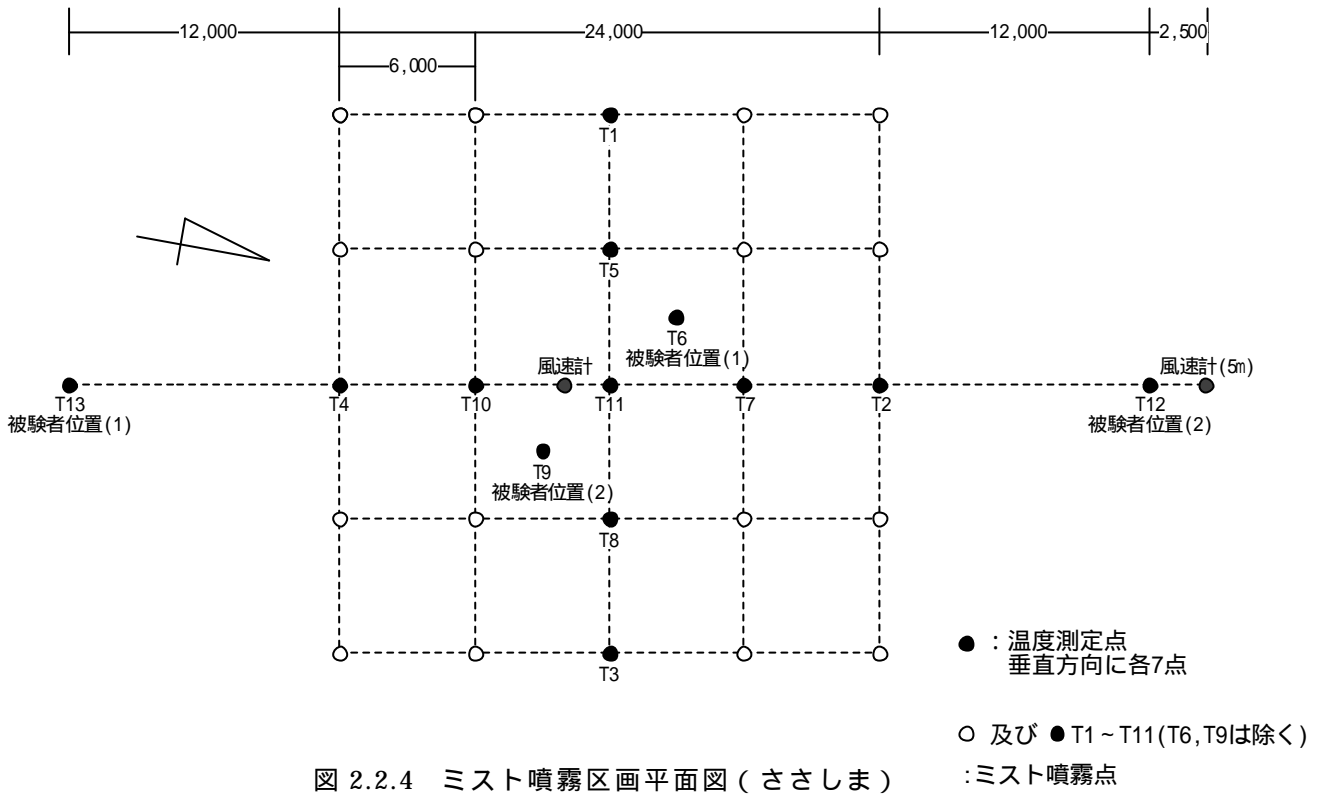


図 2.2.4 ミスト噴霧区画平面図 (ささしま)

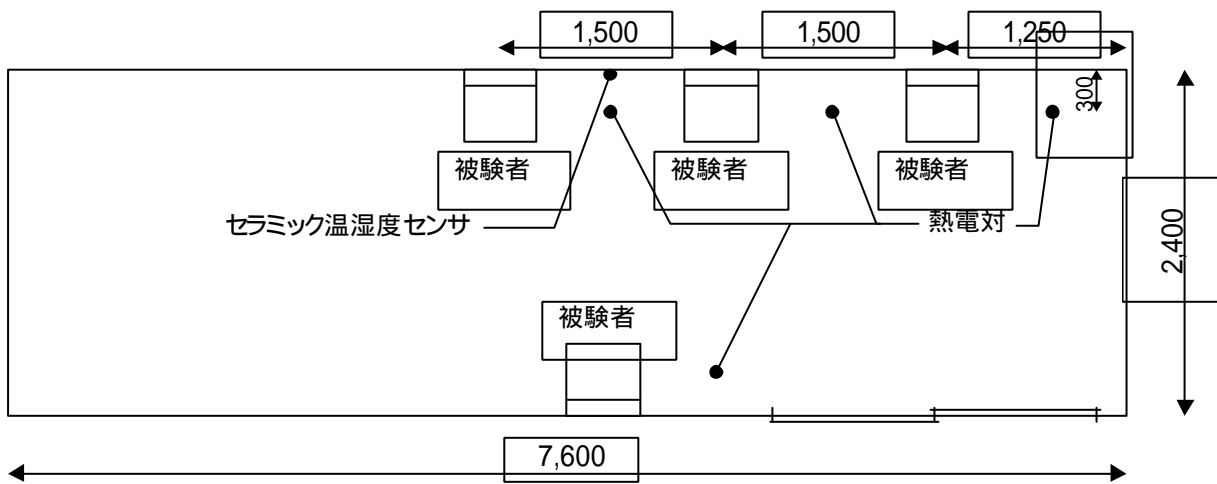


図 2.2.5 被験者安静室平面図 (ささしま)

## 第 2 章 実験概要



図 2.2.6 プレハブ小屋 B (ささしま、被験者安静室)



図 2.2.7 実験風景 (ささしま、被験者安静室内)

### 2.2.3. ドライミスト噴霧条件

噴霧方法により、ミストの蒸散がどのように異なるかを把握するために、基本条件に対して、噴霧水量および噴霧高さを変えた実験を行った。基本条件は、噴霧水量  $6.0\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、噴霧高さ  $6\text{m}$  である。噴霧水量は夏日のクスノキの蒸散速度と同程度であり、噴霧高さは都市内部の幹線道路において、噴霧することを想定して決めた。この基本条件に対して、高さ同じで水量を倍にした倍水量条件 (噴霧水量  $12.0\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ) と、水量同じで噴霧高さを低くした  $4.6\text{m}$  条件の 2 つの条件を用意した。各実験日の噴霧水量・噴霧高さを表 2.2.1 に示す。

なお、噴霧水量  $6.0\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$  は、 $0.33\text{l}/\text{h}\cdot\text{m}^2$  であり、ミストツリー 1 本あたり ( $6\text{m}\times 6\text{m}$  の領域を分担)  $13\text{l}/\text{h}\cdot\text{本}$  となる。

表 2.2.1 噴霧条件（ささしま）

月日	0721	0724	0725	0727	0729	0731	0801	0804	0805	0806	0808	0810	0811	0813	0816	0818
噴霧水量 (ml/min m <sup>2</sup> )	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
噴霧高さ (m)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6

#### 2.2.4. 実験プロトコルと被験者

被験者実験の目的は、ドライミスト噴霧にかかわる人体の快適性の評価することにある。しかし、実験室実験と異なり、屋外でのフィールド実験では、外気象が時々刻々と変化するとともに、再現することが不可能であり、条件を揃えた実験を行うことは不可能である。さらに、被験者の体格等の身体的相違や感覚の違いなど個人差も小さくないと考えられる。そこで、本実験では、ミスト噴霧の効果を、噴霧する区画と噴霧しない区画をつくり、比較的心理反応および生理反応が近いと考えられる一卵性双生児を被験者（一卵性双生児であるかどうかは被験者募集時に本人に確認した）を用いることにより、同時に測定することを考えた。なお、一卵性双生児間の同等性の程度については、第 4 章に述べる。

実験に参加した被験者は、16 歳から 26 歳の男性の双生児 5 組および女性の双生児 9 組、計 14 組である。

次に、実験のプロトコルであるが、図 2.2.8 に示すプロトコルを採用した。被験者の一卵性双生児は必ず同じ日の同じ時間帯の実験に同時に参加してもらった。図 2.2.8 に示すように双生児の一方は、安静室？ ミスト内？ 安静室？ ミスト外？ ミスト内の順に、双生児の他方は安静室？ ミスト外？ 安静室？ ミスト内？ ミスト外の順に移動した。ここで、安静室とは、図 2.2.3 に示すプレハブ小屋 B（図 2.2.5 から図 2.2.7）のことで、ここで被験者は図 2.2.5 の被験者位置 から のいずれかの椅子に座り、安静の状態（代謝量 1 met）で 1 時間過ごすこととなる。また、ミスト内とは、図 2.2.4 に示す T6 被験者位置(1)または T9 被験者位置(2)のことで、風向により、風下側の位置を選んだ。ミスト外とは、ミスト噴霧の影響のない領域という意味で、同じ図の T13 被験者位置(1)または T12 被験者位置(2)のことで、風向により、風上側の位置を選んだ。従って、実際には、T6 と T13、あるいは T9 と T12 という組み合わせで実験を行っている。ただし、実験中の風向の変化により、ミスト外被験者位置にもミストの影響がでる時もあった。ミスト内、ミスト外ともに、被験者は立位で太陽を背にする状態（代謝量 1.2met）で 20 分間滞在した。なお、屋外での被験者位置は、被験者が屋外に出る直前（10 分程度前）の風向により、判断した。実験は、1 日最大 2 組の実験を行った。2 組行う場合は、2 組の被験者が屋外で重ならないように、時間帯を 45 分ずらして、同時並行で行った。

実験時の被験者の着衣は、クロ値や日射の吸収が同程度となるように、実験者側で用意した白色の半そで T シャツ(0.19clo)と指定した紺の長ズボン(0.32clo)、および下着(男性 0.05clo、女性 0.04clo)、靴下(0.04clo)、スニーカー(0.04clo)に統一した。クロ値は、下式で算出した。

$$I_{男} = 0.64 \times \frac{3}{4} + \frac{1}{10} = 0.58(clo)$$

$$I_{女} = 0.63 \times \frac{4}{5} + \frac{1}{20} = 0.55(clo)$$

ここで男性と女性のクロ値の差がほとんど変わらず、本実験の被験者は女性の方が多いこと

## 第2章 実験概要

より、本論文での計算ではクロ値は全て 0.55clo として用いた。

図 2.2.8 に示すように被験者は 10 分おきに心理量の申告を行った。それと同時に皮膚温度、心拍数を 5 秒間隔で採取した。図中の の上部に書かれた数字は申告回数を示す。

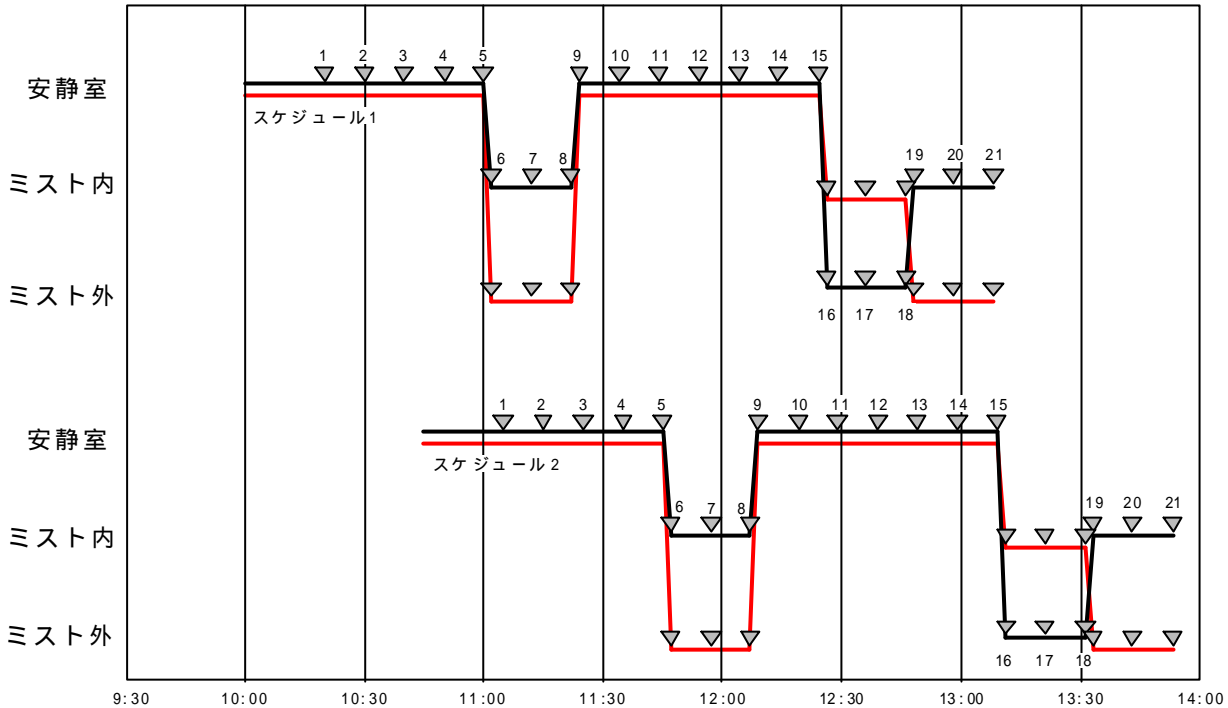


図 2.2.8 実験プロトコル (ささしま)

### 2.2.5. 物理量の測定

屋外気象及びミストの効果、安静室の性状等を把握するため、物理量の測定を行った。表 2.2.2 は、測定項目、測定位置、測定機器を整理したものである。

屋外実験フィールドにおける温熱環境を把握するため、気温、相対湿度を図 2.2.3 に示す百葉箱 (図 2.2.9) に設置したセラミック相対湿度センサ (気象用温相対湿度検出器、NTK 社製) で、日射量を図 2.2.3 のプレハブ小屋 A の屋上に設置した日射計 (ネオ日射計、英弘精機) (図 2.2.13) で、風速を図 2.2.4 の風速計として示されている位置 (高さ 5.0m) で、3次元超音波風速計 (R.M. Young Company) (図 2.2.10) で計測した。

ドライミスト噴霧区画内での温湿度分布を把握するために、図 2.2.4 に示す 24m×24m のミスト噴霧区画内 T1、T2、T3、T4、T5、T7、T8、T10、T11 の 9 地点および区画外 T12 と T13 の 2 地点で、上下方向 7カ所 (地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、4.5m、6m) (8月 11 日以降、ミスト噴霧高さが 4.6m の時は以下の 7 点: 地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、3.8m、4.6m) の温度を、CC 型熱電対 (図 2.2.10) で測定した。また、相対湿度は、T2 地点および T4 地点の高さ 1.5m、T11 地点の高さ 1.5m および 3 m の 4カ所で測定した。測定機器は、セラミック相対湿度センサ (気象用温相対湿度検出器、NTK 社製) (図 2.2.12) である。

また、被験者位置での温熱環境を測定するために、幾つか物理量を測定している。まず、安静室として使ったプレハブ小屋 B の内部であるが、被験者近傍温度を測定するため、図 2.2.5

の平面図に示す通り、壁から 0.3m 高さ 1.2m の位置で、CC 熱電対を用いて温度を測定した。また、セラミック相対湿度センサ（気象用温相対湿度検出器、NTK 社製）を用いて気温、相対湿度を測定した（図 2.2.14）。

次に、屋外の被験者位置での測定であるが、ミスト内環境として、図 2.2.4 に示す被験者位置 T6 および T9 の位置で、上下 7 カ所（地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、4.5m、6m）（8月 11 日以降、ミスト噴霧高さが 4.6m の時は以下の 7 点：地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、3.8m、4.6m）の温度を、CC 型熱電対で測定した。また、風速を図 2.2.4 の風速計位置（高さ 1.6m）で、3 次元超音波風速計（R.M. Young Company）を用い測定した（図 2.2.12）。さらに、被験者位置 T6 または T9 の位置で、アスマン通風乾湿時計、グローブ温度を目測により測定した（図 2.2.11）。ミスト外環境としては、図 2.2.4 に示す被験者位置 T12 および T13 の位置で、上下 7 カ所（地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、4.5m、6m）（8月 11 日以降、ミスト噴霧高さが 4.6m の時は以下の 7 点：地表、0.1m、0.75m、1.5m、3m、3.8m、4.6m）の温度を、CC 型熱電対で測定した（図 2.2.10）。さらに、被験者位置 T12 または T13 の位置で、アスマン通風乾湿時計、グローブ温度を目測により測定した（図 2.2.11）。

測定間隔は、アスマン通風乾湿度計とグローブ温度以外はいずれも 2 分間隔（8月 13、16、18 日は 2 秒間隔）で、アスマン通風乾湿度計とグローブ温度は、図 2.2.8 の心理申告 6、7、および 16、17、19、20 の後に行った。

表 2.2.2 物理量測定位置と機器（ささしま）

	測定場所	測定機器
温度	T11 ~ T13 (地表,0.1m,0.75m,1.5m,3m,4.5m,6m) 0810以前 (地表,0.1m,0.75m,1.5m,3m,3.8m,4.6m) 0811以降 室内	CC熱電対(TG - 0.32 )
温度 湿度	T2(1.5m),T4(1.5m),T11(1.5m,3m) 室内 百葉箱	セラミック湿度センサ気象用温湿度 検出器(NTK) *湿度と同時に温度も測定
風速	T11(1.6m) ,T12から北へ2.5m(5m)	3次元超音波風速計 (R.M. Young Company)
日射	プレハブ小屋屋根上1m(地上4.5m)	ネオ日射計(英弘精機)

測定場所については図 2.2.4 参照

## 第2章 実験概要



図 2.2.9 百葉箱（ささしま）



図 2.2.10 気温分布測定（T12 地点）と風速計（ささしま）



図 2.2.11 アスマン通風乾湿度計とグローブ温度計（ささしま）



図 2.2.12 温湿度計（T11 地点）と風速計（ささしま）



図 2.2.13 日射計 ( ささしま )



図 2.2.14 熱電対と温湿度計 ( ささしま、安静室内 )

### 2.2.6. 生理量・心理量の測定

心理量の申告項目は、表 2.2.3 に示す快適感 (両側 7 段階)、寒暑感 (両側 7 段階)、乾湿感 (両側 7 段階)、日射感 (片側 4 段階)、気流感 (片側 4 段階)、発汗感 (片側 4 段階) の 6 項目である。このうち、日射感については、安静室内の申告 (図 2.2.8) に示す心理申告 1 から 5 および 9 から 15) では、測定していない。測定間隔は、各環境において移動直後とその後 10 分毎である (図 2.2.8 の )。

第2章 実験概要

表 2.2.3 心理量申告項目（ささしま）

<b>快適感</b> 1 非常に快適 2 快適 3 やや快適 4 どちらでもない 5 やや不快 6 不快 7 非常に不快	<b>寒暑感</b> 1 非常に暑い 2 暑い 3 やや暑い 4 どちらでもない 5 やや寒い 6 寒い 7 非常に寒い	<b>乾湿感</b> 1 非常に乾燥している 2 乾燥している 3 やや乾燥している 4 どちらでもない 5 やや湿っている 6 湿っている 7 非常に湿っている
<b>日射感</b> 1 ほとんど感じない 2 少し感じる 3 感じる 4 非常に感じる	<b>気流感</b> 1 ほとんど感じない 2 少し感じる 3 感じる 4 非常に感じる	<b>発汗感</b> 1 ほとんど汗をかいていない 2 皮膚が汗でやや濡れている 3 皮膚が汗で濡れている 4 皮膚が汗で非常に濡れている

生理量の測定は皮膚温度、心拍数であり、5秒間隔で自動計測した。皮膚温は、皮膚温センサー（高精度温度ロガー-LT-8A、グラム（株）社製）にて、平均皮膚温の算出にあたり7点法を用いるために、前額部、手甲部、前腕部、大腿部、下腿部、足甲部、胸部の7点（図 2.2.15）を測定した。測定時屋外において日射が当たる部分については、皮膚温センサーに日射が直接当たることを避けるために、皮膚温センサー部分を白い発泡スチロールで覆った。一方の心拍数は、心拍計（スポーツ心拍計 S710i および S810i、Polar 社製）を用いて測定した。

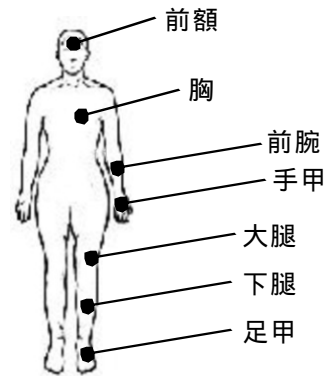


図 2.2.15 皮膚温測定位置

< 平均皮膚温 7点法 >

7点法とは次式で表すように平均皮膚温を各部の皮膚温に表面積の割合をかけて算出する方法である。

$$\begin{aligned}
 (\text{平均皮膚温}) = & 0.07 \cdot (\text{前額部}) + 0.14 \cdot (\text{前腕部}) + 0.05 \cdot (\text{手甲部}) + 0.19 \cdot (\text{大腿部}) \\
 & + 0.13 \cdot (\text{下腿部}) + 0.07 \cdot (\text{足甲部}) + 0.35 \cdot (\text{胸部})
 \end{aligned}$$

一般的に平均皮膚温が 33.4~34.5 の範囲にあって、身体のどの部位の皮膚温も平均値から +1.5~ -3.0 を超えない場合、快適であるといわれている。また、平均皮膚温が 34.5 以上になると不快を感じ、平均皮膚温が 4.5 以上下がると不快な寒さを感じる。

## 2.3. 実験方法：半屋外空間での実験

### 2.3.1. 実験の目的

ドライミスト噴霧時の人体の快適性を調査するために、ドライミストの効果が期待されるテント（ミスト有テント）と効果が期待されないテント（ミスト無テント）を用意し、一卵性双生児を被験者として用いた申告実験を行った。その際、被験者は屋外と屋内を移動し、人体の周囲環境が変化した際の生理状態、心理状態の経緯の様子を観察し、ミスト有テントとミスト無テントにおける比較を行い、ミスト噴霧による人体への効果を確認する。2003年度の実験において、開放された屋外空間においては人体の快適性に与える日射の影響が大きいことが明らかとなったが、日射の当たらない半屋外空間におけるドライミストの快適性への効果を検証する。

### 2.3.2. 実験フィールド

実験に用いたフィールドは、図 2.3.1 および図 2.3.7 に示す東京海上日進運動場(日進市)で、大きさ約 3000 m<sup>2</sup>の大きさをもつ。図 2.3.7 に示すこの敷地の南側に 5m 間隔で 3 本×4 本、計 12 本のミスト発生装置を備えた 12m×20m、高さ 3.7m のテントを 2 組設けた（テント A およびテント B）(図 2.3.5)。テント A、テント B ともにミストを噴霧可能であったが、本実験中は常にテント B でミストを噴霧し（ミスト有テント）(図 2.3.2 および図 2.3.5)、テント A はミストを噴霧しないテント（ミスト無テント）とした。さらに、テントから十分離れた敷地中央付近に屋外炎天下領域（図 2.3.6）を設けた。

その他、被験者の安静室には、敷地南側にあるクラブハウスを用い（エアコンにより 26 に調整）(図 2.3.3、図 2.3.4 および図 2.3.8)、測定装置等を設置したプレハブ小屋とミスト発生への給水用の水タンク、搬送・噴霧用のコンプレッサ等は、敷地東側中央に設置した。

## 第2章 実験概要



図 2.3.1 実験場全景（日進）



図 2.3.2 ミスト噴霧状況（日進）



図 2.3.3 クラブハウス（日進、安静室）



図 2.3.4 実験風景（日進、安静室内）



図 2.3.5 実験風景（日進、ミスト有テント）



図 2.3.6 実験風景（日進、炎天下）

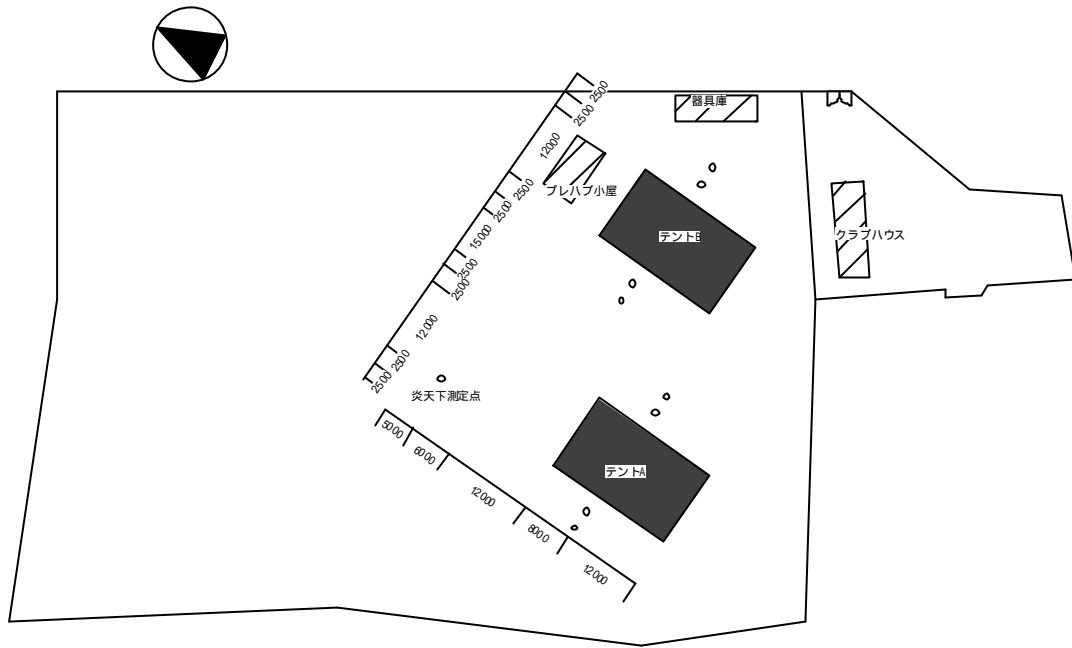


図 2.3.7 実験フィールド（日進）

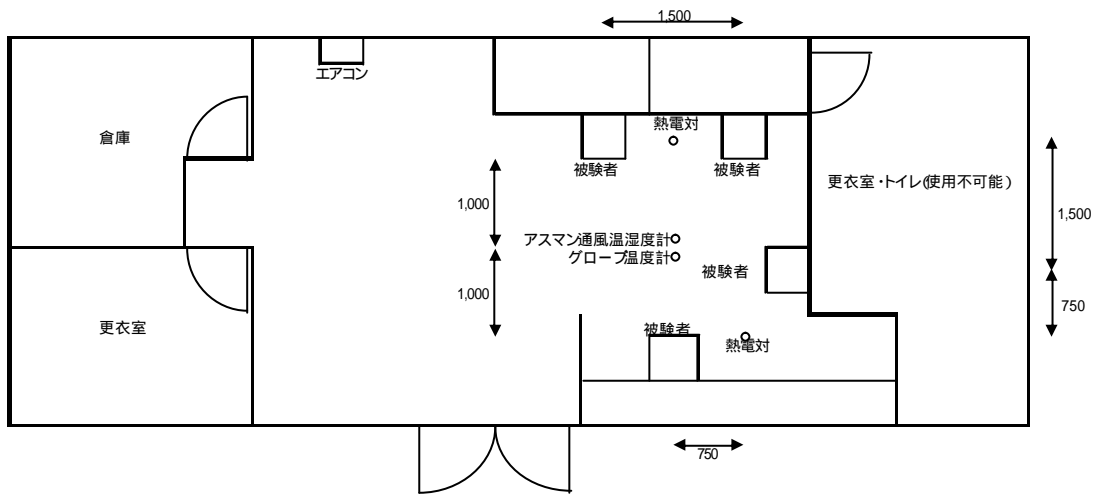


図 2.3.8 被験者安静室平面図（日進）

第2章 実験概要

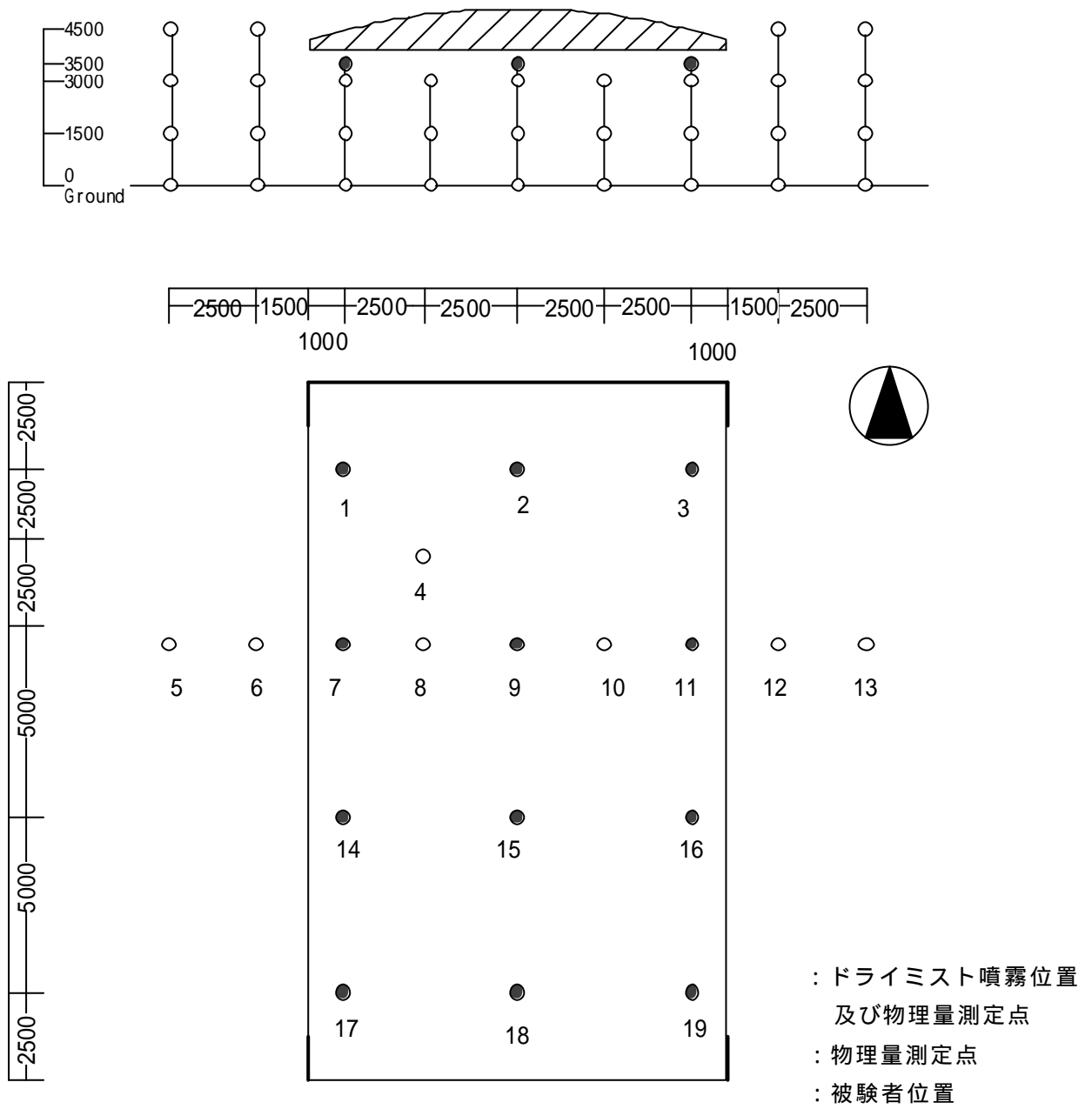


図 2.3.9 テント内のミスト噴霧位置と物理量測定位置 (日進)

### 2.3.3. ドライミスト噴霧条件

噴霧条件は、噴霧水量  $10\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、噴霧高さ  $3.5\text{m}$  である。実験中、噴霧水量および噴霧高さは一定とした。

なお、噴霧水量  $10\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$  は、1つのテント ( $12\text{m}\times 20\text{m}$ ) あたり  $3.0\text{l}/\text{min}$  となる。ミストの噴霧時間は  $10:00\sim 15:00$  とした。

### 2.3.4. 実験プロトコルと被験者

被験者実験は、ドライミスト噴霧にかかわる人体の快適性の評価することが目的とし、2003年度のささしまにおける実験と同様に(2.2.4.節参照) ミスト噴霧の効果と、噴霧する区画(テント)と噴霧しない区画(テント)をつくり、比較的心理反応および生理反応が近いと考えられる一卵性双生児を被験者に用いることにより、同時に測定することを考えた。

実験に参加した被験者は、16歳から28歳の男性8組、女性8組の一卵性双生児である。

実験のプロトコルであるが、図2.3.10に示すプロトコルを採用した。被験者の一卵性双生児は必ず同じ日の同じ時間帯の実験に同時に参加してもらった。図2.3.10に示すように双生児の一方は、安静室 炎天下 ミスト有テント 安静室 炎天下 ミスト無テントの順に、双生児の他方は安静室 炎天下 ミスト無テント 安静室 炎天下 ミスト有テントの順に移動した。ここで、安静室とは、図2.3.7に示すクラブハウス(図2.3.3、図2.3.4および図2.3.8)のことで、ここで被験者は図2.3.8の被験者位置 から のいずれかの椅子に座り、安静の状態(代謝量  $1\text{met}$ )で1時間過ごすこととなる。炎天下とは、図2.3.7に示される炎天下測定点のことで、被験者は立位で太陽を背にする状態(代謝量  $1.2\text{met}$ )で20分間滞在した(図2.3.6)。また、ミスト有テントとは図2.3.7に示されるテントBのことで(図2.3.5)、ミスト無テントとは図2.3.4に示されるテントAのことである。各テントでの被験者位置は、図2.3.9に示すようにテントの中央であり、被験者は立位(代謝量  $1.2\text{met}$ )で20分間滞在した。実験は、1日最大2組の実験を行った。2組行う場合は、2組の被験者が屋外で重ならないように、時間帯を30分ずらして、同時並行で行った。

実験時の被験者の着衣は、クロ値や日射の吸収が同程度となるように、2003年度の実験と同様に(2.2.4.節参照) 実験者側で用意した白色の半そでTシャツ( $0.19\text{clo}$ )と指定した紺の長ズボン( $0.32\text{clo}$ )、および下着(男性  $0.05\text{clo}$ 、女性  $0.04\text{clo}$ )、靴下( $0.04\text{clo}$ )、スニーカー( $0.04\text{clo}$ )に統一した。クロ値は、本論文中の計算ではクロ値は全て  $0.55\text{clo}$  として用いた。

図2.3.10に示すように被験者は10分おきに心理量の申告を行った。それと同時に皮膚温度、心拍数を5秒間隔で採取した。図中の の上部に書かれた数字は申告回数を示す。

## 第2章 実験概要

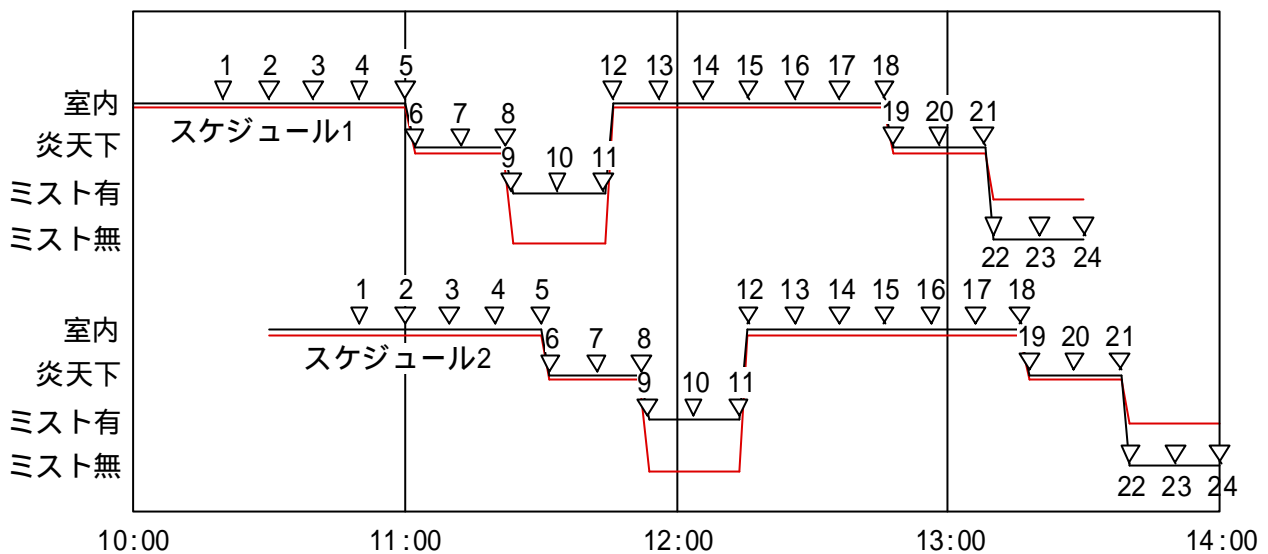


図 2.3.10 実験プロトコル(日進)

### 2.3.5. 物理量の測定

屋外気象及びミストの効果、安静室の性状等を把握するため、物理量の測定を行った。表 2.3.1 は、測定項目、測定位置、測定機器を整理したものである。

屋外実験フィールドにおける温熱環境を把握するため、気温、相対湿度を図 2.3.7 に示す炎天下測定点に設置したセラミック相対湿度センサ(気象用温相対湿度検出器、NTK 社製)(図 2.3.11)で、日射量を図 2.3.7 のプレハブ小屋の屋上に設置した日射計(ネオ日射計、英弘精機)で、風速を炎天下測定点に設置した 3次元超音波風速計(R.M. Young Company)(図 2.3.11)で計測した。また、炎天下測定点の上下方向 5カ所(地表、0.1m、1.5m、3m、4.5m)の温度分布を CC 型熱電対で測定した。

テント内の温熱環境を把握するために、図 2.3.5 に示す 12m×20m のテント A およびテント B 内 2、4、7、8、9、10、11、15、18 の計 9 地点で上下方向 4カ所(地表、0.1m、1.5m、3m)の温度、テント A およびテント B 内 1、3、14、16、17、19 の計 6 地点の高さ 1.5m の温度、テント A およびテント B 周辺 5、6、12、13 の計 4 地点で上下方向 5カ所(地表、0.1m、1.5m、3m、4.5m)の温度を CC 型熱電対で測定した。また、相対湿度は、テント B (ミスト有テント)内 7、8、9、10、11 の計 5 地点およびテント A (ミスト無テント)内 9 の高さ 1.5m で、セラミック相対湿度センサ(気象用温湿度検出器、NTK 社製)で計測した。また、放射量と風速をテント A およびテント B の地点 9 で、それぞれ日射計(ネオ日射計、英弘精機)(図 2.3.13)、3次元超音波風速計(R.M. Young Company)(図 2.3.12)で計測した。

安静室として用いたクラブハウス内部の温熱環境として、被験者近傍温度を測定するため、図 2.3.8 の平面図に示す通り、被験者の間の高さ 1.2m の位置で、CC 熱電対を用いて温度を測定した。クラブハウスの中央で、アスマン通風乾湿度計による温湿度およびグローブ温度を測定した(図 2.3.12)。また、天井面温度、北側壁面温度、南側壁面温度を CC 熱電対により計測した。

炎天下、テント A、テント B の被験者位置では、上記の測定以外にアスマン通風乾湿度計、グローブ温度を目測により測定した(図 2.3.14)。

測定間隔は、いずれも 2 秒間隔である。ただし、炎天下、テント A、テント B でのアスマン通風乾湿度計とグローブ温度は、図 2.3.10 の心理申告 6、7、9、10 および 19、20、22、23 の後に行った。

表 2.3.1 物理量測定位置と機器（日進）

	測定場所	測定機器
温度	テント A ,Bの1～19(1.5m) テント A ,Bの2,4,7～11,15,18 (地表,0.1m, 1.5m,3m) テント A ,Bの5,6,12,13(地表,0.1m,1.5m,3m,4.5m) 屋外炎天下(地表,0.1m,1.5m,3m,4.5m) 室内 (被験者安静位置横高さ1.5m、天井面、壁面)	CC熱電対(TG - 0.32 )
温度 湿度	テント Bの7～11 (1.5m )	セラミック湿度センサ 気象用温湿度検出器(NTK)
	テント Aの9	* 湿度と同時に温度も測定
	屋外炎天下 (1.5m )	アスマン通風乾湿度計
風速	テント A,Bの9 屋外炎天下(1.5m)	3次元超音波風速計 (R.M. Young Company)
日射	テント A,Bの9 (0.1m) プレハブ小屋屋根上1m(地上4.5m)	ネオ日射計(英弘精機)

測定場所については図 2.3.5 参照

## 第2章 実験概要

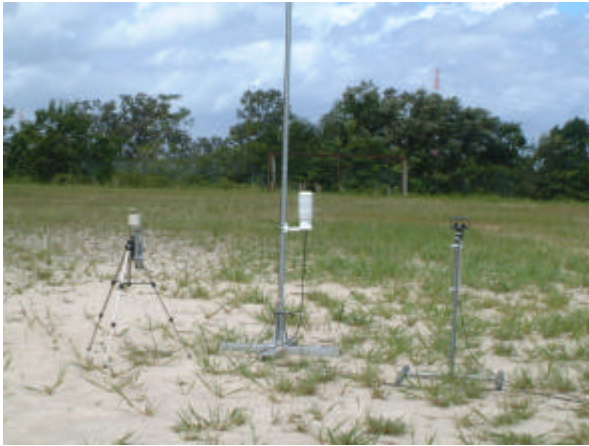


図 2.3.11 温湿度計、グローブ温度計、  
アスマン通風乾湿度計、風速計（日進）



図 2.3.12 温湿度計と風速計（日進）



図 2.3.13 日射計（日進）



図 2.3.14 アスマン通風乾湿度計と  
グローブ温度計（日進）



図 2.3.15 アスマン通風乾湿度計と  
グローブ温度計（日進安静室内）

### 2.3.6. 心理量・生理量の測定

心理量の測定項目は、表 2.3.2 に示す快適感（両側 7 段階）、寒暑感（両側 7 段階）、乾湿感（両側 7 段階）、日射感（片側 4 段階）、気流感（片側 4 段階）、発汗感（片側 4 段階）の 6 項目である。このうち、日射感については、安静室内の申告（図 2.3.10 に示す心理申告 1 から 5 および 9 から 15）では、測定していない。測定間隔は、各環境において移動直後とその後 10 分毎である（図 2.3.10 の ）。

表 2.2.3 心理量申告項目（日進）

<b>快適感</b> 1 非常に快適 2 快適 3 やや快適 4 どちらでもない 5 やや不快 6 不快 7 非常に不快	<b>寒暑感</b> 1 非常に暑い 2 暑い 3 やや暑い 4 どちらでもない 5 やや寒い 6 寒い 7 非常に寒い	<b>乾湿感</b> 1 非常に乾燥している 2 乾燥している 3 やや乾燥している 4 どちらでもない 5 やや湿っている 6 湿っている 7 非常に湿っている
<b>日射感</b> 1 ほとんど感じない 2 少し感じる 3 感じる 4 非常に感じる	<b>気流感</b> 1 ほとんど感じない 2 少し感じる 3 感じる 4 非常に感じる	<b>発汗感</b> 1 ほとんど汗をかいていない 2 皮膚が汗でやや濡れている 3 皮膚が汗で濡れている 4 皮膚が汗で非常に濡れている

生理量の測定は、皮膚温度、心拍数であり、5 秒間隔で自動計測した。皮膚温は、皮膚温センサ（高精度温度ロガー LT-8A、グラム（株）社製）にて、平均皮膚温の算出にあたり 7 点法を用いるために（7 点法については 2.2.6 節参照）、前額部、手甲部、前腕部、大腿部、下腿部、足甲部、胸部の 7 点と後首部を測定した。測定時屋外において日射が当たる部分については、皮膚温センサに日射が直接当たることを避けるために、皮膚温センサ部分を白い発泡スチロールで覆った。一方の心拍数は、心拍計（スポーツ心拍計 S710i および S810i、Polar 社製）を用いて測定した。

## 第2章 実験概要

### 2.4. 調査方法：万博会場でのアンケート調査

#### 2.4.1. 調査の目的

ドライミスト噴霧時の人体の快適性を調査するために、愛・地球博「ワンダーサーカス電力館」のウェイティングスペースにドライミストを設置し、人が不特定多数存在する空間でのアンケート調査を行った。屋外空間および半屋外空間での実験では、被験者の近傍には実験者が1名のみであったが、実際の都市空間ではある空間に人が2名のみという状況は稀である。そこで、本調査では一般利用者に対するアンケート調査により、人が多数存在する半屋外空間でのミスト噴霧による人体への影響を明らかにすることを目的とする。

#### 2.4.2. 調査スケジュール

調査は2005年の7月から8月の晴天・曇天の計6日間(7/21、7/28、8/3、8/4、8/17、8/29)行った。各日において表2.4.1に示す時間帯で1日に計6回のアンケート調査を行った。調査はドライミスト噴霧時のみに行った。本システムは自動制御が取り入れられており(1.4.4節参照)低気温の高湿度等の理由でミストは噴霧しない。その場合、その時間帯の調査は中止した。調査中にミスト運転が停止した場合もその時点で調査は中断した。ただし、風速の上昇によりミスト運転が停止した際(8/3の第6回目、8/17の第6回目)は、通常のみスト運転ではなく手動の操作でミストを噴霧させ、調査を行った。また、8月29日はミスト運転が停止している際のアンケート調査も行った。

表 2.4.1 アンケートの時間帯(万博)

10時～10時30分頃	第1回目アンケート
11時～11時30分頃	第2回目アンケート
12時～12時30分頃	第3回目アンケート
13時～13時30分頃	第4回目アンケート
14時～14時30分頃	第5回目アンケート
15時～15時30分頃	第6回目アンケート

### 2.4.3. 調査場所

図 2.4.1 および図 2.4.2 に示す愛・地球博「ワンダーサーカス電力館」ウェイティングスペースにおいて調査を行った。ウェイティングスペースは北側に建物があり、それ以外の 3 方は開放された、広さ約 320m<sup>2</sup>、天井高約 4m の空間であった。そこに計 84 個のミストノズル（図 2.4.3 参照、1 つのユニットは 6 個のノズルで構成）を取り付け、1m<sup>2</sup> 当たりの噴霧量は約 13ml/分とした。



図 2.4.1 ワンダーサーカス電力館（万博）



図 2.4.2 ウェイティングスペース（万博）



図 2.4.3 ミストノズル（万博）

## 第2章 実験概要

### 2.4.4. 調査対象者

「ワンダーサーカス電力館」ウェイティングスペースに実際に並んでいる人（一般利用者）にアンケートを依頼し、建物に入るまでに記入してもらい、回収を行った。対象者は、各回につき 50 名、1日の合計 300 名としたが、ミストを噴霧していない時は調査を行わなかったため（8月29日を除く）、サンプル数の合計は 1,424 票であった。各日時のサンプル数を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 サンプル数（票）（万博）

月日	曜日	第1回目	第2回目	第3回目	第4回目	第5回目	第6回目	合計
		10:00～	11:00～	12:00～	13:00～	14:00～	15:00～	
7月21日	木	50	50	50	50	50	50	300
7月28日	木	50	50	50	50	50	50	300
8月3日	水	0	0	35	50	24	50	159
8月4日	木	40	46	0	50	50	13	199
8月17日	水	26	0	0	46	44	50	166
8月29日	月	50	50	50	50	50	50	300
合計		216	196	185	296	268	263	1424

### 2.4.5. ドライミスト制御条件

制御システムは、ミスト環境下での気温、湿度とウェイティングスペース屋根上の風速、日射量、降雨の有無による ON/OFF の制御システムを用いている（図 2.4.4～図 2.4.6 参照）。2004 年度の半屋外実験の結果および実際のワンダーサーカス電力館での運転状況より、制御パラメーターは表 2.4.3 に示すミスト内温湿度、風速に設定され（測定位置については 2.4.8 節参照）、自動制御で運転された。8月29日以外の調査もこの自動制御のもとで行った。8月29日は、ミスト噴霧無でのアンケート調査を行うため、ミストの噴霧開始気温を 29 と変更することによってミスト噴霧を停止した（その他の値は通常値のままとした）。しかし、10時30分頃には 29 を上回ったため、第1回目のみがミスト噴霧無で、第2回目以降はミスト噴霧状態でアンケートを実施した。また、8月3日第6回目、17日第6回目はともにミスト噴霧開始気温・相対湿度条件を満たしているが風速条件よりミスト停止状態にあり、手動によりミストを噴霧し、アンケートを実施した。以上の調査日のミスト制御条件を表 2.4.4 にまとめる。

ウェイティングスペースにたつポールからは冷風がでており、手動で ON/OFF することができた。調査日には冷風の有無の調査量が同等になるよう、3日間ずつ冷風の ON/OFF を分けた。各調査日の冷風の有無は表 2.4.4 に示すとおりである。

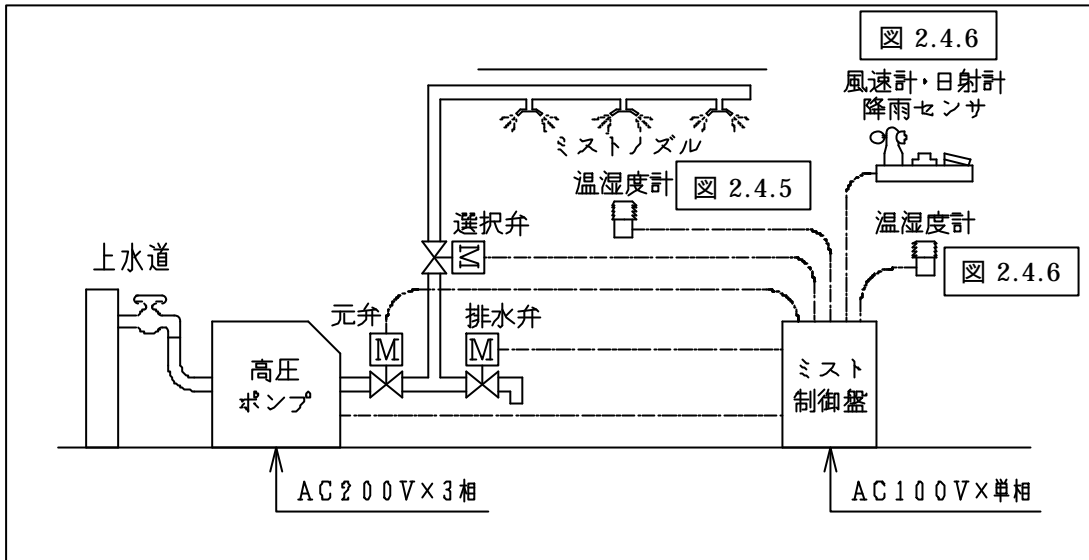


図 2.4.4 制御システム（万博）



図 2.4.5 ミスト内温湿度計（万博）



図 2.4.6 屋外温湿度計、日射計、風速計、降雨センサー（万博）

表 2.4.3 制御条件（万博）

	気温	相対湿度	風速
噴霧開始条件	27	60%	3m/s
噴霧停止条件	25	70%	3m/s

## 第2章 実験概要

表 2.4.4 調査日の制御条件（万博）

月日	曜日	ミスト						冷風
		第1回目	第2回目	第3回目	第4回目	第5回目	第6回目	
7月21日	木	通常	通常	通常	通常	通常	通常	有
7月28日	木	通常	通常	通常	通常	通常	通常	無
8月3日	水	通常	通常	通常	通常	通常	* 手動	有
8月4日	木	通常	通常	通常	通常	通常	通常	無
8月17日	水	通常	通常	通常	通常	通常	* 手動	有
8月29日	月	* 29 無	* 29 有	* 29 有	* 29 有	* 29 有	* 29 有	無

\* 手動 :自動制御ではミスト停止。手動にてミスト噴霧。

\* 29 無 :ミスト噴霧開始条件を29 に変更、ミスト無でのアンケート

\* 29 有 :ミスト噴霧開始条件を29 に変更、ミスト有でのアンケート

### 2.4.6. アンケート調査項目

アンケートは下記の4つの内容からなるA4サイズ表裏1枚のアンケート用紙とした。記入にかかる時間は5～10分程度でウェイティングスペースに並んでいる間に十分書き終わる量であった。アンケートはミスト噴霧無の際（8月29日第1回目）には、同量程度のミスト無用のアンケートを用いた。また、8月29日第2回目、第3回目についてはミストは噴霧されていたが、ミスト無用のアンケートを用いて調査を行った。実際に用いたアンケート用紙を付2.1、付2.2として章末に示す。

- a)対象者属性に関する項目
- b)ウェイティングスペース（ミスト環境下）での温熱感覚に関する項目
- c)ウェイティングスペースの外（ミスト外）での温熱感覚に関する項目
- d)システム評価および応用性に関する項目

### 2.4.7. アンケート配布・回収方法

ウェイティングスペースに並ぶ人に対し、5人毎（高校生以上と判断した人のみ）に1人の割合となるようアンケート調査の協力を依頼した。人の動きは、図2.4.7に示すようにウェイティングスペースの南側から入り、東西方向に並び、建物のある北側へ移動していく。ウェイティングスペース内に並び始めてから8分程度が経過する図2.4.7に示されたアンケート依頼位置でクリップボードにつけたアンケート用紙とボールペンを渡し、ウェイティングスペース内にて記入するよう依頼を行った。図2.4.7に示すアンケート回収位置にて回収し、協力のお礼としてワンダーサーカス電力館オリジナルボールペンを渡した。

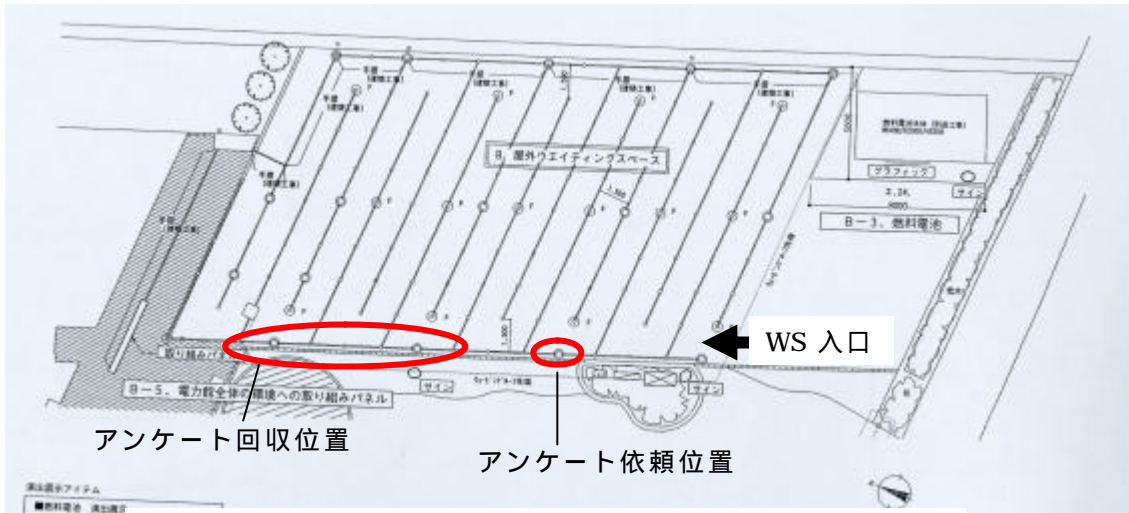


図 2.4.7 アンケート回収・配布位置（万博）

#### 2.4.8. 物理量計測

測定位置は図 2.4.8 に示すように温湿度はウエイティングスペース内で高さ 3m において 2 点測定を行い、ウエイティングスペースのほぼ中央に位置する温湿度 1 が自動制御用に用いられた。調査中はその真下の地表 1.6m 高さで、おんどとりにより温湿度測定を行った。屋外の温湿度、風速、日照はウエイティングスペースの屋根の上で測定された。また、屋外の気象データとして温湿度、風向風速、日射量はワンダーサーカス電力館前万博アメダスの測定データも用いた。

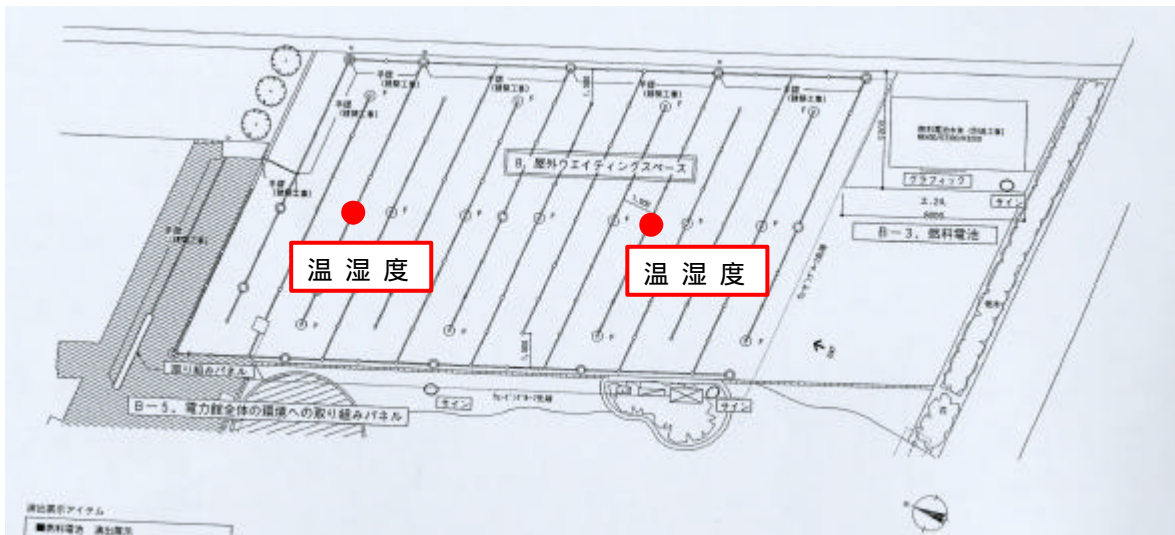


図 2.4.8 物理量測定位置（万博）

## 第2章 実験概要

### <万博アメダス>

「万博アメダス(正式名称:環境データ観測表示システム)」とは、(財)2005年日本国際博覧会協会が、環境に配慮して作られた会場そのものの環境特性をきめ細かく計測することを目的として構築したシステムであり、インターネットを通じてこの万博アメダス情報や博覧会での環境配慮等を紹介する「万博エコクラブ」とともに運用された。

長久手会場内の様々な環境の19箇所で、温度、地表面温度、湿度、日射量、雨量、風向、風速、CO<sub>2</sub>濃度(CO<sub>2</sub>濃度は3箇所のみ)を測定し、測定データを10分毎に自動的に収集し、インターネットを介してリアルタイムに公開された(愛・地球博ホームページ <http://www.expo2005.or.jp/jp/>参照)。



図 2.4.9 万博アメダス計測機器 1  
(万博)

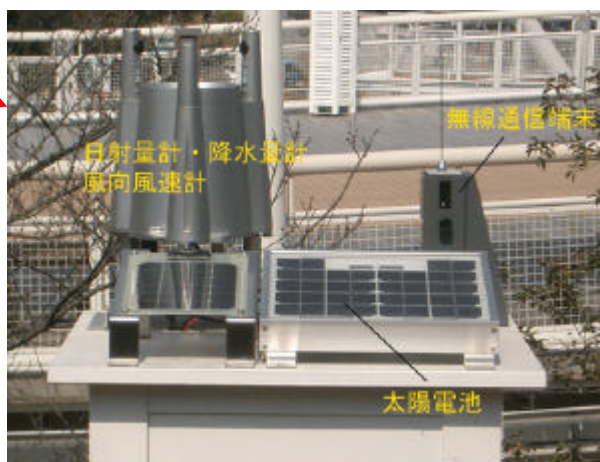


図 2.4.10 万博アメダス計測機器 2  
(万博)

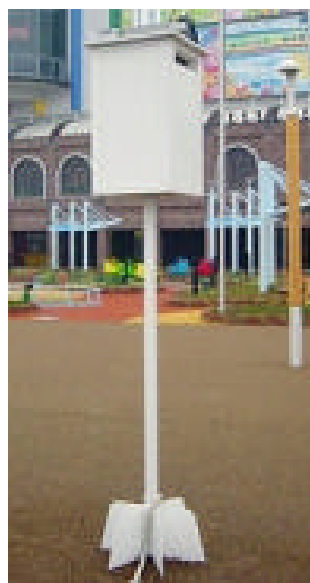


図 2.4.11 電力館前万博アメダス  
(図 2.4.9 の CO<sub>2</sub> 測定がないもの)  
(万博)

**お客様各位**

**付 2.1 アンケート用紙(ミスト有)(万博)**

現在、電力館で稼働中のドライミストについて、その快適性を調査しています。お手数をおかけしますが、アンケートにご協力いただけますよう、よろしくお願いいたします。

名古屋大学原田研究室  
ワンダーサーカス電力館

1 年齢・性別をおたずねします。

- (1) 年齢・・・1. 10代 2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代 6. 60代以上  
(2) 性別・・・1. 男性 2. 女性

2 今、暑さに対してどのように感じますか。

(1) 今、快適だと感じますか。

1. 非常に快適 2. 快適 3. やや快適 4. どちらでもない  
5. やや不快 6. 不快 7. 非常に不快

(2) 今、暑いですか。

1. 非常に暑い 2. 暑い 3. やや暑い 4. 暑くない

(3) 今、じめじめしていますか、乾燥していますか。

1. じめじめしている 2. どちらでもない 3. 乾燥している

(4) 今、皮膚または衣服は汗で濡れていますか。

1. 汗で非常に濡れている 2. 汗で濡れている  
3. 汗で少し濡れている 4. ほとんど濡れていない

3 天井で噴きだしているミスト(霧)についておたずねします。

(1) ミスト(霧)で、衣服や肌が濡れるように感じますか。

1. 濡れる 2. 少し濡れる 3. 濡れない

(2) ミスト(霧)で、濡れたように感じることに嫌だと思いませんか。

1. 濡れたように感じ、嫌だ 2. 濡れたように感じるが、嫌ではない  
3. 濡れたように感じるが、好ましい 4. 濡れないのでわからない

(3) 今、ミスト(霧)をとめて欲しいと思いませんか。

1. もっと多く噴いて欲しい 2. このままがよい  
3. もう少し少ない量で噴いて欲しい 4. とめて欲しい

(4) 駅やバス停などに、このようなミスト(霧)があるとよいと思いませんか。

1. ある方がよい 2. あってもなくてもよい 3. ない方がよい

**裏面へ続きます。**

第2章 実験概要

4 今日の外の天候についておたずねします。

(1) 今日の外の天候は暑かったですか。

1. 非常に暑かった 2. 暑かった 3. やや暑かった 4. 暑くなかった

(2) 今日の外の天候はじめじめしていましたが、乾燥していましたが。

1. じめじめしていた 2. どちらでもなかった 3. 乾燥していた

5 あなた自身についておたずねします。(差し支えない範囲でお答え下さい。)

(1) 汗をよくかきますか。

1. よく汗をかく 2. あまり汗をかかない

(2) 普段屋外で活動することはよくありますか。

1. 週に20時間以上 2. 週に5時間以上 3. 週に5時間以下

(3) 今あなたが着用している衣服について、該当するものすべてに 印をつけて下さい。

1. 半そでシャツ 2. 長そでシャツ 3. 長ズボン 4. 半ズボン  
5. スカート 6. ワンピース 7. カーデガン 8. 靴下  
9. 靴 10. サンダル 11. 帽子

(4) 列に並んでいる間に何か食べたり、飲んだりしましたか。

1. 冷たいものを飲んだ 2. アイスなど冷たいものを食べた  
3. 冷たくないものを飲んだ 4. 冷たくないものを食べた 5. 何も口にしていない

(5) お住まいはどちらですか。都道府県名でお答え下さい。海外の方は国名でお答え下さい。

\_\_\_\_\_都道府県(国)

(6) 出身地はどちらですか。県名でお答え下さい。海外の方は国名でお答え下さい。

\_\_\_\_\_都道府県(国)

以上です。ご協力ありがとうございました。

\*この下には何も書かないで下さい。


**お客様各位**

現在、電力館で稼働中のドライミストについて、その快適性を調査しています。お手数をおかけしますが、アンケートにご協力いただけますよう、よろしくお願いいたします。

名古屋大学原田研究室  
ワンダーサーカス電力館

1 年齢・性別をおたずねします。

(1) 年齢・・・1. 10代 2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代 6. 60代以上

(2) 性別・・・1. 男性 2. 女性

2 今、暑さに対してどのように感じますか。

(1) 今、快適だと感じますか。

1. 非常に快適      2. 快適      3. やや快適      4. どちらでもない  
5. やや不快      6. 不快      7. 非常に不快

(2) 今、暑いですか。

1. 非常に暑い      2. 暑い      3. やや暑い      4. 暑くない

(3) 今、じめじめしていますか、乾燥していますか。

1. じめじめしている      2. どちらでもない      3. 乾燥している

(4) 今、皮膚または衣服は汗で濡れていますか。

1. 汗で非常に濡れている      2. 汗で濡れている  
3. 汗で少し濡れている      4. ほとんど濡れていない

3 今日の外の天候についておたずねします。

(1) 今日の外の天候は暑かったですか。

1. 非常に暑かった      2. 暑かった      3. やや暑かった      4. 暑くなかった

(2) 今日の外の天候はじめじめしていましたか、乾燥していましたか。

1. じめじめしていた      2. どちらでもなかった      3. 乾燥していた

**裏面へ続きます。**

## 第2章 実験概要

4 ドライミストについておたずねします。

(1) このパビリオンには、ドライミストという水の気化熱を利用して、外気温を下げるという装置がついています。ドライミストという言葉聞いたことがありますか。

1. テレビ等で見てよく知っている
2. 聞いたことがある
3. 知らない

(2) ドライミストの装置はワンダーサーカス電力館、グローバルループ、オーストラリア館に設置されています。実際に体感したことがあるものに丸をつけて下さい。

1. ワンダーサーカス電力館
2. グローバルループ
3. オーストラリア館
4. 体感したことはない

5 あなた自身についておたずねします。(差し支えない範囲でお答え下さい。)

(1) 汗をよくかきますか。

1. よく汗をかく
2. あまり汗をかかない

(2) 普段屋外で活動することはよくありますか。

1. 週に20時間以上
2. 週に5時間以上
3. 週に5時間以下

(3) 今あなたが着用している衣服について、該当するものすべてに印をつけて下さい。

1. 半そでシャツ
2. 長そでシャツ
3. 長ズボン
4. 半ズボン
5. スカート
6. ワンピース
7. カーデガン
8. 靴下
9. 靴
10. サンダル
11. 帽子

(4) 列に並んでいる間に何か食べたり、飲んだりしましたか。

1. 冷たいものを飲んだ
2. アイスなど冷たいものを食べた
3. 冷たくないものを飲んだ
4. 冷たくないものを食べた
5. 何も口にしていない

(5) お住まいはどちらですか。都道府県名でお答え下さい。海外の方は国名でお答え下さい。

\_\_\_\_\_都道府県(国)

(6) 出身地はどちらですか。県名でお答え下さい。海外の方は国名でお答え下さい。

\_\_\_\_\_都道府県(国)

以上です。ご協力ありがとうございました。

\*この下には何も書かないで下さい。


### 第3章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

### 第 3 章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

#### 3.1. 2003～2005 年夏季の気象条件

実験時の気象条件として、図 3.1.1 から図 3.1.5 には、名古屋地方気象台（気象庁「電子閲覧室」<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html> 参照）の 2003～2005 年の 7、8 月の気象データを示す。

図 3.1.1 および図 3.1.2 は、日最高気温を示している。2003、2004、2005 年各年の 7、8 月の日最高気温の平均は、それぞれ 29.7、32.9、32.3 である。2003 年は最高気温が全体的に低いことが明らかである。実験期間中の 7 月下旬から 8 月中旬に着目すると、2003 年で最高気温が 32 以上と高い日が見られるのは、8 月上旬の数日間、その他は比較的暑くない条件であったといえる。2004 年は、8 月中旬に気温の低い日が見られる以外は、最高気温は高かった。2005 年は、8 月初旬から中旬にかけては暑い日が多く、7 月下旬、8 月後半に気温の低い日が見られる。

図 3.1.3 および図 3.1.4 は、一日で最も低い相対湿度（日最小相対湿度）を示している。一日のうちで最も低い相対湿度は日最高気温が表れる時刻とほぼ同じ頃である。2003、2004、2005 年各年の 7、8 月の日最小相対湿度の平均は、それぞれ 59.8%、48.0%、50.0% である。気温が低い 2003 年度に相対湿度が高いことが確認できる。2004 年、2005 年は、気温が低い日はやや相対湿度が高くなっているが、最小相対湿度 40～50% の日がほとんどである。全体として気温が高い日に低い相対湿度が観測される。図 3.1.5 には、日最高気温と日最小相対湿度の関係を示し、この図からも高い気温と低い相対湿度の関係が確認できる。ただし、同じ最高気温であっても最小相対湿度は約 20% の幅が見られる。

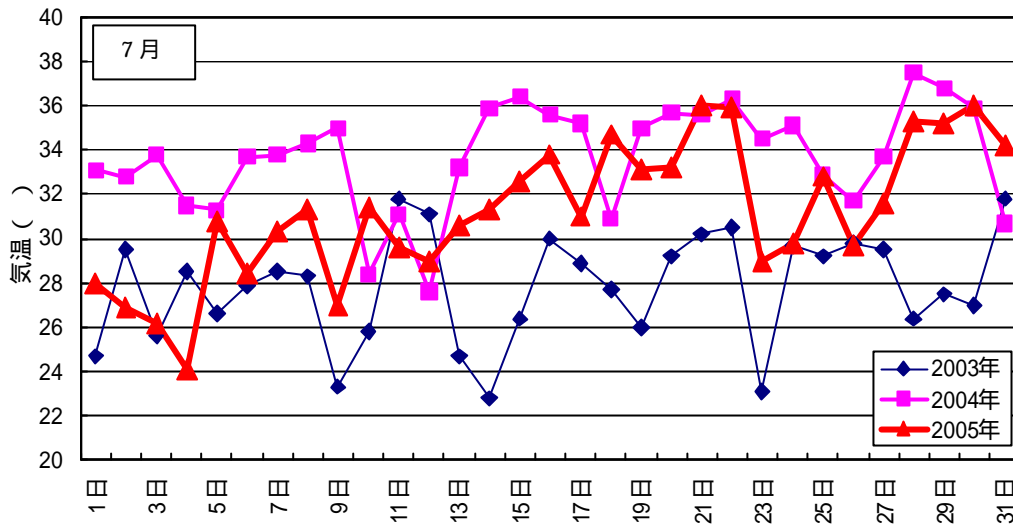


図 3.1.1 2003～2005年7月の日最高気温の変化

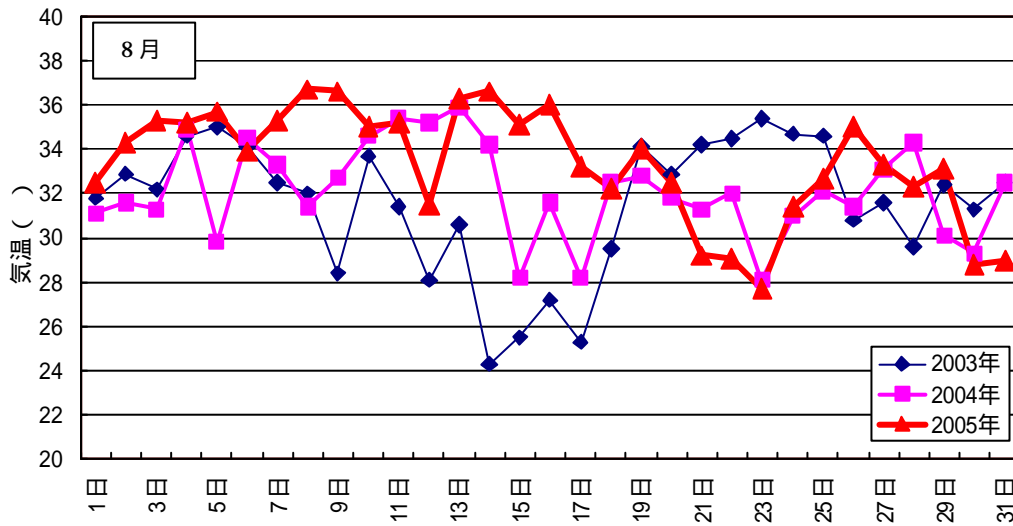


図 3.1.2 2003～2005年8月の日最高気温の変化

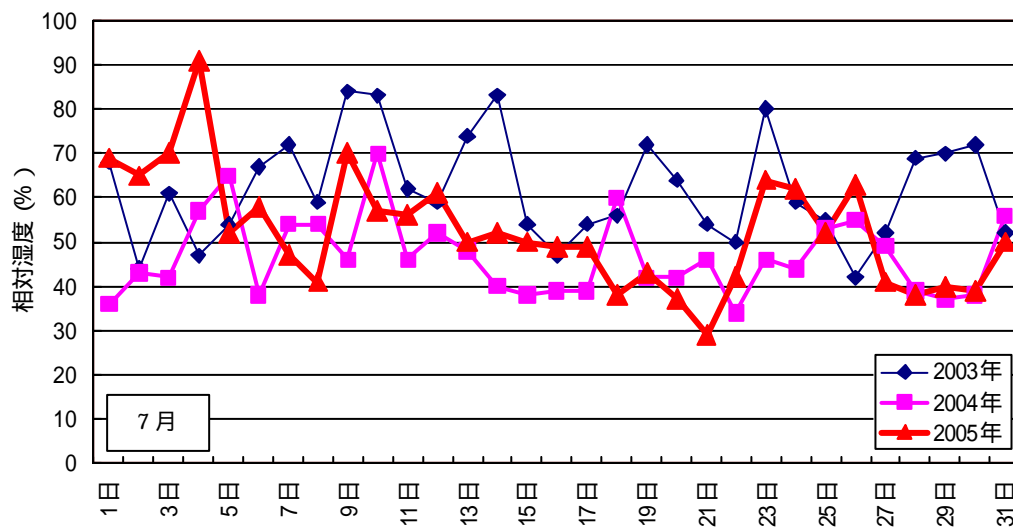


図 3.1.3 2003～2005年7月の日最小相対湿度の変化

第3章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

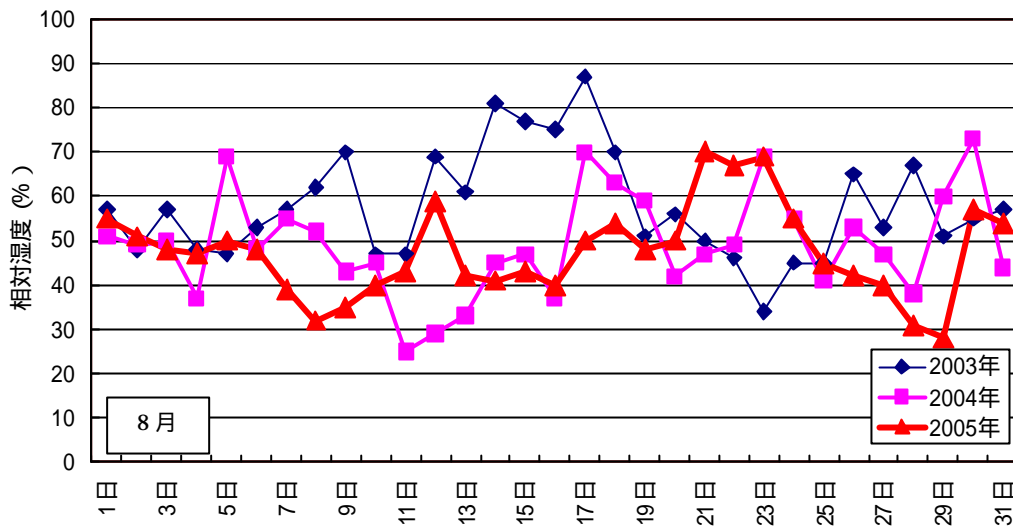


図 3.1.4 2003～2005年8月の日最小相対湿度の変化

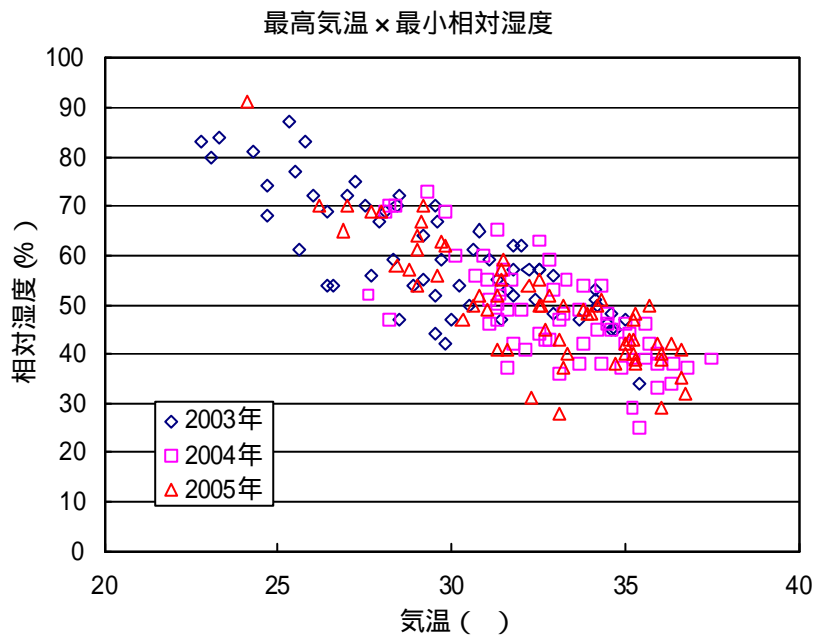


図 3.1.5 2003～2005年7、8月の日最高気温と日最小相対湿度の関係

### 3.2. 屋外空間での実験

全実験日の温熱環境の概要として、表 3.2.1 には、実験時のミスト噴霧条件と物理量測定の結果概要を示す。

12時の気温、相対湿度は、百葉箱での測定結果を示す(測定方法については、2.2.5節参照)。温度差はミスト噴霧区画内とミスト噴霧区画外の温度差で、T12(ミスト外)における高さ1.5mの熱電対温度からT9(ミスト内)における高さ1.5mの熱電対温度を引いた値、あるいはT13(ミスト外)における高さ1.5mの熱電対温度からT6(ミスト内)における高さ1.5mの熱電対温度を引いた値で、実際に被験者位置として用いた位置の差を示す(測定点については、図2.2.3参照)。いずれの位置を用いるかは被験者がミスト内外へ移動する10分程度前の風向を参考に決めたが、実験中の風向の変化により、ミストの影響がミスト外の指標に出ていることもあった。なお、熱電対温度データは瞬時値のため、特に日射が大きいと外気中の渦の影響で時間変動が大きく、内外の温度差の比較が困難なため、風速に準じて10分間平均をとり、この値の差を温度差として扱っている。最大値、平均値は、10時～14時までの最大および平均である。

気温について、噴霧量 $6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、噴霧高さ6mの時は他の噴霧条件の時に比べ、気温がやや低い日が多かった。

ミスト内外の温度差について、最大値で1.0から2.0ほど出ることが分かる。温度差平均値がマイナスのものが見られるが、これはミスト外よりもミスト内の温度が平均的に高かったことを表している。その要因としては、1日の中で風向が目まぐるしく変化し、風上と風下が時間によって入れ替わってしまうことが多々あったためである。ミスト噴霧条件別に見ると、噴霧量 $12\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、噴霧高さ6mの時に最も温度差が大きくなりやすく、次に噴霧量 $6\text{ml}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、噴霧高さ4.6mの時に温度差が大きくなっているようである。全体として気温が高く、相対湿度が低い方が温度差が大きくなる傾向が確認できる。

物理量結果の一例として、ミストの効果が比較的でている8/1の例を図3.2.1および図3.2.2に示す。全データは、論文末に付録として載せる。aの気温、相対湿度は弱要箱のデータを示す。ミスト内外温度差はミスト外被験者位置(この日はT12)の熱電対温度からミスト内被験者位置(この日はT6)の熱電対温度を引いた値である。この日は、温度差の平均が約1で、比較的溫度差が大きい。気温は30を超えており、風速は13時以降やや高くなるが、ほとんど $2\text{m}/\text{s}$ 以下で小さくなっていると小さい。図3.2.1のbで示される風向と風速はミスト外での10分間の移動平均値であり、ここでプラスの値は西風、南風、上昇気流であったことを示す。風向は1日の間でも大きく変化している様子が確認できる。図3.2.2のaおよびbに示される熱電対温度は下図に示される南北方向、東西方向の1.5m高さの熱電対温度であり、10分間の移動平均値を示す。南北方向では、ミスト区画外のT12およびT13は他に比べ、比較的高い値をとっており、最も低い温度が観測されたのは、中心より南よりのT10であった。東西方向では東から西に向かって気温が低くなっている。風向を確認すると、東から風を吹いていることが多くその影響ではないかと考えられる。

第 3 章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

表 3.2.1 物理測定結果概要（ささしま）

実験日	噴霧量 (ml/min m <sup>2</sup> )	噴霧高さ (m)	12時の 気温 ( )	12時の 相対湿度 (%)	温度差 平均値 ( )	温度差 最大値 ( )
721	6.0	6.0	29.6	47	-0.45	0.72
724			28.2	75	0.17	1.06
725			28.4	57	-0.37	0.36
727			29.5	50	-0.03	1.18
729			26.7	76	0.75	1.42
731			31.5	49	0.69	1.80
801	12.0		31.5	59	0.93	1.86
804			34.7	47	1.11	2.42
805			35.4	48	0.83	1.54
806			33.0	62	0.08	0.90
808			32.2	64	-0.14	0.10
810			6.0	4.6	33.3	50
811	32.2	47			-0.22	0.40
813	30.5	58			0.10	1.45
816	25.4	86			0.26	0.67
818	29.8	74			0.30	1.20

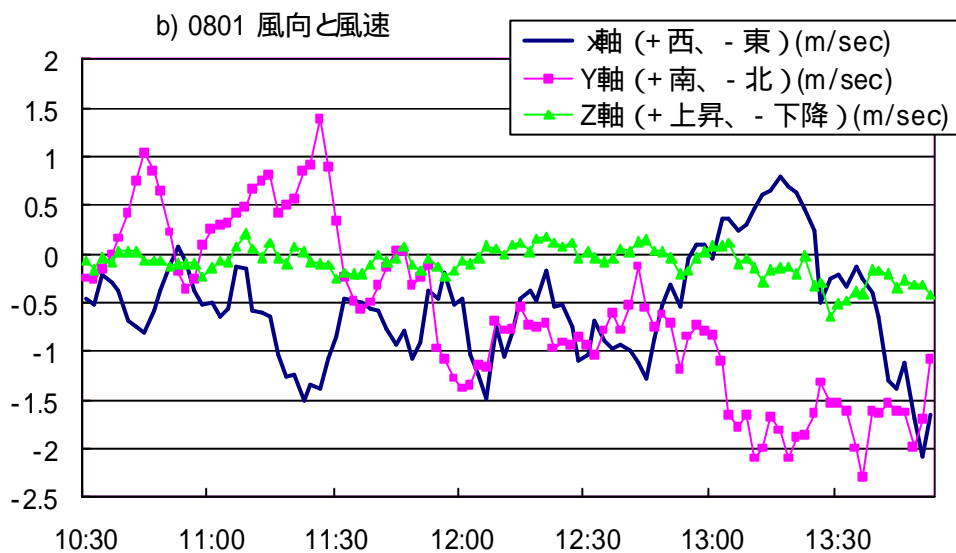
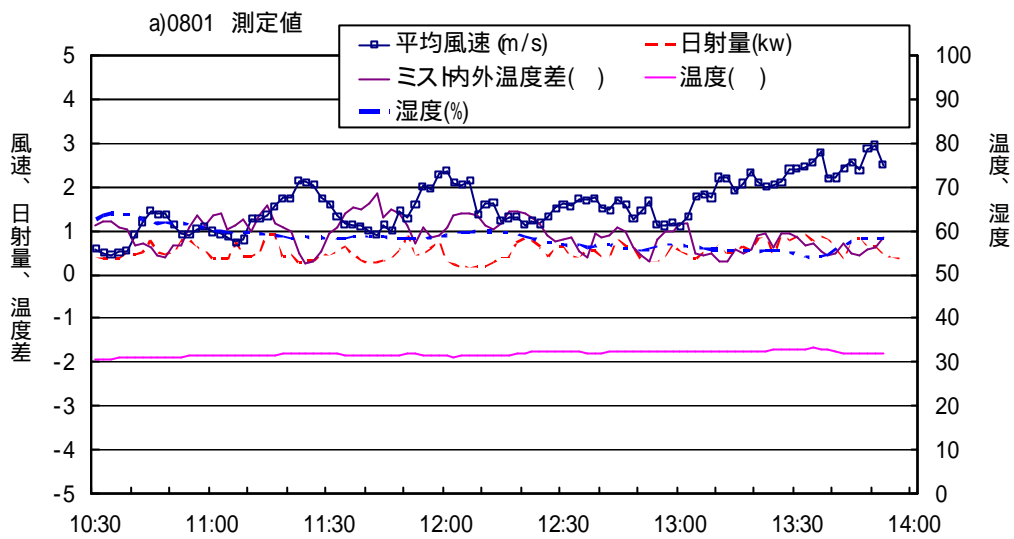
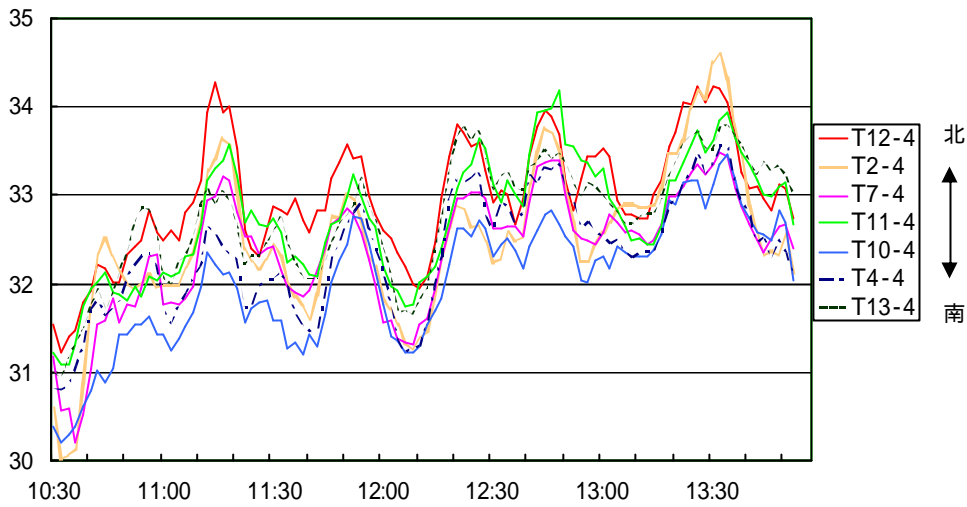


図 3.2.1 屋外空間での物理量測定結果一例 (8/1)(ささしま)

第 3 章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

( ) c)0801 10分間の平均熱電対温度 $T_i=(T_{i-2}+T_{i-1}+T_i+T_{i+1}+T_{i+2})/5$  南北



( ) d)0801 10分間の平均熱電対温度 $T_i=(T_{i-2}+T_{i-1}+T_i+T_{i+1}+T_{i+2})/5$  東西

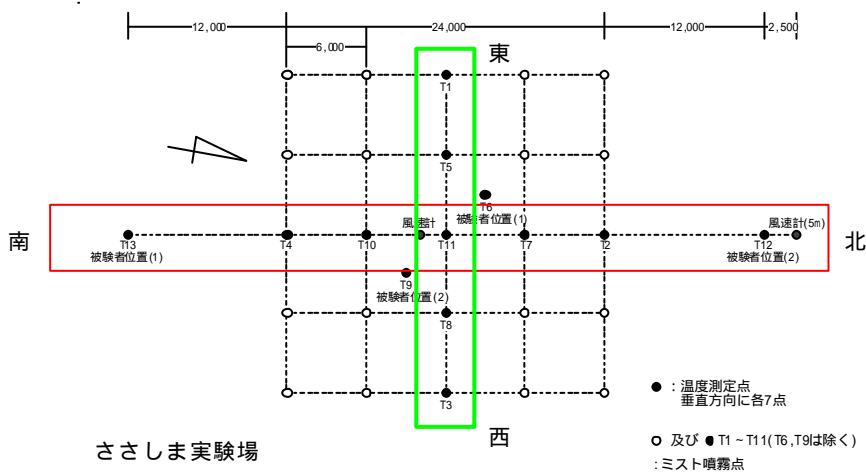
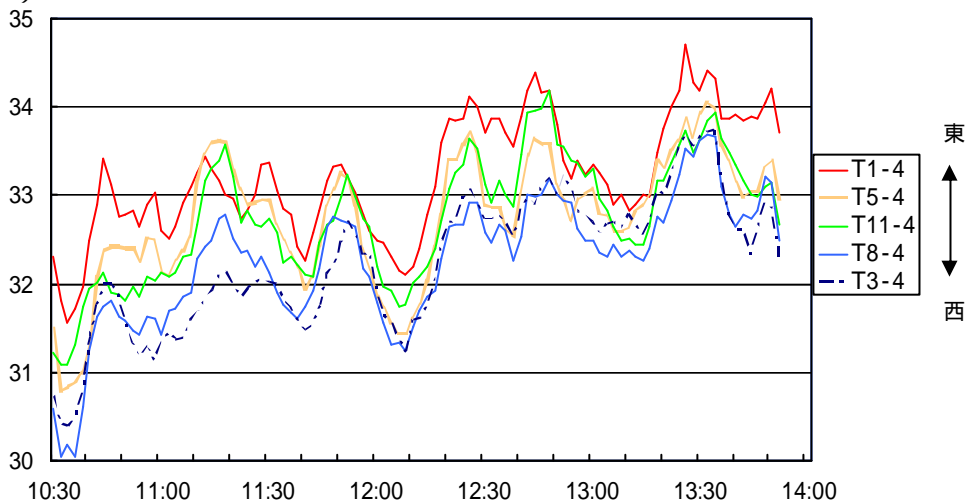


図 3.2.2 屋外空間での物理量測定結果一例 (8/1) (ささしま)

### 3.3. 半屋外空間での実験

全実験日の温熱環境の概要として、表 3.3.1 には、実験時のミスト噴霧条件と物理量測定の結果概要を示す。

12時の気温、相対湿度は、ミスト無テントでの測定結果を示す(測定方法については、2.2.5節参照)。気温はテントの測定点1~3、7、9、11、14~19の高さ1.5mにおける熱電対温度12点の平均値を示し、相対湿度はテントの測定点9の高さ1.5mにおける測定値である。温度差はミスト無テントの測定点1~3、7、9、11、14~19の高さ1.5mにおける熱電対温度12点の平均値からミスト有テントの同じ12点の平均値を引いた値である。なお、熱電対温度データは瞬時値のため、時間変動が大きく、内外の温度差の比較が困難なため、風速に準じて10分間平均をとり、この値の差を温度差として扱っている。最大値、平均値は、10時30分~13時30分までの最大および平均である。

気温について、テント内の日陰であるにも関わらず、ほとんどが30を超えており、非常に暑い日が多かったことがわかる。

ミスト内外の温度差について、平均でも1以上の温度差があり、最大では2以上の温度差が見られる日もある。ここでは、温度差は温度および相対湿度の影響をほとんど受けていないように見える。屋外空間での実験では、条件のよい日で1程度であったことと比較すると、平均2程度の気温削減効果があり、屋根により冷却空気の拡散が妨げられたことが分かる。

物理量結果の一例として、ミストの効果と比較的である8/10の例を図3.3.1に示す。全データは、論文末に付録として載せる。炎天下は図2.3.7に示す炎天下測定点、ミスト無テント、ミスト有テントは図2.3.9に示す被験者位置近傍の測定点9の熱電対温度、相対湿度、風速を示し、室内はアスマン通風乾湿度計の値である。

日射が比較的強く、炎天下温度が35程度と暑い日である。炎天下、ミスト無テント、ミスト有テントの順で、気温が2~3程度ずつ少なく、相対湿度が15%程度、10%程度多くなっている。14時30分にミスト噴霧を停止後、5分程度でミスト有・無テントの温湿度差がほとんどなくなっていることが確認される。

第 3 章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

表 3.3.1 物理測定結果概要（日進）

実験日	12時の 温度 ( )	12時の 相対湿度 (%)	温度差 平均値 ( )	温度差 最大値 ( )
724	34.8	51.5	1.87	2.33
725	32.5	68.1	1.19	2.21
729	35.0	30.1	1.60	2.81
731	28.5	80.9	0.89	1.17
801	31.1	63.3	0.82	1.20
802	30.9	32.1	1.31	1.96
805	30.8	76.6	0.80	1.00
806	34.5	65.8	1.83	2.39
807	31.1	72.4	2.50	2.94
808	28.7	75.4	1.72	2.01
809	32.8	55.7	1.83	2.22
810	32.1	61.7	1.82	2.35
811	34.0	43.1	1.62	2.10
812	34.2	44.4	1.50	2.22
816	29.0	51.9	2.05	2.59
818	31.5	77.0	1.05	1.41
819	32.1	73.7	0.42	0.79
820	31.2	50.0	0.90	1.36
821	31.9	55.1	1.21	1.65
822	30.6	63.3	1.70	2.14
823	26.2	80.7	1.11	1.56

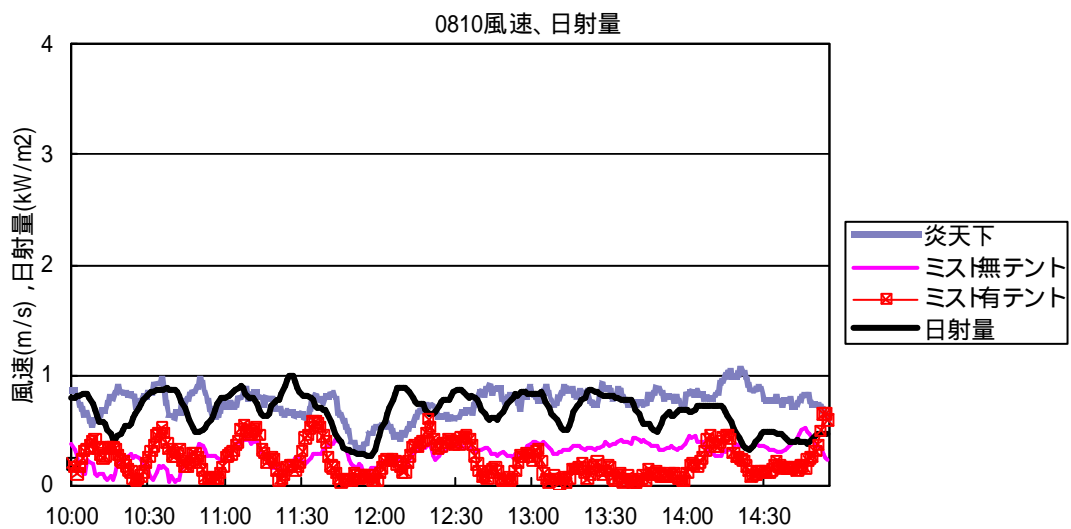
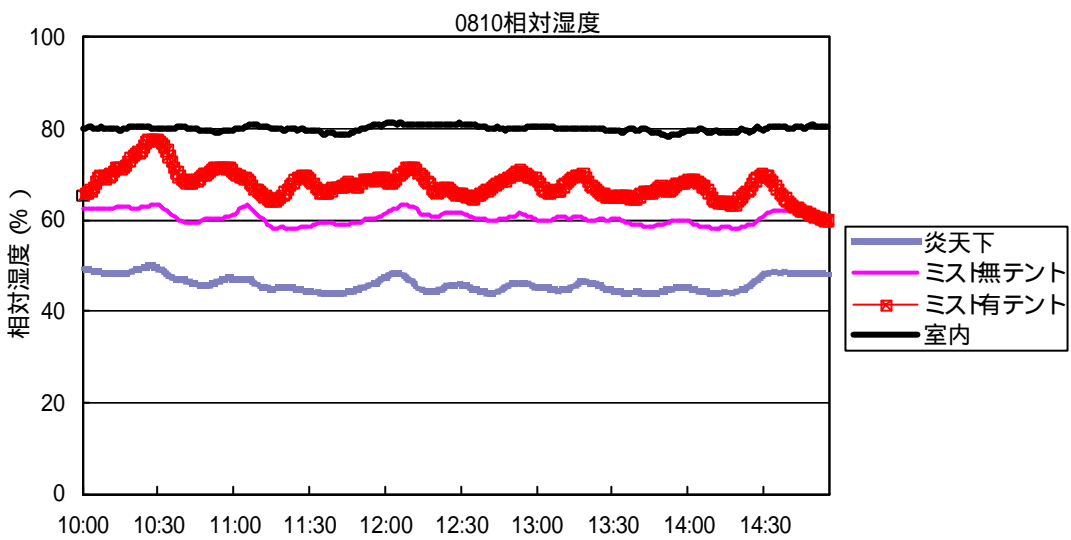
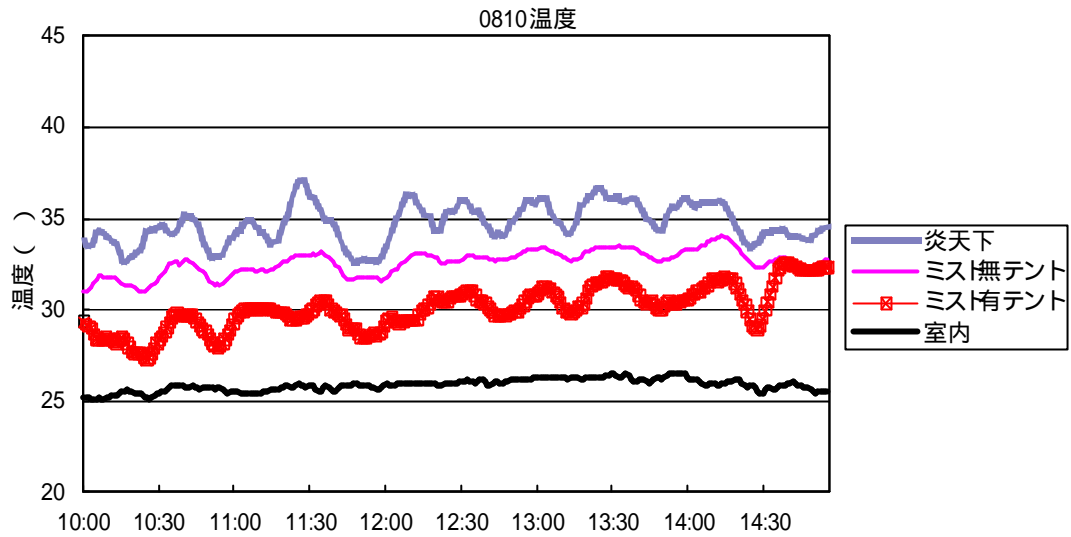


図 3.3.1 半屋外空間での物理量測定結果一例 (8/10)(日進)

#### 3.4. 万博会場でのアンケート調査

図 3.4.1 から図 3.4.6 に、万博での全調査実施日の物理量測定結果およびドライミスト運転の ON/OFF を示す。ウェイティングスペース内の制御用気温および相対湿度は、ウェイティングスペースのほぼ中央（図 2.4.8 の温湿度 1）高さ 3m のデータ、おんどとりは同位置の高さ 1.6m のデータを示し、おんどとり平均は 10 分間移動平均値である。屋外の温熱環境条件として、ウェイティングスペース屋根上に置かれた制御用データおよび電力館前エコクラブの気温、相対湿度、風速、日射量、名古屋地方気象台の 1 時間毎の温湿度データを示す。ただし日射量について、いずれの調査日においても 14 時以降で低い値となっているが、これは建物の影になるためである。

7/21、7/28 は一日中日射量が多く、日中には気温が 38 を越え非常に高く、相対湿度は 40% 以下と低く、風も穏やかなため一日中ミストが噴霧している。屋外とウェイティングスペース内の温度差は 4~6 程度である。ウェイティングスペース内の 2 つの測定では高さ 1.6m のおんどとりの測定の方が 1 程度気温が高く、相対湿度は 5~10% 程度低い。

8/3、8/17 は日射量の変化が激しく、気温があまり上昇せず、相対湿度は 50~60% で、午後以降風速が大きく、ミストは ON/OFF を繰り返している。8/4 は、屋外気温は 38 程度と高くなっているが、湿度が高く、ミストは ON/OFF を繰り返している。3 日間ともミストの ON/OFF と制御用湿度が 70~80% 間の上下を繰り返していることより、湿度上昇のためにミストが停止し、湿度低下のためにミストが噴霧開始していることが確認できる。また、ミストの ON/OFF にともない、制御用気温は 2 程度の幅で上下している。おんどとりの温湿度変化幅は、8/3 は 2 程度、10% 程度、8/4 は 4 程度、20% 程度であり、8/4 の方が変化幅が大きい。これは 8/3 の方が風速が強く差が小さくなっているのではないかと考えられる。制御用とおんどとりのデータを比較すると、おんどとりの方がミスト ON/OFF に対する反応が早いように見えるが、制御用温湿度計は傘がついており（図 2.4.5 参照）熱容量が大きくなり反応が少し遅いと考えられる。8/3、8/17 の 14 時以降で風速によるミストの ON/OFF が激しく繰り返されていることが確認される。また一部手動噴霧を行っており、その時は風速 3m/s 以上、湿度 70% 以上になっている。

8/29 は、日射量は多く、気温は 36 まで上がり、相対湿度は 40% 程度と低く、風も弱い。ミスト無でのアンケートを行うため、ミスト噴霧開始温度を 29 としたが、10 時 30 分頃にはそれを上回り、噴霧を開始し、15 時 30 分以降まで噴霧が停止することはなかった。屋外とウェイティングスペース内の温湿度差は 6 程度、15% 程度である。制御用、おんどとりの温湿度は、おんどとりの方が様々な影響を受けやすいことから上下をしているが、ほぼ同じ温湿度を示している。

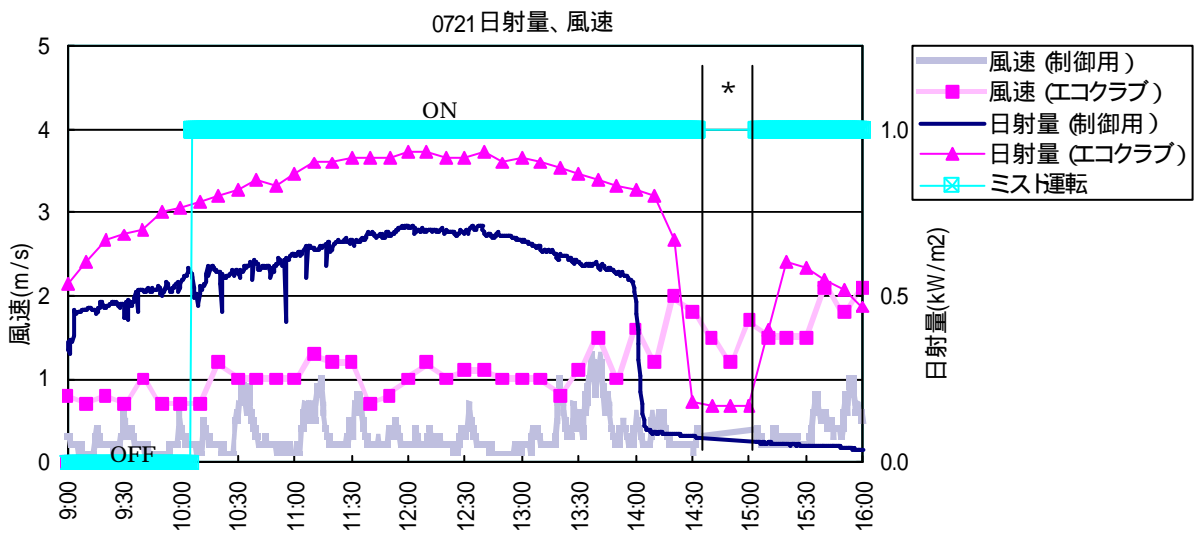
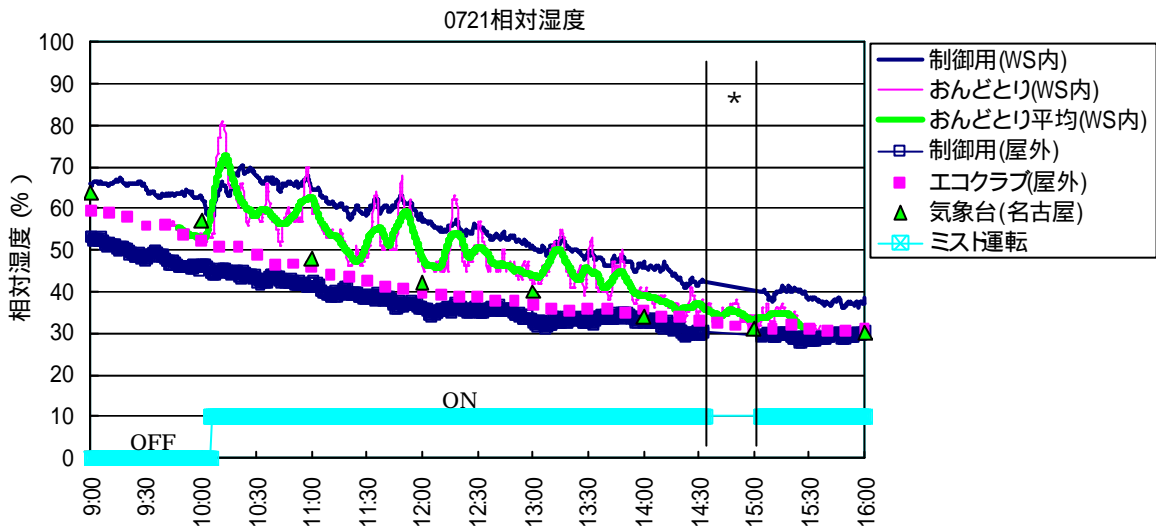
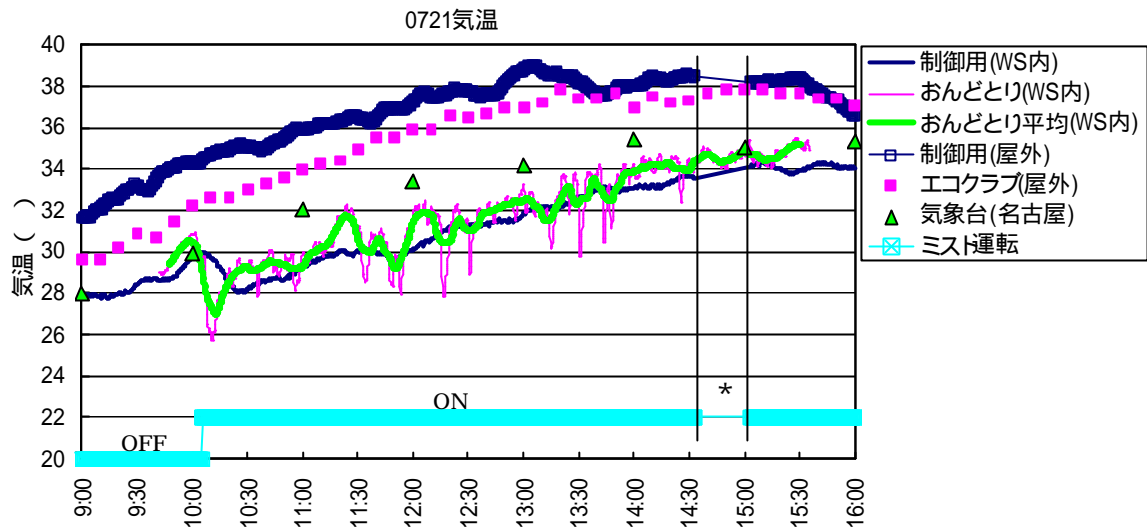


図 3.4.1 7/21 の温熱環境条件 (万博)

\* 制御用データ一部欠測

第3章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

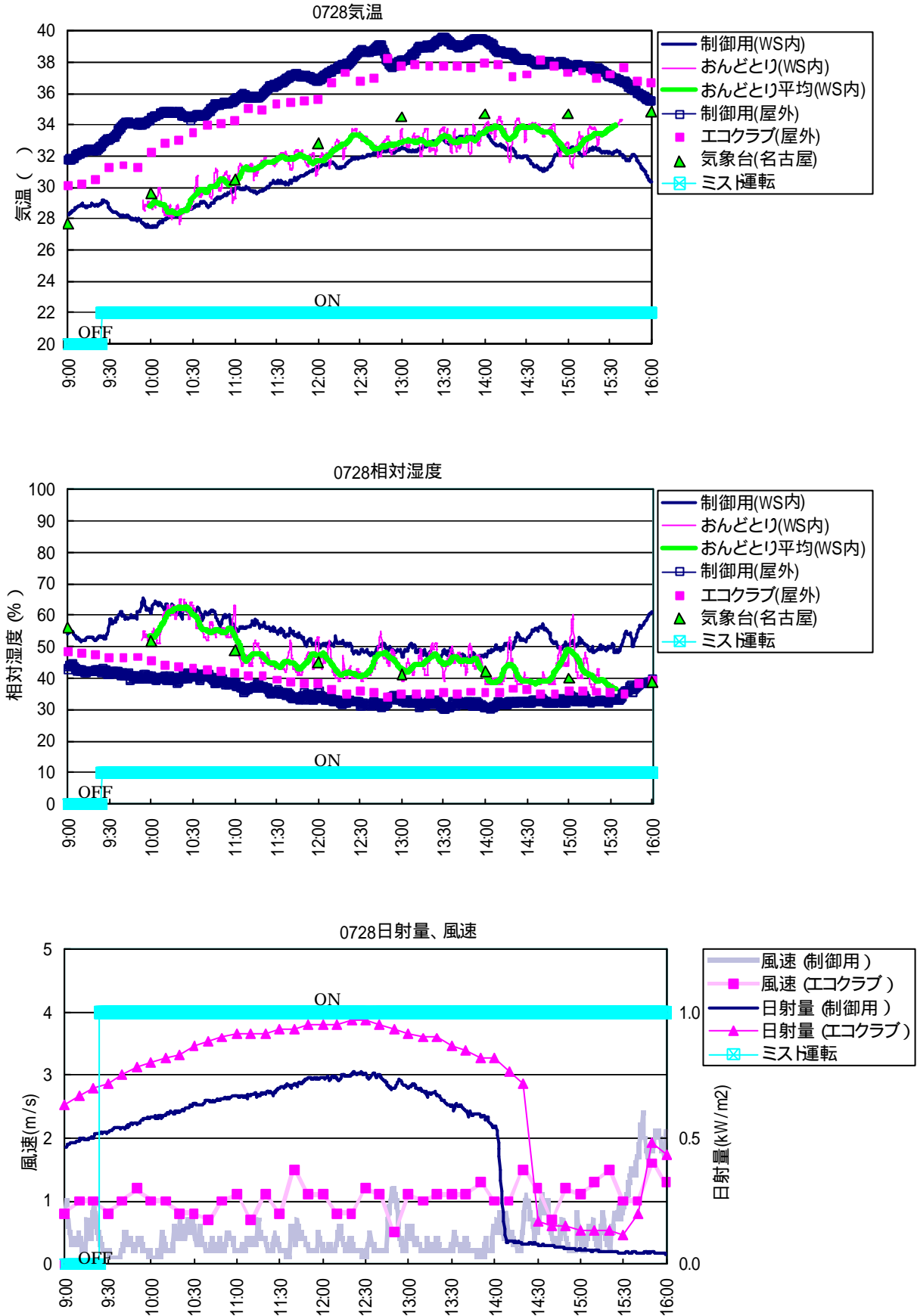


図 3.4.2 7/28 の温熱環境条件 (万博)

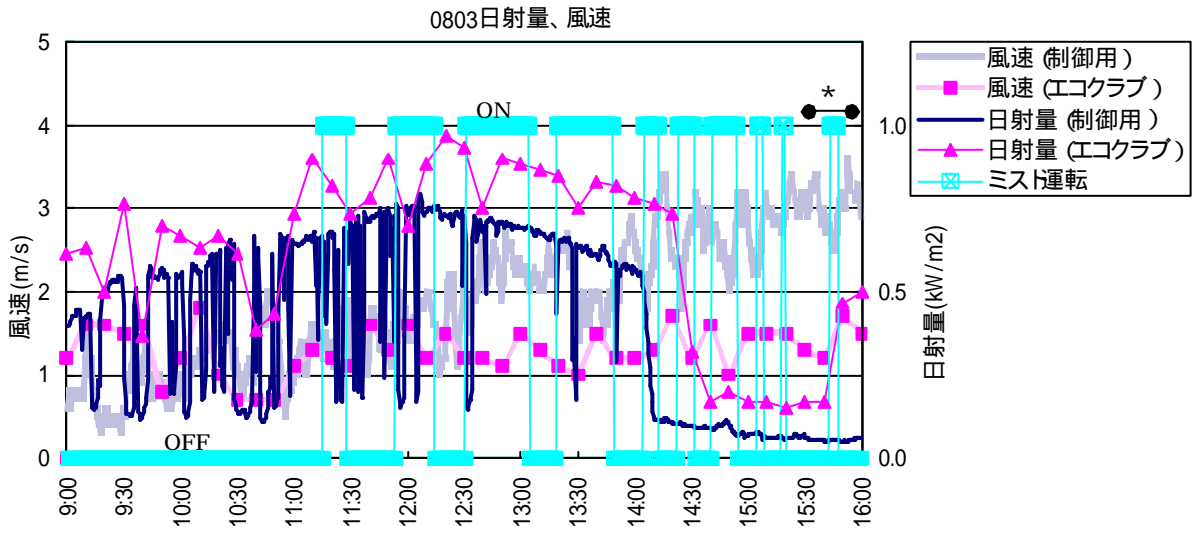
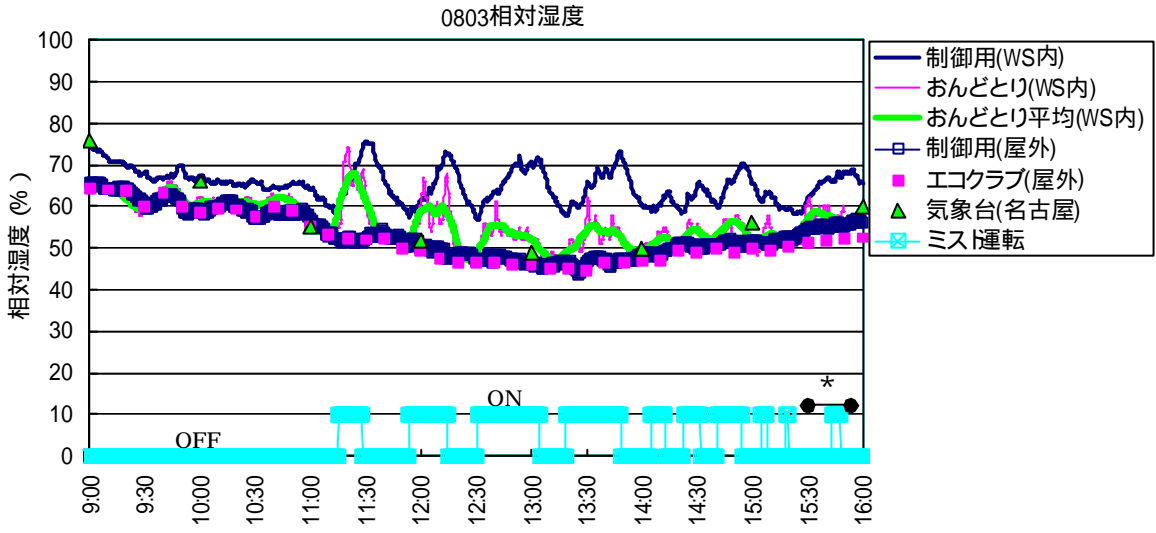
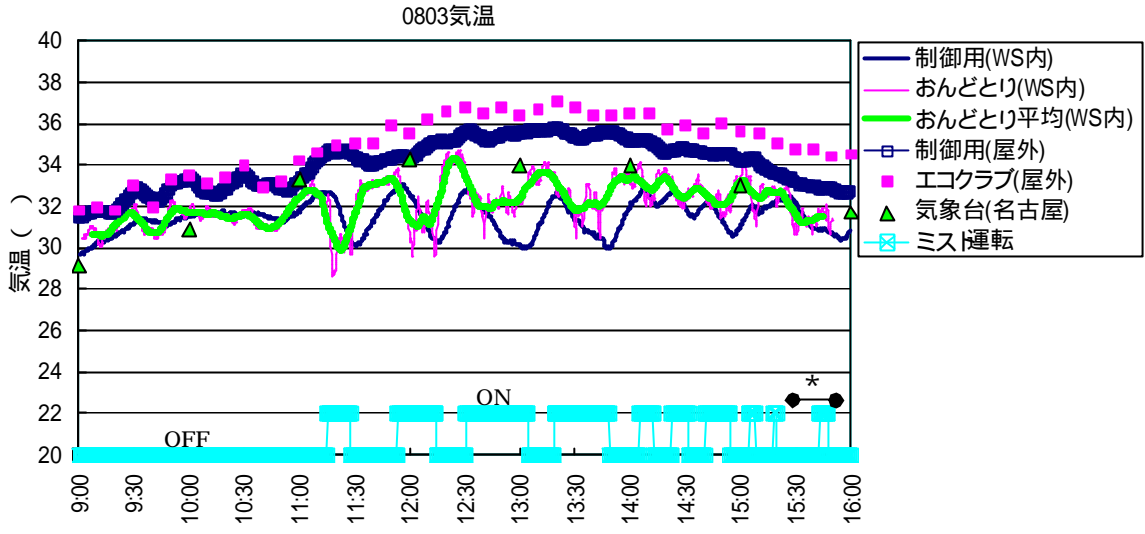


図 3.4.3 8/3 の温熱環境条件 (万博)  
\* 一部手動によるミス噴霧

第3章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

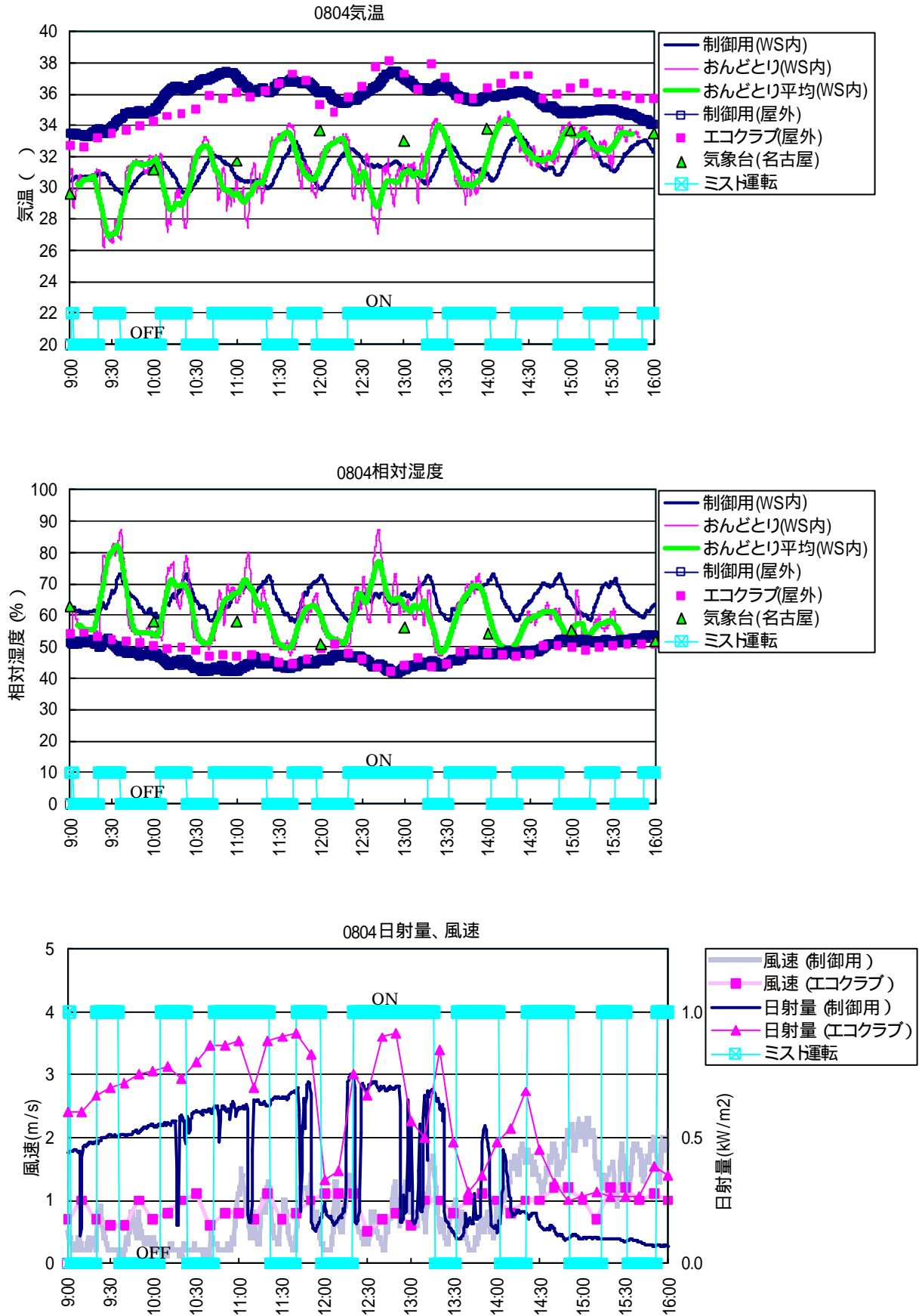


図 3.4.4 8/4 の温熱環境条件 (万博)

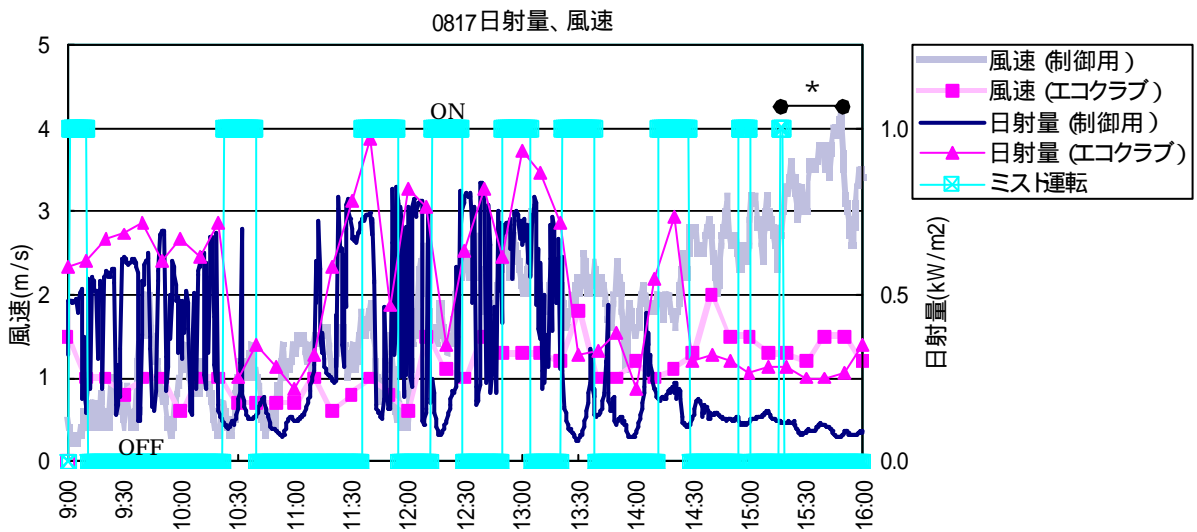
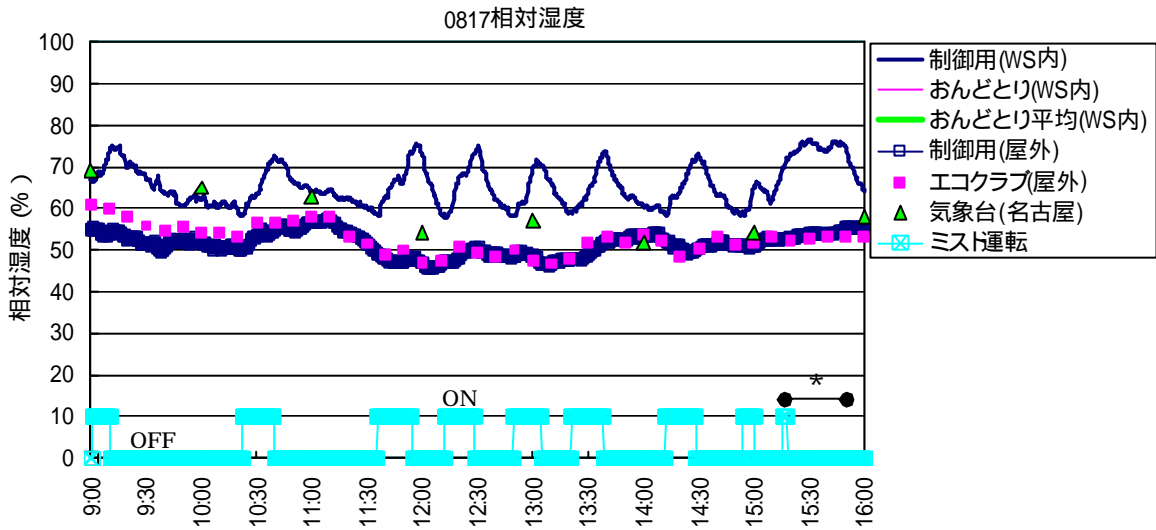
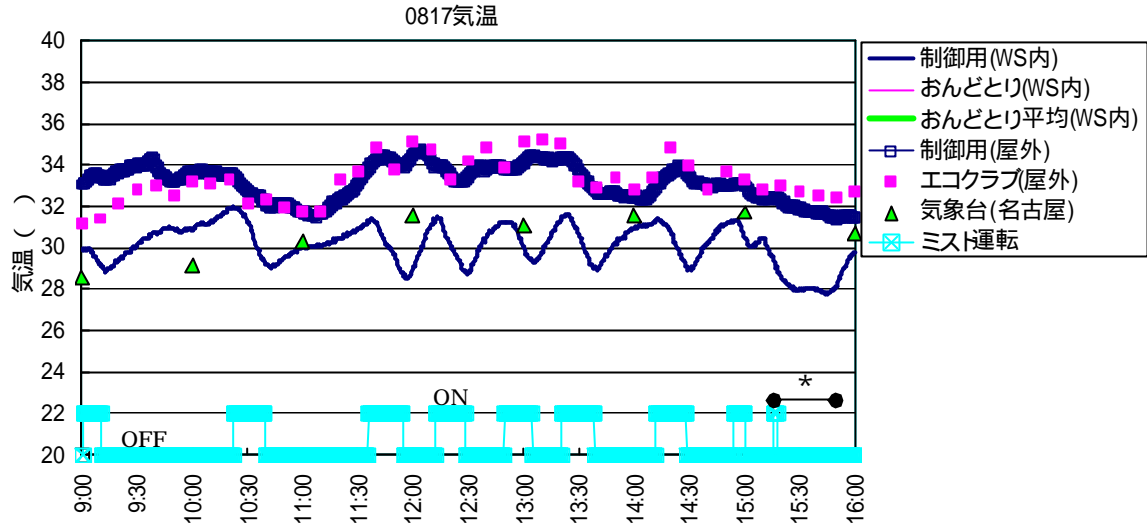


図 3.4.5 8/17 の温熱環境条件 (おんどとりデータ欠測)(万博)

\* 一部手動によるミスト噴霧

第3章 実験中の温熱環境とドライミスト噴霧による環境変化

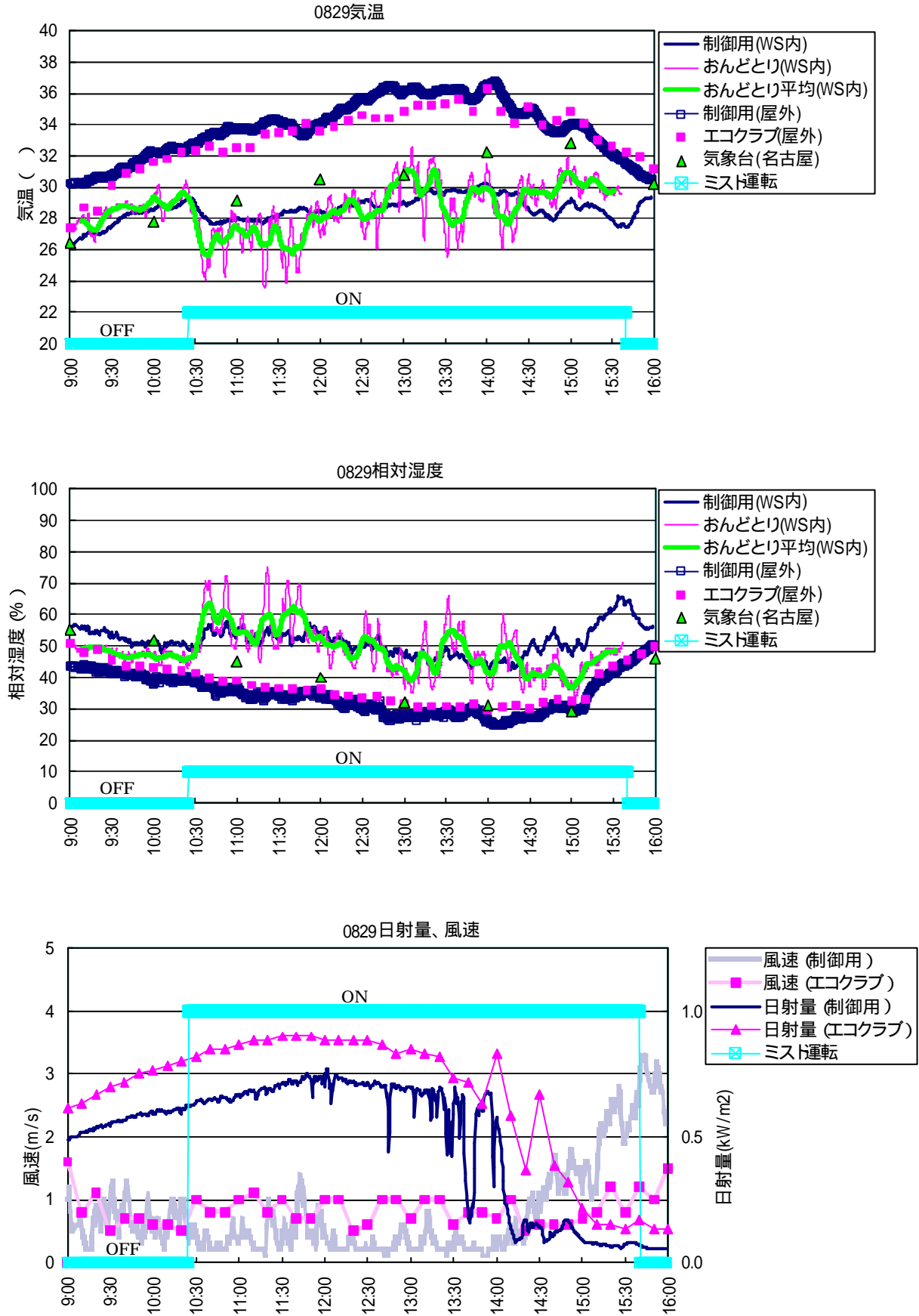


図 3.4.6 8/29 の温熱環境条件 (万博)

## 第4章 屋外空間の温熱環境評価

## 第4章 屋外空間の温熱環境評価

### 4.1. はじめに

ドライミスト噴霧下の人体の快適性を明らかにするために、屋外環境での人体の快適性について検証することが必要となる。屋外および半屋外空間は室内空間とは異なり、気温、湿度、放射、気流等の条件が時々刻々と変化する非定常かつ不均一温熱環境となっていることが特徴である。定常状態の屋内の快適性の評価とは異なると考えられる。

屋外および半屋外空間の温熱環境の評価に関する研究としては、表 4.1.1 に示すように、この分野の研究は増えてきている。中村ら<sup>1)</sup>は、屋外環境指標としての SET\* の有効性を検討し、SET\* が与えられたとき温冷感の各カテゴリーの申告率が一目でわかる申告率分布表の提案をした。また、石井ら<sup>2)</sup>は夏季の屋外で既存の温熱環境指標と快適感の関係を示し、SET\* で最も高い相関が見られ、屋外快適環境の限界は SET\*=27~28 であることを示した。しかし、表 4.1.1 に示されるように季節の差や日陰・日向等、様々な屋外温熱環境が存在するため、その評価には更なる研究が必要である。

本章では、本実験で得られた結果を既存の温熱環境指標を用い、屋内の基準および既往研究結果との比較を行う。

表 4.1.1 既往の研究

著者	タイトル	実験期間	実験場所	被験者	検討内容	中立 快適温度
A	ASHRAE ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS				冬季 夏季の快適範囲	快適範囲 SET*=22.2~25.6
B	小笠原 一隆 暑熱地域における気流の環境改善効果		実験室 (28~34 、80%、0.1~1.8m/s)		気温 風速と温冷感 発汗感 快適感	
C	鄭 梶元 都市の街路および開放空間における熱放射環境が人体に及ぼす影響	夏季、秋季、冬季に各3~4日	アスファルト舗装された道路と土の運動場	20代の男女大学生	作用温度と温冷感	熱的中立は作用温度20
D	鄭 梶元 建築外部空間における日射を含んだ熱放射環境が人体の熱的快適性に与える影響 温冷感、発汗感を中心として	3,6,8,10,12月に各3~4日	アスファルト舗装された道路と土の運動場	20代の男女大学生	気温と温冷感	
E	中村 安弘 屋外非定常不均一温熱環境の快適性評価	11/13~12/4、計10日	大学6階建て屋上	男子大学生4名	屋外SET*と温冷感 快適感	SET*=22.5~26 付近が熱的中立に近い
F	中村 安弘 SET*と申告確立に基づく屋外温熱環境の評価	11/25~12/13、計7日	大学構内広場	20歳代の男女	屋外SET*と温冷感 快適感	中立温冷感の中央値 SET*=21.5 前後
G	中野 淳太 半屋外空間における熱的快適性実測調査	夏季、秋季、冬季	オフィス、デパートの半屋外空間	滞在者	SET*と温冷感	中立SET*は、25~26 付近
H	鈴木 翔太 室内および屋外における温熱環境指標の妥当性の検討	6~2月に週1回	建物の影、日向	青年男女12名	SET*と温冷感	中立SET*は、室内24、日向22.5、日陰28.2
I	幸喜 科子 屋外における温熱感覚に関する申告実験	7/14,11/14	緑陰、日向舗装面	大学生	気温・グローブ温度・SET* 風速と温冷感	
J	渡辺 弥恵 屋外環境における快適感に関する被験者実験	8,9月に計8日	緑陰、日向舗装面	男子大学生10名	グローブ温度・OT・TSI・SET*と快適感	
K	堤 純一郎 屋外の温熱感覚に関するアンケート調査	10/3,12/12	屋外歩行空間(日向、日陰)	歩行者をランダム	気温 SET*と温冷感	
L	石井 昭夫 屋外気候環境における快適感に関する実験的研究	7,8月に各4日	緑陰、日向舗装面	青年男子8名	DI WBGT SET*と快適感	夏季屋外環境の快適性の限界 SET*=27~28
M	Jennifer Spagnolp A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia	夏季、冬季	シドニー 屋外・半屋外空間(日除け、風除け)	滞在者1018名	SET* ET* TOP・Taの中立温度と好みの温度	

## 4.2. 既存の温熱環境指標

温熱快適性や温冷感などの人体の温熱感覚を支配するのは、人体の熱収支量、それによって決定される平均皮膚温、および皮膚の濡れ率面積である。この熱交換には環境側の温熱 4 要素である気温、湿度、放射温度、風速と人体側の 2 要素として代謝量、着衣量が影響している。温熱環境を評価するためにこれらの要素を組み合わせる温熱環境指標が作られている。現在多用されているものとして、SET\*、PMV、WBGT などがあげられる。

### ) SET\*

SET\*は標準新有効温度と呼ばれ、'温熱感覚および放熱量が実在環境におけるものと同等になるような相対湿度 50%の標準状態の気温'といえる。標準状態とは着衣 0.6clo、代謝量 1met、静穏気流 (0.1~0.15met) のときとする。上記の温熱環境 6 要素を変数に含み、人体の濡れ率と平均皮膚音に基礎を置いている。人体の濡れ率は簡単には推定できないので、濡れ率を算出するため人体をコアとシェルに分割し生理学的制御モデル (2 ノードモデル) を使用して計算を行う。屋内における SET\*の快適範囲は 22.2~25.6 といわれている (ASHRAE STANDARD55~74)。また、SET\*が 32 程度で「不快」「暖かい」、36 程度で「暑い」、38 程度で「非常に不快」「非常に暑い」とされている。

本論文で用いた算出プログラムには西安信により作成されたもので、本章末に付録として載せる。

### ) PMV

PMV は予想平均温冷感申告と呼ばれ、温熱環境 6 要素を代入して求まる 7 段階尺度の温冷感の予測値 (表 4.2.1 参照) であり、多数の在室者の平均的な温冷感を表すものである。人体は生理学的に皮膚温度、蒸発熱損失量を調整し、熱平衡を保っている。その熱平衡式から与えられる人体の熱収支量に基づき算出される。

PMV の快適範囲は  $\pm 0.5$  (予測不満者率 10%) とされている。もともと温熱的中立状態にある場合を基本として導かれたため、中立状態から離れて PMV が大きくなると適合は悪くなり、 $PMV = \pm 1$  の範囲で使用するのが望ましいとされている。本実験で扱う暑熱条件においては PMV の適合が悪くなると思われるため、本検討では用いなかった。

表 4.2.1 PMV と温冷感カテゴリー

PMV	温冷感	予測不満者率
+3	非常に暑い	99%
+2	暑い	75%
+1	やや暑い	25%
0	どちらでもない	5%
-1	やや寒い	25%
-2	寒い	75%
-3	非常に寒い	99%

## 第 4 章 屋外空間の温熱環境評価

### ) WBGT

WBGT は湿球グローブ温度と呼ばれ、暑熱環境下の熱ストレスを評価する指数である。もともと熱帯地域における軍事訓練の限界条件を検討する目的で提案されたもので、現在は暑熱労働環境において、限界温度や限界労働時間を求めるのに用いられる。そのため、快適域における微妙な環境の評価には適さない。

日射の影響を受ける場合には、気温を  $T_a$ 、グローブ温度を  $T_g$ 、湿球温度を  $T_w$  とすると、次式で表される。

$$WBGT=0.7T_w+0.2T_g+0.1T_a$$

### ) DI

DI は不快指数と呼ばれ、空気温度と湿球温度より有効温度を近似して不快率を表したものである。風速や放射の影響は含まれていない。 $T_a$  を気温、 $T_w$  を湿球温度として、次式で表される。

$$DI=0.72(T_a+T_w)+40.6$$

米国では、冷房の必要性の目安として使用されている。屋外の観測値を用い、地球環境の蒸暑による不快度を示す。DI が 75 以上でやや暑い、80 以上で暑くて汗が出る、85 以上で暑くてたまらないというように体感と対応づけられている。また、一般的に不快指数 70 以上で一割の人が、75 以上で半分の人が、80 以上で全ての人が不快を感じるといわれている。

### 4.3. 屋外空間の評価

#### 4.3.1. 既存の評価基準との比較

図 4.3.1 には、日進の実験での屋外のデータを用い、SET\*と快適感および寒暑感の関係を示す。表 4.3.1 に示すように ASHRAE による屋内の基準では SET\*が 32 程度で「不快」「暖かい」、36 程度で「暑い」、38 程度で「非常に不快」「非常に暑い」とされている。図 4.3.1 では、申告が「不快」に変わるのは 37~39 で、「暑い」に変わるのは 36~38 であり、屋内基準と比較するとやや高い。また、「非常に不快」や「非常に暑い」申告はほとんど見られない。よって、屋外の温熱環境評価は、特に快適感で、屋内の方が厳しい評価をしているといえる。

不快指数については、一般的に 75 以上で半分の人が、80 以上で全ての人が不快を感じるといわれている。寒暑感については、75 以上でやや暑い、80 以上で暑くて汗が出る、85 以上で暑くてたまらないというように体感と対応づけられている。図 4.3.1 では、ほとんどのデータが 80 以上であるが、快適感については「やや快適」や「どちらでもない」という申告も多く見られ、寒暑感申告についても 80 以上で「やや暑い」と「暑い」が半数程度である。不快指数についても一般的な評価基準に比べると申告がやや厳しくなくなる傾向があるようだ。

表 4.3.1 ASHRAE による SET\*と温熱感覚の関係<sup>3)</sup>

SET* ( )	温冷感]	[快適感]
	45	限界
40	非常に暑い	非常に不快
35	暑い	
30	暖かい	不快
25	やや暖かい	
20	どちらでもない	快適
15	やや涼しい	
10	涼しい	やや不快
5	寒い	
	非常に寒い	不快

### 4.3.2. 他の屋外研究との比較

表 4.1.1 に示す既往の研究から、中立な SET\*、快適な SET\* は季節や日向又は日陰等の場所によって大きく異なることといえる。季節では、より気温が低い季節の中立温度は低くなる傾向が見られ、また日向と日陰では日陰の方が中立温度が低くなるようである。

ここでは、本実験と比較的似た実験条件で行われている石井ら<sup>1)</sup>の屋外被験者実験での温熱環境指標と快適感の関係を示した結果と比較を行う。石井らは屋外環境の快適性の限界を SET\*=27~28 付近であるとしている。ただし、この結果は日向と日陰の結果を合わせて分析したものであり、日向のみではもう少し高くなることが予想される。本実験では全体的に非常に高温域で行っており、快適側の申告が少なく比較は困難であるが、図 4.3.1 の SET\*と快適感の回帰式により、「どちらでもない」となる SET\*を求めると 31.4、「やや快適」となる SET\*は 27.1 であり、石井らの研究成果とほぼ合っていると見える。

### 4.3.3. 物理量と心理量の相関係数

表 4.2.1 には、心理申告、平均皮膚温と物理量の相関係数を示す。図 4.3.2 に心理申告と物理量の関係を示す。ここで、SET\*の相関が他の物理量に比べ、高くなることが予想されたが、気温、熱電対温度、グローブ温度、SET\*の相関係数がほぼ同じである。

いずれの指数においても相関が低い原因として、全体的に気温が高いことがあげられる。また SET\*で差が 8 程度しかないことも影響していると考えられる。

表 4.3.2 物理量と快適感、寒暑感、皮膚温の相関係数

	快適感	寒暑感	皮膚温
気温	0.5095	-0.5571	0.4815
熱電対	0.4757	-0.5823	0.4905
グローブ温度	0.4352	-0.5375	0.5228
SET*	0.4701	-0.4936	0.5624
DI	0.4155	-0.3440	0.3489
WBGT	0.3900	-0.3635	0.3825
皮膚温	0.4236	-0.3276	

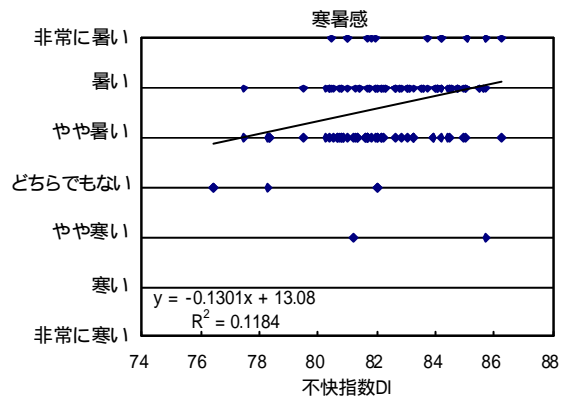
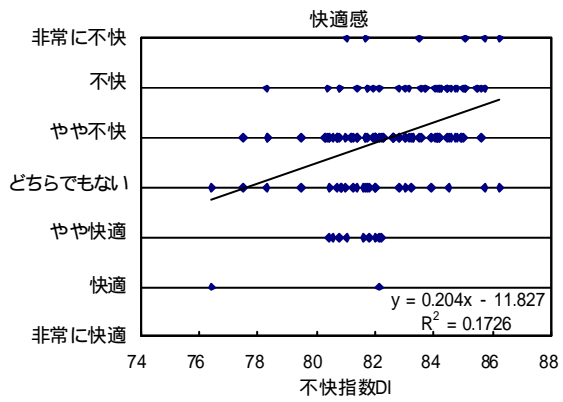
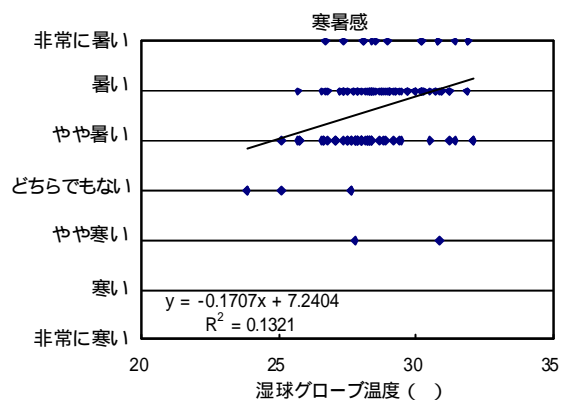
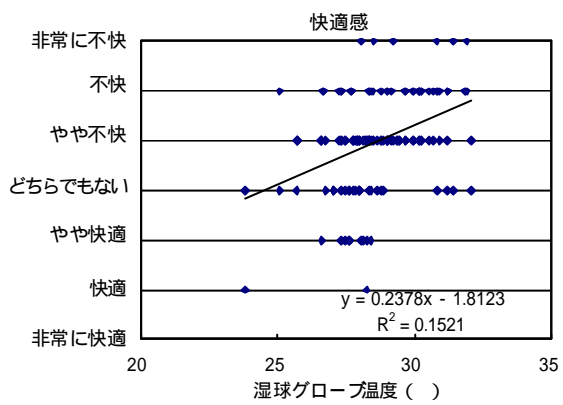
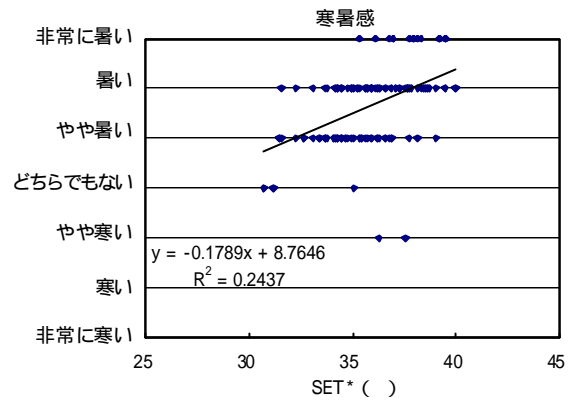
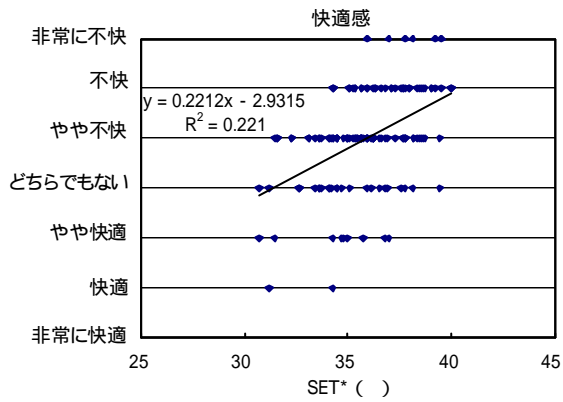


図 4.3.1 温熱環境指標と快適感、寒暑感の関係

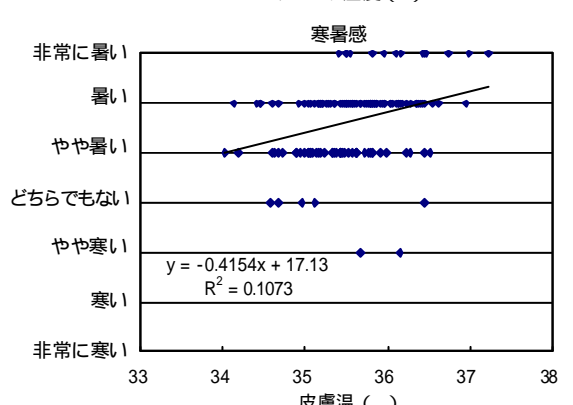
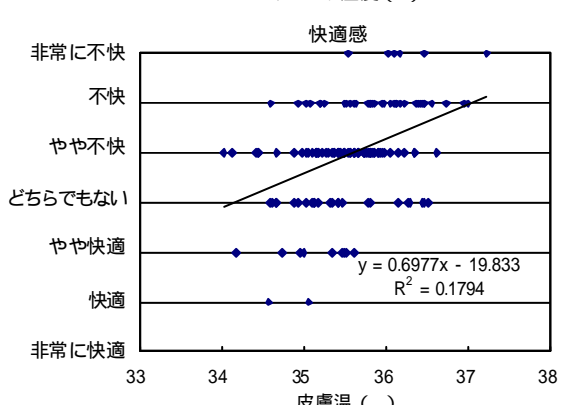
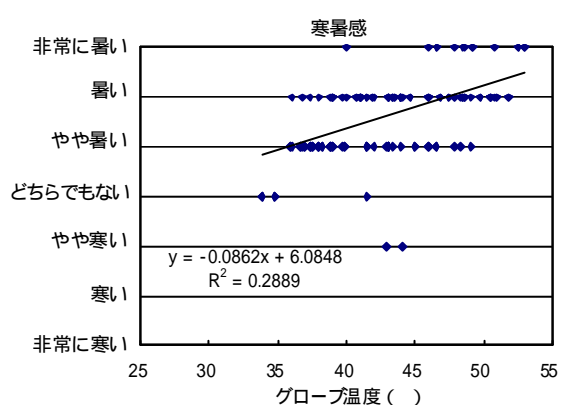
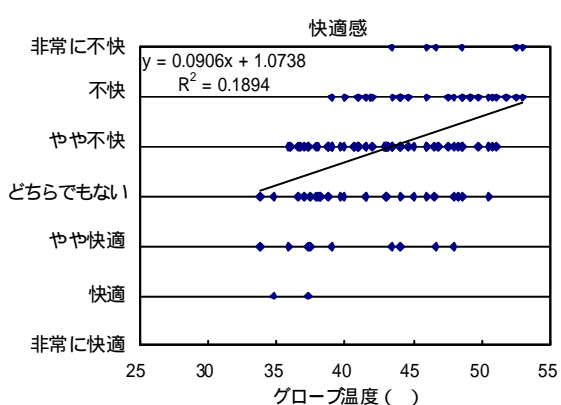
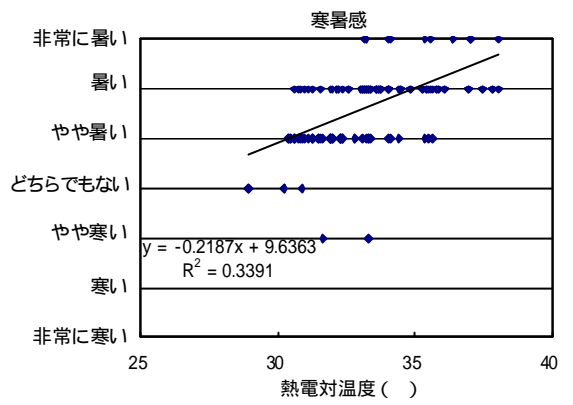
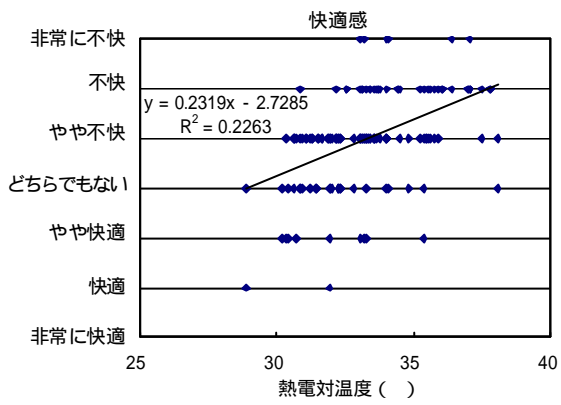
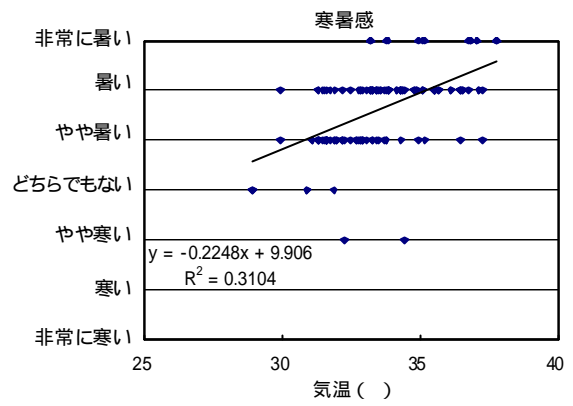
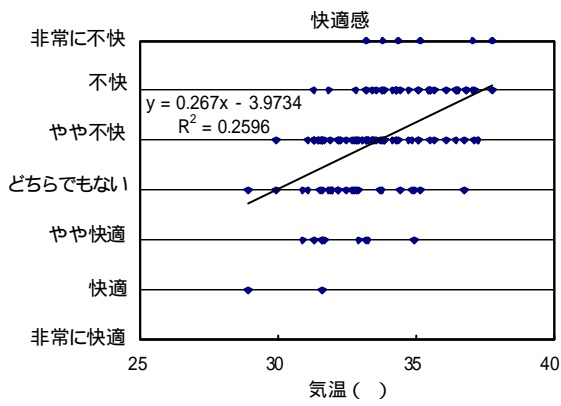


図 4.3.2 物理量と快適感、寒暑感申告の関係

## 付録 SET\*の算出プログラム

### Option Explicit

#### '定数の定義

Const A = 1.8	'皮膚の表面積[m <sup>2</sup> ]
Const ALPHAN = 0.1	'通常時の体重に対するシェルの重さ
Const CDIL = 200	'DILAT の計算で使う
Const CST = 0.5	'STRIC の計算で使う(本文では"CSTR" )
Const CSW = 170	'REGSW の計算で使う
Const DTIM = 1 / 60	'時間の刻み幅[hr]
Const ESKN = 7.3	'ESK の初期値
Const EVEF = 0.85	'汗がしたたり落ちはじめる濡れ率(初期値)
Const ICL = 0.45	'mass transfer 効率(着衣のみ)
Const KCLO = 0.25	'1clo あたりの着衣表面積増加率
Const KCLOS = 0.25	'標準環境での1clo あたりの着衣表面積増加率
Const KMIN = 5.28	'Min. Conductance[W / m <sup>2</sup> ]
Const LH = 0.68	'Latent Heat of Body[W·hr/g]
Const MB = 70#	'体重[kg]
Const PDIFN = 0.06	'不感蒸泄分の濡れ率、快適時の値
Const PSL = 5.8662	'肺(35.5 )の飽和水蒸気圧[kPa]
Const RGSWL = 500	'REGSW のとりうる最大値
Const SHB = 58.2 / 60	'体の比熱[W·hr/(Kg· )](58.2 は W·min/(Kg· ))
Const SHBL = 1.163	'血液の比熱[W·hr/(L· )]
Const SKBFL = 90	'SKBF のとりうる最大値
Const SKBFN = 6.3	'通常時の血流量[L/hr·m <sup>2</sup> ]
Const THAI = 34	'呼気の温度[ ]
Const TIME = 1	'計算の終了時間[hr]
Const TTCR = 36.6	'通常時のコア表面温度[ ]
Const TTSK = 33.7	'通常時の皮膚表面温度[ ]

Const TTBM = ALPHAN \* TTSK + (1 - ALPHAN) \* TTCR '快適時の体全体の平均温度

#### '変数の設定

Dim ACT As Single	'代謝量[W / m <sup>2</sup> ]
Dim ACTS As Single	'標準環境での代謝量[W / m <sup>2</sup> ]
Dim ALPHA As Single	'体重に対するシェル部の重さの比
Dim BYSIG As Single	'ボディーからのシグナル[ ]
Dim CHC As Single	'対流熱伝達率
Dim CHCA As Single	'自然対流時の対流熱伝達率
Dim CHCLO As Single	'= 1 / (0.155 * CLO)
Dim CHCS As Single	'標準環境での対流熱伝達率
Dim CHCV As Single	'強制対流時の対流熱伝達率
Dim CHR As Single	'放射熱伝達率[W / m <sup>2</sup> ]
Dim CHR S As Single	'標準環境での放射熱伝達率
Dim CLO As Single	'着衣量[clo]
Dim CLOE As Single	'FCLE の算出で使う
Dim CLOES As Single	'FCLES の算出で使う
Dim CLOS As Single	'標準環境での着衣量
Dim COLDB As Single	'ボディーからの冷シグナル[ ]
Dim COLDC As Single	'コアからの冷シグナル[ ]
Dim COLDS As Single	'皮膚からの冷シグナル[ ]
Dim CRES As Single	'呼吸による顕熱放熱量[W / m <sup>2</sup> ]
Dim CRSIG As Single	'コアからのシグナル[ ]
Dim CTC As Single	'総合熱伝達率
Dim CTCS As Single	'標準環境での総合熱伝達率
Dim DILAT As Single	'シグナルからの血流増加
Dim DRY As Single	'皮膚からの顕熱放熱量
Dim DTBM As Single	'体平均温度の変化量[ /hr]
Dim DTCR As Single	'コア表面温度の変化量[ /hr]
Dim DTSK As Single	'皮膚表面温度の変化量[ /hr]

Dim EDIF As Single	不感蒸泄による潜熱放熱量[W/m <sup>2</sup> ]
Dim EMAX As Single	発汗による最大潜熱放熱量[W/m <sup>2</sup> ]
Dim ERES As Single	'呼吸による潜熱放熱量[W/m <sup>2</sup> ]
Dim ERR As Single	'SET*を求める繰り返し計算で使う
Dim ERSW As Single	発汗による潜熱放熱量[W/m <sup>2</sup> ]
Dim ESK As Single	皮膚からの潜熱放熱量
Dim EV As Single	潜熱放熱量の合計[W/m <sup>2</sup> ](肺から+皮膚の自然分)
Dim EVEFF As Single	汗がしたたり落ちはじめる濡れ率
Dim FACL As Single	'衣服表面積増加係数
Dim FACLS As Single	標準環境での衣服表面積増加係数
Dim FCLES As Single	標準環境での着衣による顕熱抵抗[N.D.]
Dim FPCL As Single	'着衣による潜熱抵抗[N.D.]
Dim FPCLS As Single	標準環境での着衣による潜熱抵抗[N.D.]
Dim HFCR As Single	'コアから皮膚へ移動する熱量[w/m <sup>2</sup> ]
Dim HFSK As Single	'皮膚から外気へ移動する熱量[w/m <sup>2</sup> ]
Dim HSK As Single	皮膚から環境への熱損失
Dim LR As Single	ルイス係数[ /kPa]
Dim MET As Single	'代謝量[met]
Dim PA As Single	'水蒸気圧
Dim PDIF As Single	不感蒸泄分の濡れ率
Dim PRSW As Single	皮膚の濡れ面積率(発汗分)[N.D.]
Dim PWET As Single	'皮膚の濡れ面積率(発汗+不感蒸泄)[N.D.]
Dim REGSW As Single	発汗量[g/hr·m <sup>2</sup> ]
Dim RH As Single	相対湿度[N.D.]
Dim RHP As Single	相対湿度[%]
Dim RHS As Single	標準環境での相対湿度[N.D.]
Dim RHSK As Single	皮膚表面での相対湿度
Dim RM As Single	代謝量と震えの産熱を合わせたもの
Dim SETS As Single	'SET*
Dim SKBF As Single	'血流量[L/hr·m <sup>2</sup> ]
Dim SKSIG As Single	'皮膚からのシグナル[ ]
Dim STORE As Single	'体への蓄熱量
Dim STRIC As Single	シグナルからの血流阻害
Dim TA As Single	気温[ ]
Dim TBM As Single	'体全体の平均温度
Dim TCCR As Single	'コアの熱容量[w·hr/ ]
Dim TCL As Single	着衣表面温度
Dim TCLOLD As Single	'TCLの保存用
Dim TCR As Single	'コア表面温度[ ]
Dim TCSK As Single	'皮膚の熱容量[w·hr/ ]
Dim TG As Single	'グローブ温度[ ]
Dim TIM As Single	'経過時間[hr]
Dim TR As Single	'平均放射温度[ ]
Dim TSK As Single	皮膚表面温度[ ]
Dim VEL As Single	'風速[m/s]
Dim VPSK As Single	皮膚表面での水蒸気圧
Dim WARMB As Single	ボディーからの温シグナル[ ]
Dim WARMC As Single	'コアからの温シグナル[ ]
Dim WARMS As Single	'皮膚からの温シグナル[ ]
Dim WK As Single	仕事[W/m <sup>2</sup> ]

Dim DAMMY As Single

'=====

Function SVP!(TA As Single)  
 '入力された気温[ ]における飽和水蒸気圧[kPa]を算出する  
 SVP! = Exp(16.6536 - 4030.183 / (TA + 235))

End Function

'=====

```

Function CalcMRT!(TA As Single, TG As Single, VEL As Single)
'平均放射温度 MRT[ ]の算出。
Dim MRT4 As Single

MRT4 = (TG + 273) ^ 4 + 2.47 * (10 ^ 8) * Sqr(VEL) * (TG - TA)
CalcMRT! = MRT4 ^ (1 / 4) - 273

End Function

'=====
Sub Main()

Dim j As Integer

For j = 1 To 1

TA = InputBox(" 気温を入力して下さい(C)")
VEL = InputBox(" 風速を入力して下さい(m/s)")
RHP = InputBox(" 相対湿度を入力して下さい(%)")
CLO = InputBox(" 着衣量を入力して下さい(clo)")
MET = InputBox(" 代謝量を入力して下さい(met)")
WK = InputBox(" 仕事をを入力して下さい(W/m^2)")
TR = InputBox(" 平均放射温度を入力して下さい(C)")

'TG = 25   InputBox(" グローブ温度を入力して下さい(C)")
'TR = CalcMRT(TA, TG, VEL)

SETS = CalcSET(TA, TR, VEL, RHP, CLO, MET, WK)

Debug.Print SETS

Next j

End Sub

'=====
Function CalcSET!(TA!, TR!, VEL!, RHP!, CLO!, MET!, WK!)

'単位の変換
RH = RHP / 100   (相対湿度を少数表示)
PA = RH * (SVP(TA))   (気温 TA の時の水蒸気分圧の計算)
ACT = MET * 58.2   (代謝量 met をW/m2 に換算)

'各種値の設定
FACL = 1 + KCLO * CLO   (衣服表面増加率)
CLOE = CLO   (着衣量)
CHCLO = 1 / (0.155 * CLO)

'初期条件の設定
ALPHA = ALPHAN   (体重に対するシェル(皮膚部)の重さ = 0.1)
TSK = TTSK   (皮膚温 =33.7( ))
TCR = TTCR   (コア温度 =36.6( ))
TBM = ALPHA * TSK + (1 - ALPHA) * TCR   (体全体の平均温度 =0.1*33.7+0.9*36.6( ))
SKBF = SKBFN   (血流量 =6.3(l/h r/m2 ))
ESK = ESKN   (皮膚からの潜熱放熱量 =7.3W/m2 )
EVEFF = EVEF   (汗がしたたり始める濡れ率 =0.85 )
RM = ACT   (代謝熱と震えの産熱をあわせたもの(W/m2) )
CHR = 4.7   (放射熱伝達率(W/m2/ ))
LR = 16.5014   (レイス係数( /kPa))

```

```

'風速は 0.1m/s 以上
If VEL <= 0 Then
VEL = 0.1
Else
End If

'対流熱伝達率の計算・下記 2つの大きいほうをとる
CHCA = 5.66 * (ACT / 58.2 - 0.85) ^ 0.39
CHCV = 8.6 * VEL ^ 0.53

If CHCV <= CHCA Then
    CHC = CHCA
Else
    CHC = CHCV
End If

'対流熱伝達率 CHC は 3W/m2/ 以上
If CHC < 3 Then
CHC = 3
Else
End If

'着衣表面温度の初期値
TCL = (CHCLO * TSK + FACL * (CHC * TA + CHR * TR)) / (CHCLO + FACL * (CHC + CHR))

TIM = 0
Do While TIM <= TIME

    '----- ループ部スタート

    Do 'CHR,TCL の計算
        TCLOLD = TCL
        CHR = 4 * 0.72 * 0.0000000567 * ((TCL + TR) / 2 + 273.15) ^ 3
        CHR = 4.7
        TCL = (CHCLO * TSK + FACL * (CHC * TA + CHR * TR)) / (CHCLO + FACL * (CHC +
CHR))

        If Abs(TCL - TCLOLD) > 0.01 Then
            Else
                Exit Do
            End If
        Loop

        '総合熱伝達率
        CTC = CHR + CHC

        '皮膚からの顕熱損失
        DRY = FACL * (CHC * (TCL - TA) + CHR * (TCL - TR))

        '呼吸による潜熱 (ERES)と顕熱 (CRES)損失
        ERES = 0.017251 * RM * (PSL - PA)
        CRES = 0.0014 * RM * (THAI - TA) * 1 * 1

        '皮膚から外気 (HFSK)コアから皮膚 (HFCR)へ移動する熱量
        HFSK = (TCR - TSK) * (KMIN + SHBL * SKBF) - DRY - ESK
        HFCR = RM - (TCR - TSK) * (KMIN + SHBL * SKBF) - CRES - ERES - WK

        'コアとシェルの熱容量
        TCCR = SHB * (1 - ALPHA) * MB
        TCSK = SHB * ALPHA * MB

```

```

'時間あたりの温度変化量
DTSK = (HFSK * A) / TCSK
DTCR = (HFCR * A) / TCCR
DTBM = ALPHA * DTSK + (1 - ALPHA) * DTCR

'DTIM 後の TSK,TCR の計算
TSK = TSK + DTSK * DTIM
TCR = TCR + DTCR * DTIM

'シェルシグナルの計算
SKSIG = TSK - TTSK
If SKSIG > 0# Then
    COLDS = 0#
    WARMS = SKSIG
Else
    COLDS = -SKSIG
    WARMS = 0#
End If

'コアシグナルの計算
CRSIG = TCR - TTCR
If CRSIG > 0# Then
    COLDC = 0#
    WARMC = CRSIG
Else
    COLDC = -CRSIG
    WARMC = 0#
End If

'体全体の平均温度
TBM = ALPHA * TSK + (1 - ALPHA) * TCR

'ボディーシグナルの計算
BYSIG = TBM - TTBM
If BYSIG > 0# Then
    COLDB = 0#
    WARMB = BYSIG
Else
    COLDB = -BYSIG
    WARMB = 0#
End If

'シグナルからの血流増加 (DLAT)と血流障害(STRIC)の計算
DILAT = CDIL * WARMC
STRIC = CST * COLDS
'血流量の計算
SKBF = (SKBFN + DILAT) / (1# + STRIC)

'血流量は最低 0.5・最大 SKBFL
If SKBF < 0.5 Then
    SKBF = 0.5
Else
    End If
If SKBF > SKBFL Then
    SKBF = SKBFL
Else
    End If

'血流移動に伴うALPHAの再計算
ALPHA = 0.0417737 + 0.7451832 / (SKBF + 0.585417)

```

```

'発汗量の計算
REGSW = CSW * WARMB * Exp(WARMS / 10.7)
If REGSW > RGSWL Then
    REGSW = RGSWL
Else
End If
'発汗による潜熱放熱量の計算
ERSW = LH * REGSW

'震えを含めた発熱量の計算
RM = ACT + 19.4 * COLDS * COLDC

'ルイス係数の計算
LR = 15.1512 * (TSK + 273.15) / 273.15
'着衣の潜熱抵抗 (FPCL) の計算
CLOE = CLO - (FACL - 1) / (0.155 * FACL * CTC)
FPCL = (1 / (1 + (0.155 / 0.45) * CHC * CLOE))
'発汗による最大潜熱放熱量の計算
EMAX = LR * FPCL * CHC * (SVP(TSK) - PA)
'発汗による皮膚濡れ面積率の計算
PRSW = ERSW / EMAX
'不感蒸泄分の濡れ率の計算
PDIF = (1 - PRSW) * PDIFN
'不感蒸泄による潜熱放熱量の計算
EDIF = PDIF * EMAX
'皮膚からの潜熱放熱量の計算
ESK = ERSW + EDIF
'皮膚の濡れ面積率の計算
PWET = ESK / EMAX

'汗が滴り落ち、かつ EMAX が 0 より大きいとき (発汗調節が追いついていない状態)
If PWET >= EVEFF And EMAX >= 0 Then
    PWET = EVEFF
    PRSW = (EVEFF - PDIFN) / (1 - PDIFN)
    ERSW = PRSW * EMAX
    PDIF = (1 - PRSW) * PDIFN
    EDIF = PDIF * EMAX
    ESK = ERSW + EDIF
Else
End If

'EMAX が 0 より小さいとき (周囲の蒸気圧より皮膚における飽和水蒸気圧のほうが小さい)
If EMAX < 0 Then
    PDIF = 0
    EDIF = 0
    ESK = EMAX
    PWET = EVEFF
    PRSW = EVEFF
    ERSW = 0
Else
End If

'潜熱分の合計
EV = ERES + ERSW + EDIF
'体への蓄熱量
STORE = ACT - WK - CRES - EV - DRY
'皮膚から環境への熱損失
HSK = ACT - ERES - CRES - WK - STORE '=DRY+ESK
'参考: STORE = ACT - HSK - (ERES + CRES) - WK

'----- ループ部エンド

```

```

TIM = TIM + DTIM

Loop

'標準状態の設定
ACTS = ACT
RHS = 0.5
CLOS = 1.3264 / (ACTS / 58.15 + 0.7383) - 0.0953

CHRS = CHR
CHCS = 5.66 * (ACTS / 58.2 - 0.85) ^ 0.39

If CHCS < 3 Then
    CHCS = 3
Else
End If

CTCS = CHRS + CHCS
FACLS = 1 + KCLOS * CLOS
CLOES = CLOS - (FACLS - 1) / (0.155 * FACLS * CTCS)
FCLES = 1# / (1# + 0.155 * CTCS * CLOES)
FPCLS = 1# / (1# + (0.155 / 0.45) * CHCS * CLOES)

'SET*の初期値
SETS = TSK - HSK / (CTCS * FCLES)

Do '熱平衡式を解き SET*を求める
ERR = HSK - CTCS * FCLES * (TSK - SETS) - PWET * LR * CHCS * FPCLS * (SVP(TSK) - RHS *
SVP(SETS))
If ERR < 0 Then
    SETS = SETS + 0.1
Else
    Exit Do
End If
Loop

'小数点第2位で四捨五入する
'SETS = CSng(CInt(SETS * 10)) / 10

CalcSET! = SETS

End Function

```



## 第5章 一卵性双生児の同等性の検討

## 5.1. はじめに

屋外での実験では、外気象が時々刻々と変化するとともに、再現することが不可能であり、条件を揃えた実験を行うことは困難である。さらに、被験者の体格等の身体的相違や感覚の違いなど個人差も小さくないと考えられる。そこで、ドライミスト噴霧による人体の温熱快適性の向上効果を確認するために、ミスト噴霧の効果、噴霧する区画と噴霧しない区画をつくり、心理・生理反応が比較的近いと考えられる一卵性双生児を被験者に用いることにより、同時に測定することを考えた。

一般に被験者実験は、コントロールできる環境下で行われる。しかし、屋外における温熱環境実験など、実際には主要因を制御できない場合もある。その際に、一卵性双生児の被験者の反応の同等性が保障されれば、被験者を用いた研究の新たな領域が生まれるかもしれない。

そこで、本章では一卵性双生児の身体的特徴および生理、心理反応の同等性の程度について確認し、温熱環境実験で一卵性双生児を被験者として用いる妥当性について検討を行う。

## 5.2. 身体的特徴の同等性

### 5.2.1. 身体的特徴の測定

被験者の身体的特徴として、身長、体重、体脂肪率を測定した。測定方法は、2003 年ささしま・屋外空間での実験、2004 年日進・半屋外空間での実験で同様であり、被験者の到着後に行った。身長は壁に測定目盛りを貼り付け、実験者の目視により測定した。体重は 0.1kg まで測定される体重計を用い、体脂肪率はオムロン社製 HBF-306-A (身長、体重等を入力し、腕を伸ばした姿勢で、測定部を手で握って測定する型式) により測定を行った。それらの測定に加え、実験開始 50 分後に血圧、脈拍数の測定を行った。

### 5.2.2. 体格の同等性

表 5.2.1、表 5.2.2 には、それぞれ 2003 年ささしまの屋外空間での実験、2004 年日進の半屋外空間での実験に参加した一卵性双生児全体の体格の平均値および標準偏差とともに、一卵性双生児間の差の平均値および標準偏差を男女別に示す。図 5.2.1 から図 5.2.4 には、一卵性双生児間の差の頻度分布を実験別、男女別に示す。また、参考として、本章の末尾付録に、全ての体格の測定、算出結果を示す。

身長については、ほとんどの双生児間の差が 3cm 以内で、平均でも 1~2cm 程度であり、双生児間の差が全体的に小さいといえる。体重については、2kg 以内の差が最も多いが、5kg 以上の差もしばしば見られる。体表面積は、身長と体重より算出するため、体重の差が大きい影響により差が大きい双生児も見られる。体脂肪率については、0~8% の中で分布しており差が大きい双生児が多い。

体格については、一卵性双生児は非常に体格に近い組も何組も見られるが、全体的に見て、同等であるとは言い難い。

表 5.2.1 被験者属性 ( ささしま ) ( 平均 ± 標準偏差 )

	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪 (%)	BMI
男性	166.1 ± 3.7	54.6 ± 7.7	1.60 ± 0.12	16.4 ± 2.9	19.7 ± 2.2
女性	158.5 ± 5.3	48.0 ± 9.3	1.46 ± 0.14	22.0 ± 4.9	19.0 ± 3.1
一卵性双生児間の差					
男性	1.1 ± 0.9	3.3 ± 2.2	0.04 ± 0.03	3.0 ± 2.0	1.2 ± 0.7
女性	1.6 ± 1.2	3.1 ± 2.0	0.04 ± 0.03	3.1 ± 1.7	1.2 ± 0.7

表 5.2.2 被験者属性 ( 日進 ) ( 平均 ± 標準偏差 )

	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪 (%)	BMI
男性	167.1 ± 4.9	54.1 ± 7.5	1.60 ± 0.12	14.3 ± 2.6	19.3 ± 2.2
女性	158.7 ± 7.7	48.2 ± 2.7	1.47 ± 0.08	22.2 ± 3.3	19.2 ± 1.5
一卵性双生児間の差					
男性	1.7 ± 1.1	3.0 ± 3.0	0.04 ± 0.04	3.4 ± 2.4	1.1 ± 1.0
女性	1.4 ± 0.9	2.2 ± 1.6	0.03 ± 0.03	2.6 ± 1.9	0.8 ± 0.6

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

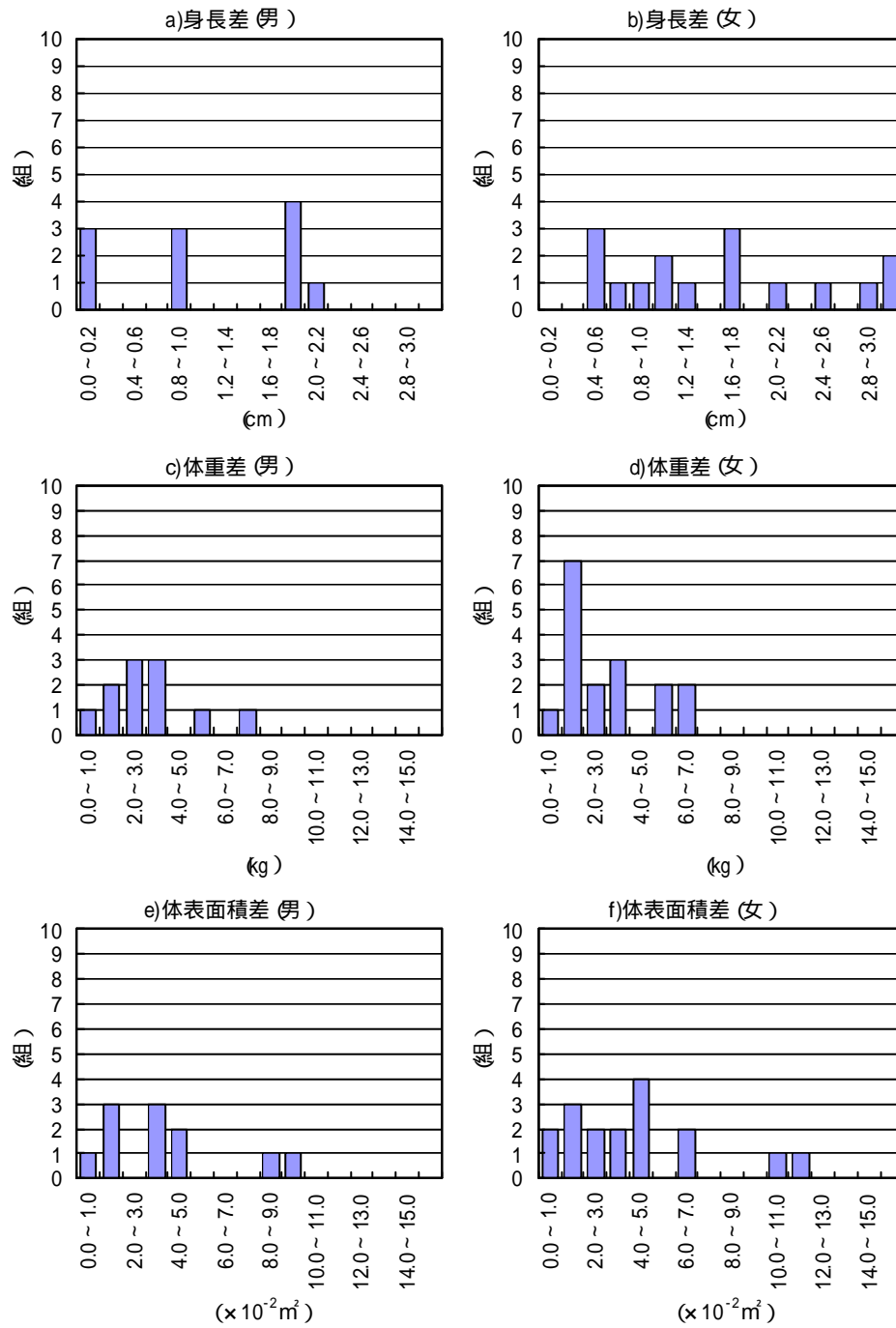


図 5.2.1 一卵性双生児間の体格の差(ささしま)(1)

延べ組数：男性 11 組、女性 17 組

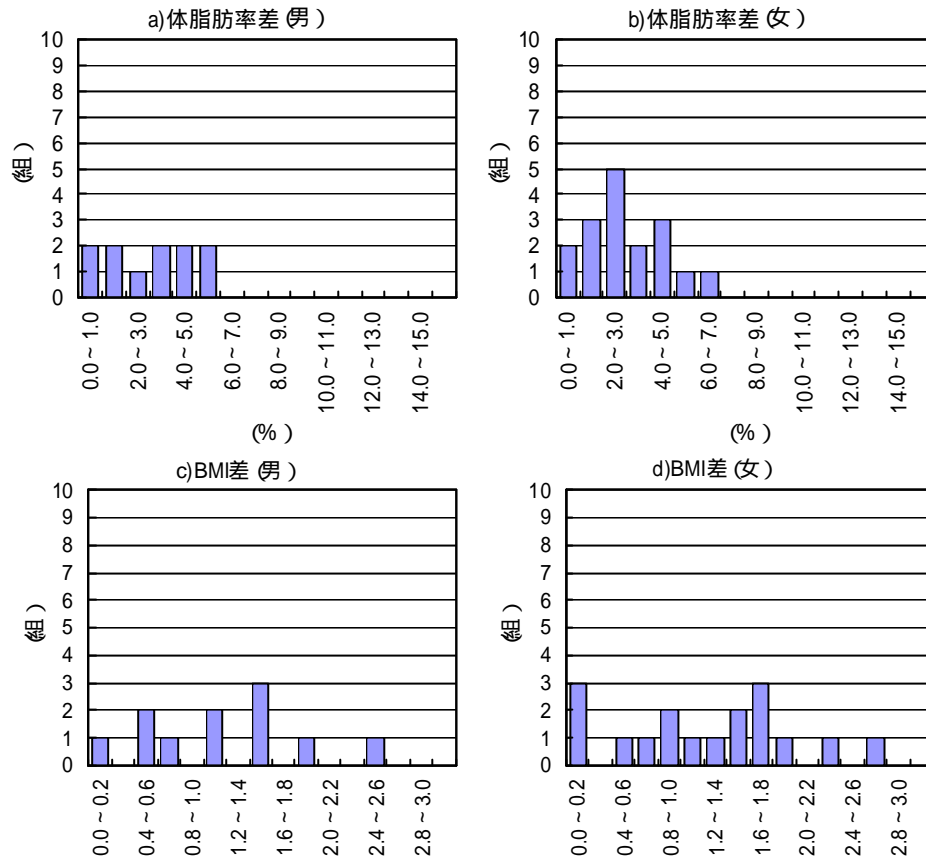


図 5.2.2 一卵性双生児間の体格の差 (ささしま) (2)  
 延べ組数：男性 11 組、女性 17 組

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

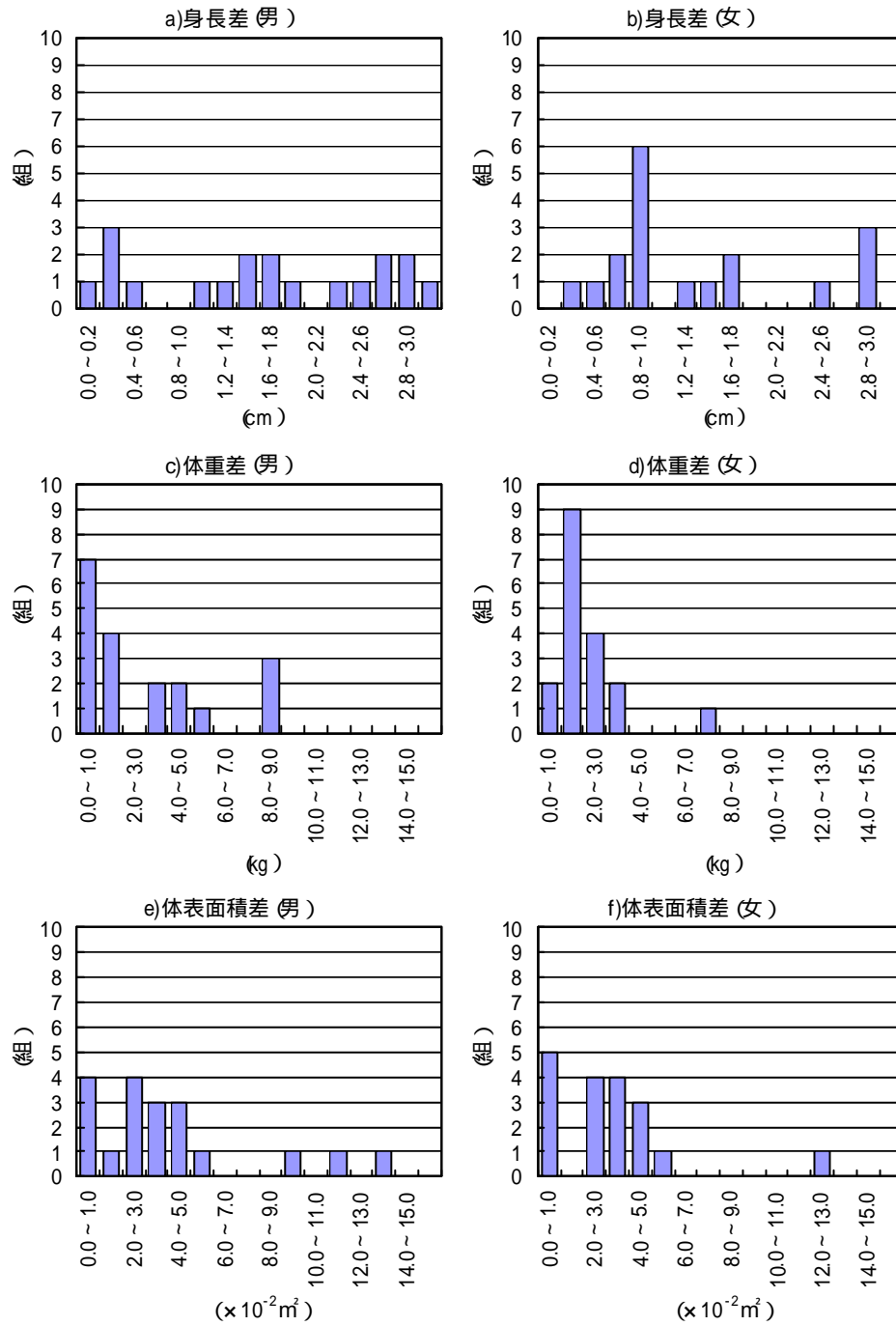


図 5.2.3 一卵性双生児間の体格の差 (日進) (1)

延べ組数：男性 19 組、女性 18 組

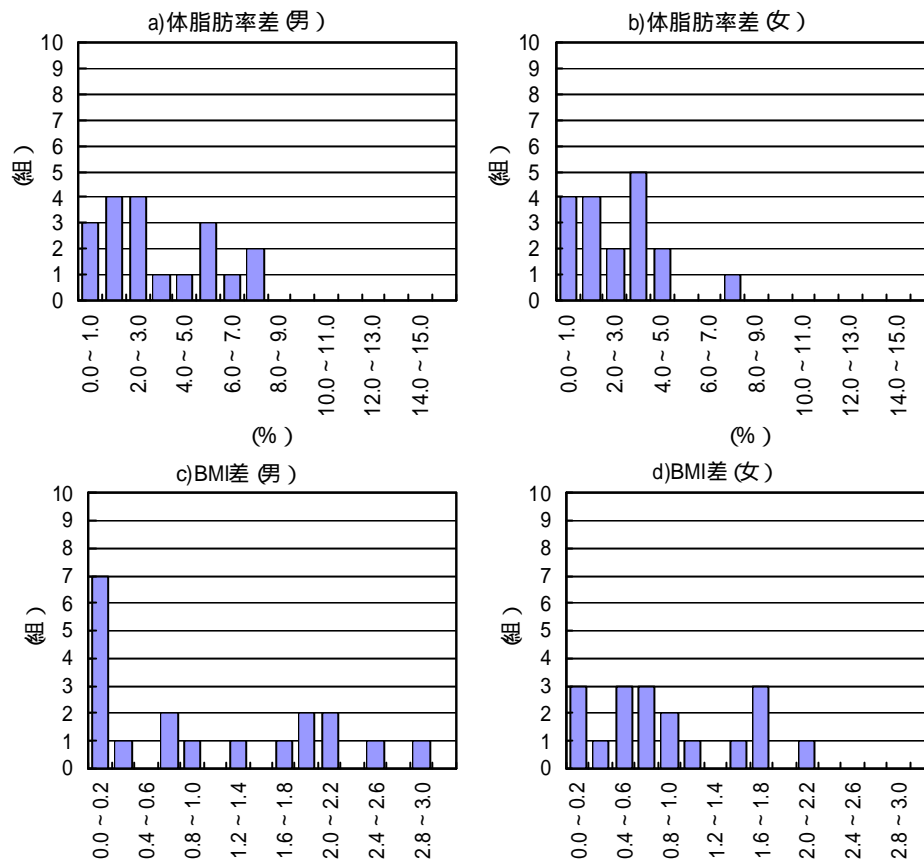


図 5.2.4 一卵性双生児間の体格の差 (日進) (2)  
 延べ組数：男性 19 組、女性 18 組

5.2.3. 血圧、脈拍の同等性

表 5.2.3 に 2004 年日進の半屋外空間での実験に参加した一卵性双生児全体の血圧、脈拍数の平均値および標準偏差とともに、一卵性双生児間の差の平均値および標準偏差を示す。また、図 5.2.5 には血圧および脈拍数の頻度分布、図 5.2.6 には血圧および脈拍数の差の頻度分布を示す。表 5.2.4 には、参考として 1999 年 2 月に世界保健機関(WHO)と国際高血圧学会(ISH)が発表した血圧の正常値を示す。脈拍数の安静時の標準は、男性 60~80、女性 70~90 である。血圧、脈拍数はともに全員標準的な値をとっているといえる。

最高血圧、最低血圧、脈拍数のいずれも兄弟間の差が-4~4 の間で最も多くなり、全体的に差が小さいといえる。

表 5.2.3 血圧、脈拍数の平均値 (平均 ± 標準偏差) (日進)

	最高血圧(mmHg)	最低血圧(mmHg)	脈拍数
全体	106.0 ± 11.0	63.9 ± 9.8	73.9 ± 11.2
一卵性双生児間の差	7.4 ± 6.7	8.2 ± 7.9	8.4 ± 7.1

表 5.2.4 血圧の正常値

1999年2月 世界保健機関(WHO)と国際高血圧学会(ISH)発表

	最高血圧 (mHg)	最低血圧 (mHg)
至適血圧 <sup>1</sup>	120未満	80未満
正常血圧 <sup>2</sup>	130未満	85未満
正常高値血圧	130-139	85-89
高血圧	140以上	90以上
高血圧(軽症)	140-159	90-99
高血圧(中等症)	160-179	100-109
高血圧(重症)	180以上	110以上
高血圧(収縮期)	140以上	90未満

1 至適血圧…心臓病や脳梗塞に最もなりにくい血圧値

2 正常高値血圧…正常群に属するが、高血圧に移行しやすい血圧値

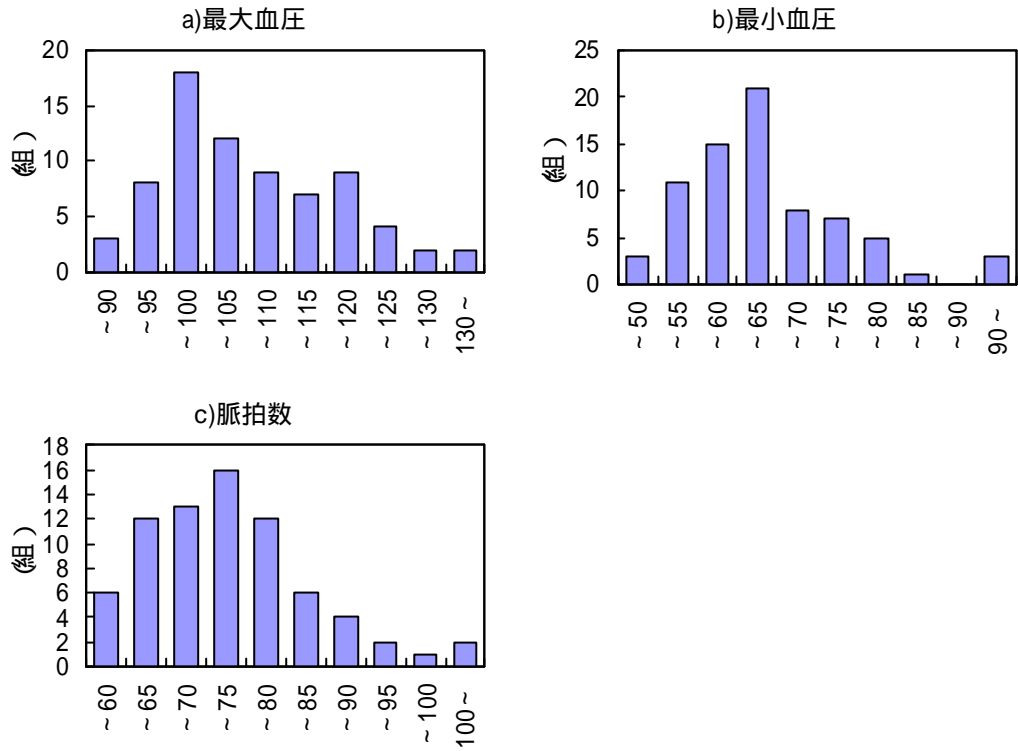


図 5.2.5 血圧、脈拍数の頻度分布 (日進)

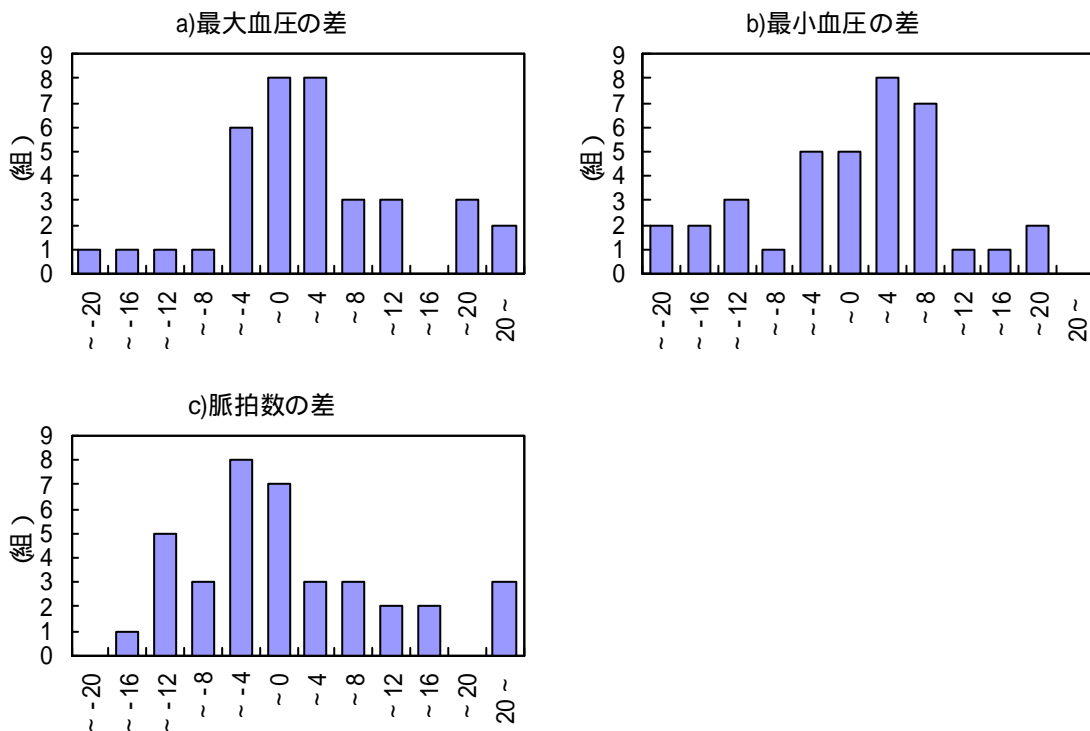


図 5.2.6 血圧、脈拍数の差の頻度分布 (日進)

5.3. 心理反応の同等性

5.3.1. 同等の程度が高い一卵性双生児の特徴

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.1 および縦軸が正の値: グループ B の方が快適、暑い申告 負の値: A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.2 には、2004 年日進での実験 (概要については、2.3 節参照) における心理申告の結果を示す。1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.1 は、一卵性双生児のうち、先にミス有テント入った方をグループ A、もう一方をグループ B と分類し、延べ 35 組についてグループ毎に申告値を平均したものを示す。縦軸が正の値: グループ B の方が快適、暑い申告 負の値: A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.2 は、グループ A の平均値とグループ B の平均値の差であり、縦軸が正の値の時、グループ B の申告の平均がグループ A の平均よりも快適感では快適側、寒暑感では暑い側の申告であったことを示す。横軸は、図 2.3.10 に示す申告回数である。本章では、同等性の検討にあたり一卵性双生児の二人が同じ環境にいる安静室 (図中の 1) および炎天下 (図中の 2) での結果に着目し、検討を行う。また、図中の ' \* ' は、有意水準 5% の平均の差の検定結果で、有意差があらわれたものを示す。ただし、検定による有意差は、本来差があることを確定させるものであり、有意差があらわれなかったからといってそれが同等であるということとはできない。しかし、あるデータ間で有意差が見られないとき、そのデータ間は差がある可能性が低くなり、同等性を確認するにあたって一つの目安になると思われる。平均の算出および検定を行う際は申告値「非常に快適」「非常に暑い」を 1、「非常に不快」「非常に寒い」を 7 とし、1~7 の値を用いた。

室内に着目すると、寒暑感ではほとんど差が見られないが、快適感では差が大きくなっている。快適感で差が大きく見られる原因として、一卵性双生児の評価は似ておらず、中立温度 (寒暑感が「どちらでもない」となる温度) 付近では快適性評価に差が出やすくなることや、安静室内での座り位置による温度分布、気流分布に差があったことが考えられる。炎天下に着目すると、快適感、寒暑感ともにほとんど差がないことが確認される。

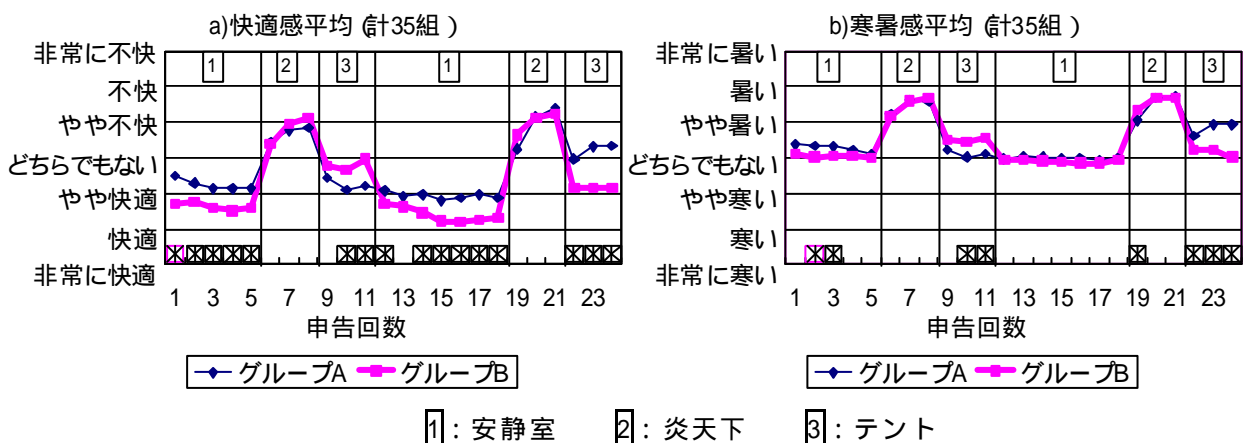
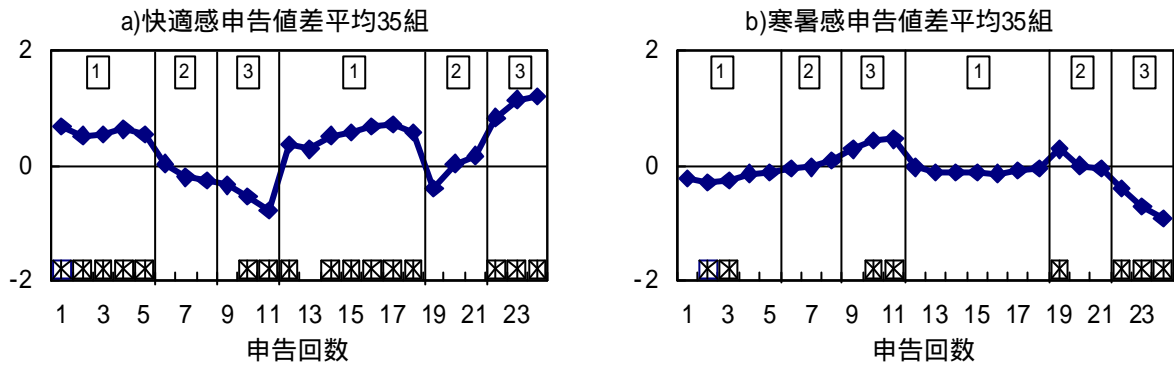


図 5.3.1 快適感・寒暑感申告平均値 (日進)



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告  
 ①：安静室 ②：炎天下 ③：テント

図 5.3.2 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均（日進）

(1)安静室内被験者位置による違い

上記の被験者位置による快適性の違いについて検討するために、安静室内の被験者位置別(被験者位置については図 2.3.8 参照)に被験者を分類する。一卵性双生児のグループ A に属する一人は被験者位置 1 または 3 に、グループ B に属するもう一人は被験者位置 2 または 4 に座り、必ず一卵性双生児の一组が 1 と 2 の組み合わせ、または 3 と 4 の組み合わせになるようにした。図 5.3.3 は、図 5.3.2 を被験者位置 1,2 の組と被験者位置 3,4 の組に分類したものである。図 5.3.4 は、図 5.3.3 の快適感 (a と c) を一枚に合わせ、標準偏差を描き加えたものである。安静室内に着目すると、快適性では被験者位置 1,2 の組で有意差があらわれることが少なくなるが、その差は 0 に近いとはいえない。図 5.3.4 に上下のひげ線で示される標準偏差に着目すると、安静室において被験者 1,2 の組の標準偏差が大きくなっており、そのため有意差があらわれることが少なくなると考えられる。しかし、図 5.3.4 から、被験者位置 1,2 の組は被験者位置 3,4 の組に比べやや小さくなっていることが確認できる。

図 5.3.5 には、被験者位置別の快適感および寒暑感の申告値の平均を、安静室での結果を見やすくするために、安静室内での申告の部分を引きのばして示す。快適性は被験者位置 4、2、1 および 3 の順で明白に快適側の申告が増している。一方、寒暑感では被験者位置 1 で他よりもやや暑い申告が見られる。

第5章 一卵性双生児の同等性の検討

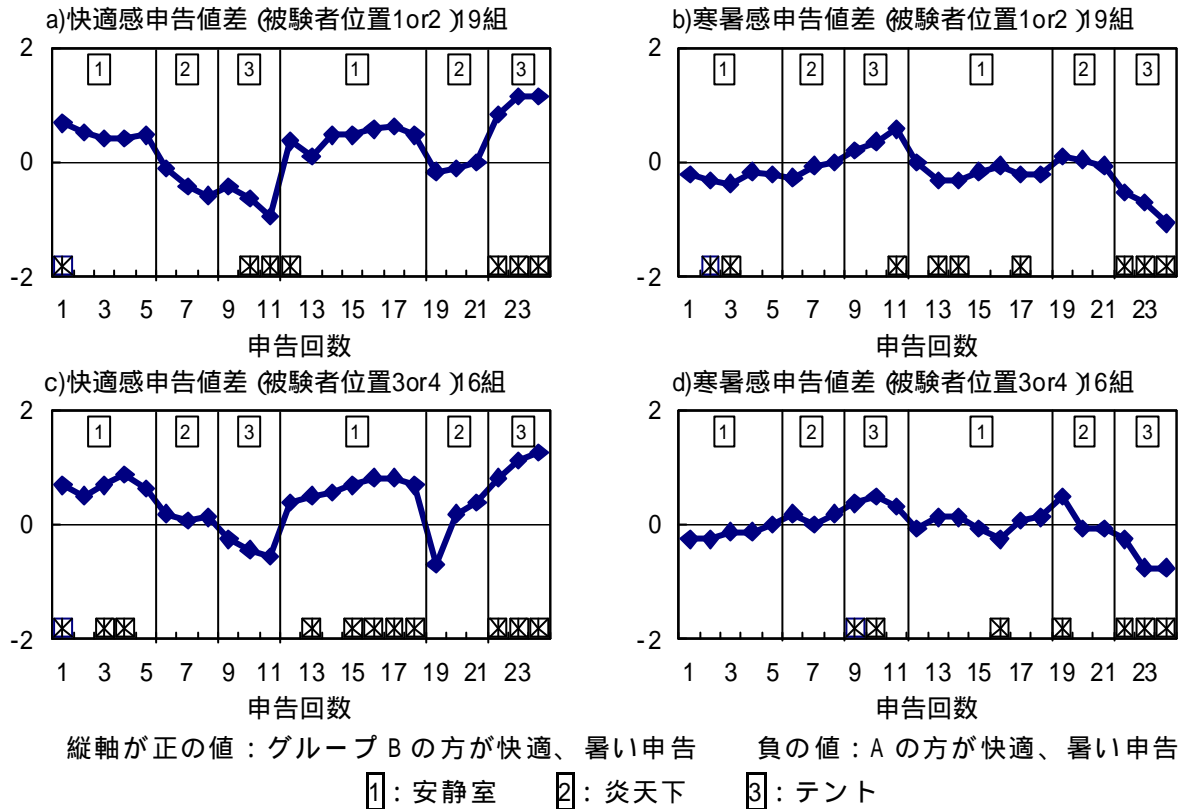


図 5.3.3 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均 (被験者位置の差) (日進)

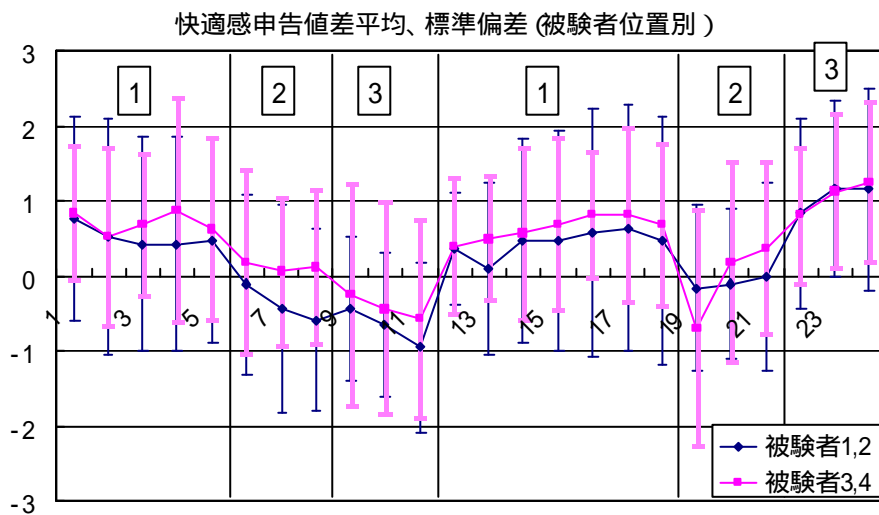
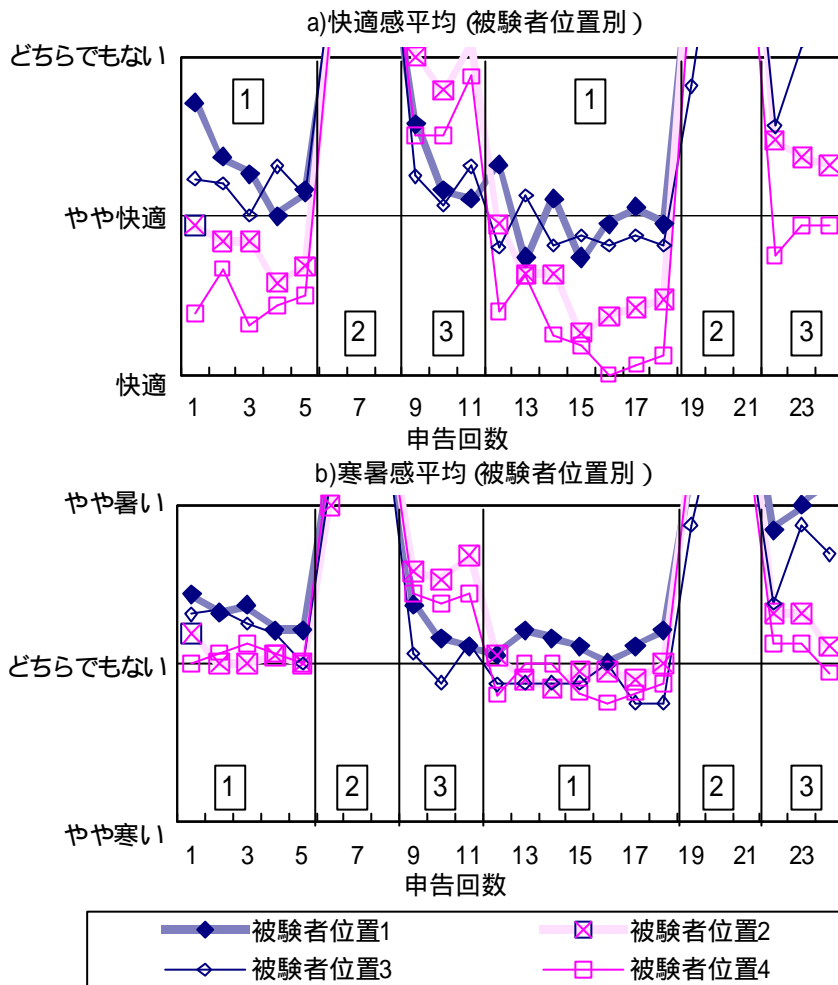


図 5.3.4 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均と標準偏差 (被験者位置の差) (日進)



1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.5 快適感・寒暑感申告平均値 (被験者位置別) (日進)

実際に安静室内の温度を確認するために、図 5.3.6 に安静室内の一日の平均気温を示す。被験者位置 1,2 および被験者位置 3,4 はそれぞれの被験者位置の中央の熱電対温度の値である。安静室内の物理量測定は 2.3.5 節に示すとおりであり、各被験者位置の温熱環境の違いを十分に把握することは困難である。ただし、この 2 点についてはほとんど温度差がないことはわかる。

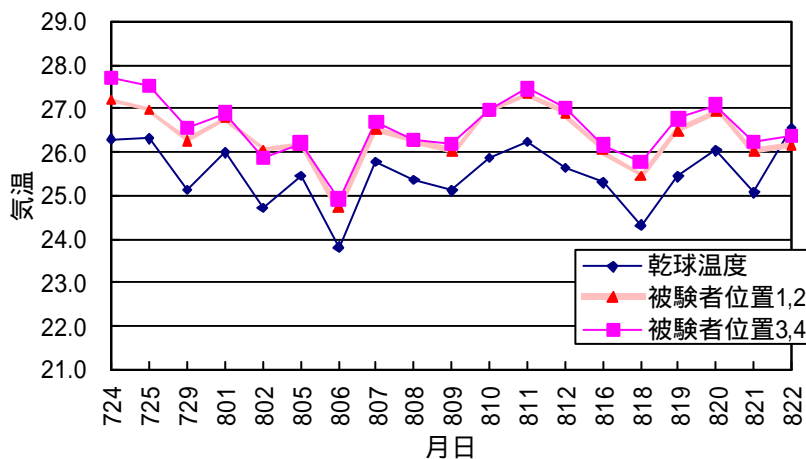
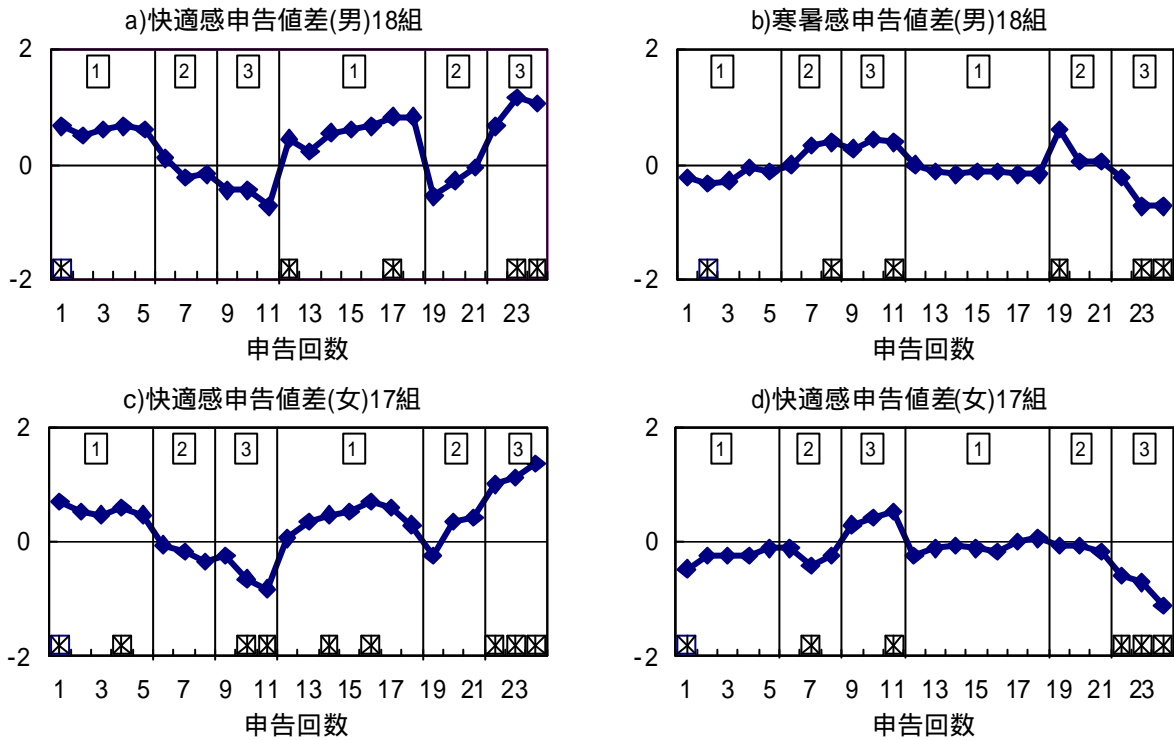


図 5.3.6 安静室内平均温度 (日進)

(2)男女による違い

被験者の属性により申告の差が小さくなるかまたは大きくなるかを調べるためにいくつかの属性別に図 5.3.4 を 2 つ以上に分類を行う。まず、図 5.3.7 に男女別に分類したものを示す。快適感・寒暑感申告は男女ともに差がいくらかあり、寒暑感・寒暑感申告はほとんど差が見られない。

よって、男女間ではあまり差がつかないようである。



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

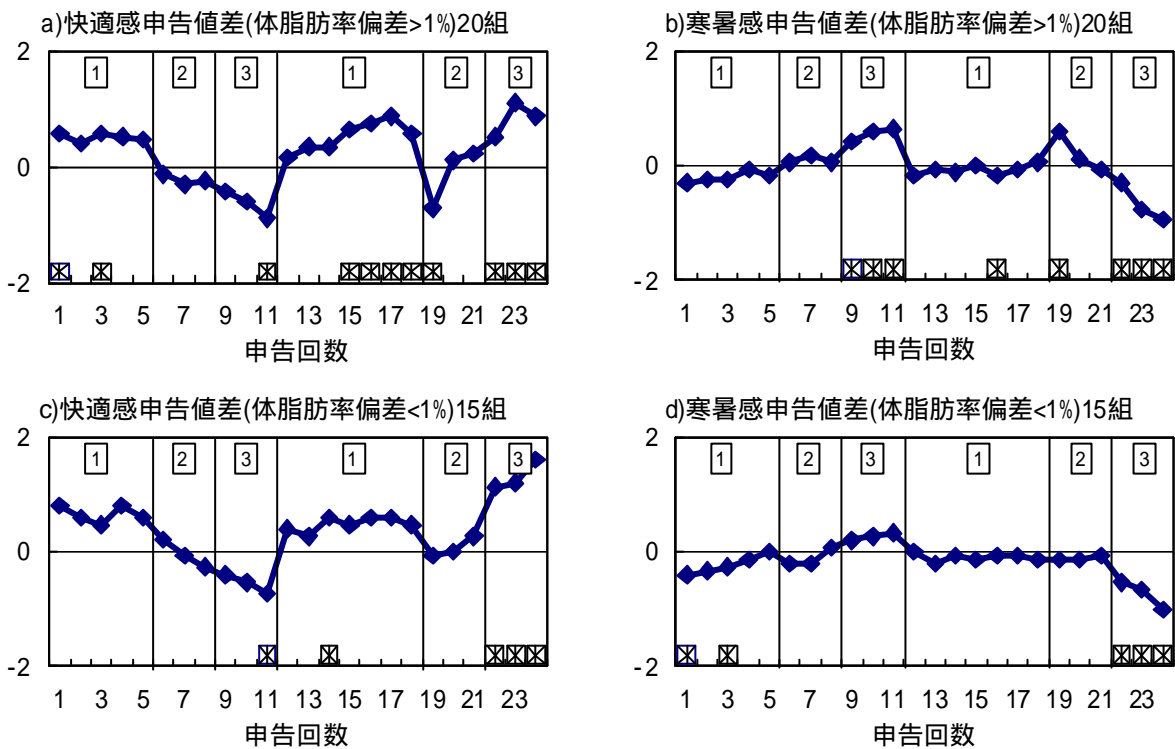
1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.7 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均(男女)(日進)

(3)体脂肪率による違い

図 5.3.8 は、一卵性双生児間の体脂肪率の偏差（一卵性双生児の体脂肪率の差を平均で割った値）が 1%以上の組と 1%未満の組に分類したものである。快適感において体脂肪率偏差が小さい方が差が小さくなっていることが確認できる。寒暑感の炎天下においても同様にやや差が小さくなっているようである。

よって、体脂肪率については差が小さい方が申告が近くなるといえる。



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

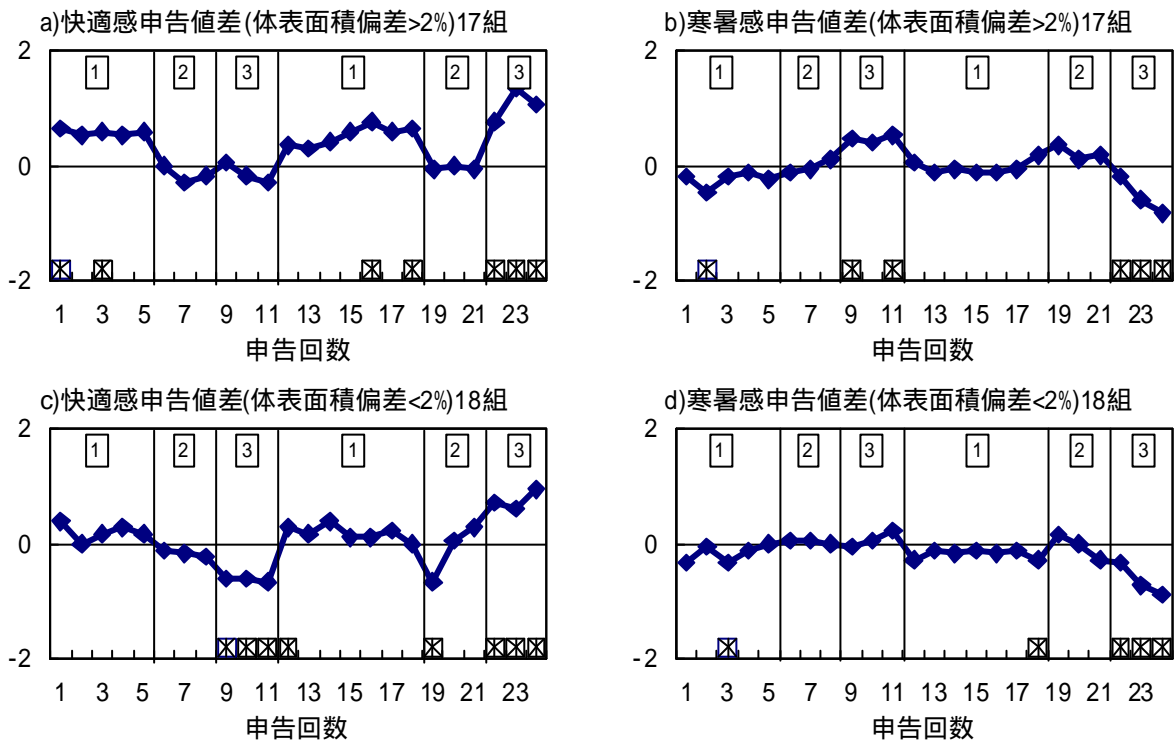
1：安静室 2：炎天下 3：テント

図 5.3.8 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均（体脂肪偏差別）（日進）

(4)体表面積による違い

図 5.3.9 は、一卵性双生児間の体表面積の偏差（一卵性双生児の体表面積の差を平均で割った値）が 2%以上の組と 2%未満の組に分類したものである。快適感において体表面積偏差が小さい方が差が小さくなっていることが確認できる。寒暑感については、ほとんど差がないようである。

よって、体表面積の差が小さい方が快適感申告が近くなる。



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.9 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均（体表面積偏差別）（日進）

(5)運動をよくするかによる違い

図 5.3.10 は、プレアンケート（第 2 章末付録参照）の「運動をよくしますか」という質問の回答結果によって、以下の ~ の組ように分類したものである。

双子がともに「ほとんどしない」の回答（図 5.3.10a、b）

双子がともに「少しする」または「よくする」の回答（図 5.3.10 c、d）

グループ A の方が B よりも運動をすることが多いという回答（図 5.3.10 e、f）

グループ B の方が運動をすることが多いという回答（図 5.3.10 g、h）

快適感、寒暑感ともに双子間に差のない と の分類の際に差が少なくなっていることが確認できる。分類 と では、上記の他の図に比べ特に屋外での申告に差が出ている。運動をすることが多いグループ（ ではグループ A、 ではグループ B）の方が不快側の申告をする傾向が見られる。

(6)屋外にいることは多いかによる違い

図 5.3.11 は、プレアンケート（第 2 章末付録参照）の「屋外にいることは多いですか」という質問の回答結果によって、以下の ~ の組ように分類したものである。

双子がともに「ほとんどない」の回答（図 5.3.11 a、b）

双子がともに「少しある」の回答（図 5.3.11 c、d）

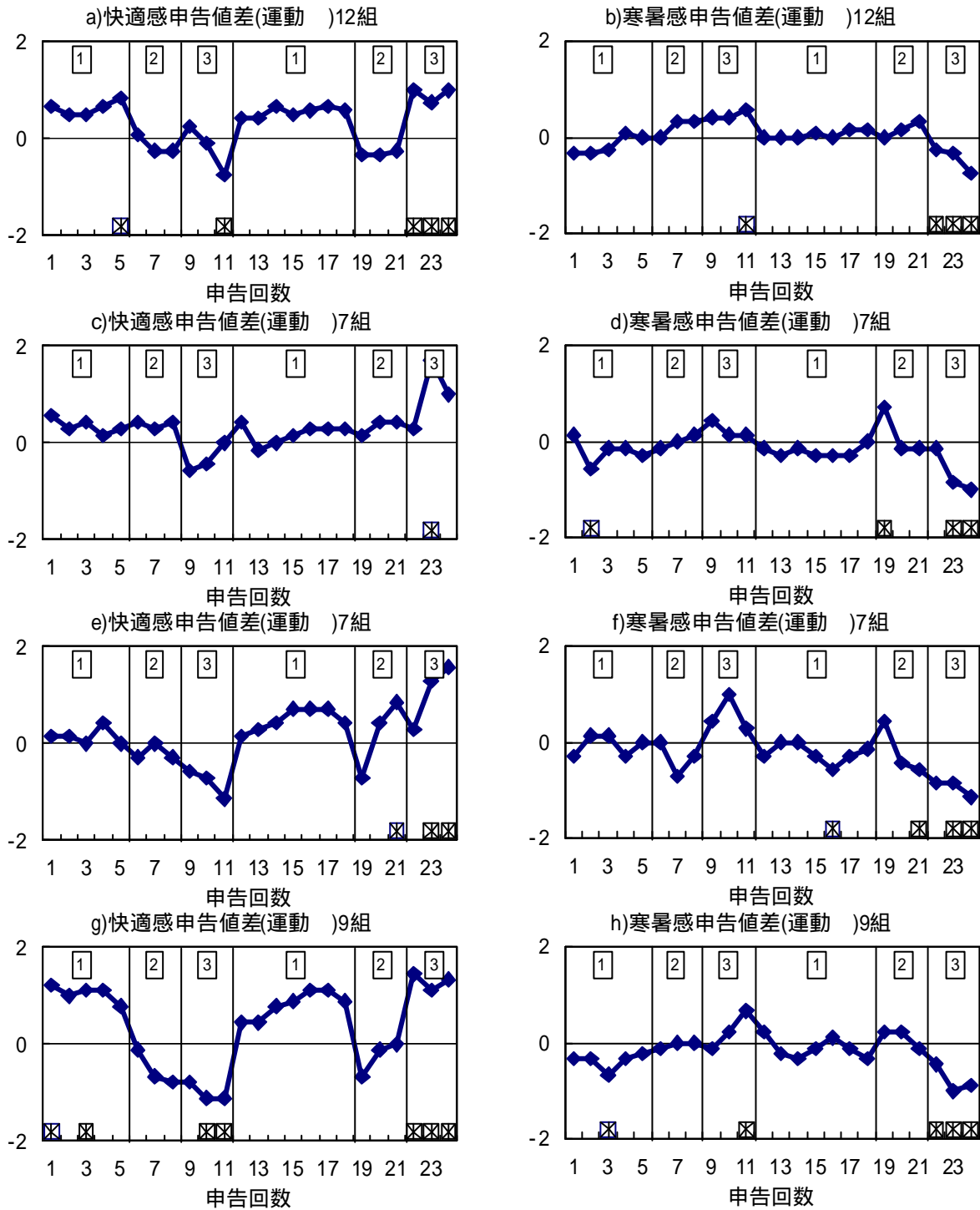
双子がともに「よくある」の回答（図 5.3.11 e、f）

グループ A の方が B よりも屋外にいることが多いという回答（図 5.3.11 g、h）

グループ B の方が屋外にいることが多いという回答（図 5.3.11 i、j）

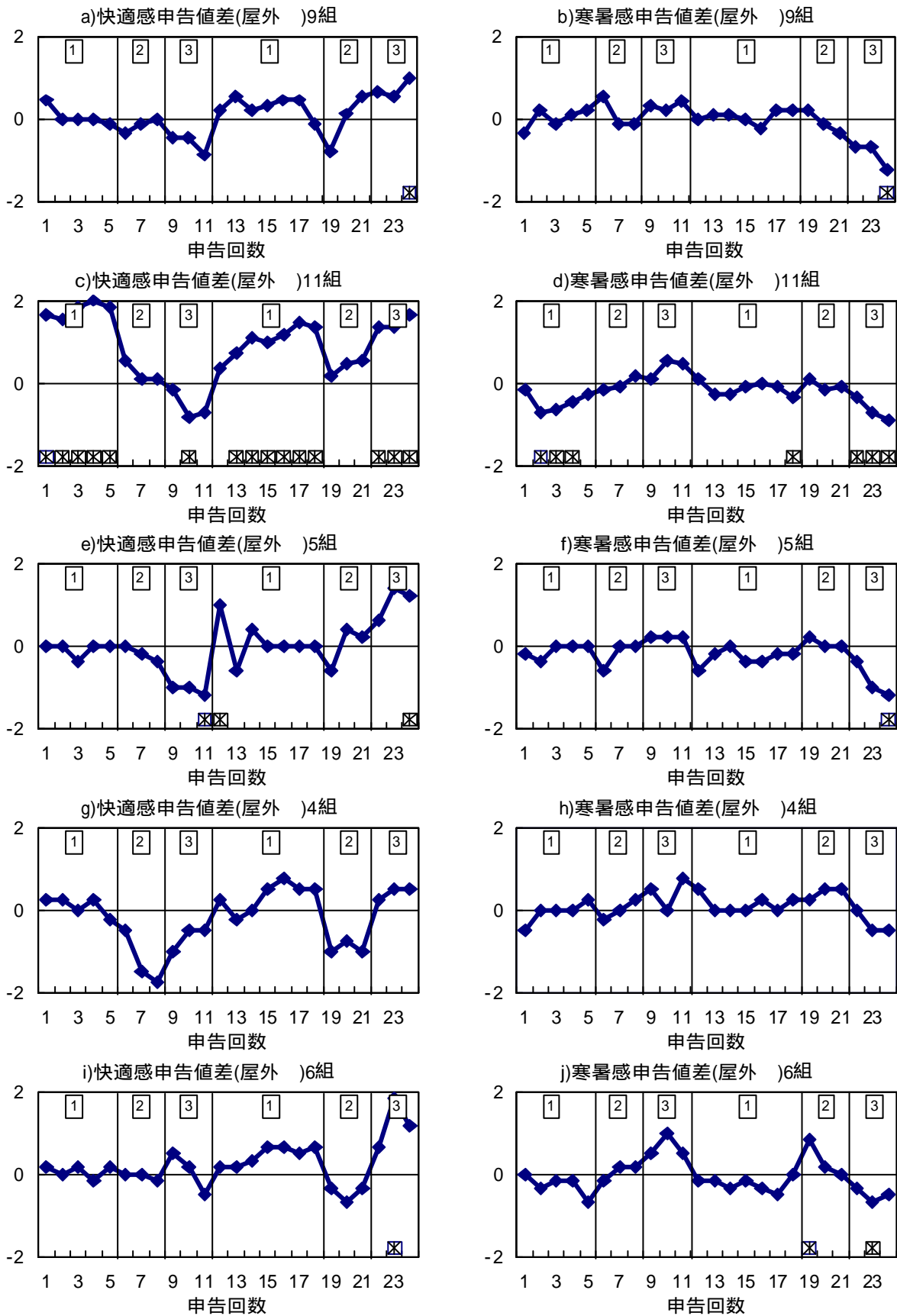
安静室内では の分類で快適感、寒暑感ともに最も差が出ている。分類 は、計 6 組、延べ 11 組の一卵性双生児で構成される。双子がともに屋外にいることが「少しある」という特徴でグループ B の方が不快であるとは考え難く、偶然この分類に差が大きい双子が集まったのではないかと思われる。屋外において、分類 で差が見られ、グループ A の方が快適側、寒い側の申告であることがわかる。グループ A の方が普段屋外にいることが多く、屋外にいることが多い人の方が暑さに慣れており、快適側の申告をすることが多いことが予測される。しかし、分類 を見ると屋外にいることが多いグループ B の方がやや不快側の申告を示している。

第5章 一卵性双生児の同等性の検討



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告      負の値：A の方が快適、暑い申告  
 1：安静室      2：炎天下      3：テント

図 5.3.10 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均 (運動をよくするか別)(日進)



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告      負の値：A の方が快適、暑い申告  
 1：安静室      2：炎天下      3：テント

図 5.3.11 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均(屋外にいることは多いか別)(日進)

(7)脈拍数による違い

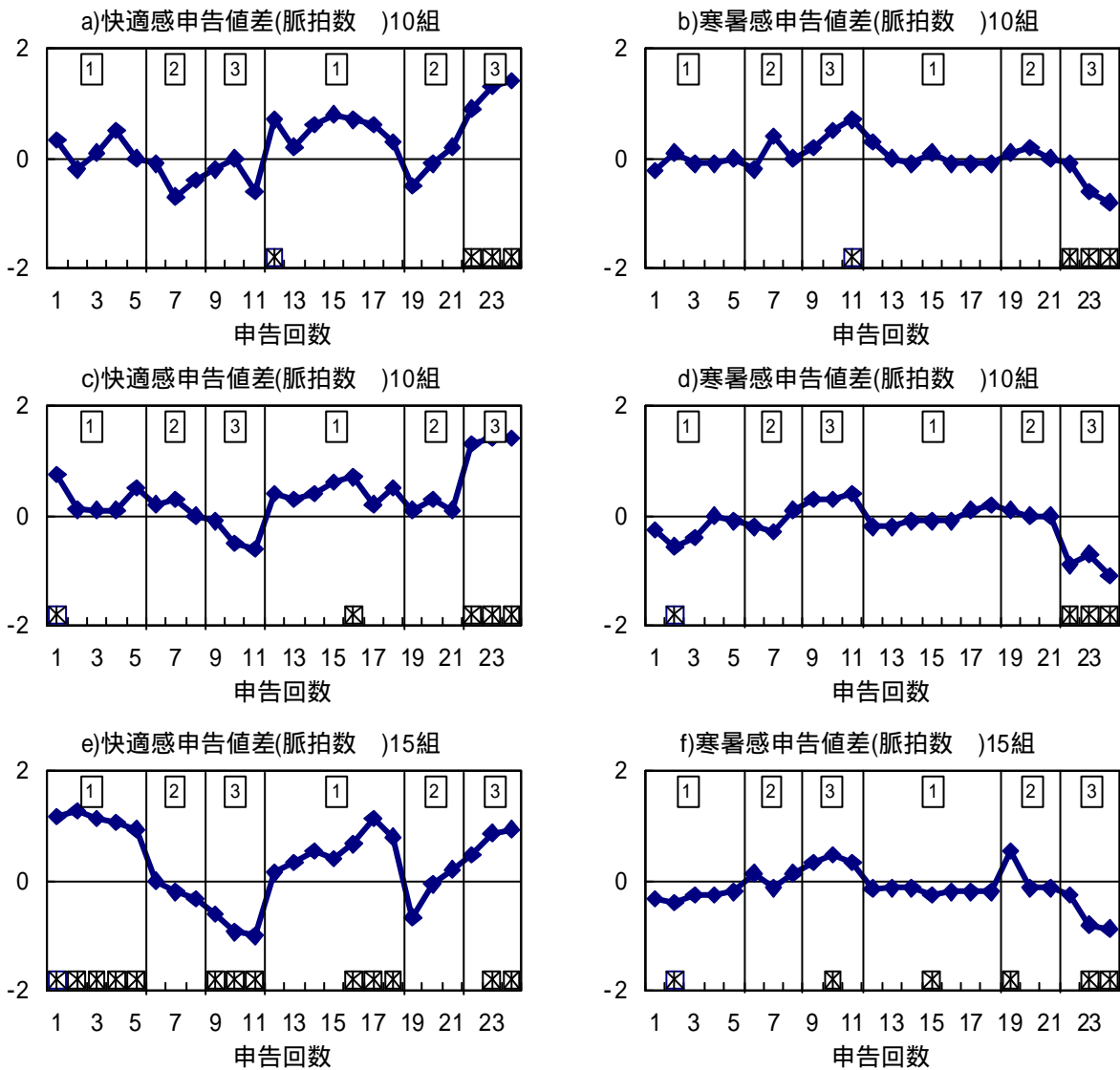
図 5.3.12 は、脈拍数の違いによって、以下の ~ の組ように分類したものである。

双子間の脈拍数の差が  $\pm 4$  未満 (図 5.3.12 a、b)

グループ A の方が脈拍数が 4 以上大きい (図 5.3.12 c、d)

グループ A の方が脈拍数が 4 以上大きい (図 5.3.12 e、f)

分類 で安静室において、快適感の有意差が出るが多くなっている。炎天下ではいずれの分類でもほとんど有意差が見られない。



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.12 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均 (脈拍数別)

(8)血圧による違い

図 5.3.13 は最大血圧の違い、図 5.3.14 は最小血圧の違いによって、以下の ~ の組ように分類したものである。

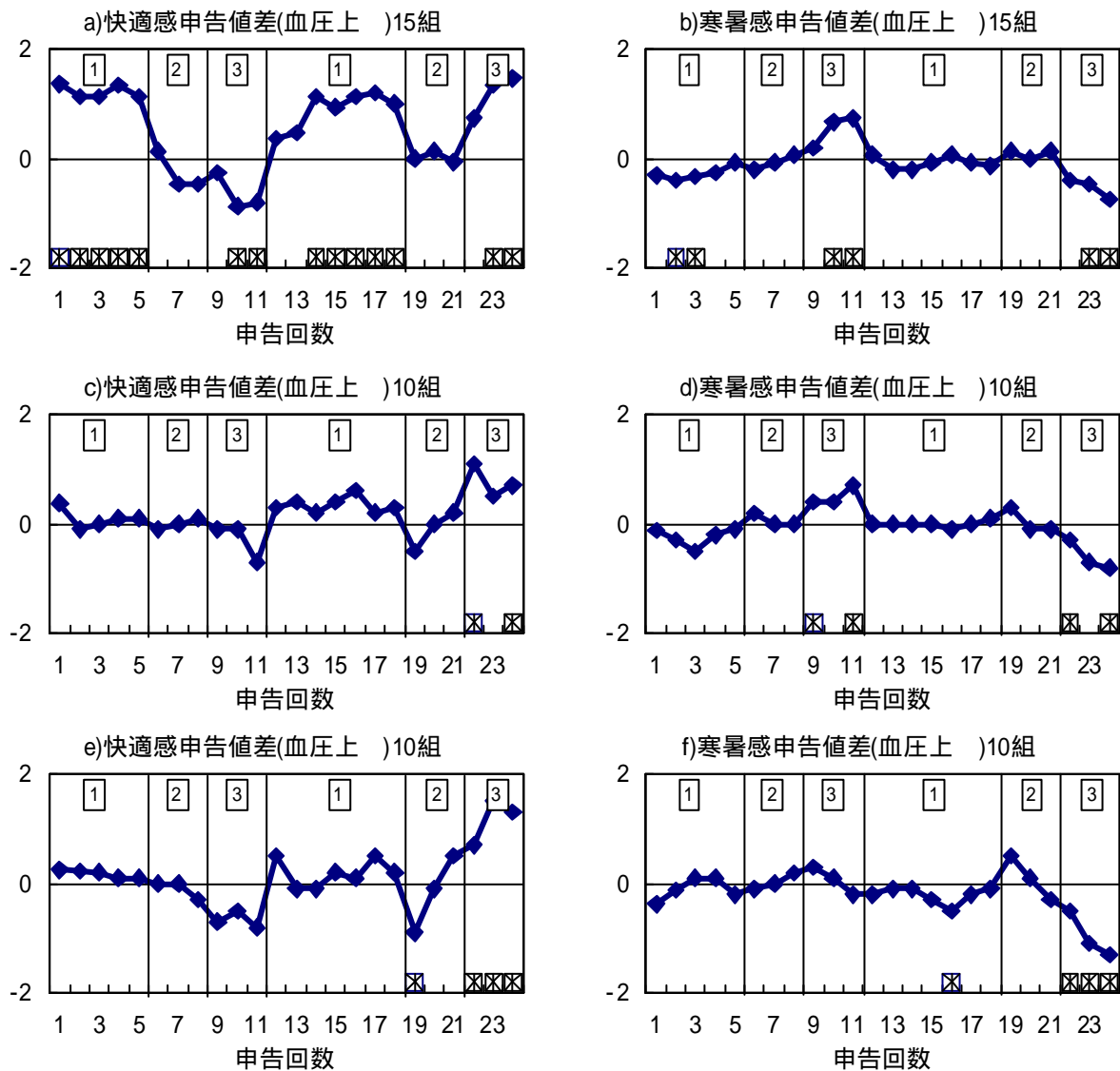
双子間の最大または最小血圧の差が  $\pm 4$  未満 (図 5.3.13、図 5.3.14a、b)

グループ A の方が最大または最小血圧が 4 以上大きい (図 5.3.13、図 5.3.14c、d)

グループ B の方が最大または最小血圧が 4 以上大きい (図 5.3.13、図 5.3.14e、f)

最大血圧、最小血圧ともに分類で有意差がもっとも多くなっている。ただし、最小血圧では有意差があらわれることは少ないものの分類の方が差は大きくなっている。

血圧の差によって申告に差がうまれることはないようである。

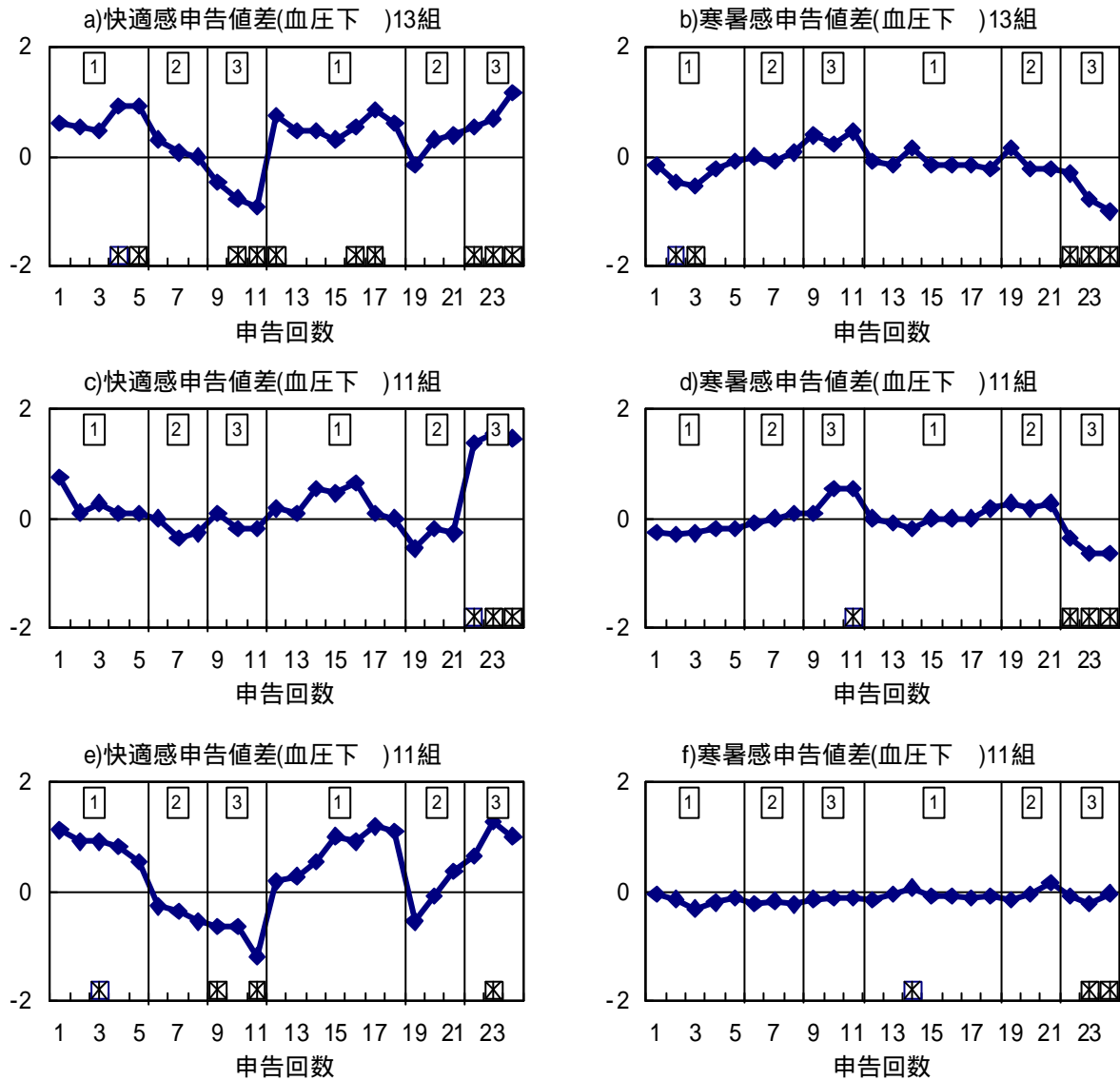


縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.13 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均 (最大血圧別) (日進)

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討



縦軸が正の値：グループ B の方が快適、暑い申告 負の値：A の方が快適、暑い申告

1: 安静室 2: 炎天下 3: テント

図 5.3.14 快適感・寒暑感申告 兄弟間の差の平均(最小血圧別)(日進)

### 5.3.2. 安静室内での申告

本項では、安静室内での被験者の快適感および寒暑感申告の個人差について調べる。ここでは、2004 年日進での実験(概要については、2.3 節参照)に 3 回参加した 6 組の一卵性双生児、計 12 名の被験者の安静室内の後半 3 回分、図 2.3.10 に示す第 3～5、16～18 回目の申告結果を用いる。その被験者の身体的特徴を表 5.3.1 に示す。被験者の身体データの測定は実験毎に行っており、ここには 3 回の平均値を示す。被験者の名前を一卵性双生児 A の一人を aa、もう一人を ab、一卵性双生児 C の一人を ca、もう一人を cb、・・・と名付ける。検定は、安静室内の気温差が大きいところで 4 近くあるため、気温を 1 刻みで分類して行った。

表 5.3.2 には、各気温範囲のそれぞれの被験者のサンプル数と快適感および寒暑感の平均値を示す。表 5.3.5 および表 5.3.6 は気温別に、12 名の被験者間のそれぞれ快適感、寒暑感申告値の平均の差の検定結果を示す。表中の斜線はデータ数が 3 以下、またはデータに分散がないため、検定が行えないものである。

身体的特徴については、双子 C、F、K でやや体脂肪率の差が多くなるものの、双子間で体格は似ているといえる。他の双子間で比較すると、双子 C と双子 J が、双子 H と双子 K が比較的近い体格であることが確認できる。

気温 23～24 ではいくつかデータは存在するが、データ数が 2 個のものと、分散がないもので構成されるため、検定は行えなかった。気温 24～25 では検定を行ったが、データ数が少ないため、快適感では有意差がひとつもあられず、寒暑感でもほとんど有意差は見られなかった。気温 25～26 で、一卵性双生児間に着目すると、快適感、寒暑感ともに有意差が全く見られなかった。快適感では双子 F、寒暑感では双子 H が他の被験者とは有意差があるが、双子間では差はなく、二人が同時に他の被験者とは異なる申告をしていたといえる。気温 26～27 では全体的に有意差が見られることが多く、双子間でも有意差が他の被験者間と同様に見られた。

以上より、安静室内での申告について、一卵性双生児間でも有意差が見られることはあるが、他の被験者と比較すると有意差が発生する頻度が少ないといえる。

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.3.1 6組の被験者の身体的特徴

組名	個人名	性別	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪率 (%)	BMI
A	aa	女	170.0	51.4	1.59	20.7	17.8
	ab		171.6	52.8	1.62	20.6	17.9
	差		1.7	1.5	0.03	0.2	0.2
C	ca	男	164.0	51.8	1.55	14.4	19.3
	cb		164.1	51.9	1.55	17.5	19.3
	差		0.1	0.1	0.00	3.1	0.0
F	fa	女	160.2	49.7	1.50	21.2	19.3
	fb		159.3	47.2	1.46	17.3	18.6
	差		0.9	2.5	0.04	3.8	0.8
H	ha	女	151.7	48.3	1.42	23.3	21.0
	hb		151.2	47.4	1.41	24.3	20.7
	差		0.4	0.8	0.01	1.0	0.2
J	ja	男	163.5	43.9	1.44	13.0	16.4
	jb		161.0	42.3	1.41	14.0	16.3
	差		2.5	1.6	0.04	1.0	0.1
K	ka	女	154.3	46.7	1.42	24.0	19.6
	kb		151.3	48.5	1.42	26.7	21.2
	差		3.0	1.8	0.00	2.7	1.6

表 5.3.2 安静室内申告平均値、申告時平均温度

	被験者名	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka	kb
23~24	サンプル数	0	0	0	0	6	6	2	2	0	0	0	0
	快適感					4.00	4.00	2.00	2.50				
	寒暑感					4.33	4.00	4.00	4.00				
24~25	サンプル数	3	3	1	1	5	5	4	4	3	3	3	3
	快適感	4.00	3.00	4.00	2.00	3.80	3.60	3.00	3.00	2.00	1.00	3.33	3.33
	寒暑感	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.80	3.25	4.00	4.00	4.00	4.67	4.67
25~26	サンプル数	3	3	10	10	7	7	10	10	13	13	9	9
	快適感	3.67	3.00	4.00	2.60	3.86	3.57	2.20	2.70	2.15	1.00	3.00	2.56
	寒暑感	3.67	4.00	3.30	4.00	3.86	4.00	3.80	4.00	3.92	3.92	4.67	4.56
26~27	サンプル数	12	12	7	7	0	0	2	2	2	2	6	6
	快適感	3.75	2.50	4.14	2.00			2.00	2.00	2.50	1.00	3.50	2.67
	寒暑感	3.67	4.00	3.57	4.00			4.00	4.00	3.00	4.00	4.33	4.50

表 5.3.3 安静室内快適感申告被験者間の検定結果(1)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温23 ~ 24 快適感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	/										
ca		/									
cb			/								
fa				/							
fb					/						
ha						/					
hb							/				
ja								/			
jb									/		
ka										/	
kb											/

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温24 ~ 25 快適感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	/										
ca		/									
cb			/								
fa				/							
fb					/						
ha						/					
hb							/				
ja								/			
jb									/		
ka										/	
kb											/

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.3.4 安静室内快適感申告被験者間の検定結果(2)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温25 ~ 26 快適感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa				**							
fb				*							
ha	*				**	**					
hb					**	*					
ja					**	**					
jb											
ka					**	*	**			*	
kb					**	**					

( \* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温26 ~ 27 快適感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	**										
ca		**									
cb											
fa											
fb											
ha											
hb											
ja											
jb											
ka		**	*								
kb	**		**								*

( \* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

表 5.3.5 安静室内寒暑感申告被験者間の検定結果(1)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温23 ~ 24 寒暑感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa											
fb											
ha											
hb											
ja											
jb											
ka											
kb											

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温24 ~ 25 寒暑感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa											
fb											
ha											
hb											
ja											
jb											
ka								*			
kb								*			

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.3.6 安静室内寒暑感申告被験者間の検定結果(2)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温25 ~ 26 寒暑感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa			*								
fb			*								
ha			*								
hb											
ja			**								
jb			**								
ka	*		**		**	*	**		**	**	
kb	*		**		*		**		**	**	

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温26 ~ 27 寒暑感

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa											
fb											
ha											
hb											
ja											
jb											
ka	*		*								
kb	**		*								

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

### 5.3.3. 炎天下での申告

本項では、炎天下での被験者の快適感および寒暑感申告の個人差について調べる。

ここでは、前項と同様に 2004 年日進での実験（概要については、2.3 節参照）に 3 回参加した 6 組の一卵性双生児、計 12 名の被験者（身体的特徴は表 5.3.1 参照）の炎天下 10 分後、20 分後、つまり図 2.3.10 に示す第 7、8、20、21 回目の申告結果を用いる。炎天下は実験日による温度差が非常に大きいため、心理申告と温度の回帰式を比較することにより個人差を調べようと考えた。図 5.3.15 および図 5.3.16 には、3 回の実験 × 4 データの申告の計 12 の快適感申告、寒暑感申告と熱電対温度の関係を示す。図中の式は、各被験者の皮膚温と熱電対温度の回帰式を示し、表 5.3.7 に相関係数を示す。表 5.3.8 は、回帰式の傾きおよび切片の被験者間の差の検定結果である。

全体的に温度と快適感および寒暑感との相関関係は高いようであり、温度が高くなると不快側、暑い側の申告が増すことが確認できる。但し、温度幅が少ない双子 C および F では、相関が高くなりにくい。

快適感と温度の関係は個人差が非常に大きいように見える。但し、回帰式の傾きと切片の差の検定では、いくらか有意差は見られるがあまり差がでることが少なかった。一卵性双生児間で見ると、双子 F および H で有意差が出ている。双子 F については、グラフからは比較的申告が似ているように見えるが、温度の幅が狭くどちらも気温との相関が高いため、検定結果では有意差が出たものであり、もう少し広い温度幅での実験を行えば差が出なかったとも考えられる。双子 H については、 $h_a$  は温度変化に敏感に快適感が左右され、 $h_b$  は温度の変化に対して快適感の変化がなだらかであり、この双子の快適感感覚は大きく違うように見うけられる。一方、有意差は出ていないが双子 J についてはグラフで見る限り申告は似ていないようである。 $j_b$  が気温の変化に対応し快適感が変化するのに対し、 $j_a$  はあまり気温の影響を受けていないように見える。有意差が出なかったのは  $j_b$  の相関係数が非常に低いためだと考えられる。寒暑感について、全体的にグラフからは差があると思われるが、有意差があらわれることが少なかった。グラフからは他の被験者と比較すると一卵性双生児間の方が申告に近いことが多いように見えるが、検定では有意差が出ず、この方法でこれらを明らかにするにはもう少し多くのデータが必要である。

表 5.3.7 快適感、寒暑感と熱電対温度の相関係数

快適感と熱電対温度の相関係数				寒暑感と熱電対温度の相関係数			
aa	0.595	ab	0.884	aa	-0.684	ab	-0.819
ca	0.376	cb	0.234	ca	-0.069	cb	-0.277
fa	0.888	fb	0.944	fa	-0.464	fb	-0.566
ha	0.883	hb	0.638	ha	-0.715	hb	-0.782
ja	0.083	jb	0.760	ja	-0.703	jb	-0.691
ka	0.723	kb	0.512	ka	-0.794	kb	-0.656

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

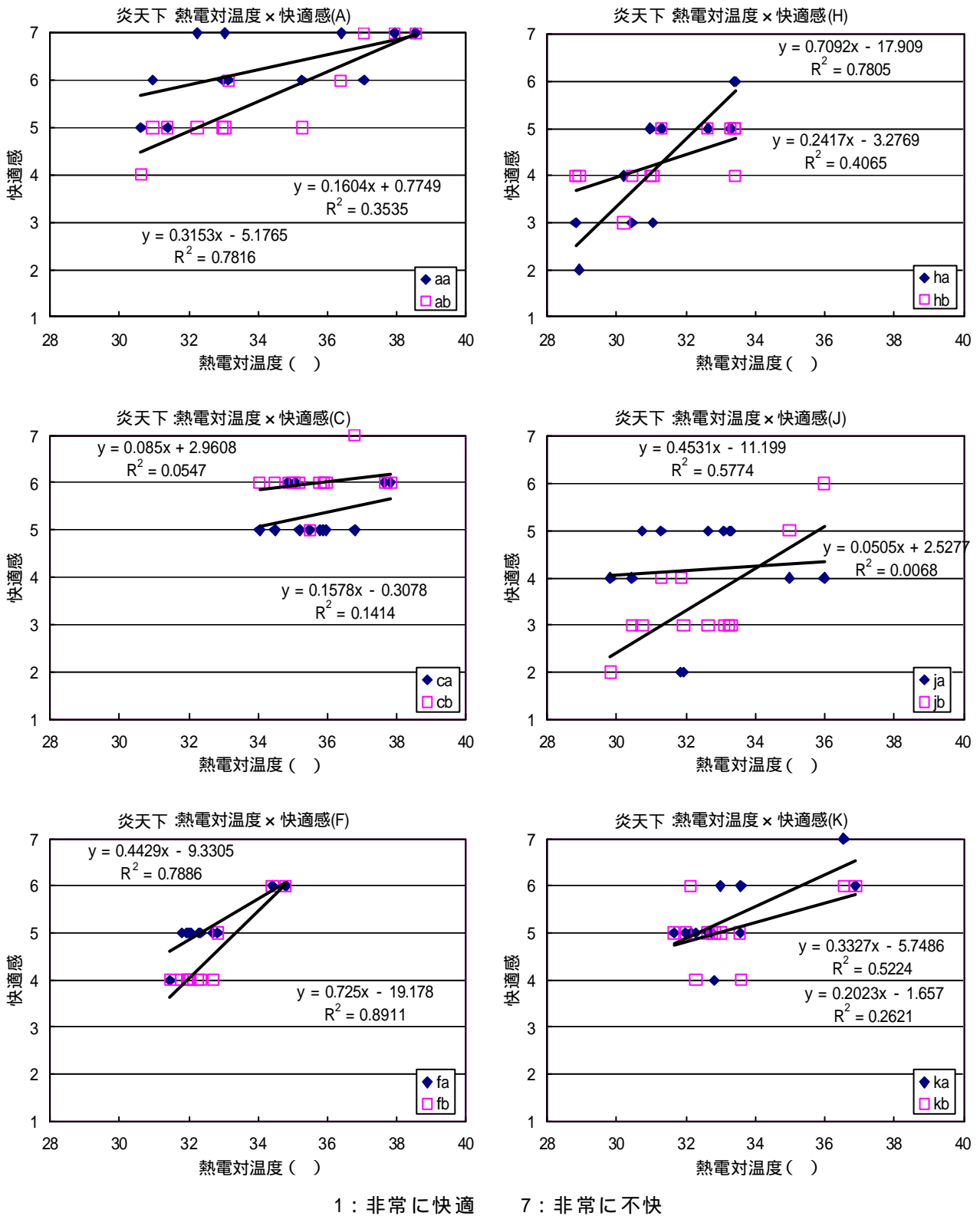
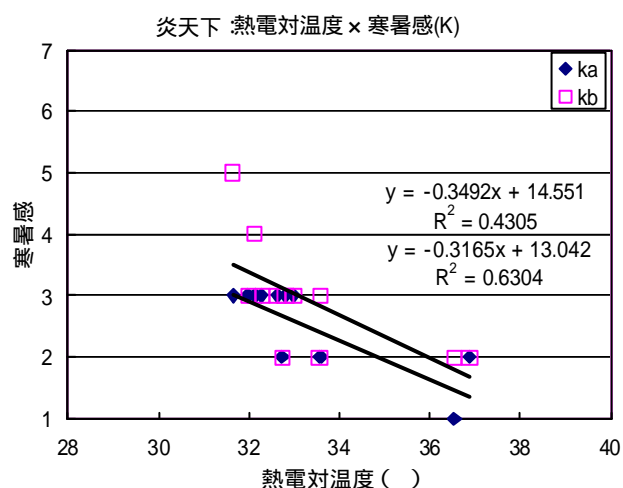
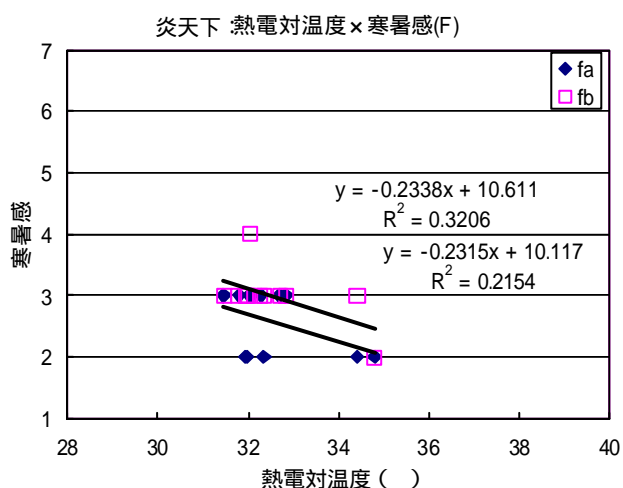
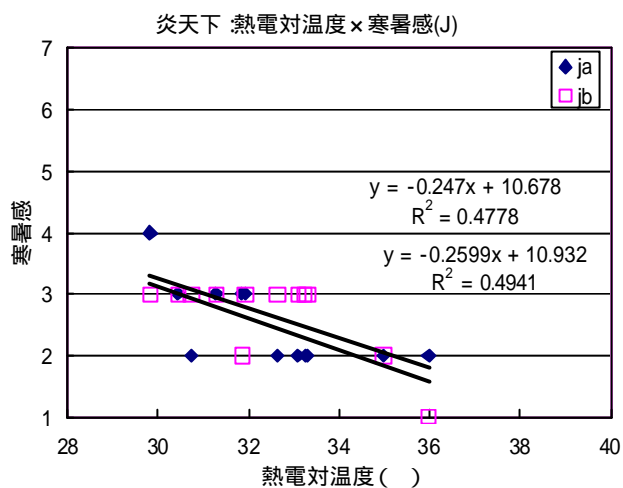
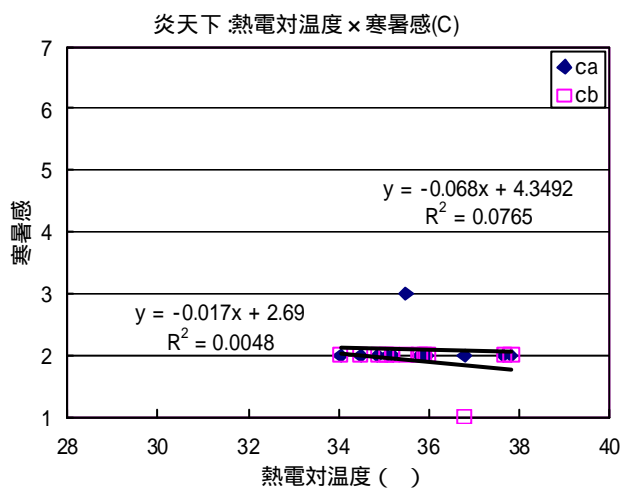
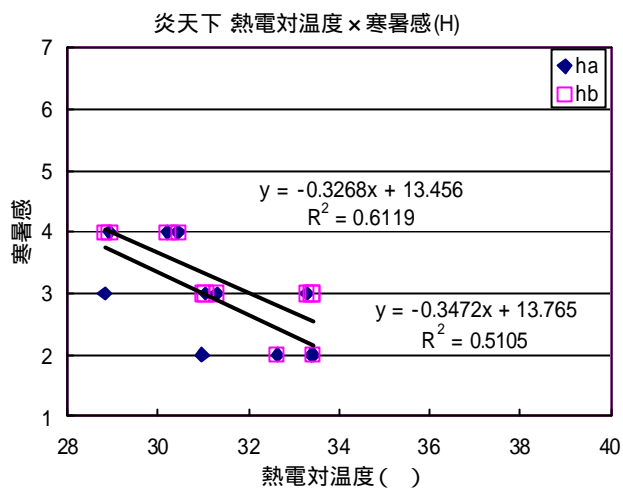
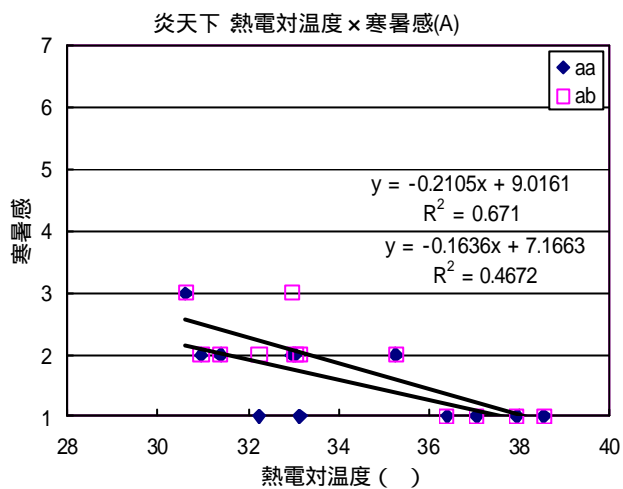


図 5.3.15 炎天下快適感申告値と申告時温度の関係



1 : 非常に暑い      非常に寒い

図 5.3.16 炎天下快適感申告値と申告時温度の関係

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.3.8 炎天下快適感、寒暑感申告と熱電対温度の回帰式の検定結果

快適感と気温

		aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	傾き											
	切片											
ca	傾き											
	切片											
cb	傾き											
	切片											
fa	傾き				**							
	切片				**							
fb	傾き	**	**	**	**	**						
	切片	**	**	**	**	**						
ha	傾き	**	**	**	**							
	切片	**	**	**	**							
hb	傾き						**	**				
	切片						**	**				
ja	傾き						*	**				
	切片						*	**				
jb	傾き	*										
	切片	**			*							
ka	傾き						**	**				
	切片						**	**				
kb	傾き						**	**				
	切片						**	**				

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01)

寒暑感と気温

		aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	傾き											
	切片											
ca	傾き											
	切片											
cb	傾き											
	切片											
fa	傾き											
	切片											
fb	傾き											
	切片											
ha	傾き			*								
	切片			*								
hb	傾き			*	*							
	切片			**	*							
ja	傾き											
	切片											
jb	傾き											
	切片											
ka	傾き			**	*							
	切片			**	*							
kb	傾き											
	切片											


(\* : =0.05 , \*\* : =0.01)

上記の分析法では、個人差を確認するには不十分であったため、同じ屋外データを用い、前項の安静室内での分析と同様の方法で、被験者間の屋外申告の個人差について調べる。出現頻度の高い屋外温度 30～32、32～34 において快適感および寒暑感申告値の平均の差の検定を行った。その検定結果を表 5.3.9、表 5.3.10 に示す。一卵性双生児間でも有意差がしばしば見られるが、他の被験者と比較すると有意差の発生確率はやや少ないようである。

表 5.3.9 炎天下快適感申告被験者間の検定結果


快適感 30～32

	aa	ab	fa	fb	ha	hb	ja	jb
サンプル数	3	3	4	4	5	5	5	5
ab								
fa								
fb								
ha								
hb	*							
ja								
jb	**	*	**					

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01)  
 分散無

快適感 32～34

	aa	ab	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka	kb
サンプル数	4	4	6	6	5	5	4	4	8	8
ab	*									
fa										
fb	**	**								
ha	*			**						
hb	**			*	*					
ja										
jb										
ka	**			**						
kb	**			*						

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01)  
 分散無


第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.3.10 炎天下快適感申告被験者間の検定結果

寒暑感 30 ~ 32

	aa	ab	fa	fb	ha	hb	ja	jb
サンプル数	3	3	4	4	5	5	5	5
ab								
fa								
fb								
ha								
hb		*	*					
ja								
jb								


(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

 分散無

寒暑感 32 ~ 34

	aa	ab	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka	kb
サンプル数	4	4	6	6	5	5	4	4	8	8
ab										
fa	**									
fb	**	*								
ha			*	**						
hb	*									
ja										
jb										
ka	**									
kb	**									

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

 分散無

## 5.4. 生理反応の同等性

### 5.4.1. 安静室内での皮膚温

本項では、安静室内での被験者の平均皮膚温の個人差について調べる。ここでは、5.3.2 項と同様に 2004 年日進での実験（概要については、2.3 節参照）に 3 回参加した 6 組の一卵性双生児、計 12 名の被験者（身体的特徴は表 5.3.1 参照）の安静室 40 分後、50 分後、60 分後、つまり図 2.3.10 に示す第 3～5、16～18 回目の申告時の平均皮膚温データを用いる。安静室内の気温差が大きいところで 4 近くあるため、気温を 1 刻みで分類し、検定を行った。表 5.4.1 には、各気温範囲のそれぞれの被験者のサンプル数と平均皮膚温の平均値を示す。表 5.4.2 および表 5.4.3 は、12 名の被験者間のそれぞれ平均皮膚温の平均の差の検定結果を示す。表中の斜線はデータ数が 3 以下、またはデータに分散がないため、検定が行えないものである。

データが最も多い 25～26 の結果に着目すると、全体的に危険率 1% で有意差があることが非常に多く、同じ気温であっても平均皮膚温の個人差が大きいといえる。一卵性双生児間に関しても計 6 組中 3 組で有意差が確認される。ただし、全体的非常に有意差が出ることが多いのに対して、有意差がある確率は低いといえる。危険率 1% で有意差が見られた双子 F および K の身体的特徴を表 5.3.1 で確認すると、体脂肪率の差が他の双子に比べ多いようである。また、体格が近い人（表 5.3.1 参照）被験者 ca、cb、ja、jb、または被験者 ha、hb、ka、kb 間の有意差に着目すると、有意差の発生頻度が 2 分の 1 であり、一卵性双生児間で有意差がある確率と変わらない。以上のことから、安静室内での平均皮膚温は、体脂肪率等の体格の近い被験者間で近い値をとるといえる。

表 5.4.1 安静室内平均皮膚温と温度の平均

	被験者名	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka	kb
23～24	サンプル数	0	0	0	0	6	6	2	2	0	0	0	0
	平均皮膚温					34.80	34.08	33.51					
24～25	サンプル数	3	3	1	1	5	5	4	0*	3	3	3	3
	平均皮膚温	34.49	34.55	34.73	34.81	34.33	34.18	33.90		34.19	34.07	34.26	34.24
25～26	サンプル数	3	3	10	10	7	7	10	10	13	13	9	9
	平均皮膚温	34.80	34.74	34.82	34.81	34.34	33.98	33.94	33.80	34.33	34.67	34.36	34.02
26～27	サンプル数	12	12	7	7	0	0	2	2	2	2	6	6
	平均皮膚温	34.98	34.81	34.79	34.98			34.26	34.09	34.87	34.98	34.58	34.50

\* 被験者 hb は、皮膚温が一回欠測のため 24～25 でデータ無。

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.4.2 安静室内平均皮膚温被験者間の検定結果(1)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温23 ~ 24 平均皮膚温

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa											
fb					**						
ha											
hb											
ja											
jb											
ka											
kb											

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温24 ~ 25 平均皮膚温

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa											
fb	*	**									
ha	**	**			*	*					
hb											
ja	**	**					*				
jb	**	**							*		
ka		*					*				
kb							*				

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

表 5.4.3 安静室内平均皮膚温被験者間の検定結果(2)

室内 (申告第3,4,5,16,17,18回目)

気温25 ~ 26 平均皮膚温

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb											
fa	**	**	**	**							
fb	**	**	**	**	**						
ha	**	**	**	**	**						
hb	**	**	**	**	**						
ja	*	**	**	**		**	**	**			
jb					**	**	**	**	*		
ka	**	**	**	**		**	**	**		**	
kb	**	**	**	**	*				*	**	**

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

気温26 ~ 27 平均皮膚温

	aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab											
ca											
cb		**	*								
fa											
fb											
ha											
hb											
ja											
jb											
ka	*	**	*	**							
kb	*			*							

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01 )

5.4.2. 炎天下での皮膚温

本項では、炎天下での被験者の平均皮膚温の個人差について調べる。ここでは、前項と同様に 2004 年日進での実験（概要については、2.3 節参照）に 3 回参加した 6 組の一卵性双生児、計 12 名の被験者（身体的特徴は表 5.3.1 参照）の炎天下 10 分後、20 分後、つまり図 2.3.10 に示す第 7、8、20、21 回目の申告時の平均皮膚温データを用いる。図 5.4.1 には、3 回の実験×4 データの申告の計 12 の平均皮膚温と熱電対温度の関係を示す。ただし、被験者 hb については、1 回の実験で皮膚温データが欠測したため、計 8 データである。図 5.4.1 中の式は、各被験者の皮膚温と熱電対温度の回帰式を示し、その相関係数を表 5.4.4 に記す。表 5.4.5 は、回帰式の傾きおよび切片の被験者間の差の検定結果である。

一卵性双生児間の結果に着目すると、被験者 aa、ab の組で有意差が見られるが、その他では有意差が見られず、他の被験者間と比較すると双子間の方が有意差の発生頻度が非常に少ないといえる。双子 A の身体的特徴（表 5.3.1 参照）は、他の双子に比べ、体格特に体脂肪率で差が小さかった。体格が似ている双子 C、J 間、H、K 間に着目すると、C、J 間では差が見られなかったが、H、K 間では差が見られ、他の被験者と比べ有意差がある頻度がほとんど変わらない。また、双子 F は他の被験者では有意差が見られることが多いが、双子間では有意差が見られなかった。以上より、屋外の気温と平均皮膚温の関係では、一卵性双生児間で他の被験者と比べ、個人差が小さい傾向が見られる。ただし、各双子の実験時の屋外気温が異なっているため、必ず同じ環境で実験に参加した一卵性双生児間で差が小さくなったことも考えられ、この傾向を断定するにはより多くの実験が必要であると考えられる。

表 5.4.4 平均皮膚温と熱電対温度の相関係数

aa	0.878	ab	0.966
ca	0.665	cb	0.207
fa	0.846	fb	0.927
ha	0.836	hb	0.596
ja	0.225	jb	0.614
ka	0.714	kb	0.305

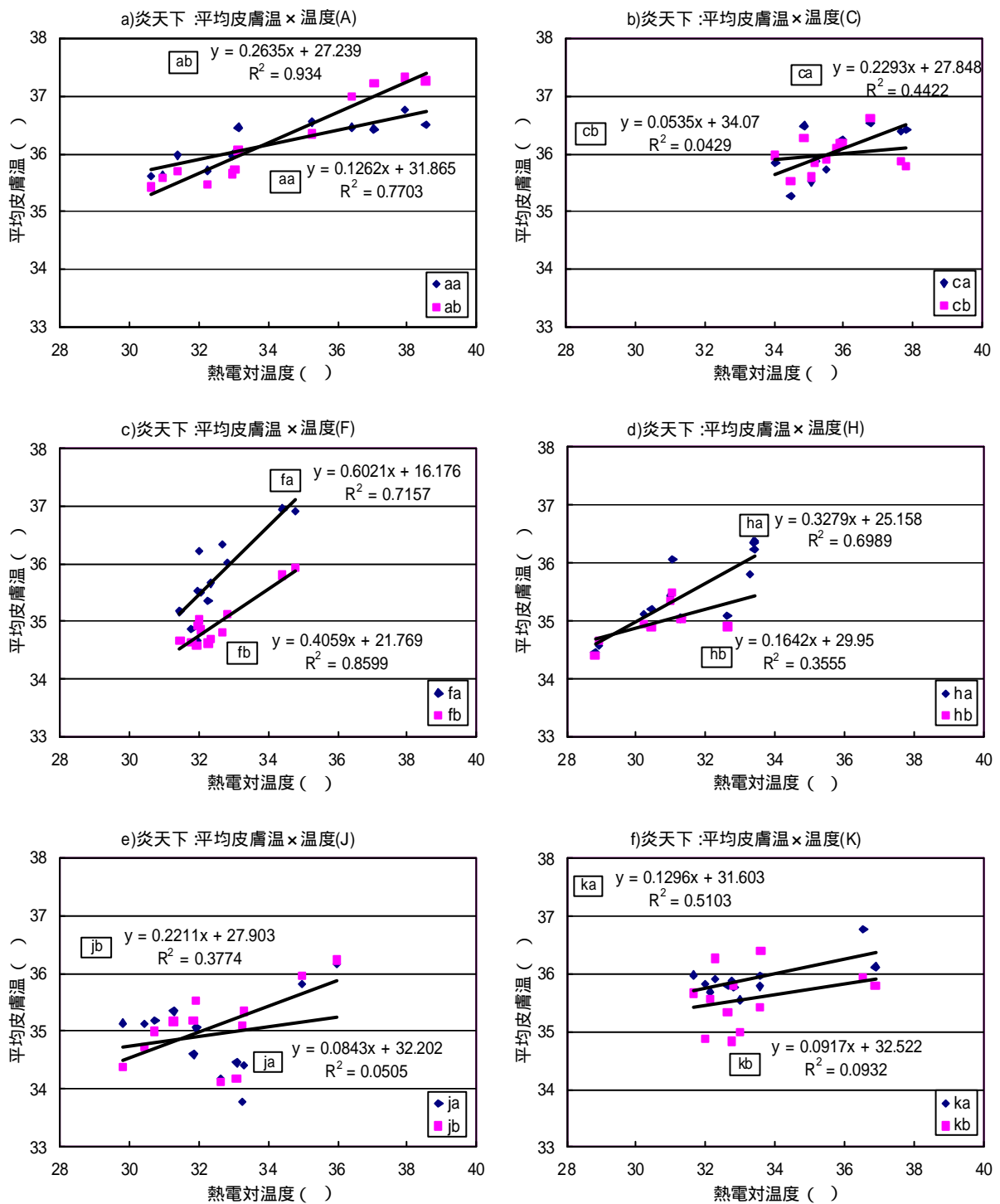


図 5.4.1 平均皮膚温と熱伝対温度の関係

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

表 5.4.5 炎天下平均皮膚温と熱電対温度の回帰直線の検定結果

		aa	ab	ca	cb	fa	fb	ha	hb	ja	jb	ka
ab	傾き	**										
	切片											
ca	傾き											
	切片											
cb	傾き		**									
	切片		**									
fa	傾き	**	**	**	**							
	切片	**	**	*	**							
fb	傾き	**	*		**							
	切片	**	**		**							
ha	傾き	**			*							
	切片	**			*							
hb	傾き	*				**	*					
	切片	**				**	**					
ja	傾き					**						
	切片					**						
jb	傾き					*						
	切片					*						
ka	傾き		**			**	**	*				
	切片		**			**	**	*				
kb	傾き		*			**	*	*				
	切片					**	*					

(\* : =0.05 , \*\* : =0.01)

## 5.5. 本章のまとめ

身体的特徴について、一卵性双生児は非常に体格に近い組も何組も見られるが、体重や体脂肪率で差が大きい双子も見られ、同等であるとは言い難い。血圧および脈拍については一卵性双生児間の差が非常に小さかった。

一卵性双生児をいくつかの条件で分類し、差が小さくなる分類を探した。体脂肪率、体表面積の差が小さい分類では申告値の差が小さくなる傾向が見られた。また、運動をよくするかというプレアンケートに同じ申告をした双子で申告の差がやや小さくなる傾向が見られた。どの他の分類、男女、屋外にいることが多いか、血圧、脈拍についてはそれぞれの分類間で申告の差で顕著な違いは見られなかった。

被験者間の安静室内および屋外における心理申告と皮膚温の差の検定を行うと、一卵性双生児間でも有意差が見られることがしばしばあったが、他の被験者との結果と比較すると有意差が発生する確率がやや低かった。一卵性双生児の身体的特徴で、双子間で体脂肪率の差が大きい双子で申告に有意差が生まれやすい傾向も見られた。また、双子以外の被験者との検定においても体格が比較的近い方が、有意差があらわれることが少なく、体脂肪率が心理、生理反応に大きく影響を及ぼしているといえる。

また、安静室内の温熱感覚申告で有意差がないが、屋外では有意差が見られることもしばしば見られた。4章で述べたように、屋外での温熱環境評価は屋内の評価とはずれており、そのずれ方にも個人差が非常に多いということが考えられる。

第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

付録

付表 5.1 から付表 5.4 として、一卵性双生児の身長、体重、体脂肪率の測定結果および体表面積、BMI を示す。体表面積、BMI は、身長、体重から以下の式で算出した。

$$\text{体表面積}[\text{m}^2] = \text{身長}[\text{cm}]^{0.725} \times \text{体重}[\text{kg}]^{0.425} \times 0.007184$$

$$\text{BMI} = \text{体重}[\text{kg}] / \text{身長}[\text{m}]^2$$

同一被験者に対して複数の測定結果があるが、実験毎に測定したものを示している。身長については測定誤差が大きく、同一被験者で差が大きく見られることがある。

付表 5.1 一卵性双生児の身体的特徴(ささしま、男性)

年齢	名前	月 日			身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪率 (%)	BMI
16	d	8	8	兄	167.0	52.2	1.58	17.4	18.7
				弟	169.0	55.0	1.63	17.3	19.3
				差	2.0	2.8	0.05	0.1	0.5
		8	10	兄	168.2	52.3	1.59	17.3	18.5
				弟	169.0	54.6	1.62	17.3	19.1
				差	0.8	2.3	0.03	0.0	0.6
19	c	7	25	兄	165.7	64.8	1.72	23.8	23.6
				弟	167.5	60.8	1.69	18.3	21.7
				差	1.8	4.0	0.03	5.5	1.9
		8	11	兄	166.3	63.5	1.71	20.9	23.0
				弟	167.3	60.1	1.68	15.3	21.5
				差	1.0	3.4	0.03	5.6	1.5
		8	13	兄	166.8	64.1	1.72	19.9	23.0
				弟	166.8	60.1	1.67	15.5	21.6
				差	0.0	4.0	0.05	4.4	1.4
21	b	7	24	兄	162.5	46.8	1.48	14.9	17.7
				弟	164.7	44.9	1.46	11.6	16.6
				差	2.2	1.9	0.01	3.3	1.2
		8	1	兄	162.2	47.2	1.48	15.7	17.9
				弟	164.0	45.1	1.46	11.8	16.8
				差	1.8	2.1	0.02	3.9	1.2
21	e	8	11	兄	160.0	46.6	1.46	16.9	18.2
				弟	160.0	45.5	1.44	15.1	17.8
				差	0.0	1.2	0.02	1.8	0.4
		8	18	兄	161.0	45.8	1.45	14.7	17.7
				弟	161.0	45.4	1.45	13.3	17.5
				差	0.0	0.4	0.01	1.4	0.2
22	a	7	21	兄	172.0	65.9	1.78	19.0	22.3
				弟	171.0	58.1	1.68	14.9	19.9
				差	1.0	7.8	0.10	4.1	2.4
		8	4	兄	171.9	63.8	1.75	15.7	21.6
				弟	169.9	57.9	1.67	13.3	20.1
				差	2.0	5.9	0.09	2.4	1.5

付表 5.2 一卵性双生児の身体的特徴(ささしま、女性)

年齢	名前	月	日		身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪率 (%)	BMI
18	m	7	31	姉	166.2	72.8	1.81	31.4	26.4
				妹	166.6	66.8	1.75	29.0	24.1
				差	0.4	6.0	0.06	2.4	2.3
		8	6	姉	166.2	72.6	1.81	31.8	26.3
				妹	167.1	66.0	1.74	29.1	23.6
				差	0.9	6.6	0.06	2.7	2.6
20	g	7	25	姉	151.3	51.1	1.45	24.4	22.3
				妹	151.3	50.7	1.45	27.6	22.1
				差	0.0	0.4	0.00	3.2	0.2
		8	1	姉	151.5	54.6	1.50	29.2	23.8
				妹	151.0	50.8	1.45	27.5	22.3
				差	0.5	3.8	0.05	1.7	1.5
21	j	7	29	姉	162.0	41.9	1.41	19.1	16.0
				妹	166.0	48.6	1.52	24.0	17.6
				差	4.0	6.7	0.12	4.9	1.7
		8	4	姉	162.4	42.5	1.42	17.7	16.1
				妹	166.0	48.3	1.52	22.7	17.5
				差	3.6	5.8	0.10	5.0	1.4
21	k	7	29	姉	156.7	49.4	1.47	24.4	20.1
				妹	156.1	51.4	1.49	25.8	21.1
				差	0.6	2.0	0.02	1.4	1.0
		8	18	姉	156.8	50.1	1.48	22.8	20.4
				妹	155.2	52.2	1.50	26.1	21.7
				差	1.6	2.1	0.01	3.3	1.3
21	l	7	31	姉	159.5	42.3	1.39	17.3	16.6
				妹	158.3	44.2	1.41	19.9	17.6
				差	1.2	1.9	0.02	2.6	1.0
		8	16	姉	159.8	41.5	1.39	16.3	16.3
				妹	158.1	45.5	1.43	22.8	18.2
				差	1.7	4.0	0.04	6.5	2.0
23	f	7	21	姉	161.2	45.9	1.46	22.9	17.7
				妹	161.8	44.5	1.44	22.0	17.0
				差	0.6	1.4	0.02	0.9	0.7
		8	10	姉	160.3	46.0	1.45	21.4	17.9
				妹	162.0	44.8	1.45	20.5	17.1
				差	1.7	1.2	0.01	0.9	0.8
25	h	7	27	姉	152.0	35.7	1.25	14.1	15.5
				妹	149.9	38.5	1.28	19.7	17.1
				差	2.1	2.8	0.03	5.6	1.7
		8	6	姉	151.1	36.2	1.26	14.6	15.9
				妹	150.0	39.5	1.30	19.1	17.6
				差	1.1	3.3	0.04	4.5	1.7
25	i	7	27	姉	158.6	41.1	1.37	16.2	16.3
				妹	159.9	43.1	1.41	18.8	16.9
				差	1.3	2.0	0.04	2.6	0.5
		8	5	姉	157.0	41.1	1.36	15.7	16.7
				妹	160.0	43.1	1.41	17.0	16.8
				差	3.0	2.0	0.05	1.3	0.2
26	n	8	13	姉	157.6	43.2	1.40	17.4	17.4
				妹	160.2	44.3	1.43	20.0	17.3
				差	2.6	1.1	0.03	2.6	0.1

第5章 一卵性双生児の同等性の検討

付表 5.3 一卵性双生児の身体的特徴（日進、男性）

年齢	名前	月	日		身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪率 (%)	BMI
15	J	8	7	兄	163.5	44.6	1.45	13.3	16.7
				弟	160.5	43.1	1.41	14.5	16.7
				差	3.0	1.5	0.04	1.2	0.0
		8	8	兄	163.0	43.5	1.43	12.4	16.4
				弟	161.3	42.1	1.40	13.6	16.2
				差	1.7	1.4	0.03	1.2	0.2
		8	20	兄	164.0	43.7	1.44	13.3	16.2
				弟	161.3	41.8	1.40	14.0	16.1
				差	2.7	1.9	0.04	0.7	0.2
17	C	7	29	兄	164.2	52.4	1.56	13.8	19.4
				弟	164.5	52.6	1.56	16.8	19.4
				差	0.3	0.2	0.00	3.0	0.0
		8	10	兄	164.3	51.1	1.54	14.0	18.9
				弟	164.0	50.9	1.54	17.4	18.9
				差	0.3	0.2	0.00	3.4	0.0
		8	11	兄	163.5	52.0	1.55	15.4	19.5
				弟	163.8	52.2	1.56	18.4	19.5
				差	0.3	0.2	0.00	3.0	0.0
20	O	8	19	兄	169.2	57.0	1.65	16.0	19.9
				弟	171.0	57.6	1.67	16.8	19.7
				差	1.8	0.6	0.02	0.8	0.2
		8	20	兄	168.1	57.4	1.65	15.0	20.3
				弟	171.0	57.4	1.67	15.4	19.6
				差	2.9	0.0	0.02	0.4	0.7
		8	23	兄	169.7	57.5	1.66	14.2	20.0
				弟	171.4	58.3	1.68	15.3	19.8
				差	1.7	0.8	0.02	1.1	0.1
20	I	8	5	兄	163.2	63.4	1.68	17.1	23.8
				弟	164.4	59.6	1.65	15.0	22.1
				差	1.2	3.8	0.03	2.1	1.8
		8	10	兄	164.3	65.7	1.72	18.1	24.3
				弟	164.9	61.1	1.67	13.0	22.5
				差	0.6	4.6	0.05	5.1	1.9
22	L	8	9	兄	163.1	46.0	1.47	13.6	17.3
				弟	165.3	45.0	1.47	11.4	16.5
				差	2.2	1.0	0.00	2.2	0.8
		8	12	兄	163.5	46.0	1.47	12.9	17.2
				弟	164.7	44.7	1.46	11.8	16.5
				差	1.2	1.3	0.01	1.1	0.7
22	D	7	29	兄	178.4	60.3	1.76	9.5	18.9
				弟	175.9	64.5	1.79	14.7	20.8
				差	2.5	4.2	0.03	5.2	1.9
		8	19	兄	177.9	61.3	1.77	10.2	19.4
				弟	176.5	64.4	1.79	14.5	20.7
				差	1.4	3.1	0.03	4.3	1.3
23	G	8	2	兄	173.5	64.5	1.77	17.4	21.4
				弟	170.0	55.7	1.64	9.9	19.3
				差	3.5	8.8	0.13	7.5	2.2
		8	6	兄	173.7	63.3	1.76	18.0	21.0
				弟	171.0	55.2	1.64	10.6	18.9
				差	2.7	8.1	0.12	7.4	2.1
23	N	8	16	兄	166.8	60.5	1.68	18.3	21.7
				弟	167.0	52.4	1.58	12.9	18.8
				差	0.2	8.1	0.10	5.4	3.0
		8	18	兄	167.0	60.1	1.67	16.8	21.5
				弟	168.6	54.4	1.62	10.2	19.1
				差	1.6	5.7	0.06	6.6	2.4

付表 5.4 一卵性双生児の身体的特徴（日進、女性）

年齢	名前	月	日		身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	体脂肪率 (%)	BMI
17	P	8	22	姉	151.0	49.0	1.43	28.8	21.5
				妹	152.0	45.7	1.39	25.7	19.8
				差	1.0	3.3	0.04	3.1	1.7
18	M	8	11	姉	171.4	45.4	1.51	17.1	15.5
				妹	174.0	53.1	1.64	24.5	17.5
				差	2.6	7.7	0.12	7.4	2.1
19	F	8	1	姉	160.0	49.8	1.50	21.7	19.5
				妹	159.0	47.2	1.46	18.1	18.7
				差	1.0	2.6	0.04	3.6	0.8
		8	2	姉	160.0	49.8	1.50	21.3	19.5
				妹	159.0	47.0	1.46	18.1	18.6
				差	1.0	2.8	0.04	3.2	0.9
		8	6	姉	160.7	49.4	1.50	20.5	19.1
				妹	160.0	47.4	1.47	15.8	18.5
				差	0.7	2.0	0.03	4.7	0.6
20	E	7	29	姉	157.8	46.3	1.44	20.8	18.6
				妹	156.5	42.9	1.38	18.3	17.5
				差	1.3	3.4	0.05	2.5	1.1
		8	1	姉	156.9	44.8	1.41	20.8	18.2
				妹	156.0	42.1	1.37	18.3	17.3
				差	0.9	2.7	0.04	2.5	0.9
		8	21	姉	157.0	44.6	1.41	18.1	18.1
				妹	156.3	42.7	1.38	17.6	17.5
				差	0.7	1.9	0.03	0.5	0.6
21	H	8	5	姉	152.0	48.1	1.42	23.3	20.8
				妹	151.2	47.9	1.41	24.6	21.0
				差	0.8	0.2	0.01	1.3	0.1
		8	16	姉	152.0	48.6	1.43	23.4	21.0
				妹	151.0	47.3	1.41	25.4	20.7
				差	1.0	1.3	0.02	2.0	0.3
		8	18	姉	151.0	48.1	1.42	23.2	21.1
				妹	151.5	47.1	1.41	23.0	20.5
				差	0.5	1.0	0.01	0.2	0.6
24	A	7	23	姉	170.0	51.3	1.59	20.4	17.8
				妹	171.7	52.5	1.61	21.1	17.8
				差	1.7	1.2	0.03	0.7	0.1
		7	24	姉	169.9	51.8	1.59	20.2	17.9
				妹	171.7	52.9	1.62	20.3	17.9
				差	1.8	1.1	0.03	0.1	0.0
		8	8	姉	170.0	51.0	1.58	21.6	17.6
				妹	171.5	53.1	1.62	20.3	18.1
				差	1.5	2.1	0.04	1.3	0.4
25	B	7	24	姉	155.7	46.5	1.43	22.8	19.2
				妹	156.0	48.0	1.45	27.6	19.7
				差	0.3	1.5	0.02	4.8	0.5
28	K	8	7	姉	154.0	46.9	1.42	23.5	19.8
				妹	151.0	48.8	1.42	26.2	21.4
				差	3.0	1.9	0.00	2.7	1.6
		8	21	姉	154.5	46.4	1.42	23.4	19.4
				妹	151.5	48.4	1.42	26.8	21.1
				差	3.0	2.0	0.01	3.4	1.6
		8	22	姉	154.4	46.9	1.42	25.0	19.7
				妹	151.5	48.4	1.42	27.0	21.1
				差	2.9	1.5	0.00	2.0	1.4

## 第 5 章 一卵性双生児の同等性の検討

## 第6章 ドライミスト噴霧による人体の快適性の改善

## 6.1. 屋外空間での実験

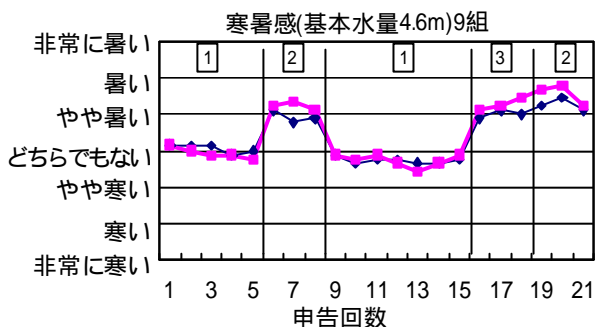
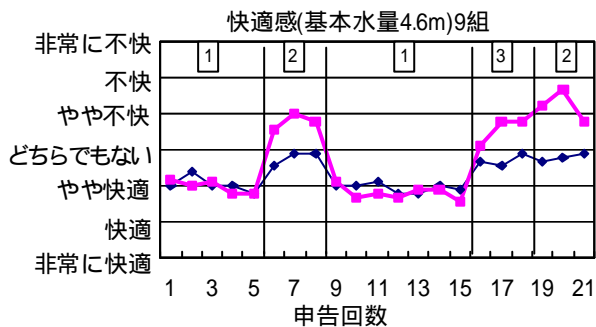
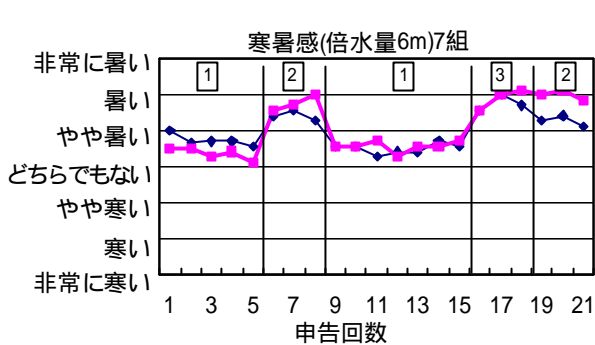
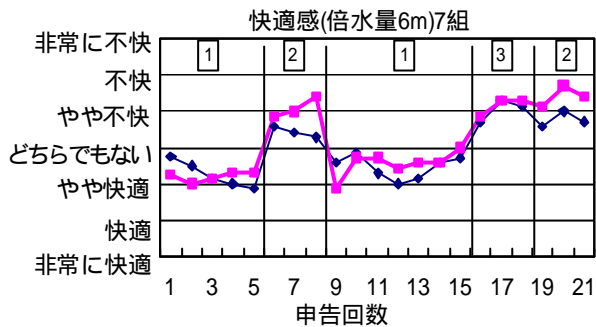
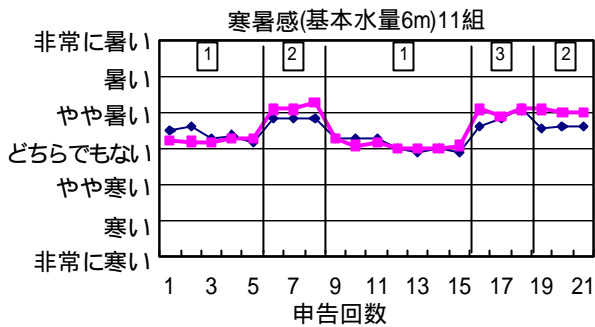
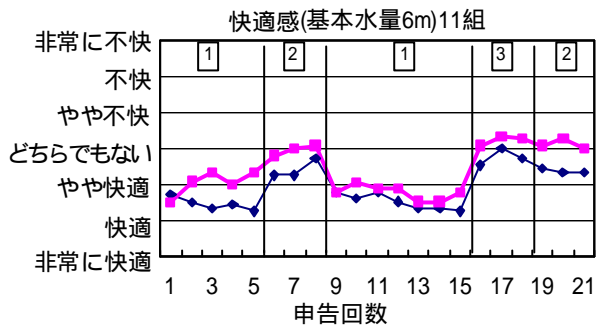
### 6.1.1. 心理量測定結果

心理量結果延べ 27 組分の快適感・寒暑感・乾湿感・発汗感の平均をミスト噴霧条件別に図 6.1.1 から図 6.1.3 に示す。一卵性双生児のうち、先にミスト区画内に入った方をグループ A、もう一方をグループ B と分類し、噴霧条件毎に各グループの申告値を平均したものである。

快適感について、ミスト内、ミスト外に関わらずほとんどの場合でグループ B がグループ A よりも不快側の申告をしている。安静室内においてもしばしばその傾向は見られる。寒暑感、乾湿感、気流感、発汗感については、全体的にグループ間の差が小さいようである。日射条件については 2 人の位置で大きな差がないと考えられるが、基本水量 4.6m 条件の時に日射感でグループ間の差が非常に大きくなっている。

二人がミスト内外を入れ替わる時（申告回数第 16～21 回）に着目すると、ミスト外からミスト内に移動するグループ A では申告が快適側、湿っている側に変化し、反対にミスト内からミスト外へ移動するグループ B では申告が不快側、乾燥している側に変化していることが確認できる。寒暑感、発汗感においても、同様にグループ A では寒い側、汗をかいていない側に変化し、グループ B では暑い側、汗で濡れている側に変化する傾向が見られるが、異なる場合もあり明確ではない。

基本水量 6m 条件の時の屋外の申告は他の条件に比べ快適側、寒い側の申告であるが、その時の屋外気温が低かったためだと思われる（3.2 節参照）。



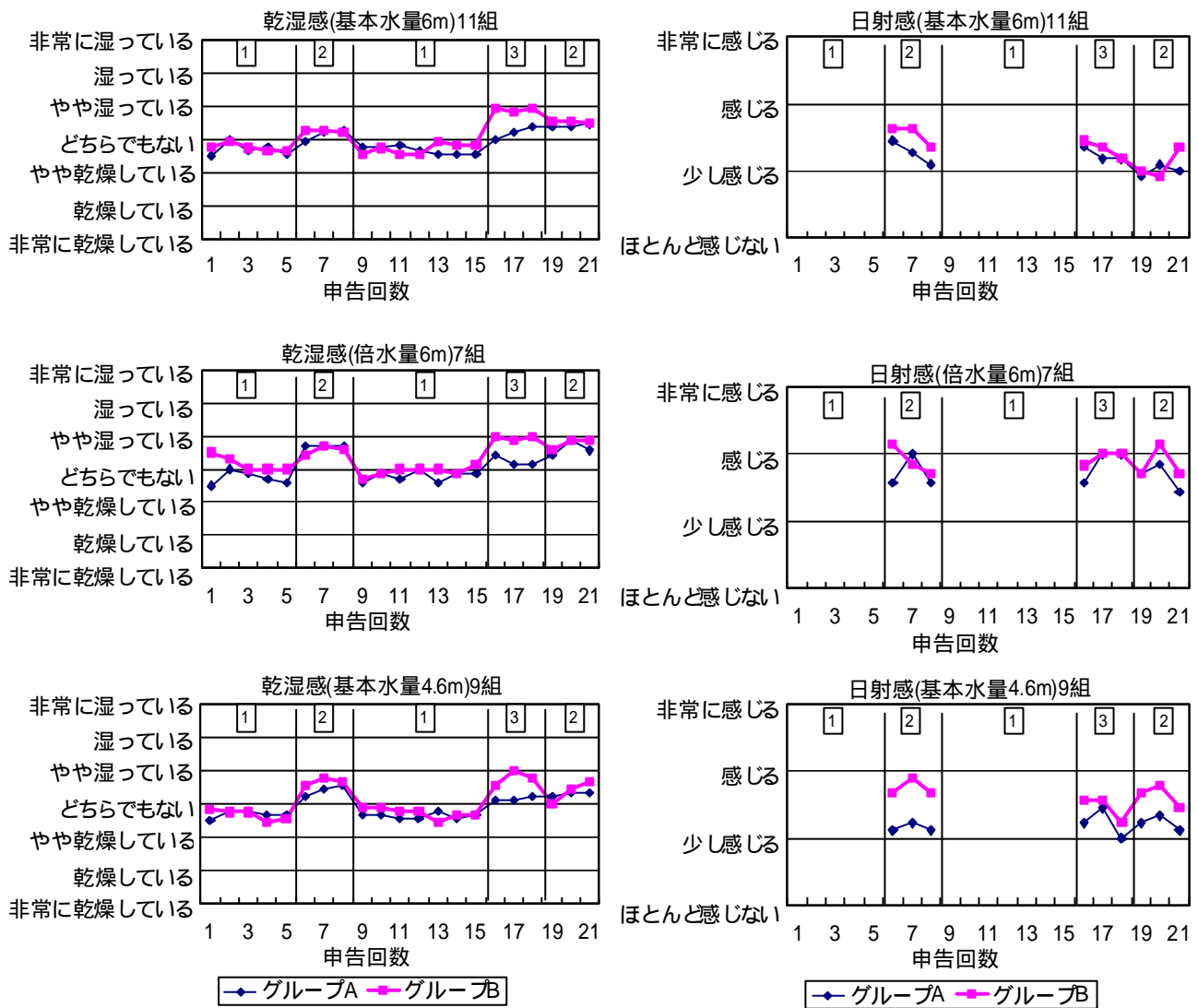
◆ グループA ▲ グループB

◆ グループA ▲ グループB

①: 安静室、②: グループ A がミスト内、B がミスト外、  
 ③: グループ B がミスト内、A がミスト外

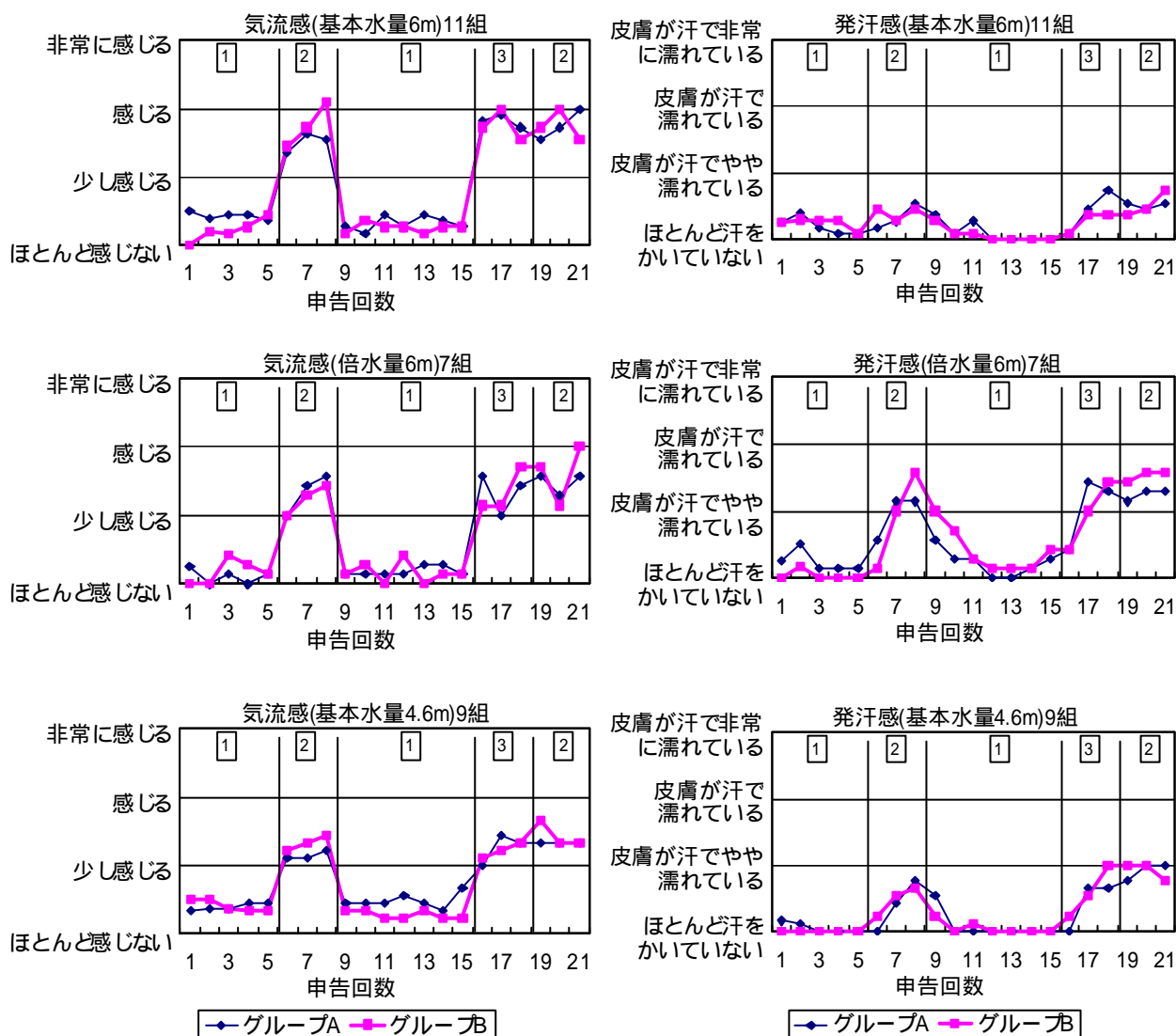
図 6.1.1 快適感、寒暑感申告の平均値(ささしま)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善



①: 安静室、②: グループ A がミスト内、B がミスト外、  
 ③: グループ B がミスト内、A がミスト外

図 6.1.2 乾湿感、日射感申告の平均値(ささしま)



①: 安静室、②: グループ A がミスト内、B がミスト外、  
 ③: グループ B がミスト内、A がミスト外

図 6.1.3 気流感、発汗感申告の平均値(ささしま)

6.1.2. 温熱環境指標によるミスト内外の比較

図 6.1.4 には、横軸にミスト外、縦軸にミスト内の値をとり、ミスト内外の熱電対温度、相対湿度、標準新有効温度 SET\*、湿球グローブ温度 WBGT、不快指数 DI の関係を示す。図中の式はその回帰式を示す。

熱電対温度では、0.7 程度（ミスト外熱電対温度 = 35 ）ミスト内の値が小さくなる。相対湿度は、2.7% 程度（ミスト外相対湿度 = 60% ）ミスト内の値が大きくなる。その他、SET\*では 0.2 程度（ミスト外 SET\* = 35 ）、WBGT では 0.5 程度（ミスト外 WBGT = 30 ）、DI では 1.2 ポイント程度（ミスト外 DI = 80 ）ミスト内の方が値が小さくなり、温熱環境が改善していることが確認できる。ただし、その改善量はどの指標についても僅かである。

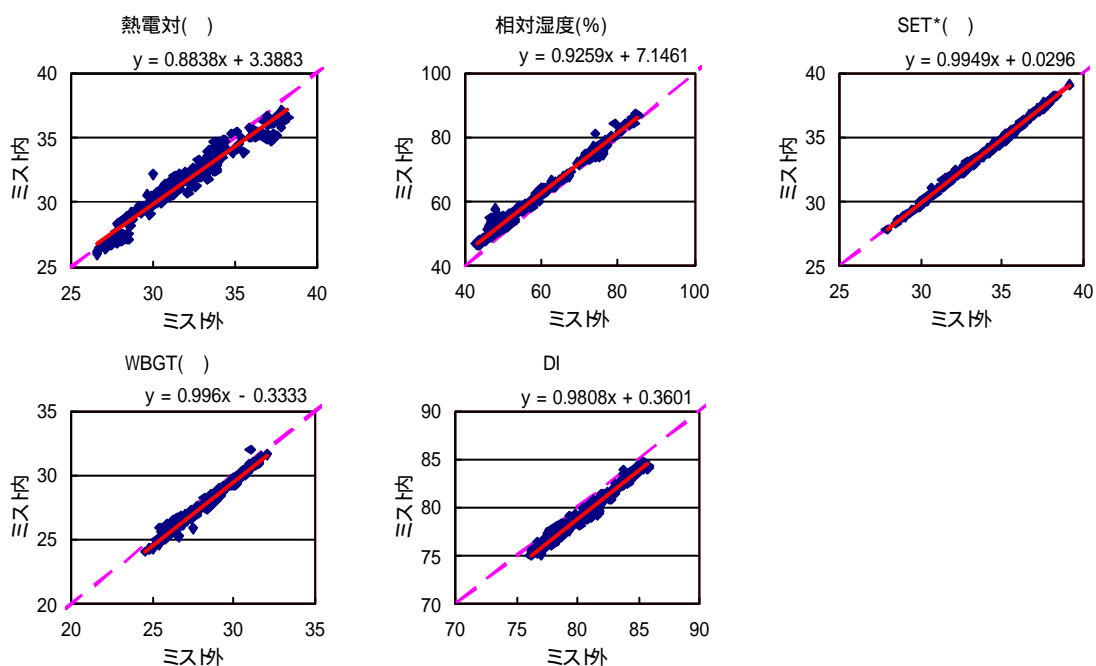


図 6.1.4 物理量・温熱環境指標によるミスト内外の比較（ささしま）

### 6.1.3. ミスト内外での心理量の関係

図 6.1.5 は各心理申告のミスト内外の関係で、全ての実験、全ての屋外での申告を集計した結果である。横軸にミスト外にいた一卵性双生児の一方の申告を、縦軸に双子のもう一方の申告をとり、各円の大きさは組数を示している。図中に示された数字は、点線の上下の領域における申告数の申告数全体に対する割合を示している。快適感、日射感では点線より右下の領域の方が、寒暑感では左上の領域の方が割合が高くなっており、ミスト外の方がミスト内よりも不快側、暑い側の申告が多くなっており、ミスト噴霧の効果ではないかと思われる。日射量はミスト内外で大きな差があるとは考えられないが、日射感で大きく差が出ている。その原因として、寒暑感と日射感に密接な相関関係があり、寒暑感が暑くない側であると判断した時、日射感も弱めに判断する可能性が考えられる。また、気流感、発汗感についてはミストの内外でほとんど変わらない申告であることが確認できる。ただし、本検討は一卵性双生児が全く同じ反応をする時に最も意味があるものであり、5章における検討より全ての双子の心理反応が同等であるとはいえなかったため、申告の個人差の影響が現れていると考えられるが、全体的な傾向は示されていると考える。

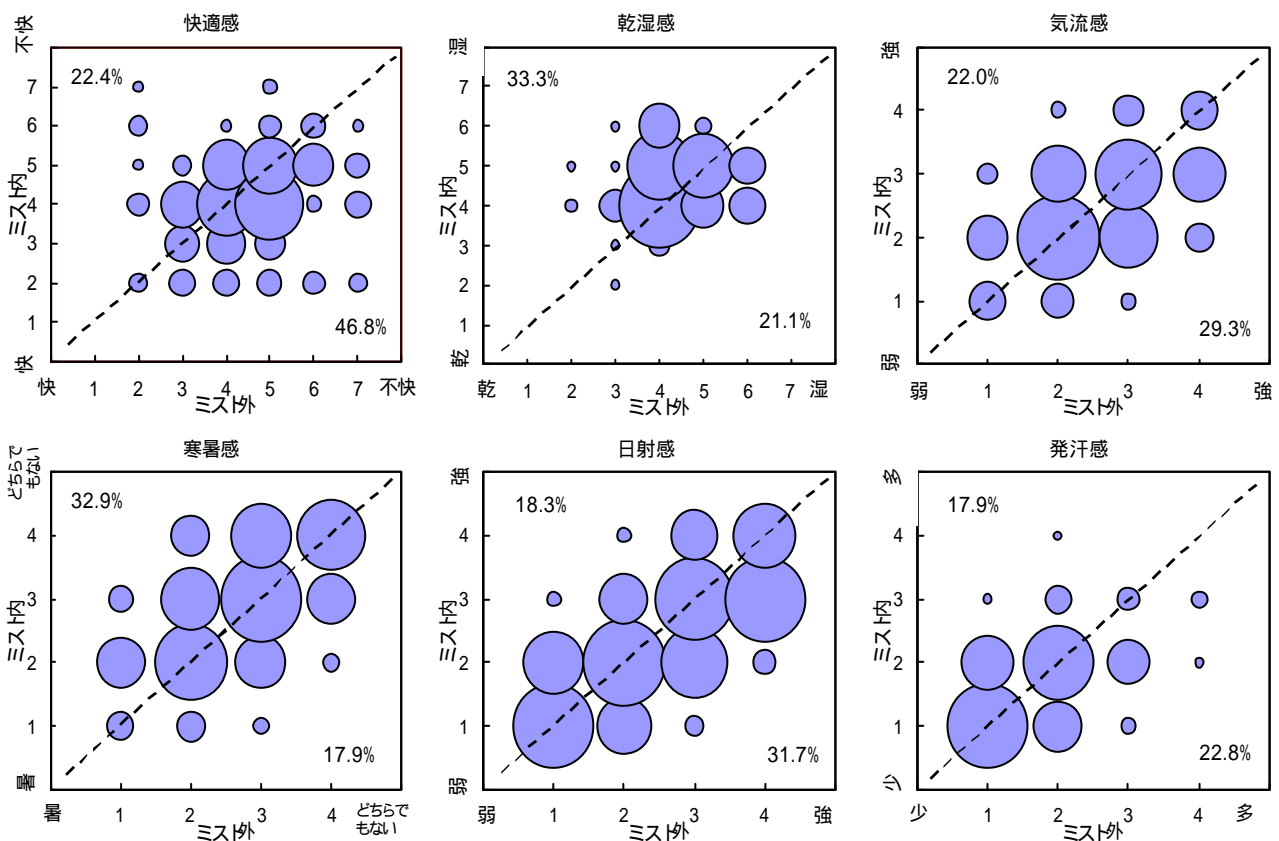
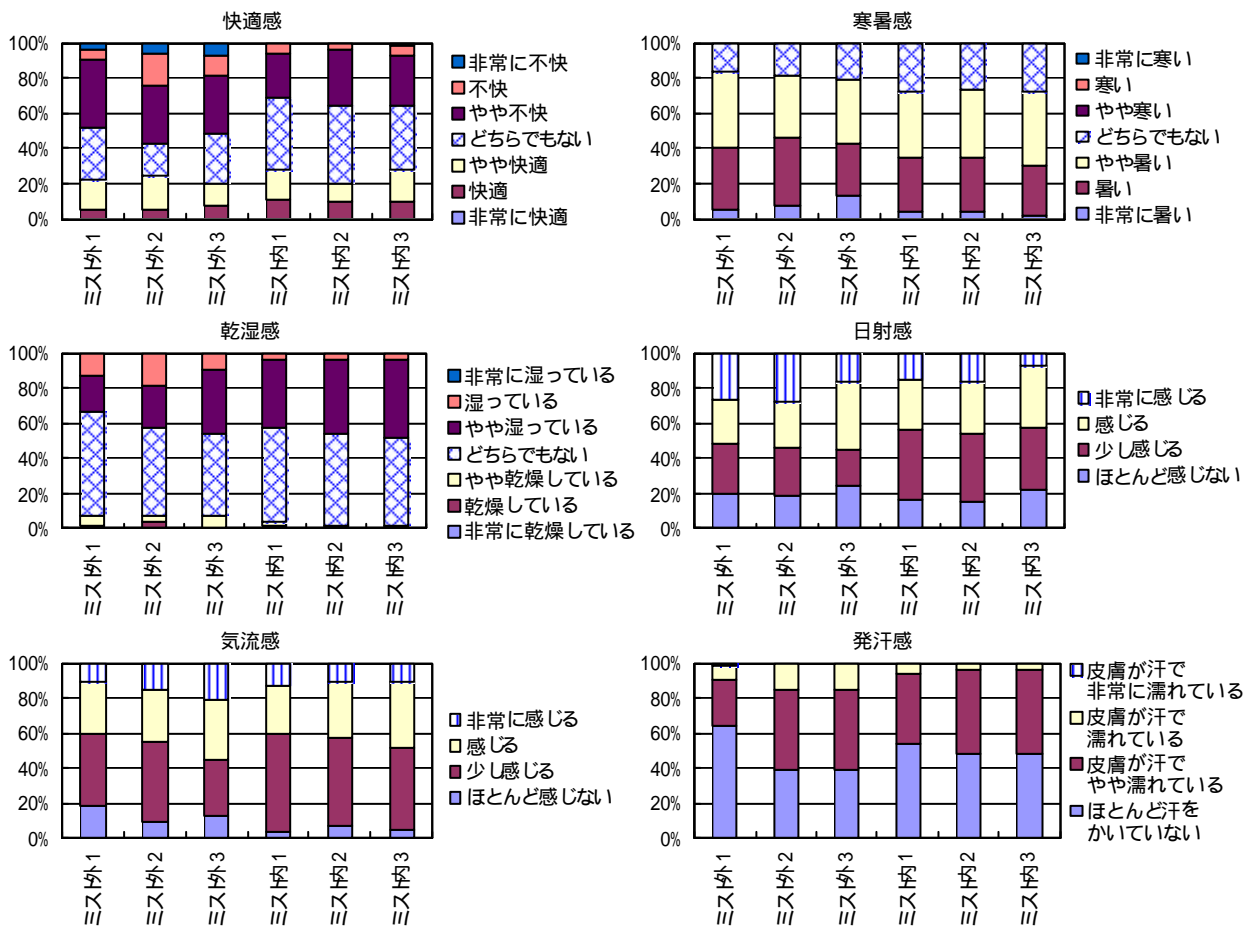


図 6.1.5 ミスト内外の心理量の関係 (ささしま)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

図 6.1.6 は、ミスト内外の心理申告値の割合を示す。データは屋外移動直後（申告第 6、16 回目、図 2.2.8 実験プロトコル参照）10 分後（申告第 7、17 回目）20 分後（申告第 8、18 回目）の心理申告結果の割合であり、時間別に示す。快適感、寒暑感においてミスト外の方が、「不快」「暑い」申告割合が高くなっており、ミスト噴霧の効果であると考えられる。ただし、ミスト内外の環境条件はほとんど変わらないにも関わらず（3.2 節参照）申告の差が明確に出ておりミストを噴霧しているという認識により、快適性が向上する傾向が現れたのではないかと思われる。また、ミストを噴霧すると時折冷たい空気の塊が下降してくることがある。この下降気流は非常に狭い範囲でしか発生せず、また一時的なものであり、物理量測定では直接的にはあらわれない。被験者付近でこの下降気流が発生した場合、その快適性はいくらか向上すると思われる、その効果があらわれているのかもしれない。ただし、本実験ではその効果を明らかにするのは不十分であり、それらを明らかにするには、冷たい下降気流の測定や被験者に下降気流を感じたかなどを問う必要があると思われる。

時間的申告の変動については、気流、日射は変動が大きく申告がばらけるのは当然のことであり、発汗感屋外いる時間が長くなるほど発汗が多くなっているとわかる。快適感、寒暑感についても屋外滞在時間が長くなると「不快」や「暑い」申告が増すと思われたが、20 分間ではそのような傾向は確認できない。



1：屋外移動直後 2：屋外 10 分後 3：屋外 20 分後

図 6.1.6 ミスト内外の心理申告の比較（ささしま）

#### 6.1.4. 物理量と心理量の関係

図 6.1.7 および図 6.1.8 には、ミスト内外別に物理量と心理申告値の結果を示す。ここでの 1 点のデータは屋外に出て 10 分後の申告（申告第 7、17 回目、図 2.2.8 実験プロトコル参照）とその時の物理量である。その際のデータを用いたのは、SET\* 算出に用いるグローブ温度の測定は移動直後、10 分後であり、移動直後は前の環境の影響を強く受けると考えられるためである。第 7 回目にミスト内にいた被験者は第 17 回目にはミスト外にいるため、各被験者につきミスト外とミスト内のデータが実験に参加した回数と同じだけある。

快適感と SET\* の関係では、同じ SET\* であってもミスト無の方が不快側の申告であるといえる。寒暑感においても、暑い環境では同じ SET\* でミスト無の方が暑い側の申告である。同じ環境であってもミスト噴霧している方が快適性が向上しており、ミスト噴霧しているという認識により「快適」「暑くない」という方向へ心理が動いたのではないかと考えられる。

乾湿感については SET\* との関係は見られず、相対湿度ともほとんど関係が見られない。

気流感は、SET\* と風速のどちらの物理量との関係でもミスト内外の差がほとんど見られない。特に風速との関係ではほぼ同一直線となる。

日射感 は SET\* ではミスト内外の差があまり見られないが、日射量との関係では差が見られる。特に日射量が多いときにミスト内の方が日射を弱く申告していることが明白であり、「暑くない」と感じる心の動きに伴い日射も「強くない」と思うことがあるのではないかと考えられる。

発汗感 と SET\* の関係では、暑い環境においてミスト無の方が汗で皮膚が濡れていないという申告に近いことがわかる。申告値であるため実際に発汗量が多いか否かは不明ではあるが、もし実際に発汗量が少ないのであれば「快適」「暑くない」と思う心理が生理量にも影響を及ぼしたという可能性がうまれる。実際には発汗量が変わらないのであれば、「汗をあまりかいていない」という方向へ意識に影響を与えたと思われる。

決定係数に着目すると、ミスト内よりもミスト外の方が高くなっている。ミスト内では上記のミストを噴霧している認識による心理量の変化が生まれ、通常の温熱環境評価とは少し違う軸で評価を行っているのではないかと考えられる。また、通常の評価とのずれは皆一律ではなく、ずれ方にも個人差が大きくあるのではないかとと思われる。

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

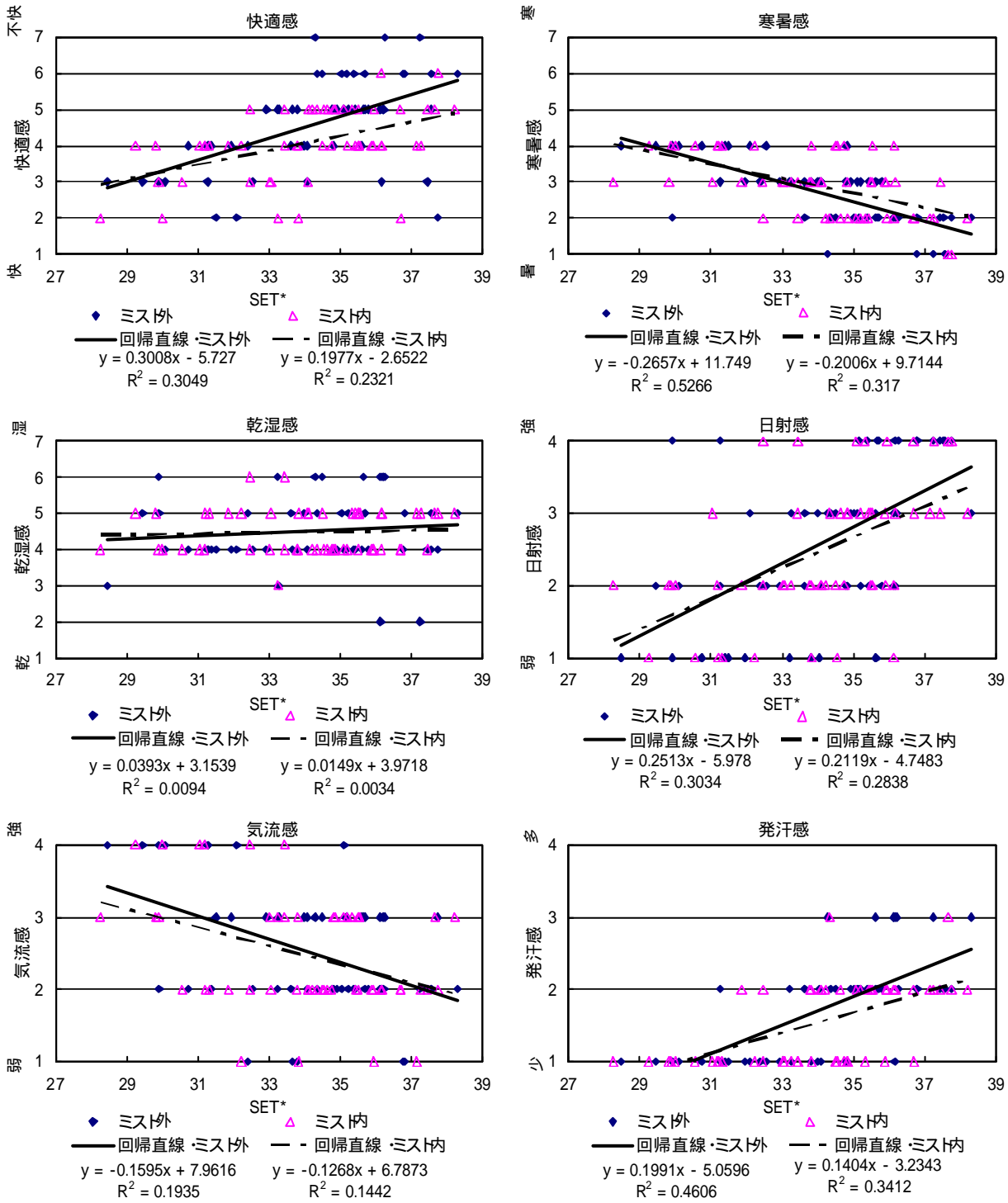


図 6.1.7 物理量と心理申告の関係(1) (ささしま)

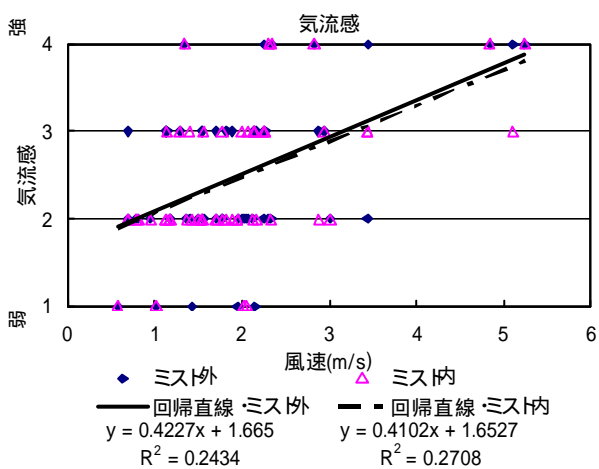
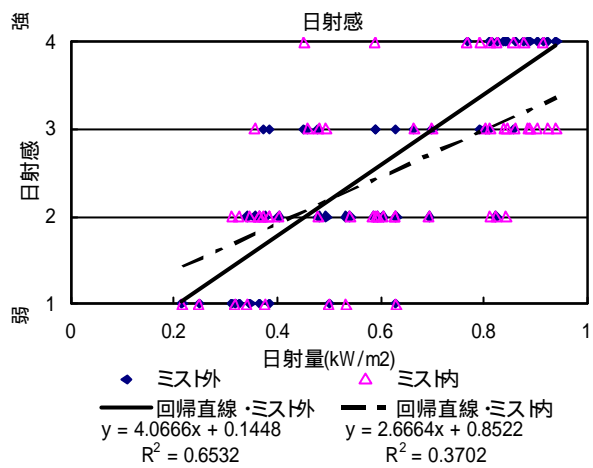
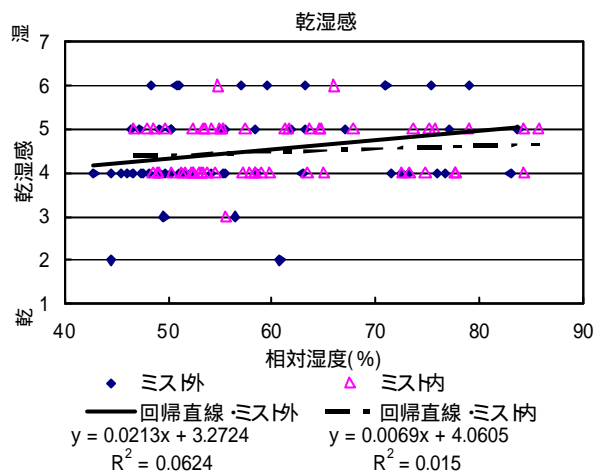


図 6.1.8 物理量と心理申告の関係(2) (ささしま)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

6.2. 半屋外空間での実験

6.2.1. 心理量測定結果

心理量結果延べ 35 組分の快適感・寒暑感・乾湿感・発汗感の平均を図 6.2.1 に示す。ミスト有にしている方が、快適感、寒暑感、乾湿感、発汗感は快適側、寒い側、湿っている側、発汗が少ない側に申告が多くなっており、ミストの噴霧の効果であると思われる。

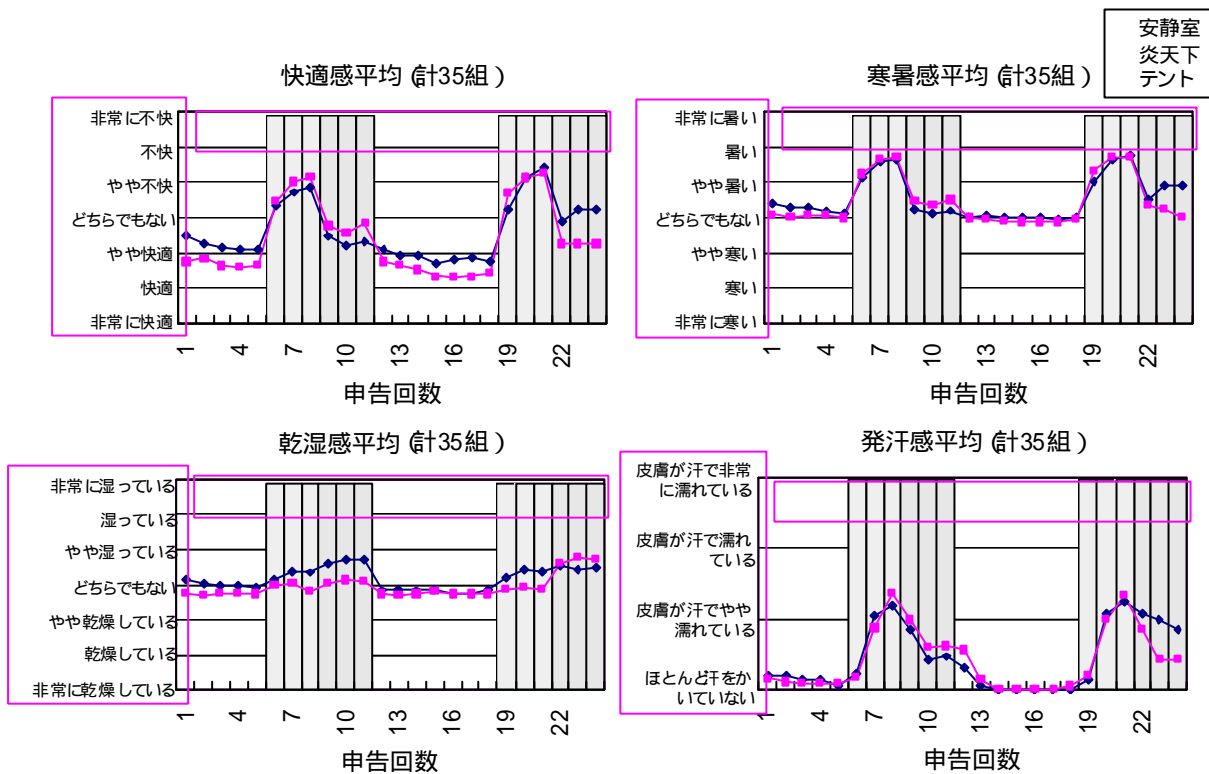


図 6.2.1 心理申告の平均値 (日進)

## 6.2.2. 温熱環境指標によるミスト有無の比較

図 6.2.2 には、横軸にミスト無、縦軸にミスト有の値をとり、ミスト有外の熱電対温度、相対湿度、標準新有効温度 SET\*、湿球グローブ温度 WBGT、不快指数 DI の関係を示す。図中の式はその回帰式を示す。

熱電対温度では、2.5 程度（ミスト無熱電対温度 = 35）ミスト有の値が小さくなる。相対湿度は、7.2% 程度（ミスト無相対湿度 = 60%）ミスト有の値が大きくなる。その他、SET\*では 1.2 程度（ミスト無 SET\* = 35）、WBGT では 1.4 程度（ミスト無 WBGT = 30）、DI では 1.2 ポイント程度（ミスト無 DI = 80）ミスト有の方が値が小さくなり、温熱環境が改善していることが確認できる。その改善量は屋外での結果と比較すると大きくなっている。

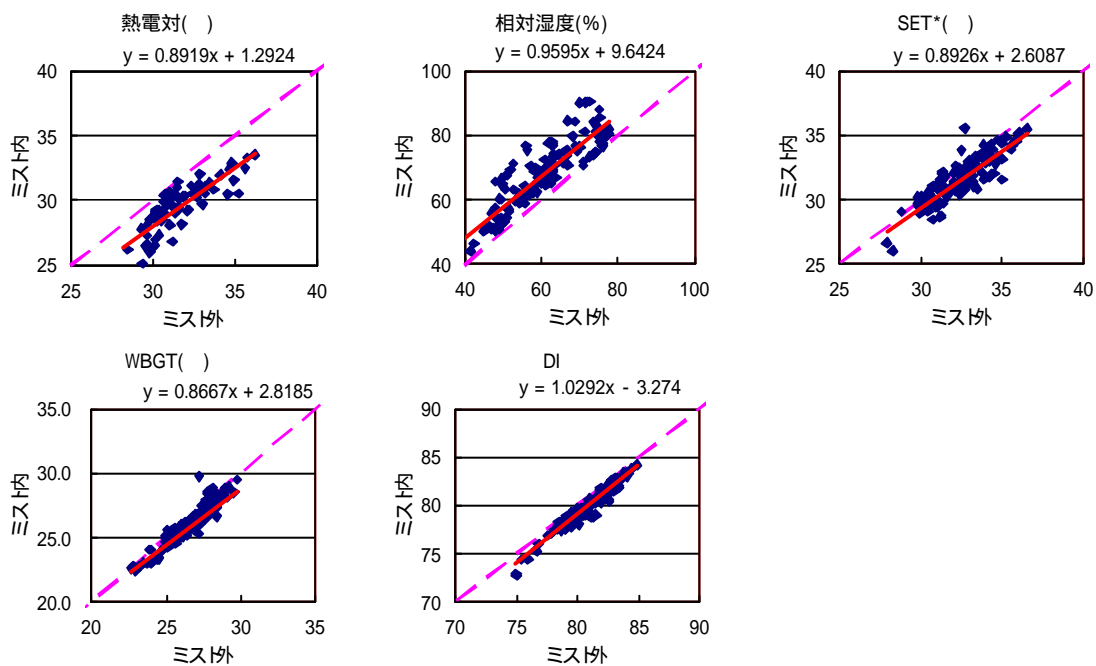
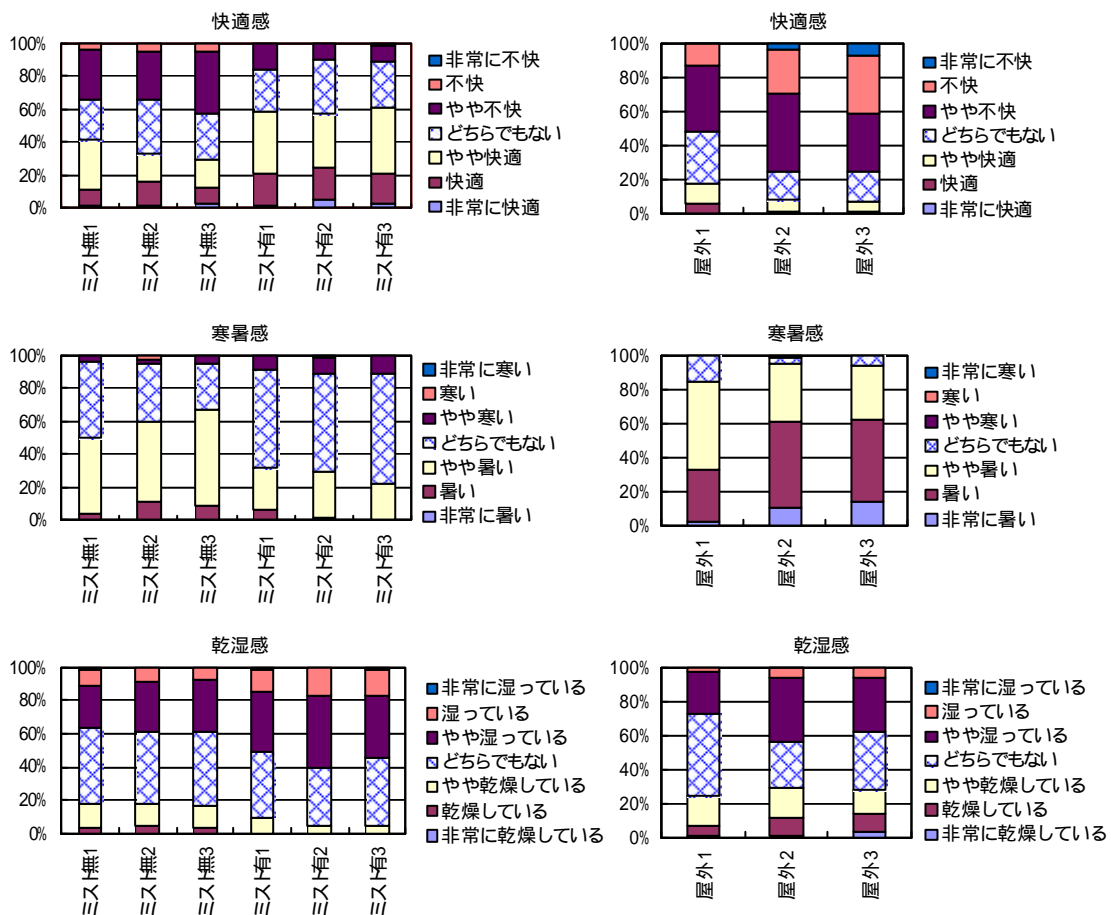


図 6.2.2 物理量・温熱環境指標によるミスト内外の比較（日進）

6.2.3. ミスト有無での心理量の比較

図 6.2.3 は、ミスト有無テントおよび炎天下の心理申告値の割合を示す。データは屋外移動直後（申告第 9、22 回目、図 2.3.10 実験プロトコル参照）、10 分後（申告第 10、23 回目）、20 分後（申告第 11、24 回目）の心理申告結果の割合であり、時間別に示す。快適感、寒暑感においてミスト無の方が、「不快」「やや暑い」申告割合が高くなっており、ミスト噴霧の効果があられたと考えられる。また、ミスト無よりも炎天下の方が「不快」「暑い」申告がさらに多いことが確認できる。乾湿感については、炎天下、ミスト無、ミスト有の順で「やや湿っている」申告割合が増加している。これらの申告は物理条件の変化から予測出来るとおりである。

時間経過による申告の変化に着目すると、時間経過とともに炎天下、ミスト無では「やや不快」「やや暑い」申告が増加し、ミスト有では反対に減少している。不快な環境であれば、炎天下やミスト無での結果のように不快感が増すことが予測されるが、ミスト有では快適性が増しており、ミスト有テントは十分に快適な空間であったのではないかと予測される。



1：屋外移動直後 2：屋外 10 分後 3：屋外 20 分後

図 6.2.3 ミスト内外の心理申告の比較（日進）

#### 6.2.4. 物理量と心理量の関係

図 6.2.4 には、ミスト内外別に物理量と心理申告値の結果を示す。ここでの 1 点のデータは屋外に出て 10 分後の心理申告（申告第 10、23 回目、図 2.3.10 実験プロトコル参照）とその時の物理量である。

ミスト有の SET\* はミスト無よりも 1~2 低い値を取っている。快適感と SET\* の関係では、屋外空間の結果と同様に、同じ SET\* であってもミスト無の方が不快側の申告であるといえる。寒暑感においても、暑い環境では同じ SET\* でミスト無の方が暑い側の申告である。乾湿感に関しては、同じ SET\*、同じ相対湿度でミスト有の方が湿っている側の申告となっている。気流感については、SET\* との関係でその回帰直線がほぼ一直線上にあり、風速との関係では、同じ風速でミスト有の方がやや風が強い側の申告結果となった。発汗感と SET\* の関係では、暑い環境においてミスト無の方が汗で皮膚が濡れていないという申告に近いことがわかる。

同じ環境であってもミスト噴霧している方が快適性が向上しており、ミスト噴霧しているという認識により「快適」「暑くない」「湿っている」という方向へ心理が動いたのではないかと考えられる。発汗については、実際の発汗量が異なるのか、感覚的に異なるだけであるかは定かではないが、実際に生理量または心理量が改善しているといえる。

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

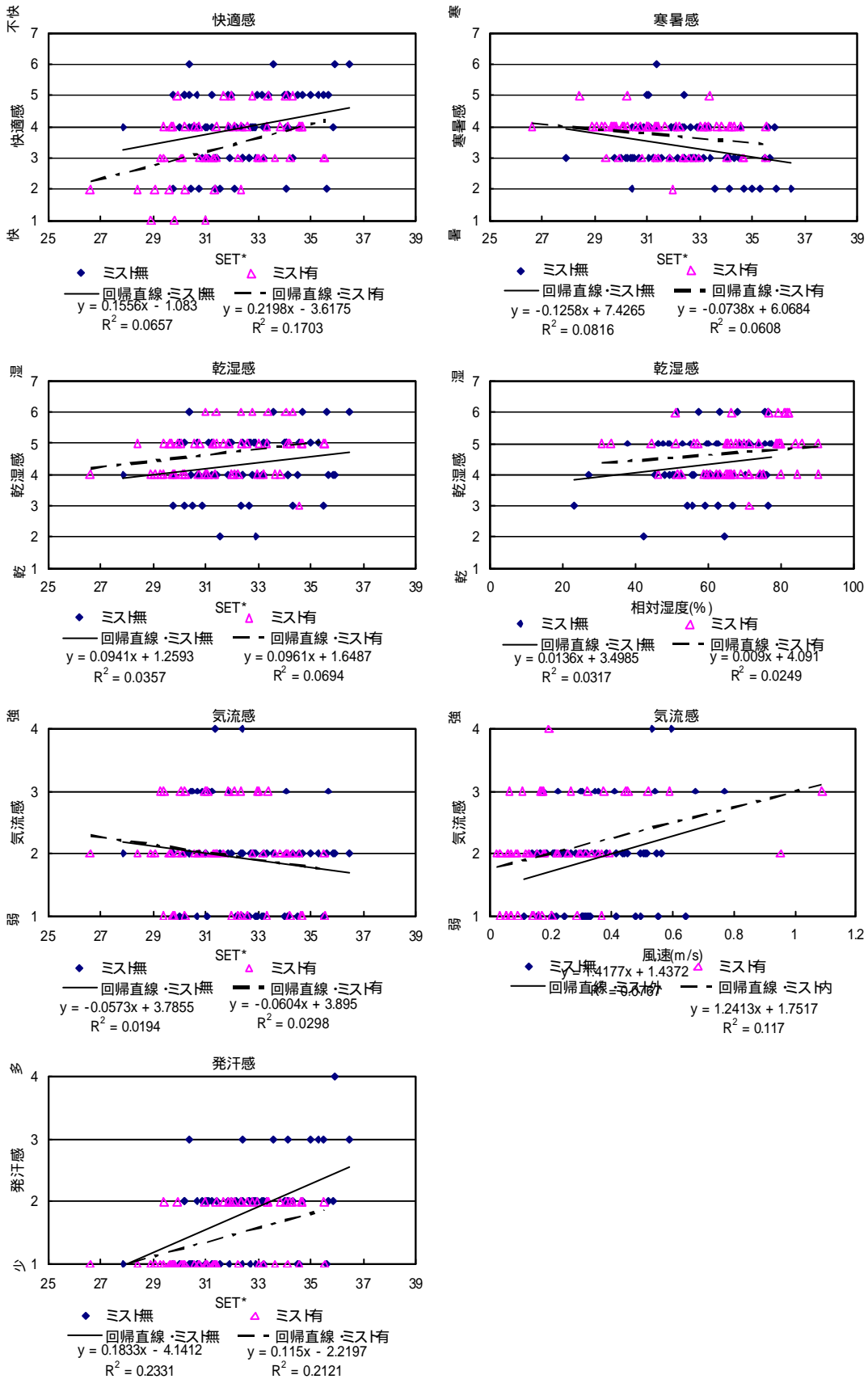


図 6.2.4 物理量と心理申告の関係 (日進)

### 6.3. 万博会場でのアンケート調査

#### 6.3.1. 対象者属性

アンケートはウェイティングスペースに並んでいる人に依頼し、各日の回答人数は図 6.3.1 に示すとおりで、合計 1,424 人であった。図 6.3.2 に対象者属性を示す。対象者の属性は各日で大きな差は見られなかった。並んでいる人は親子連れが多く、回答者の年代はその親と思われる 30 代から 40 代が多く、男女比は、およそ 4:5 と女性の方がやや多い。「汗をよくかきますか」という問いに関しては「よく汗をかく」が全体の 8 割近くを占めており、「普段屋外で活動することはよくありますか」という問いに関しては「週に 5 時間以下」が全体の約 5 割という結果である。住まい、出身地に関しては、愛知県が非常に多い割合を占め、全体の 9 割程度が、関東・中部・近畿地方の人である。並んでいる最中の飲食については、「冷たいものを口にした」人が全体の 9 割程度を占めている。また、着衣については半袖に長ズボン、半ズボン又はスカートという服装が多い。ただし、着衣についての回答は、「該当するものすべてに印をつけて下さい」という質問形式としたが、通常身に着けているものが足りない場合が多く、無効票が 30% 程度と非常に多くなっている。

図 6.3.3、図 6.3.4 には、それぞれ年齢別、男女別の対象者属性を示す。40 代、60 代で男性の割合がやや多い。男性の方が汗をかきやすいという認識の人が多く、屋外で活動することが多いという回答は男性で、また年齢では 10 代の人で多くなっている。居住地域、出身地域に関しては、50~60 代では愛知および中部地方が 60% と他の年代よりも多い。着衣に関しては、若い人ほど、また男性の方が長袖や長ズボンの人の割合が低くなっている。飲食については、年齢および性別で特徴は見られない。

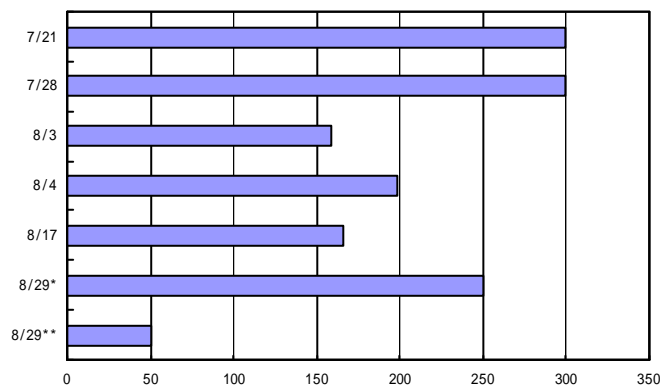


図 6.3.1 サンプル数 (合計 1,424) (万博)

第6章 ドライミストによる人体の快適性の改善

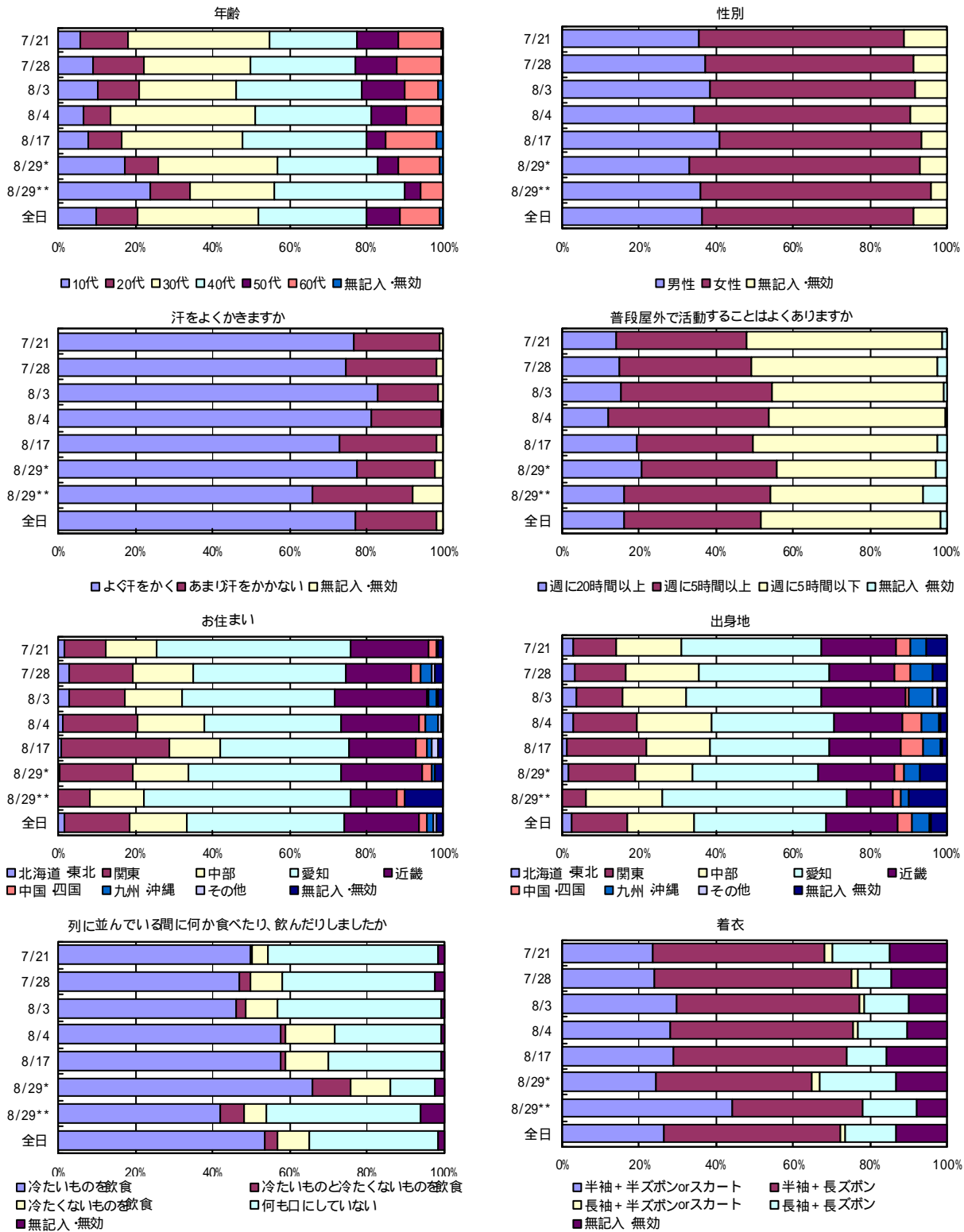
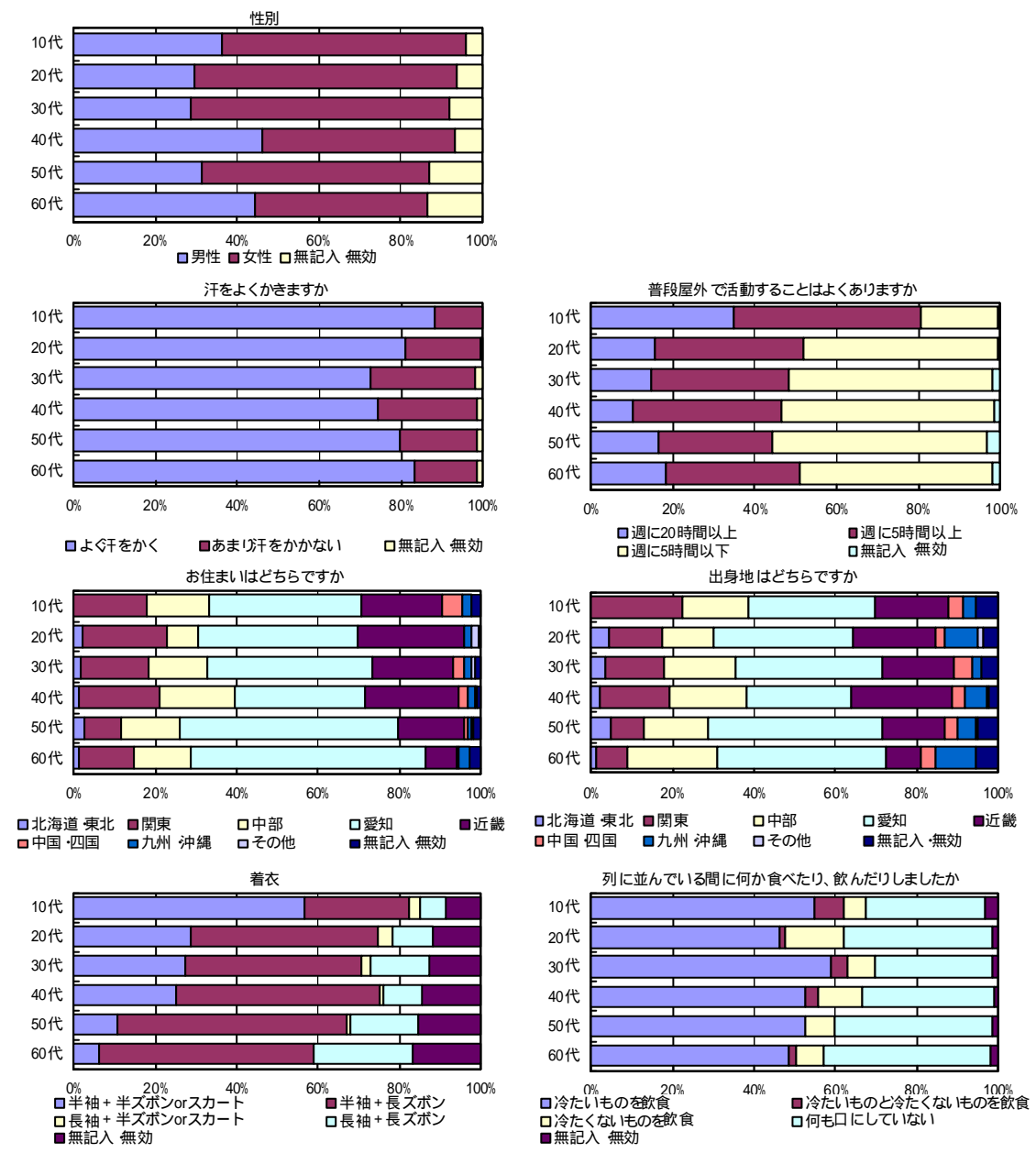


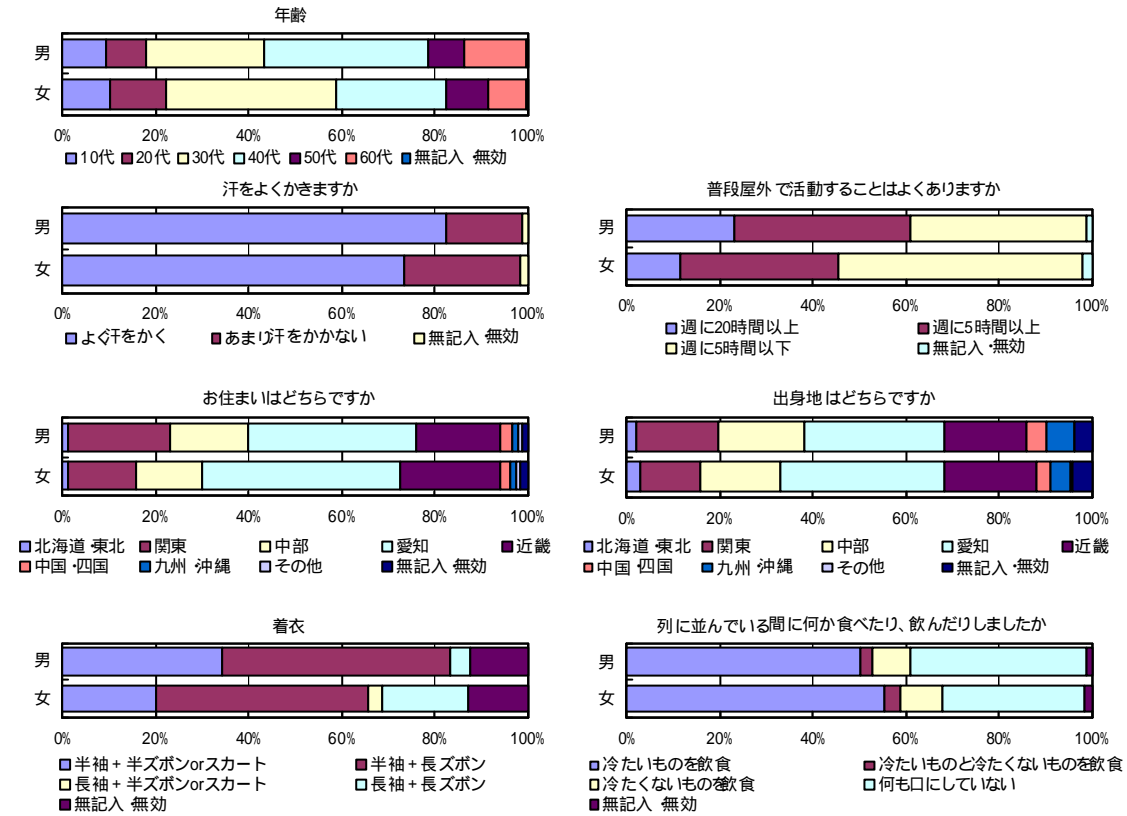
図 6.3.2 対象者属性（万博）



	10代	20代	30代	40代	50代	60代	無効 無記入
サンプル数	129	143	439	381	122	149	11

図 6.3.3 年齢と対象者属性の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善



	男	女	無効・無記入
サンプル数	497	758	119

図 6.3.4 性別と対象者属性の関係 (万博)

### 6.3.2. ウェイティングスペース内での温熱感覚

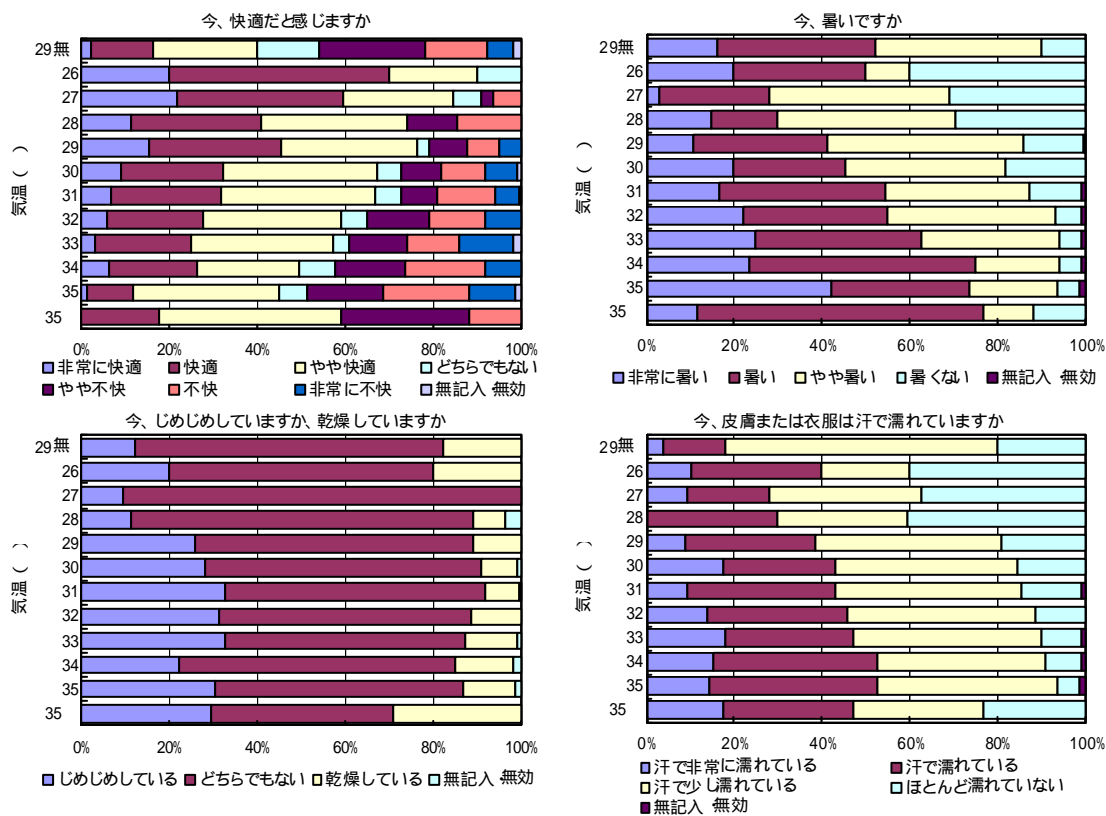
#### < 温熱環境と温熱感覚 >

ミスト環境下での温熱環境条件と温熱感覚の関係を明らかにするために、ウェイティングスペース内および屋外での温熱環境条件と温熱感覚の関係を示す。また、比較としてミスト無のデータを各図の一番上に示す。ここで、温熱環境条件とは、ウェイティングスペース中央 1.6m 高さで測定したおんどりのデータおよびエコクラブのデータを示す。8月17日の結果は、おんどりデータ欠測のため図には示されない。

#### (1) 気温

図 6.3.5 には、気温と温熱感覚の関係を示す。ミスト環境下であっても、通常と変わらず気温の上昇に伴い「不快」「暑い」「汗で濡れている」側申告の割合が増加していることが確認できる。

ミスト無の回答と同じ気温域（気温 28~29）のミスト有の回答を比較すると、同じ気温であっても、ミスト有の方が「快適」側が多く、「暑い」側が少ない。発汗に関しては「濡れている」申告が少ないが、屋外環境の影響が大きいためだと考えられる（後述）。



\* ~29無は、ミスト無での結果である。気温は28~29であった。

\* データ無は、8月17日おんどりデータ欠測のため。

気温 ( )	~29無	~26	~27	~28	~29	~30	~31	~32	~33	~34	~35	35~	データ無
サンプル数	50	10	32	27	156	121	179	260	231	99	76	17	166

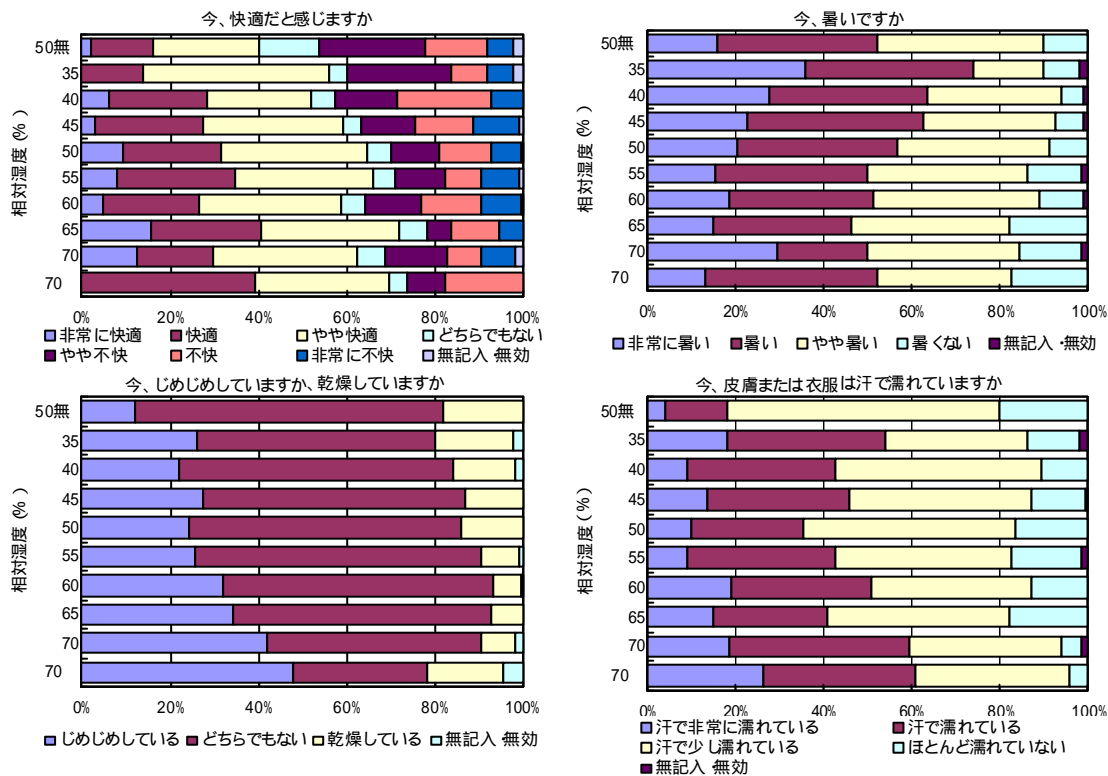
図 6.3.5 気温と温熱感覚の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

(2)相対湿度

図 6.3.6 には、相対湿度と温熱感覚の関係を示す。相対湿度の上昇に伴い「じめじめしている」申告の割合が増加していることが確認できる。また、「快適」「暑い」側申告が増加しているがこれは高い相対湿度の時、気温が低いためであると考えられる。

ミスト無の回答と同じ相対湿度域(相対湿度 45～50%)のミスト有の回答を比較すると、「快適」「じめじめしている」側申告が少なくなっている。



\* ~50無は、ミスト無での結果である。相対湿度は45～50%であった。

\* データ無は、8月17日おんどりデータ欠測のため。

相対湿度 (%)	~50無	~35	~40	~45	~50	~55	~60	~65	~70	70~	データ無
サンプル数	50	50	113	177	240	206	207	128	64	23	166

図 6.3.6 相対湿度と温熱感覚の関係 (万博)

### (3)不快指数 DI

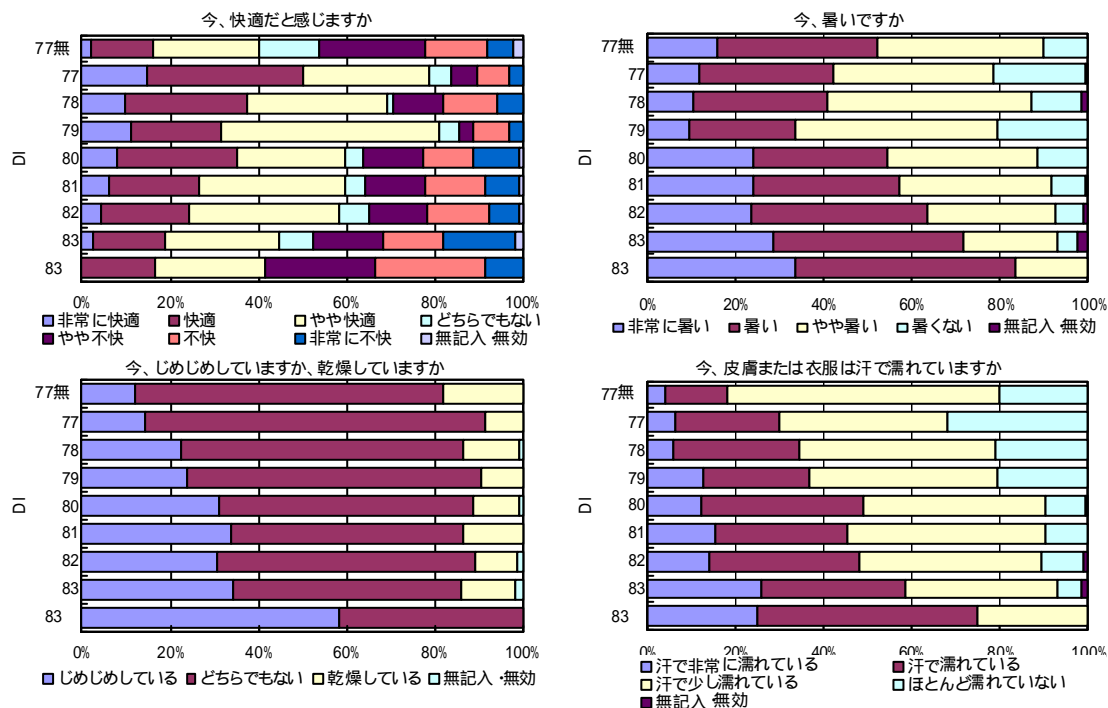
図 6.3.7 には、不快指数 DI\*と温熱感覚の関係を示す。不快指数の上昇に伴い「不快」「暑い」「じめじめしている」「汗で濡れている」側申告の割合が増加していることが確認できる。特に発汗に関する申告について、気温や相対湿度のみよりも共変関係が強いように見える。発汗は他の感覚に関する申告と異なり、発汗しているという生理現象がもとにある感覚であり、不快指数と発汗量の強い共変関係に基づいていると思われる。暑さ感については不快指数よりも気温との共変関係が強いようであり、暑さ感に相対湿度の影響が小さいのではないかと考えられる。

ミスト無の回答と同じ不快指数領域（不快指数 76~77）のミスト有の回答を比較すると、同じ不快指数であってもミスト無の方が「不快」「暑い」「乾燥している」「汗で濡れている」申告が少ない。ミストが噴霧されているという認知により「快適」「暑くない」「じめじめしている」という感覚が生まれるのではないかと考えられる。「汗で濡れている」申告が少ないのは、次に述べる屋外環境の影響が大きいのではないかと考えられる。

他の実験で求めた SET\*および WBGT は、一般利用者が存在する環境でグローブ温度または放射量、風速の測定が出来なかったため、ここでは求めることができない。

\* 不快指数 DI は気温を  $t$  ( )、相対湿度  $rh$  ( % ) として次式で求めた。

$$DI=0.81t+0.1rh(0.99t-14.3)+46.3$$



\* ~77無は、ミスト無での結果である。DIは76~77であった。

\* データ無は、8月17日おんどりデータ欠測のため。

DI	~77無	~77	~78	~79	~80	~81	~82	~83	83~	データ無
サンプル数	50	154	133	63	163	232	335	116	12	166

図 6.3.7 不快指数 DI と温熱感覚の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

(4)屋外の不快指数 DI

図 6.3.9 には、屋外の不快指数 DI\*とウェイトニングスペース内の温熱感覚の関係を示す。不快指数の上昇に伴い「不快」「暑い」「じめじめしている」側申告の割合が増加している。これは、屋外の不快指数の上昇により屋内の不快指数が上昇したためであると考えられる(図 6.3.8 参照)。他の感覚が WS 内の不快指数(図 6.3.7 参照)に比べ共変関係が弱くなっているのに対し、発汗状態についてはそれが見られず、やや強くなっているようにも見える。それは、発汗状態は屋外の状況が大きく関係するためだと思われる。

また、図 6.3.8 からはミスト無の時、低い屋外不快指数で同じ不快指数であることがわかる。

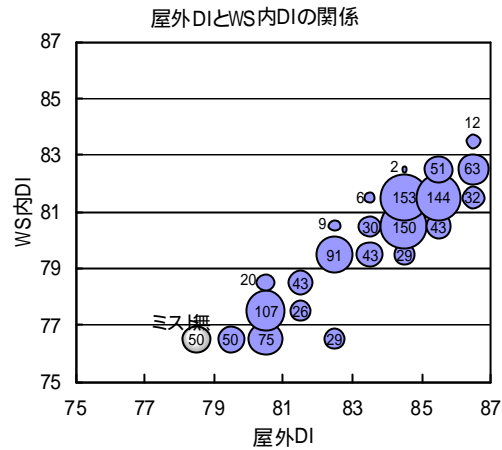
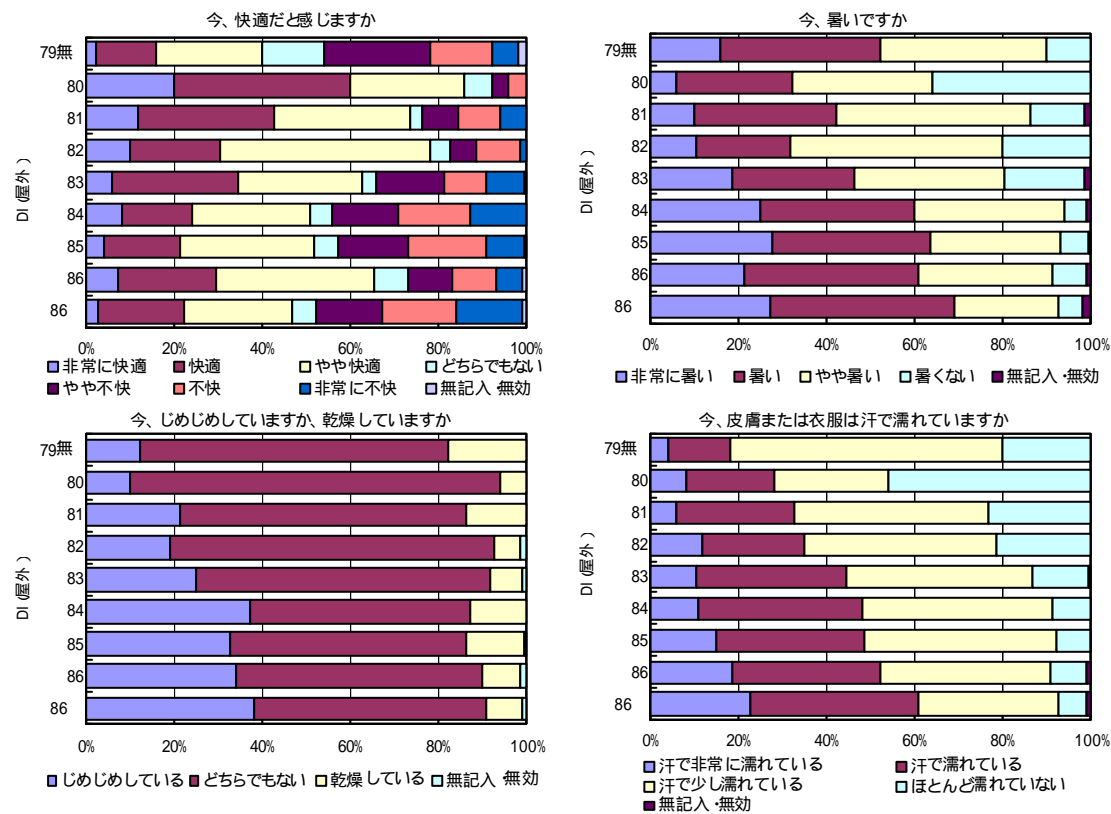


図 6.3.8 屋外 DI と WS 内 DI の関係 (万博)



\* ~79無は、ミスト無での結果である。DIは78~79であった。

DI	~79無	~80	~81	~82	~83	~84	~85	~86	86~
サンプル数	50	50	202	69	226	100	382	238	107

図 6.3.9 屋外不快指数 DI と WS 内温熱感覚 (万博)

< 属性と温熱感覚 >

対象者の属性による温熱感覚の違いについて明らかにするために、図 6.3.10 から図 6.3.17 には、対象者の属性と温熱感覚の関係について示す。各属性による温熱感覚にはあまり顕著な差は見られない。

年齢（図 6.3.10） 高齢になるほど、「乾燥している」「汗で濡れている」申告が増えているようである。快適感、暑さ感では、あまり傾向が伺えない。

性別（図 6.3.11） 男性の方が「暑い」「汗で濡れている」申告の割合がやや多い。

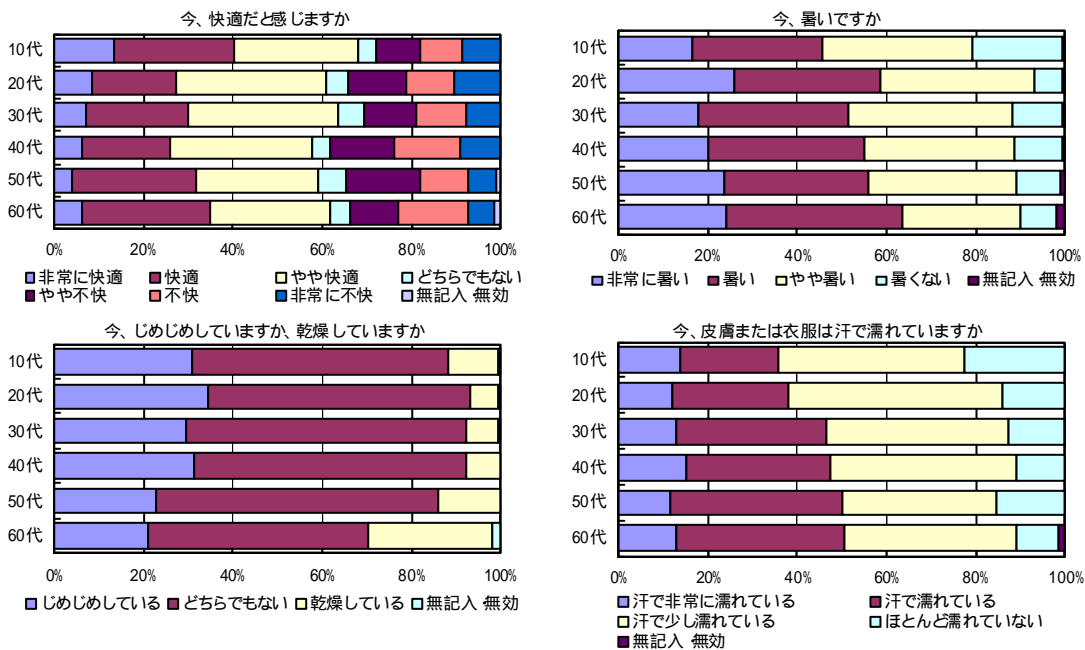
よく汗をかくか（図 6.3.12） 「よく汗をかく」人ほど、「汗で濡れている」申告が顕著に多い。

屋外にいたることが多いか（図 6.3.13） どの項目も傾向が見られない。

ウェイティングスペース内での飲食（図 6.3.14） 「冷たいものと冷たくないものを飲食」した人で「快適」「暑くない」の割合が高いが、この項目での不快指数が低いためであると考えられる。

着衣（図 6.3.15） 「長袖 + 半ズボン or スカート」で「不快」「暑い」の割合が低いが、サンプル数が 23 人と少ないため、差があるとは言い難い。

居住、出身地域（図 6.3.16、図 6.3.17） 「北海道・東北」の人で「暑い」の割合が高くなり、「九州・沖縄」で「快適」がやや多くなっている。寒い地域の人には暑さに敏感であり、暑い地域の人には暑くても快適と答えるとも考えられるが、ともにサンプル数が少ないため、明確ではない。



	10代	20代	30代	40代	50代	60代	無効 無記入
サンプル数	129	143	439	381	122	149	11

図 6.3.10 年齢と温熱感覚の関係（万博）

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

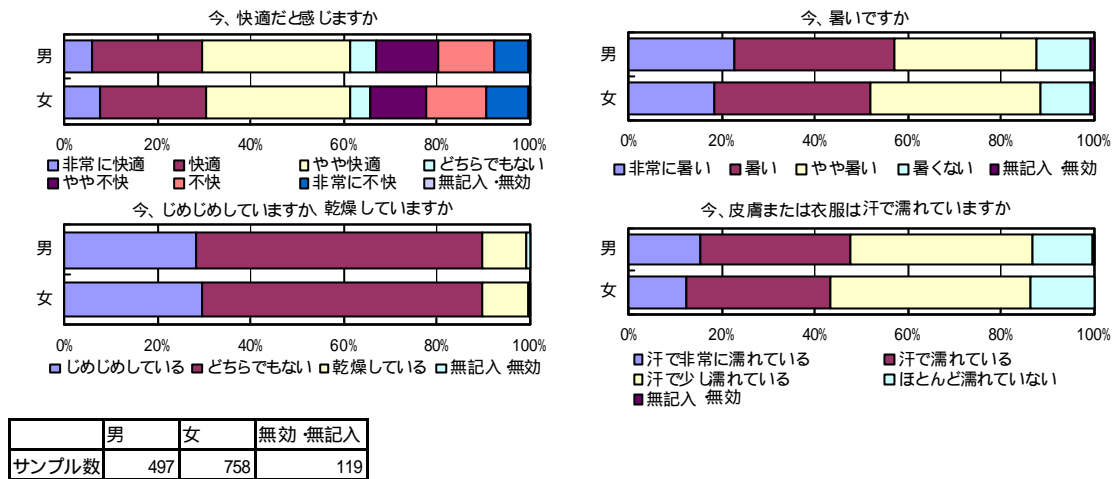


図 6.3.11 性別と温熱感覚の関係 (万博)

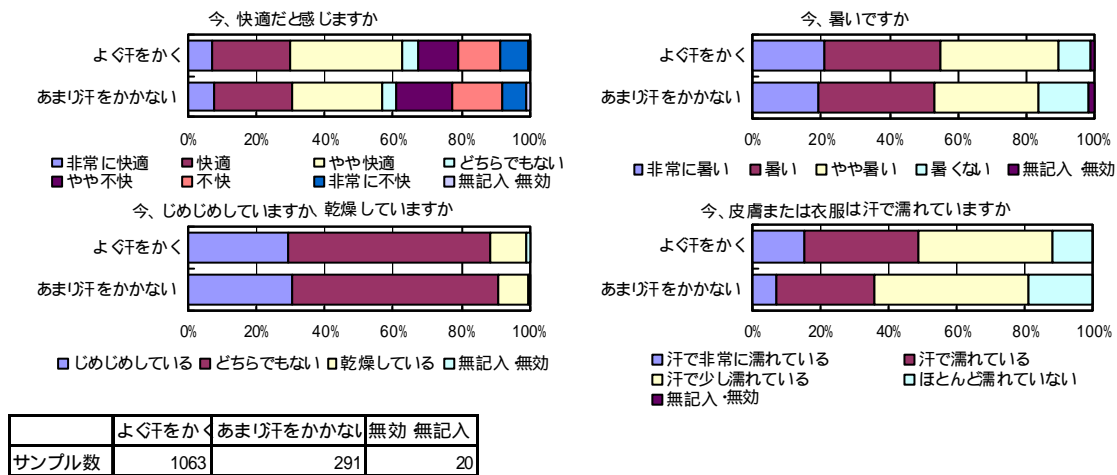


図 6.3.12 よく汗をかくかと温熱感覚の関係 (万博)

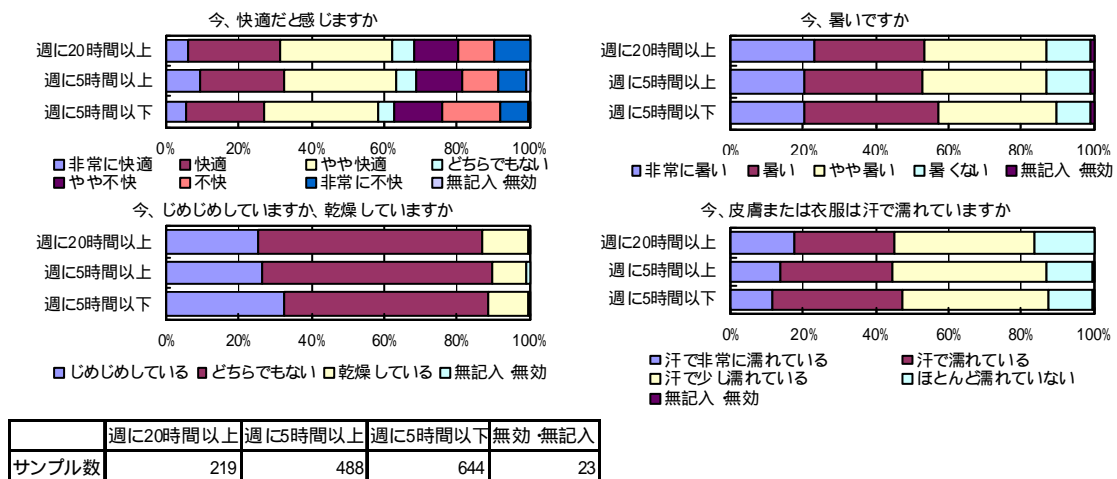
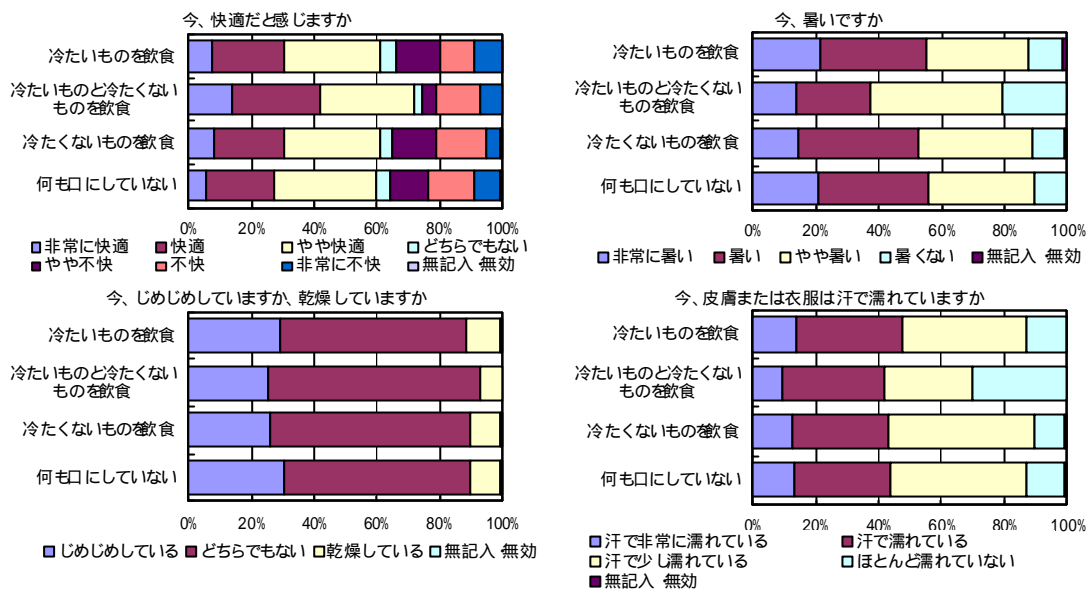
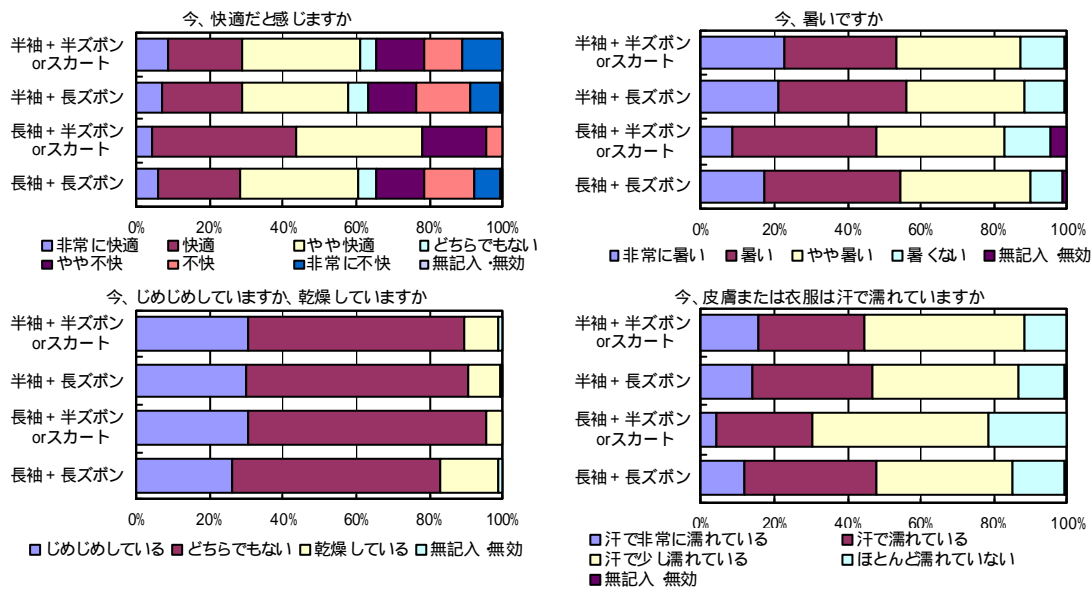


図 6.3.13 屋外にいることが多いかと温熱感覚の関係 (万博)



	冷たいものを飲食	冷たいものど冷たくないものを飲食	冷たくないものを飲食	何も口にしていない	無効 無記入
サンプル数	739	43	119	453	20

図 6.3.14 WS 内での飲食と温熱感覚の関係 (万博)



	半袖 + 半ズボン or スカート	半袖 + 長ズボン	長袖 + 半ズボン or スカート	長袖 + 長ズボン	無効 無記入
サンプル数	354	633	23	179	185

図 6.3.15 着衣状態と温熱感覚の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

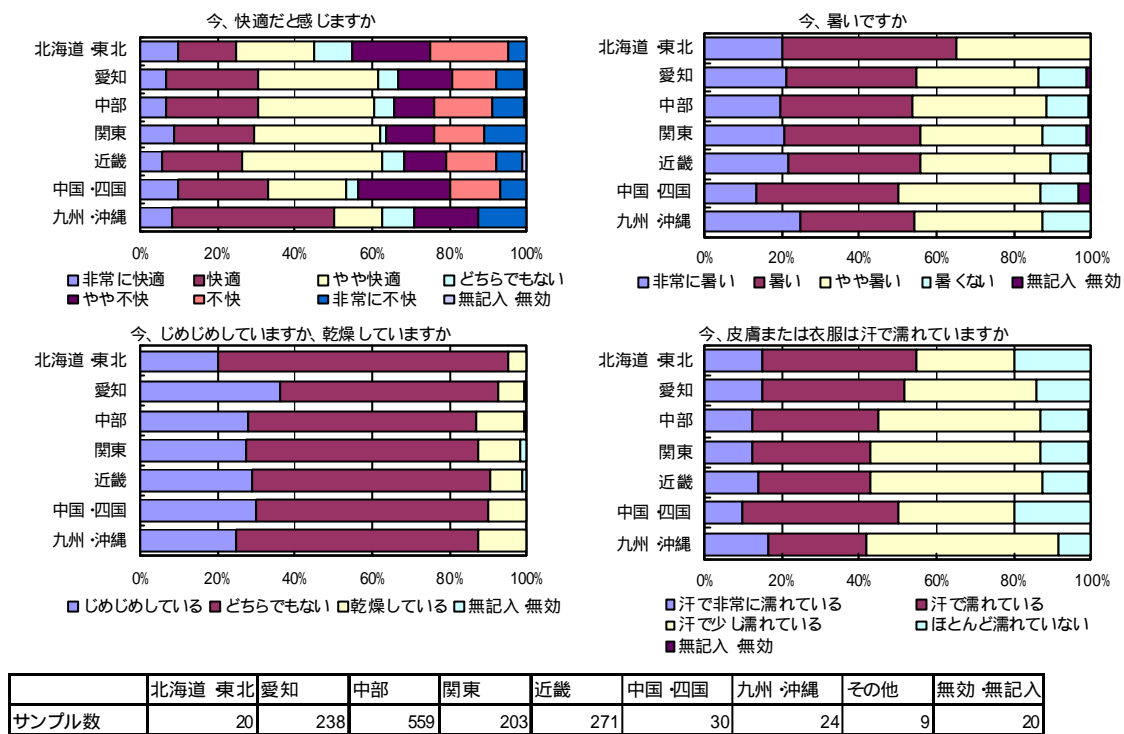


図 6.3.16 居住地域と温熱感覚の関係 (万博)

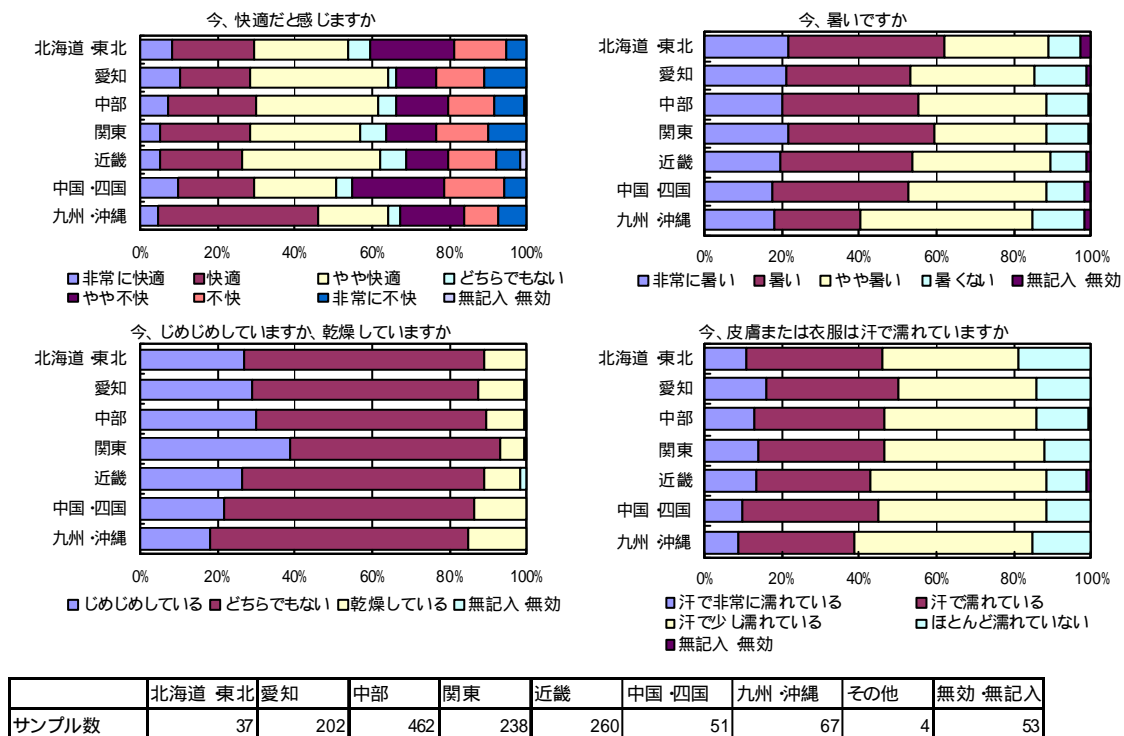


図 6.3.17 出身地域と温熱感覚の関係 (万博)

### 6.3.3. ウェイティングスペース外での温熱感覚

本項では、屋外の温熱環境と屋外の温熱環境評価の申告の関係について述べる。

図 6.3.18 は屋外気温と屋外の温熱感覚の関係、図 6.3.19 は屋外相対湿度と屋外の温熱感覚の関係、図 6.3.20 は屋外不快指数と屋外の温熱感覚の関係を示す。屋外データは、電力館前万博エコクラブのデータを用いる。

気温について、気温の上昇に伴い「非常に暑かった」申告割合がやや増加するが、顕著ではない。

相対湿度について、相対湿度の上昇に伴い「じめじめしていた」申告割合が増加する様子が確認できる。サンプル数の少ない「～30」「55～」を省くとその共変関係はより明らかとなる。

不快指数について、不快指数の上昇に伴い「じめじめしていた」申告割合が増加するが、暑さ感についてはほとんど関係が見られない。

気温「～31」「～32」、不快指数「～79」で「非常に暑い」申告割合が非常に低くなっているが、これは29日の朝のデータである。図 3.4.1 から図 3.4.6 の屋外エコクラブ朝9時のデータを見ると、他の日では30以上であるのに対し、8月29日は28程度しかなく、この朝の低い気温が影響を及ぼしていることが考えられる。また、もう一つの要因として8月29日の朝はミストを噴霧しておらず、ウェイティングスペース内と屋外の不快指数の差が小さい（図 6.3.8 参照）ことが考えられる。より気温が低い（不快指数が低くなる）位置に移動した際、前の環境をより暑いと評価する傾向が考えられ、内外の差が小さいために「非常に暑い」が少なくなった可能性もあげられる。

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

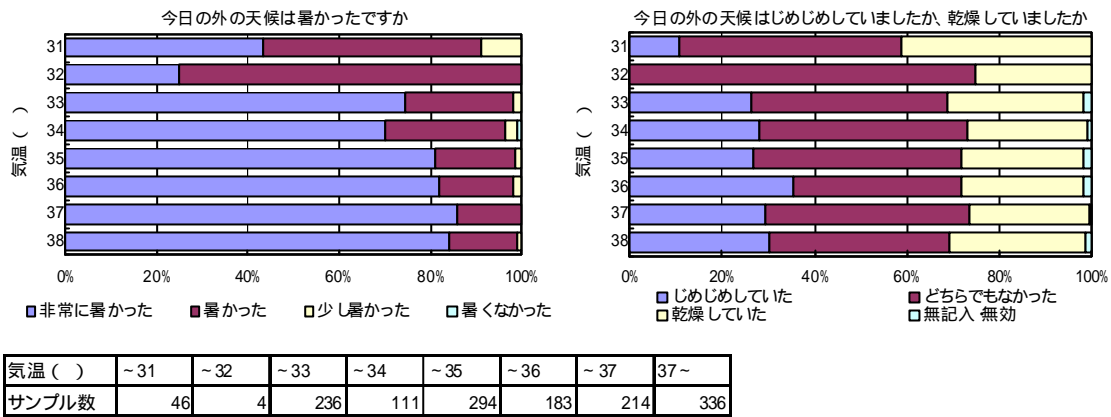


図 6.3.18 屋外気温と屋外の温熱環境の関係 (万博)

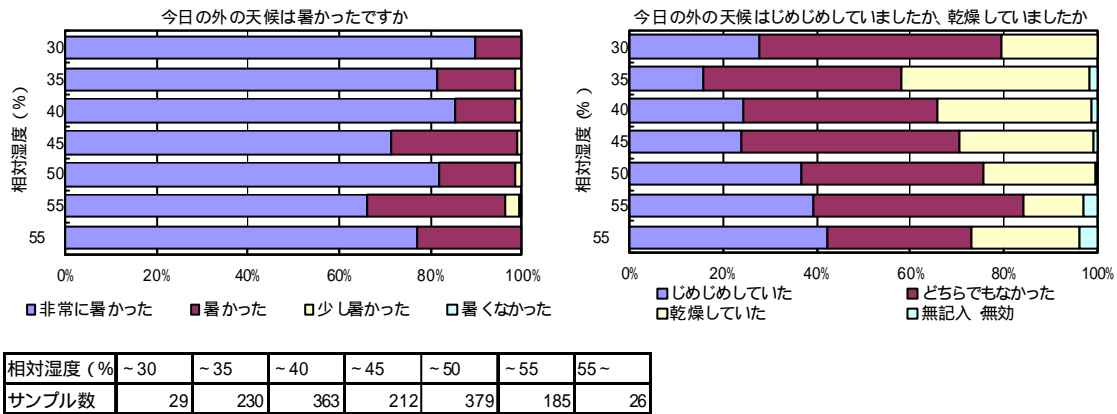


図 6.3.19 屋外相対湿度と屋外の温熱環境の関係 (万博)

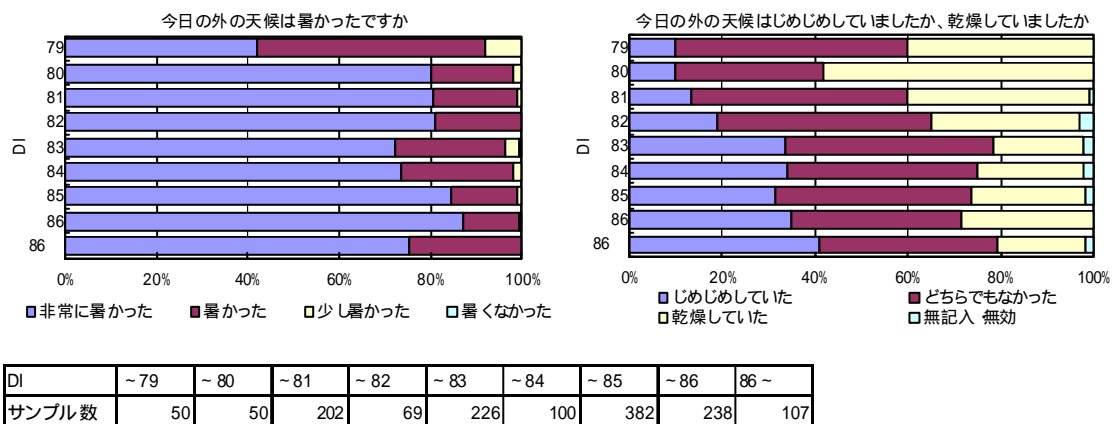


図 6.3.20 屋外不快指数 DI と屋外の温熱環境の関係 (万博)

### 6.3.4. ミストシステムの性能と応用性

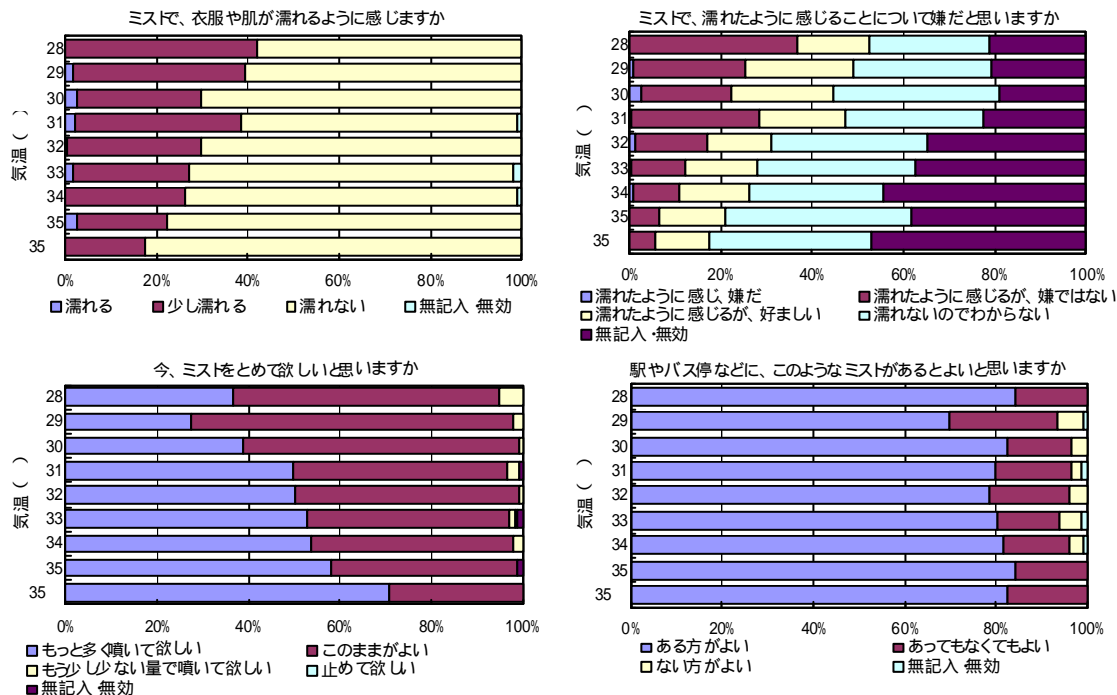
#### < 温熱環境とミストシステム評価 >

全体的な傾向として、「ミストで濡れない」「濡れても嫌ではない、又は好ましい」「もっと多く噴いて欲しい」「駅などにこのようなミストシステムがあるとよい」という回答が多く、ミストシステムが一般に受け入れられているということがいえる。ここで、「ミストで濡れたように感じることにについて嫌だと思いませんか」という問いに関して無効票が多いが、ミストで「濡れない」と申告した人が「濡れたように感じるが～」申告をすることが多かったためである。

気温別に見ると、気温の上昇に伴い「濡れない」「もっと多く噴いて欲しい」という回答が顕著に多くなっている。

湿度変化に関しては、湿度の上昇に伴い「少し濡れる」という回答が増加しているが、「ミストで濡れたように感じることにについて嫌だと思いませんか」という問いの回答は、「嫌ではない」「好ましい」が多くなっており、不快な濡れ方ではないと思われる。また、湿度が低くなるにつれ「もっと多く噴いて欲しい」という回答が多くなることが確認できる。

不快指数の上昇に対しては、「濡れない」「もっと多く噴いて欲しい」という回答が多くなっているが、気温や相対湿度に比べ共変関係が低いように見え、ミストシステムの評価を示すのに不快指数は適切でないと考えられる。



\* データ無は、8月17日おんどりデータ欠測のため。

気温 ( )	~ 28	~ 29	~ 30	~ 31	~ 32	~ 33	~ 34	~ 35	35 ~	データ無
サンプル数	19	106	121	179	260	231	99	76	17	166

図 6.3.21 気温とミストシステム評価の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

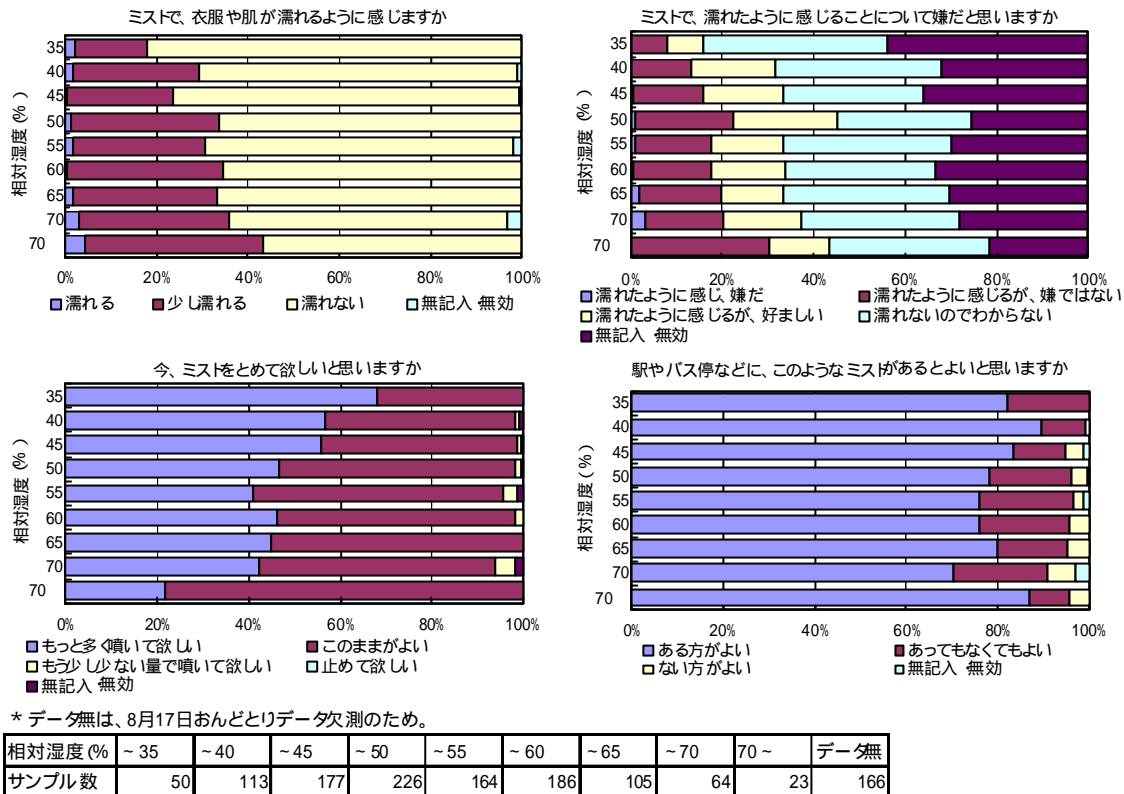


図 6.3.22 相対湿度とミストシステム評価の関係 (万博)

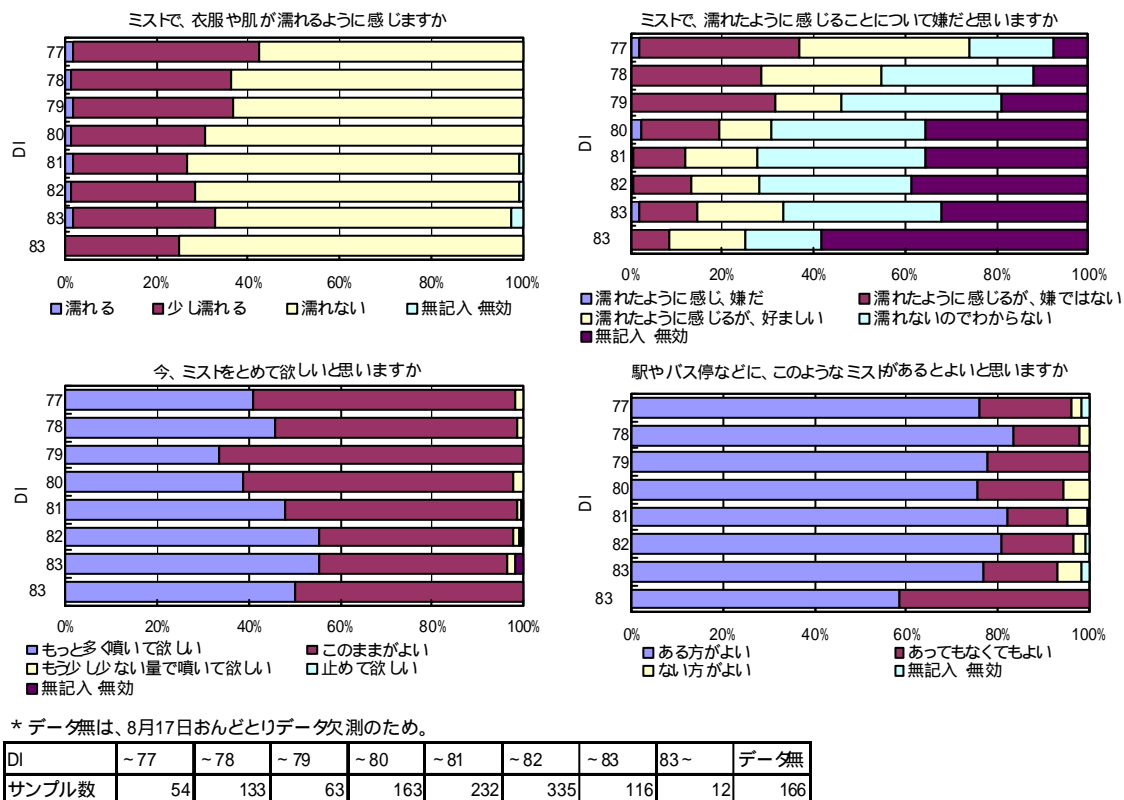
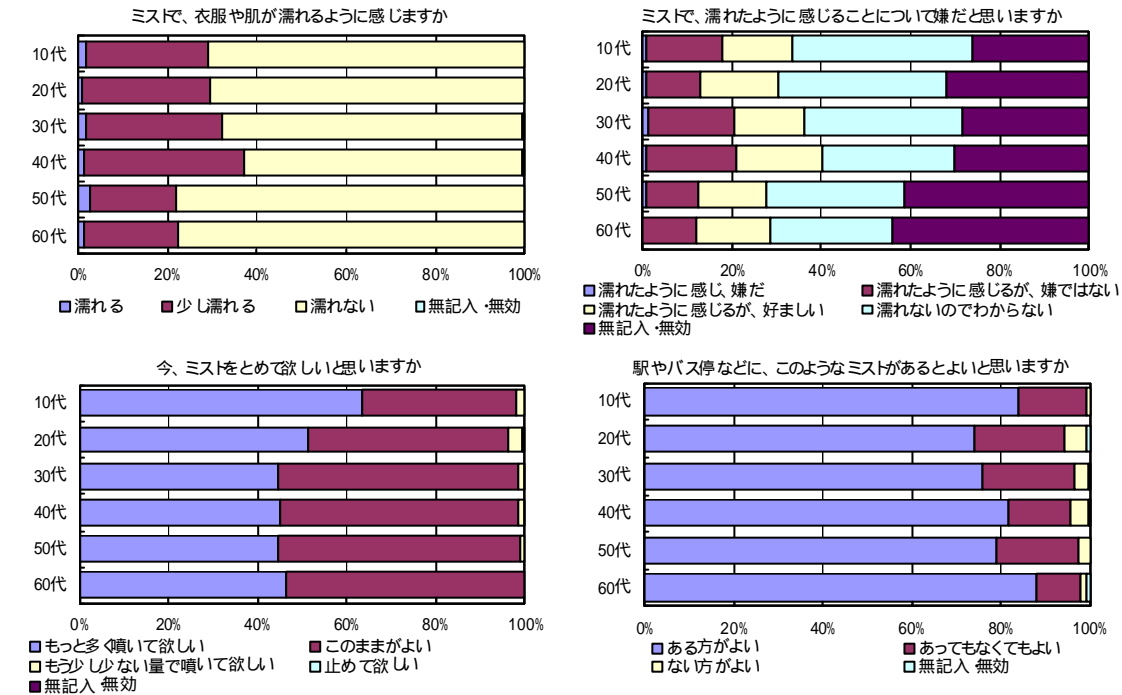


図 6.3.23 不快指数 DI とミストシステム評価の関係 (万博)

< 属性とミストシステム評価 >

対象者の属性による温熱感覚の違いについて明らかにするために、図 6.3.24 から図 6.3.29 には、対象者の属性と温熱感覚の関係について示す。ミストシステムの評価について各属性で顕著な差が見られない。

年齢について、50～60代で「濡れない」申告の割合がやや多くなっている。その他の属性については、割合の差がほぼ 5% 以内であり、差が見られない。



	10代	20代	30代	40代	50代	60代	無効 無記入
サンプル数	129	143	439	381	122	149	11

図 6.3.24 年齢とミストシステム評価の関係 (万博)

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

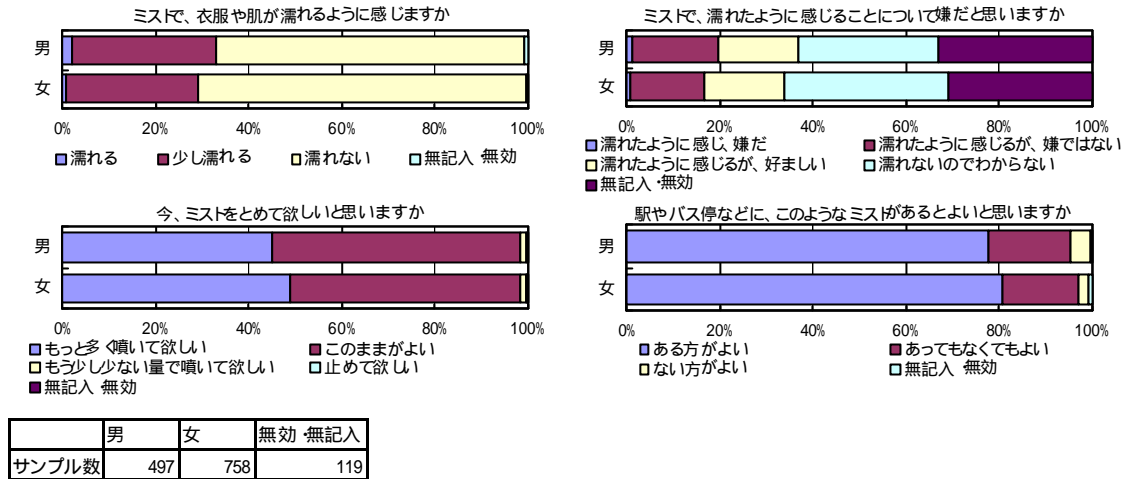


図 6.3.25 性別とミストシステム評価の関係 (万博)

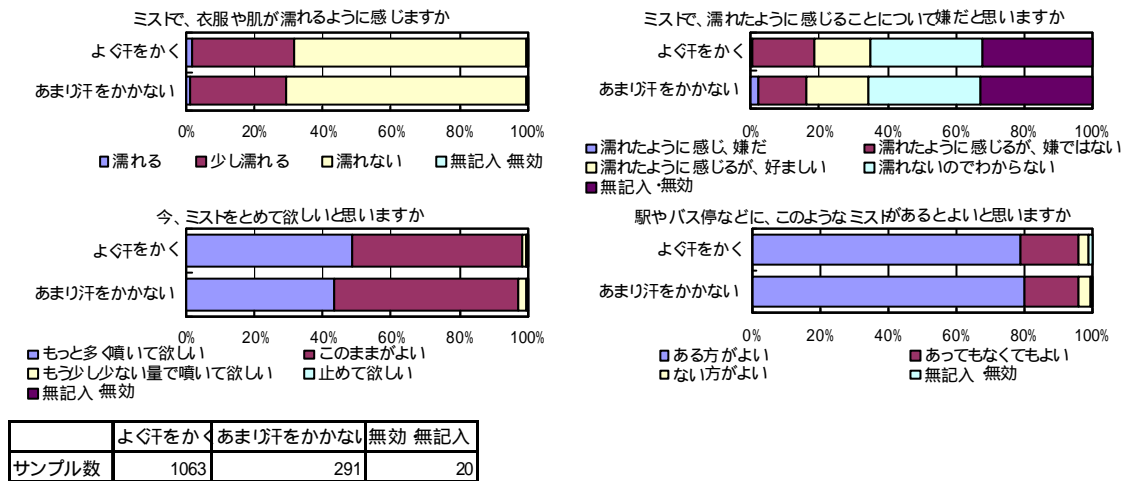


図 6.3.26 よく汗をかくかとミストシステム評価の関係 (万博)

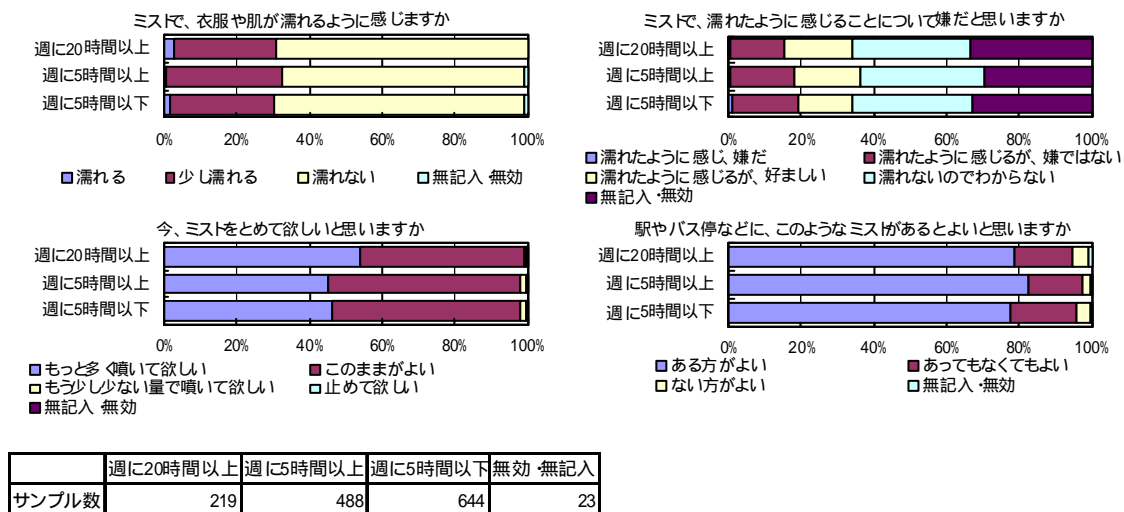


図 6.3.27 屋外にいたることが多いかとミストシステム評価の関係 (万博)

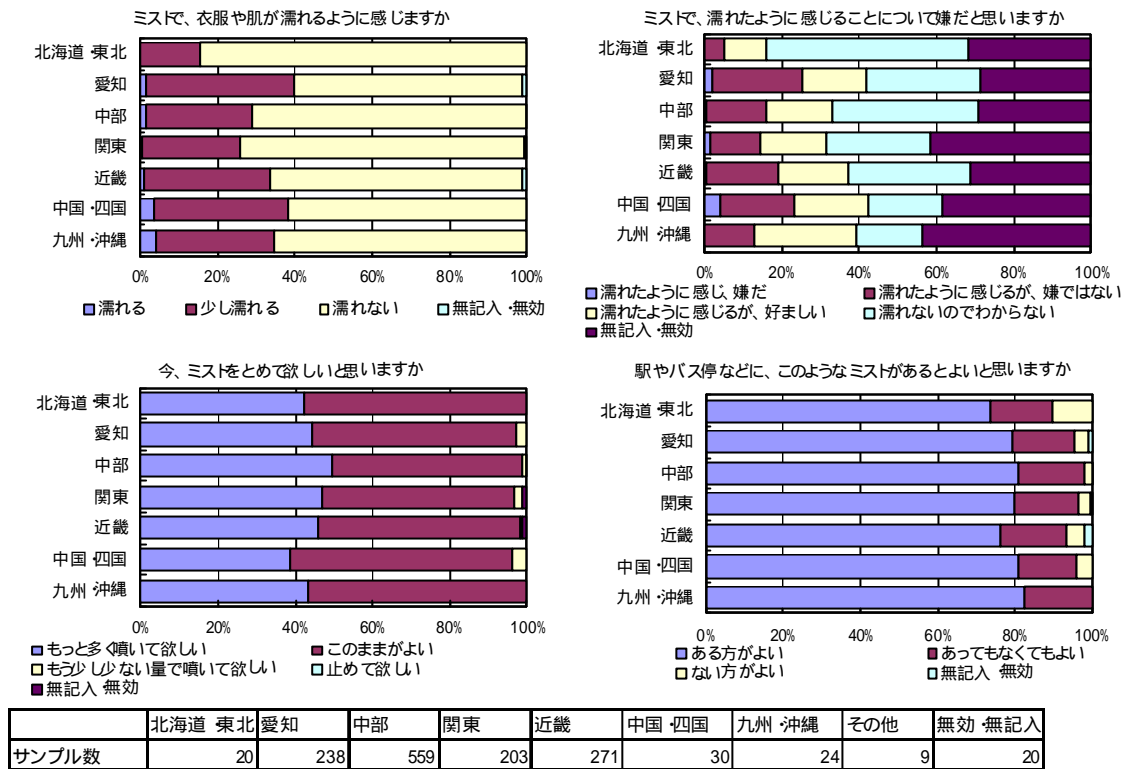


図 6.3.28 居住地域とミストシステム評価の関係（万博）

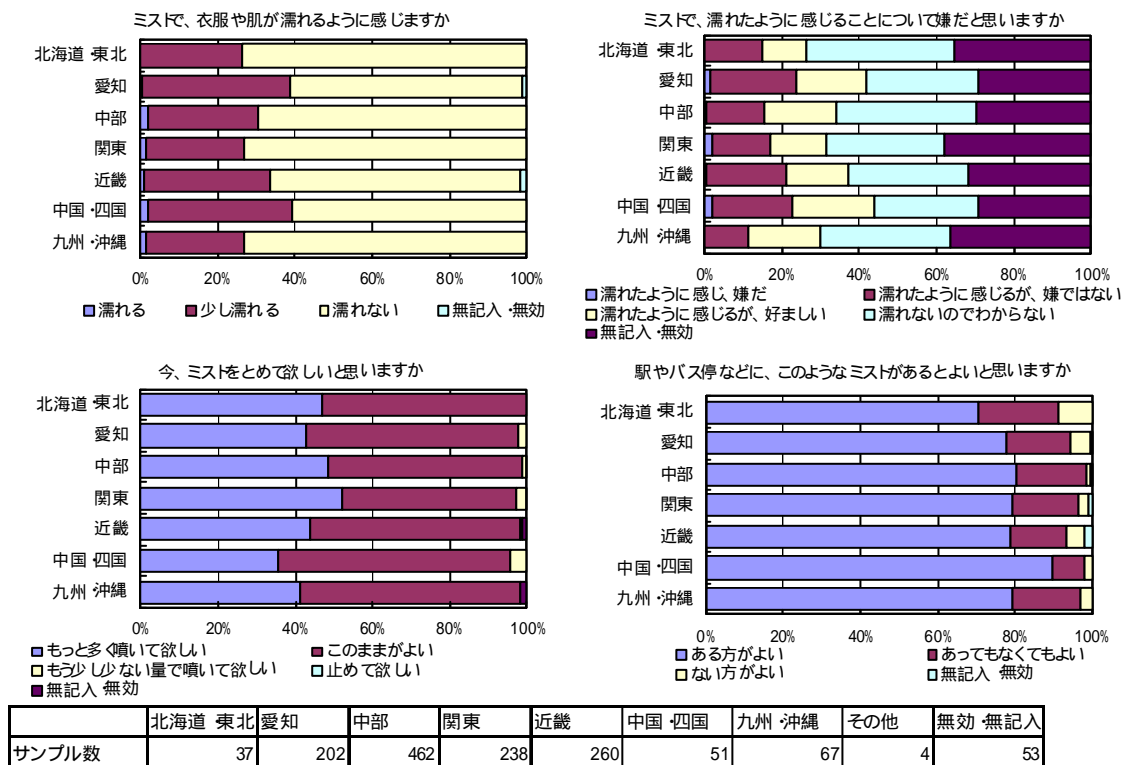


図 6.3.29 出身地域とミストシステム評価の関係（万博）

6.3.5. ドライミストの認知度

ミスト無用のアンケートとして、ドライミストの認知度について問うアンケートを行った。このアンケートは 8 月 29 日の第 1~3 回目に行った。ただし、ミストが噴霧していなかったのは第 1 回目のみで、第 2、3 回目にはミストが噴霧していた。

図 6.3.30 および図 6.3.31 には、ミストの認知度に関するアンケート調査結果を示す。ミスト有は 100 票、ミスト無は 50 票である。図 6.3.31 はミスト有無全体の結果(計 150 票)である。「ドライミストという言葉を知っていますか」という質問に関して、60%以上の方が聞いたことがあるという回答であり、男性より女性の方が知っている割合が高い。愛知県内出身、住んでいる人の方が「テレビ等で見てよく知っている」人は 10%程度、「聞いたことがある」人は 30%程度多く、地元での認知度の方が明らかに大きい。10 代での認知度は他の年代に比べ低くなっている。

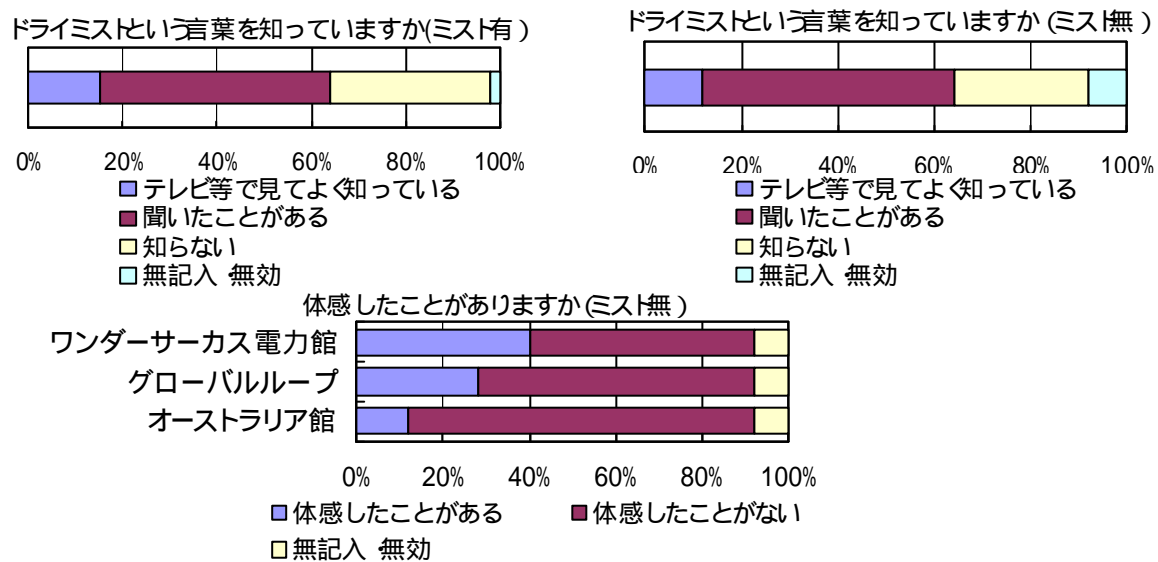


図 6.3.30 ドライミストの認知度(万博)

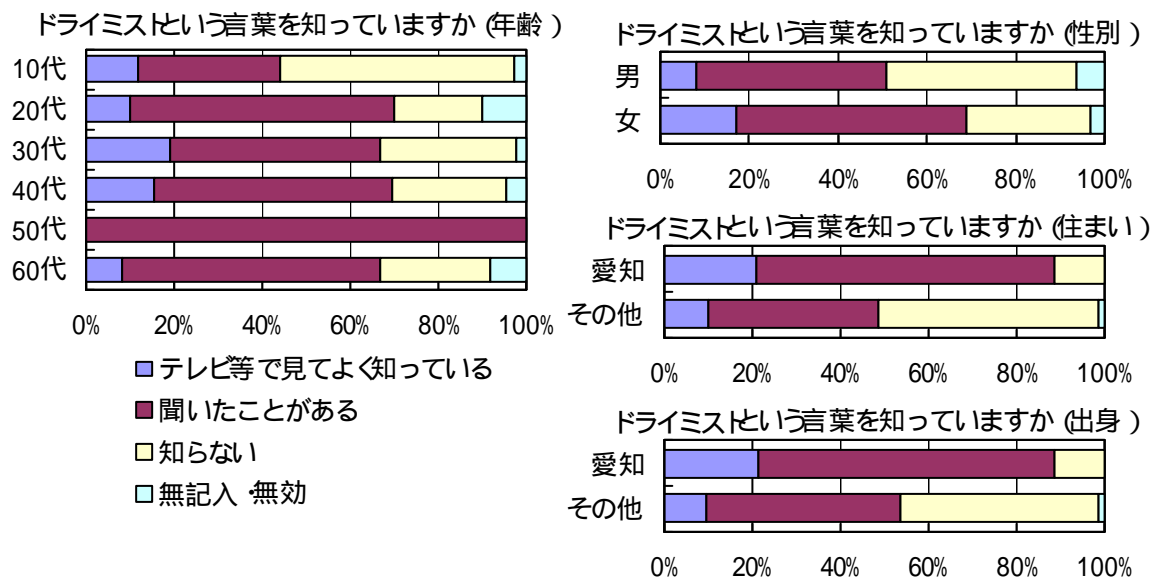


図 6.3.31 「ドライミストという言葉を知っていますか」(属性別)(万博)

### 6.3.6. 日進実験との比較

万博会場の調査では、被験者実験とは異なり人が不特定多数いるということが特徴的である。人が多く存在すると他の人からの発熱や放射をはじめ、温熱環境にさまざまな影響があると考えられる。そこで、本項ではその違いが人の心理量にどの程度差を及ぼしているか確認する。

図 6.3.32 には、ウェイティングスペース内温湿度と日進での実験結果の温湿度を示す。温湿度に関しては、日進での実験の方が高い湿度が見られる。これは、万博での自動制御により高い湿度ではミスト噴霧しなかったのに対し、日進の実験では高湿度でも実験を行ったためである。その他には、温湿度測定結果に関して特徴的な違いは見られない。

ウェイティングスペース内での温熱感覚と日進での実験結果の比較を図 6.3.33 に示す。ここでは、両実験の温熱感覚申告結果を不快指数との関係で示す。図中の数字はその回答者数を示しており、万博と日進の実験結果ではサンプル数は明らかに違うため、ここでは傾向の確認にとどまる。

全体的な傾向として、万博での結果の方が「不快」側、「暑い」側の申告が多くなっている。人が多数いる空間では不快が増すといえるのではないかとと思われる。また、ウェイティングスペースで「待っている」という心理状態が人を温熱的にもやや不快にさせることも考えられる。

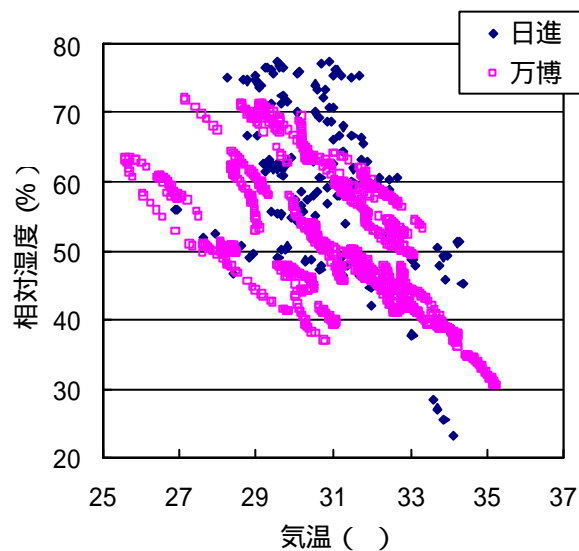


図 6.3.32 日進と万博の温湿度の比較

第 6 章 ドライミストによる人体の快適性の改善

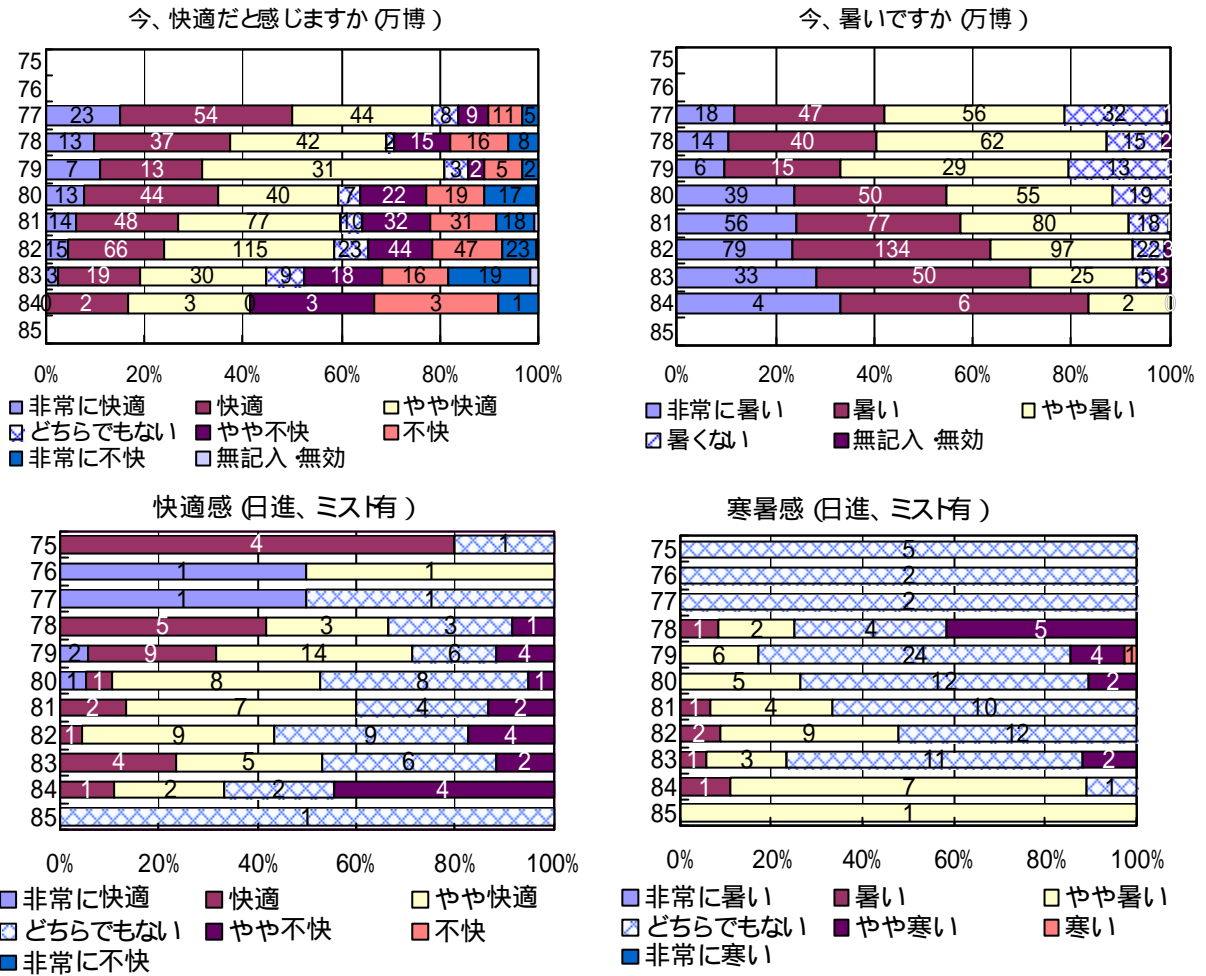


図 6.3.33 日進と万博の不快指数と快適感および寒暑感の関係の比較

#### 6.4. 本章のまとめ

##### <ミスト内外での心理申告>

ミスト内よりもミスト無の方が「不快」「暑い」申告が多く、ミスト噴霧による効果があらわれたと考えられる。特に半屋外空間の実験結果で顕著である。屋外空間では温度差が大きい日で1程度であったのに対し、半屋外空間では平均で2程度と温度差が大きかったためだと思われる。

時間経過による申告の変化について、屋外空間の実験ではあまり変化が見られないが、半屋外空間の実験では、時間経過とともにミスト無では「やや不快」「やや暑い」申告が増加し、ミスト有では反対に減少している。不快な環境であれば、ミスト無での結果のように不快感が増すことが予測されるが、ミスト有では快適性が増しており、ミスト有テントは十分に快適な空間であったのではないかと思われる。

##### <ミスト内外 SET\*と心理申告>

ミスト無 SET\*35 において、屋外空間の実験では SET\*0.2 値が小さくなるだけで、ほとんど温熱環境に差がない。一方、半屋外空間の実験では SET\*2.5 の温熱環境の改善が確認された。

同じ SET\*でミスト内外を比較すると、ミスト内の方が「快適」「寒い」側の申告が多い。これは、ミストを噴霧しているという認識により、快適性が向上する傾向があらわれたのではないかと思われる。また、ミスト噴霧による下降気流の発生の影響も考えられる。ミストを噴霧すると時折冷たい空気の塊が下降してくることがある。この下降気流は非常に狭い範囲でしか発生せず、また一時的なものであり、物理量測定では直接的にはあらわれない。被験者付近でこの下降気流が発生した場合、その快適性はいくらか向上すると思われ、その効果があらわれているのかもしれない。ただし、本実験ではその効果を明らかにするのは不十分であり、それらを明らかにするには、冷たい下降気流を測定するために細かい温度分布の測定や被験者に下降気流を感じたことを申告してもらうなどの被験者実験が必要があると思われる。

##### <万博会場でのアンケート調査>

ミスト噴霧時の快適感・暑さ感の申告は、気温や不快指数の増加に伴い「不快」側、「暑い」側の申告が増加しており、全体的に快適性が向上しているミスト噴霧状態においても、通常状態のように気温や不快指数に追随していることが確認された。

ドライミスト噴霧の効果として、同じ気温域、不快指数領域でミスト有・無の快適感・暑さ感を比較すると、ミスト有の方が湿度が高いにも関わらず、「不快」側、「暑い」側の申告が少なく、ミストを噴霧しているという心理的效果が、小さくないことがわかった。

ミストシステムの性能に関しては、ミストによって「濡れたように感じ、嫌だ」という回答が極めて少なく、全体的に好意的な回答が多く、不特定多数の利用者がある空間での設置に心理的障害が小さいことが確認された。



## 第7章 総括

## 第7章 総括

本研究では、屋外空間でドライミストを噴霧した際の人体の快適性について明らかにするために、被験者実験、アンケート調査を用いて検討を行った。

また、屋外の温熱環境を評価するに当たり、ミスト有無の比較を行うために一卵性双生児を被験者として用い比較することを考え、一卵性双生児の同等性の程度についても確認した。さらに、既存の温熱環境指標を用い、屋外と屋内の温熱環境評価の比較を行った。

### < 屋外の温熱快適性の評価 >

屋外空間でドライミストを噴霧した際に人の快適性にどのような影響を与えるかを探るために、屋外の温熱感覚と一卵性双生児の同等性の検討を行った。その結果、屋外の温熱感覚を屋内と比較すると、「不快」申告に変化する SET\*は 5 近く高く、屋外空間では人の快適性の評価が寛容になるようであった。

### < 一卵性双生児の同等性 >

一卵性双生児の同等性については、身体的特徴については双子間で差が大きい双子中には見られたが、全体的には非常に似ている双子が多かった。

心理、生理反応結果で一卵性双生児間でもしばしば有意差が見られるが、他の被験者と比較すると双子間で申告に差が出ることは少なくなった。有意差が見られない双子について、「体脂肪率の差が小さい」「体表面積の差が小さい」双子がやや多いようであった。

### < ドライミスト噴霧による効果 >

ドライミストの噴霧による物理量の変化は屋外開放空間であるささしまの実験では、ミスト内外の温度差は 1 程度見られた。半屋外空間である日進の実験ではミスト噴霧により 2~3 程度の気温の低下していることがわかった。日進の方が温度差が大きい理由として、屋根と一面の壁により、風速が弱められ、ミストの拡散および冷却空気の拡散が妨げられたためであると考えられた。

ドライミスト噴霧による効果について、温熱環境指標である SET\*で見るとささしまの屋外空間の実験では温熱環境の改善はほとんど見られなかった。日進の半屋外空間の実験では SET\*で 1~2 の環境が改善された。

人の心理反応については、ささしま、日進のいずれにおいても「不快」「暑い」申告が減少し、人体の快適性が向上していることが確認された。同じ SET\*であるにも関わらずミスト内で、快適側の申告がミスト外よりも増加していた。その理由として、ミストを噴霧しているという認識による快適性の向上があげられる。それに加え、物理測定では測定できなかった冷たい下降気流の影響もあるのではないかと考えられる。ただし、本実験のデータでは不十分であり、さらに細かい温度分布の測定や被験者に下降気流を感じたかなどを問う実験が必要であると思われる。

万博会場でのアンケート調査の結果、同じ気温域、不快指数領域でミスト有・無の快適感・暑さ感を比較すると、ミスト有の方が湿度が高いにも関わらず、「不快」側、「暑い」側の申告が少なく、ミストを噴霧しているという心理的効果が、小さくないことがわかった。ミストシステムの性能に関しては、全体的に好意的な回答が多く、ミストシステムが一般的に受け入れられていることがうかがえた。

万博調査の結果から、不特定多数の利用者がある空間でのドライミストシステムの設置に心理的障害が小さいことが確認された。



## 参考文献

- 1) 中村安弘 他：屋外不均一温熱環境場の快適性評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.93 (2004) pp.1-10
- 2) 石井昭夫 他：屋外気候環境における快適感に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文集、No.386 (1986) pp.28-36
- 3) ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS、Chapter 8
- 4) 小笠原一隆 他：暑熱温域における気流の環境改善効果、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1995) pp.371-372
- 5) 鄭相元 他：都市の街路および開放空間における熱放射環境が人体に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、No.493 (1997) pp.77-84
- 6) 鄭相元 他：建築外部空間における日射を含んだ熱放射環境が人体の熱的快適性に与える影響 温冷感、発汗感を中心として、日本建築学会東海支部報告集、No.35(1997)pp.505-508
- 7) 中村安弘 他：SET\*と申告確立に基づく屋外温熱環境の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1996) pp.359-360
- 8) 中野淳太 他：半屋外空間における熱的快適性実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 (2002) pp.391-392
- 9) 鈴木翔太 他：室内および屋外における温熱環境指標の妥当性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 (2002) pp.373-374
- 10) 幸喜科子 他：屋外における温熱感覚に関する申告実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1998) pp.411-412
- 11) 渡辺弥恵 他：屋外環境における快適感に関する被験者実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1997) pp.367-368
- 12) 堤純一郎 他：屋外の温熱感覚に関するアンケート調査、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1997) pp.365-366
- 13) Jennifer Spagnolp 他：A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia、Building and environment 38 (2003) pp.721-738



## 謝辞

本論文は、2003年から2005年にかけて名古屋大学工学部都市環境学専攻4年生、名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻博士前期課程に在籍した3年間の研究成果をまとめたものです。本論文をまとめるに当たり、多くの方のお力添えを得ました。

終始一貫して御指導いただいた指導教官である原田昌幸助教授に心から感謝の意を表します。そして、辻本誠教授（東京理科大学）、奥宮正哉教授には実験、分析を行うに当たり多くの適切な御指導および御助言をいただき深く感謝の意を示します。

同時に、久野覚教授、齋藤輝幸助教授、田中英紀助手、吉永美香助手には、環境系ゼミにおいて、貴重な御助言をいただきました。

筆者の参加させていただいた共同研究を通じ多くのご意見、ご助言を賜りました清水建設株式会社、中部電力株式会社、能美防災株式会社、株式会社川本製作所、株式会社トーキンの方々には厚く御礼申し上げます。

また、実験を行うにあたって、御多忙の中実験に御協力いただいた被験者の一卵性双生児の方々と実験にご助力下さった方々、万博会場でのアンケートにご協力くださった方々に厚く感謝をいたします。

環境工学講座のみなさんには多くの助言と活気を与えていただき、3年間に渡る研究室での生活を享受できました。特に、共に研究を行った林啓紀さん（名古屋大学大学院博士前期課程原田研究室2年）、山田英貴さん（名古屋大学奥宮研究室4年）には深く感謝いたします。

そして最後に、私の長い学生生活をいつも見守り、心配しながらも応援してくれた父母と家族に感謝いたします。

2006年2月14日 児玉奈緒子

## 付録

2003 年ささしま、温熱環境条件  
2004 年日進、温熱環境条件

付録 ささしま温熱環境

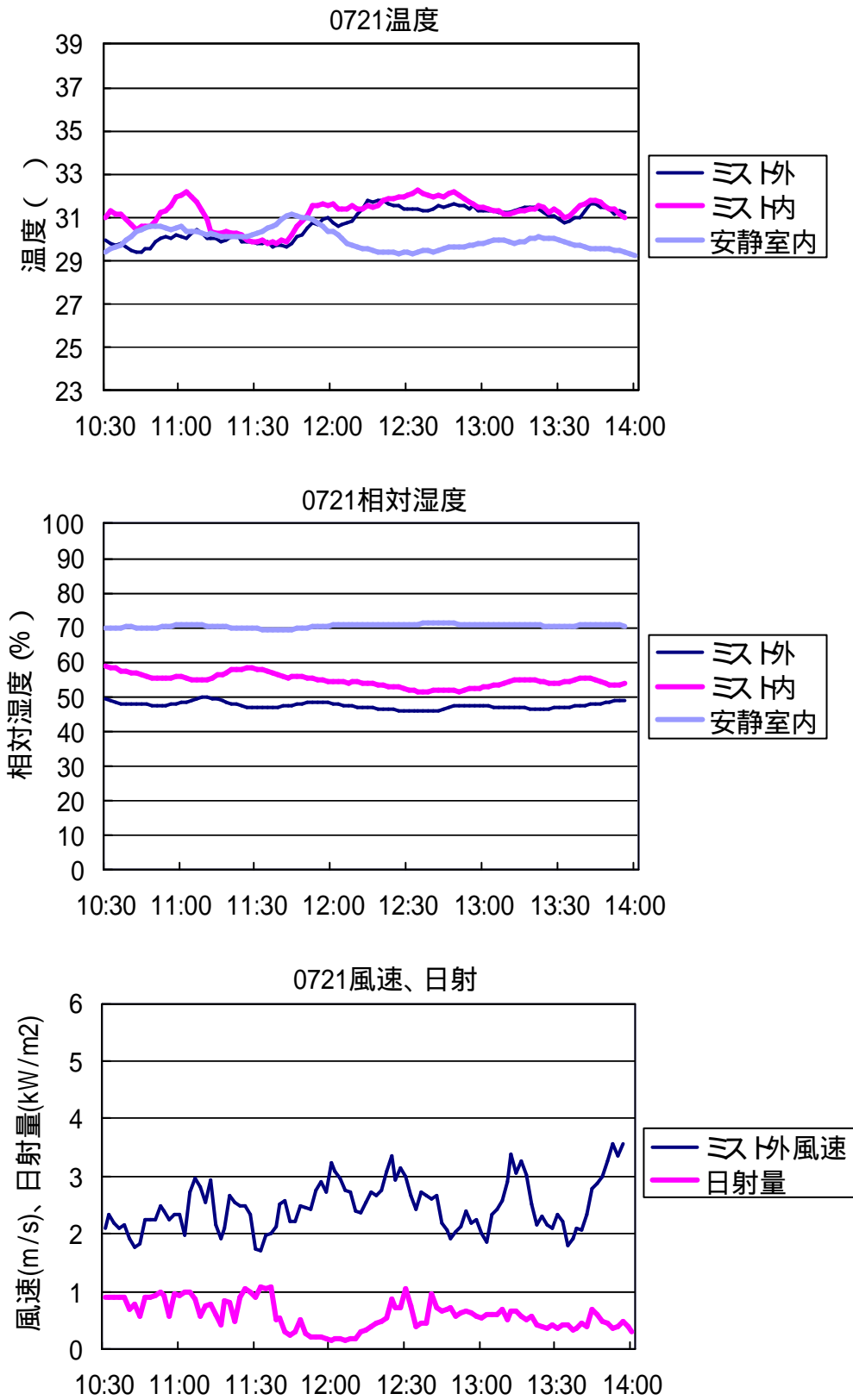


図 34 7/21 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

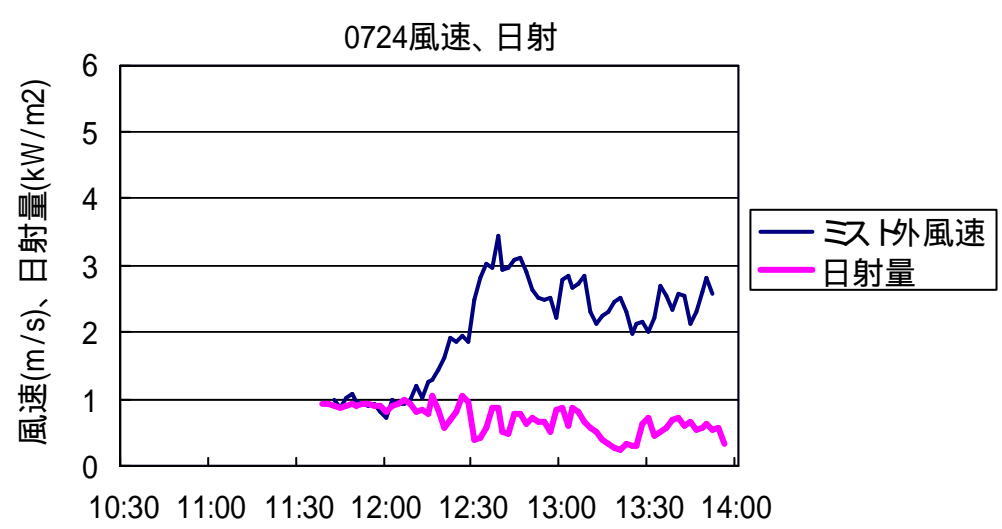
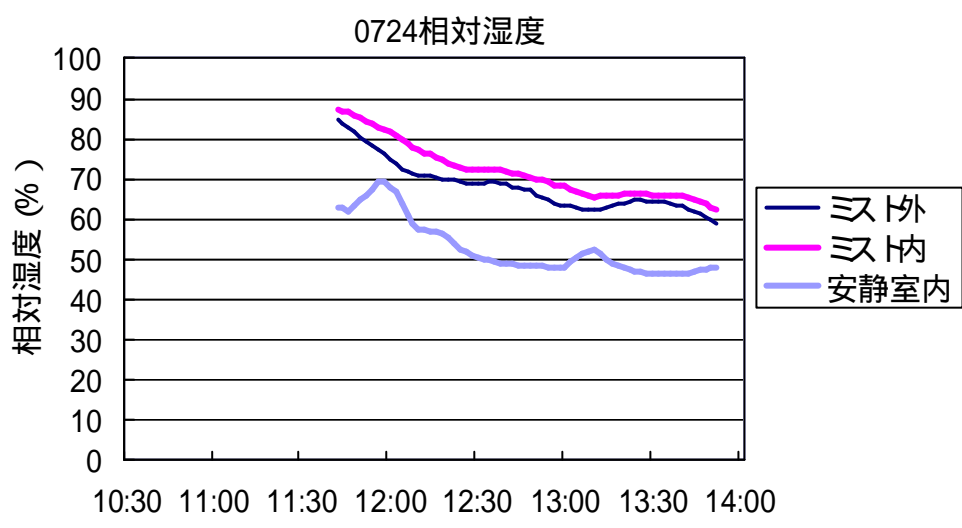
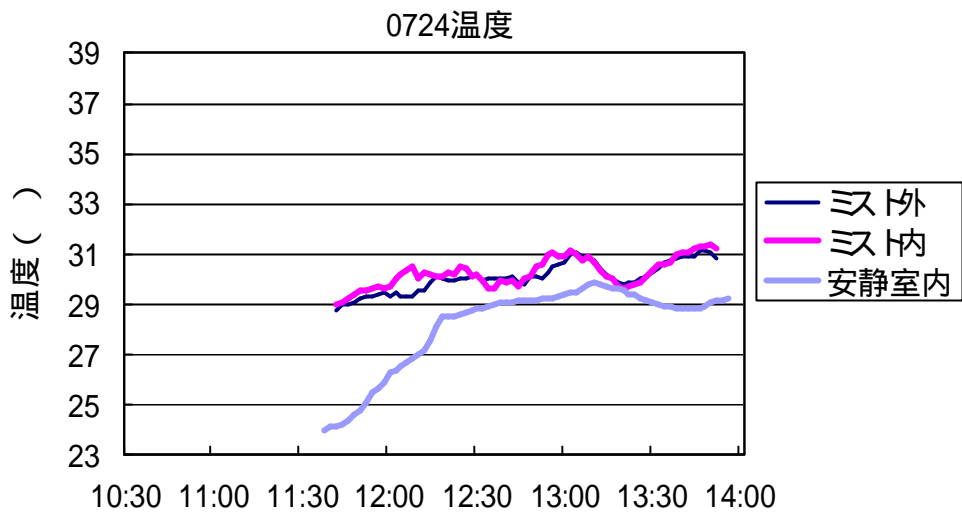


図 35 7/24 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

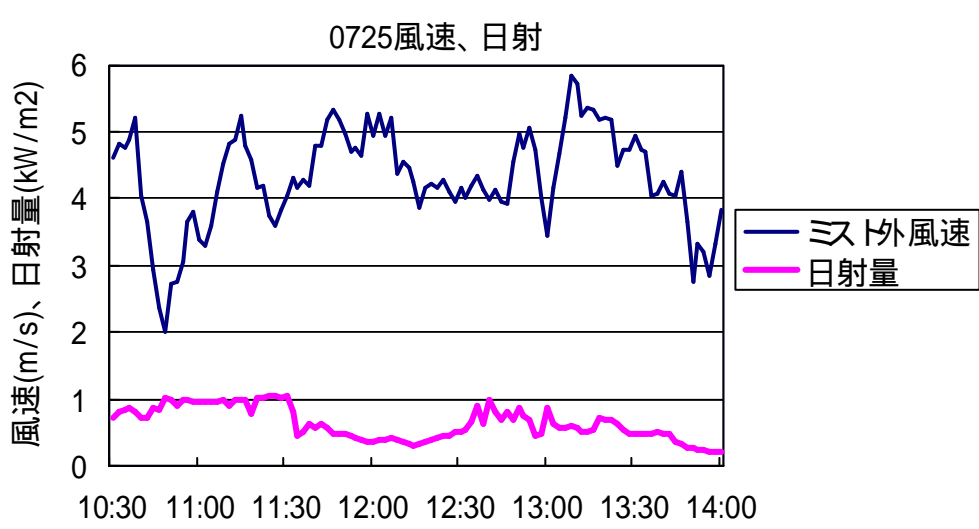
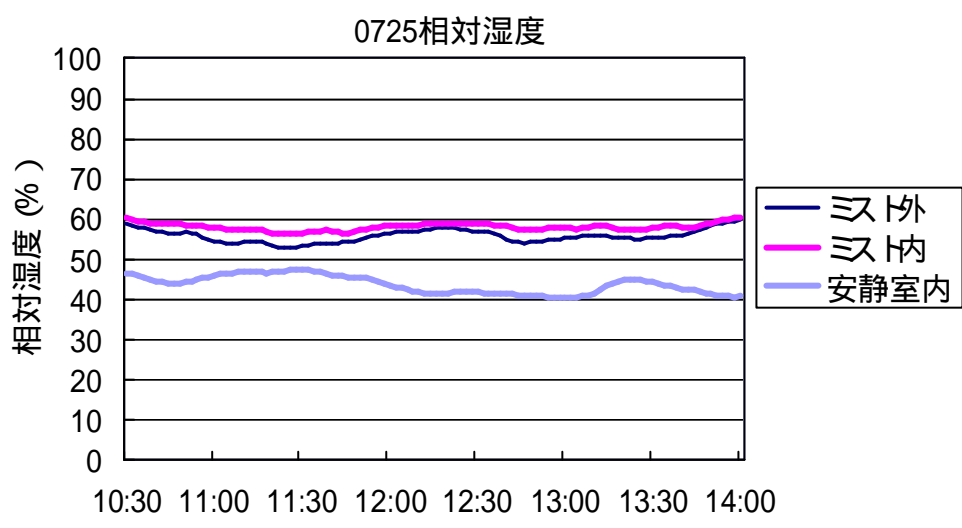
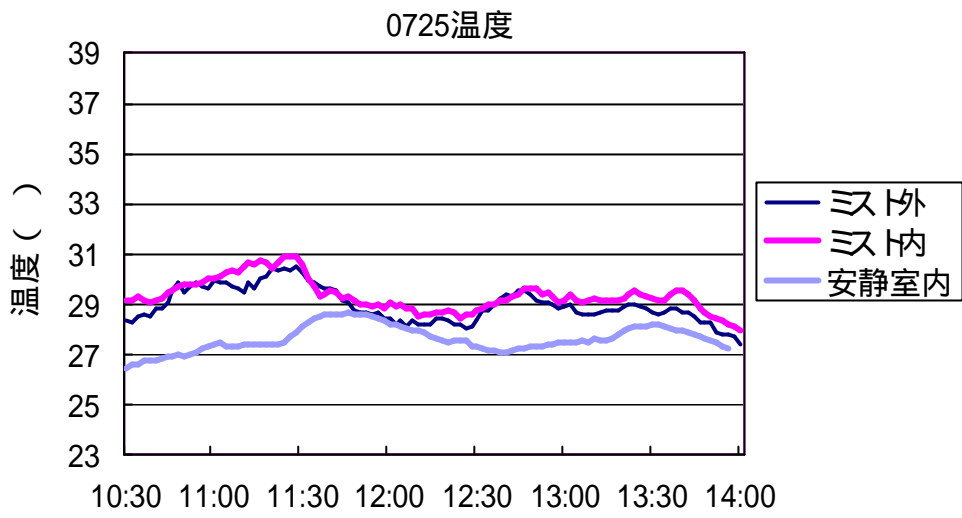


図 36 7/25 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

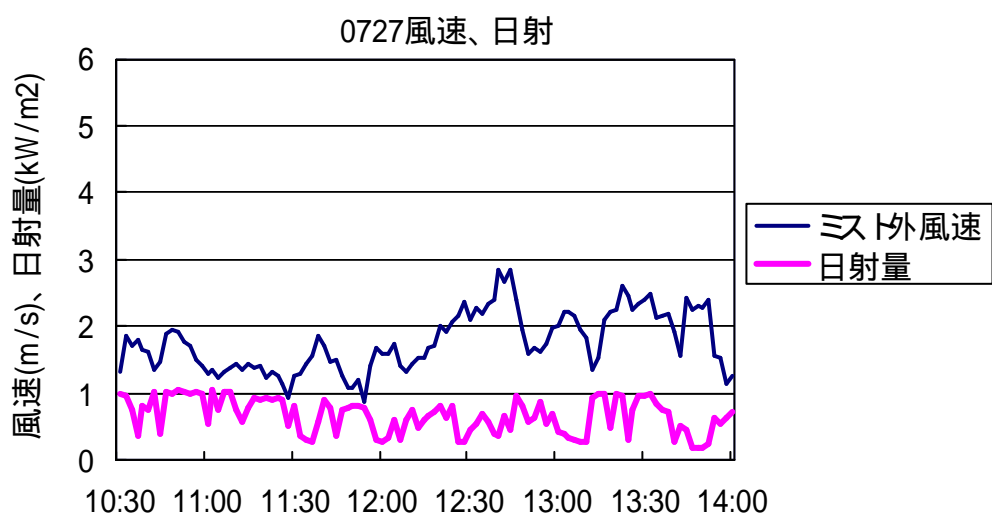
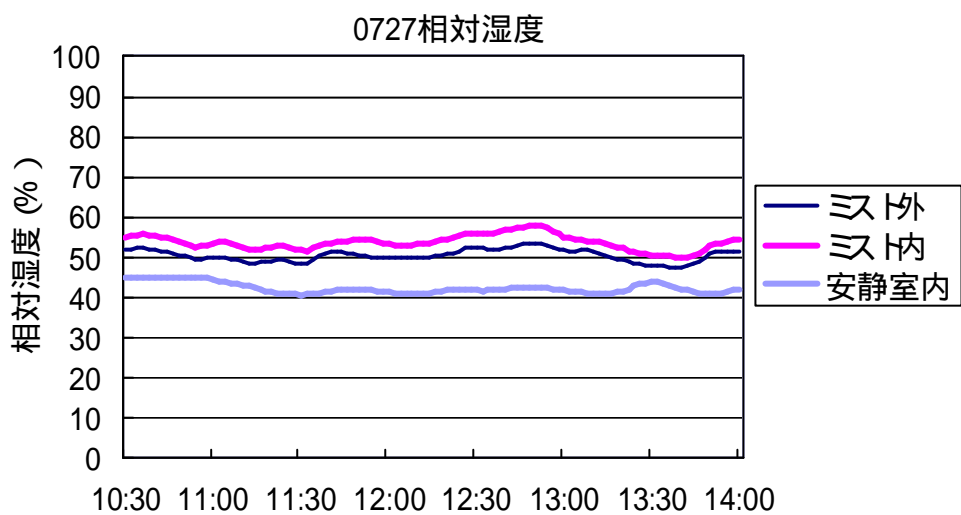
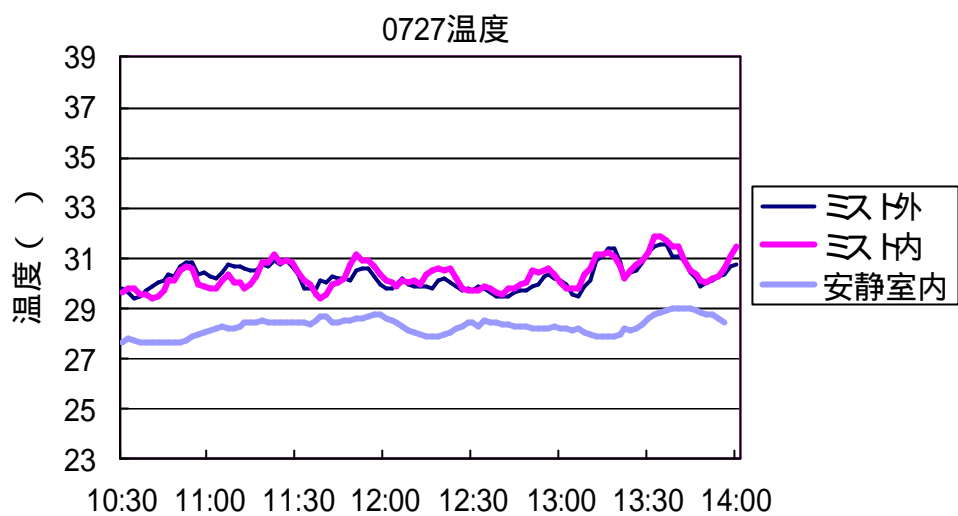


図 37 7/27 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

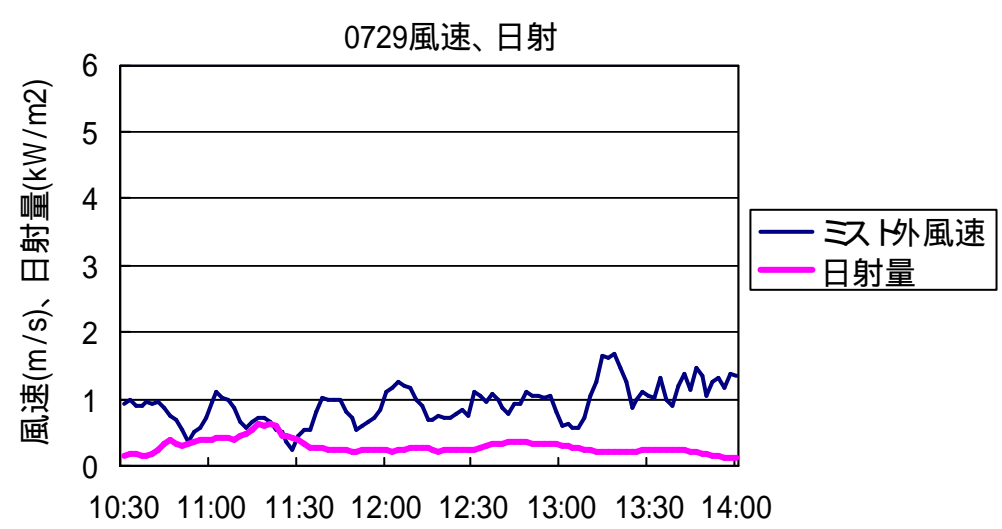
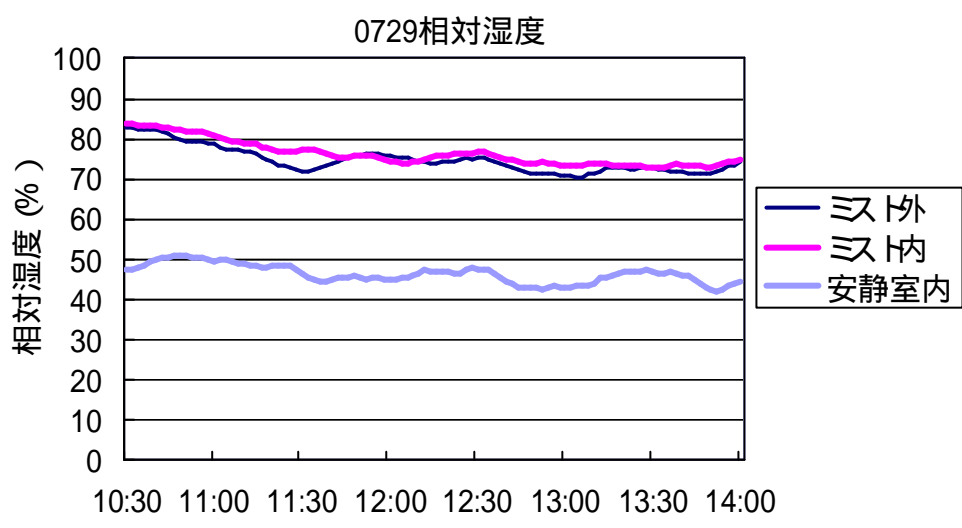
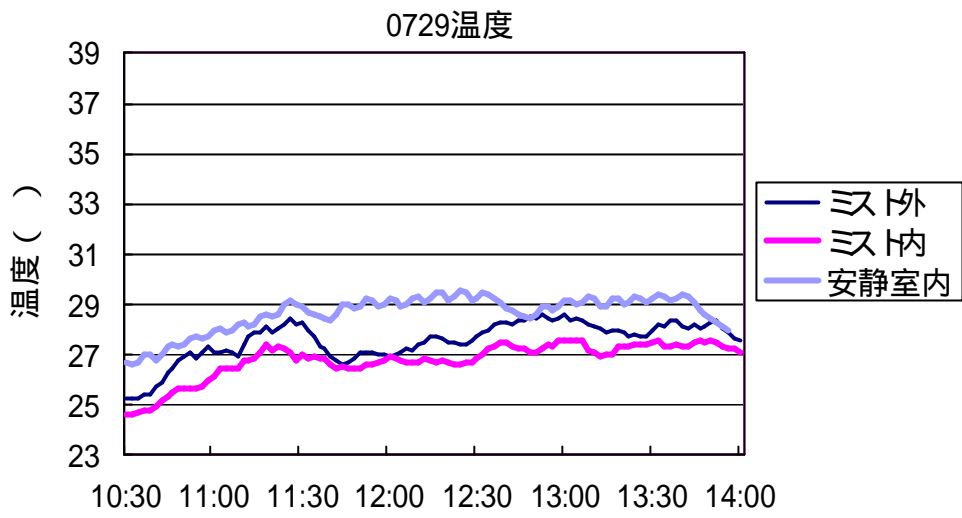


図 38 7/29 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

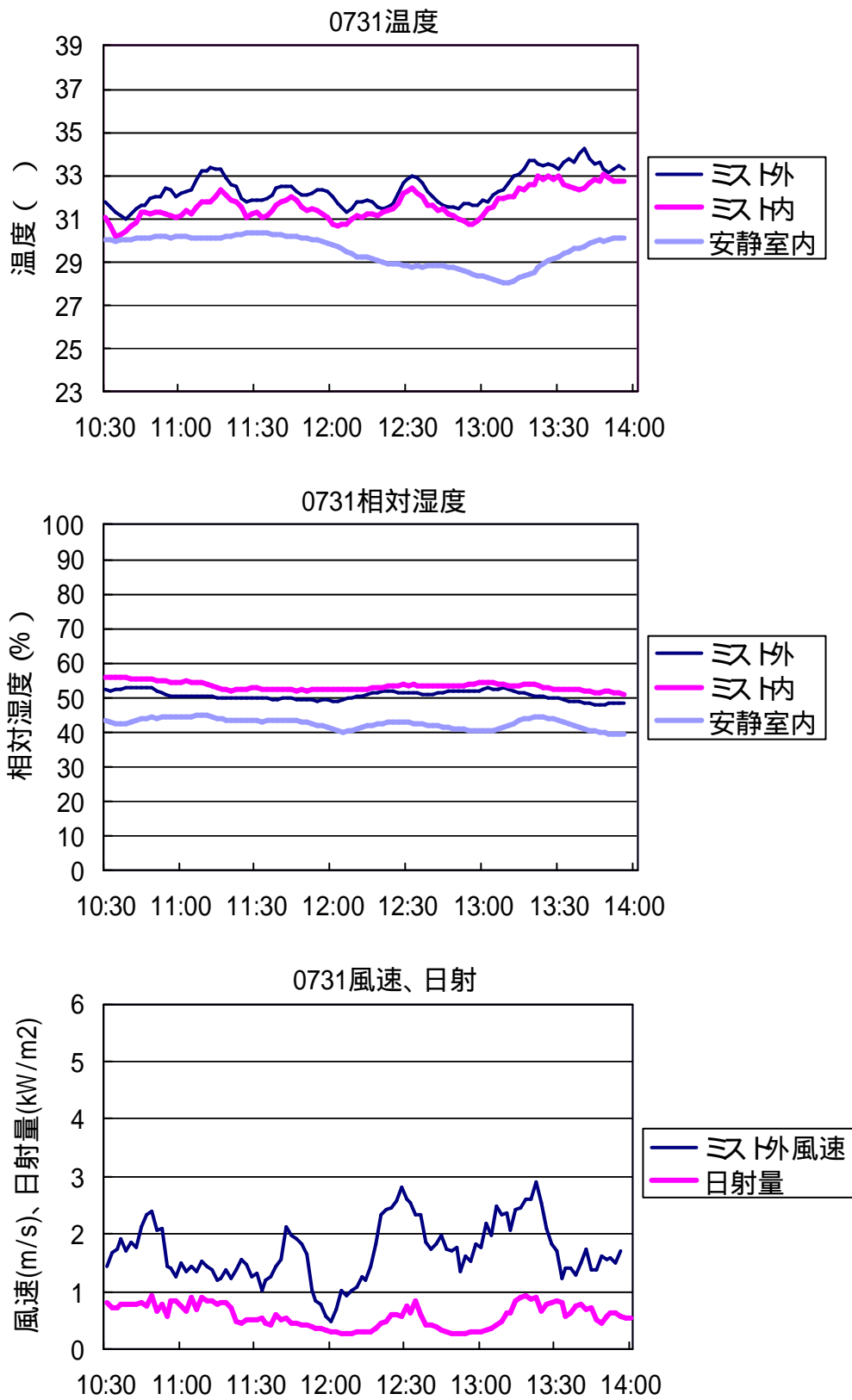


図 39 7/31 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

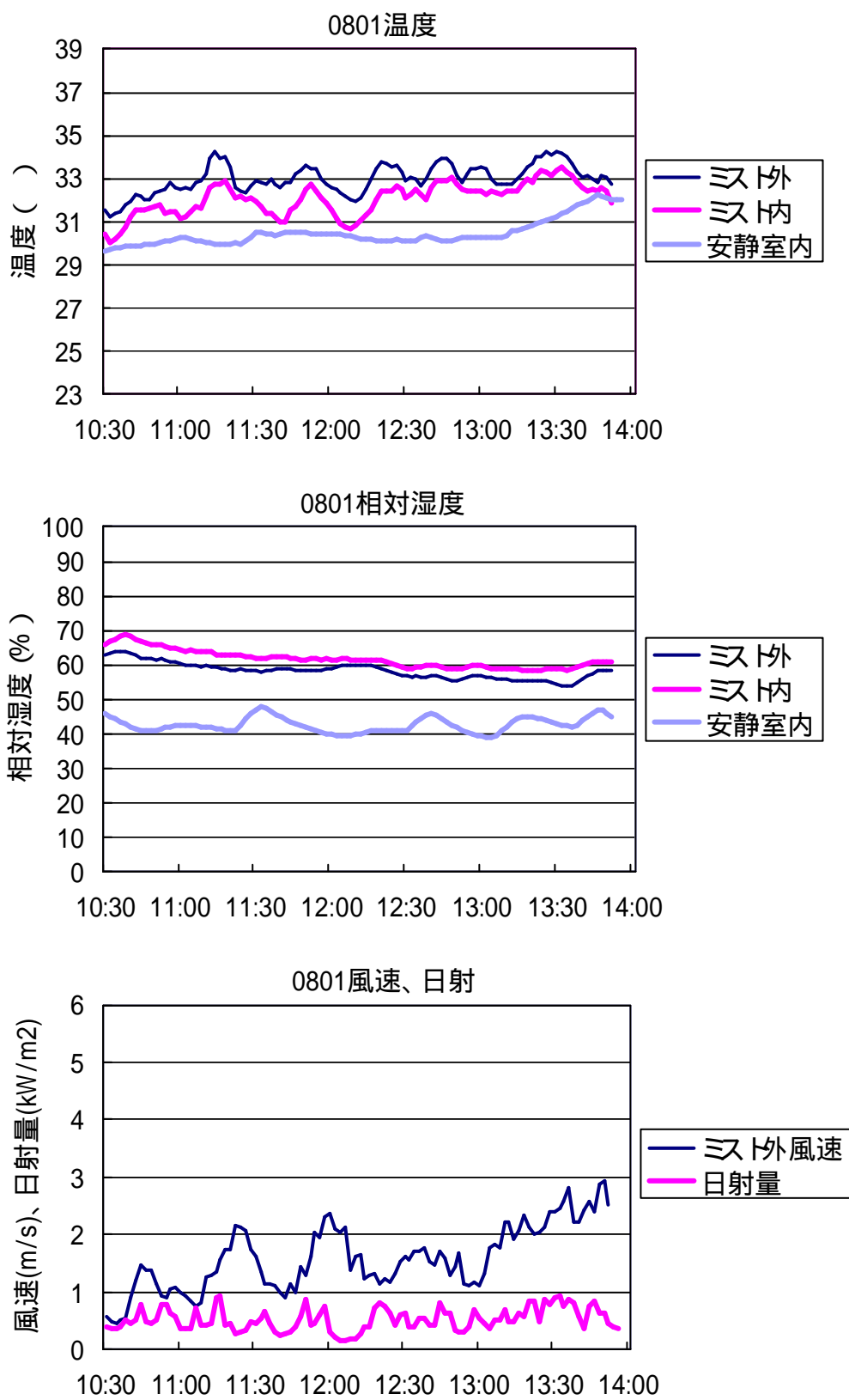


図 40 8/1 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

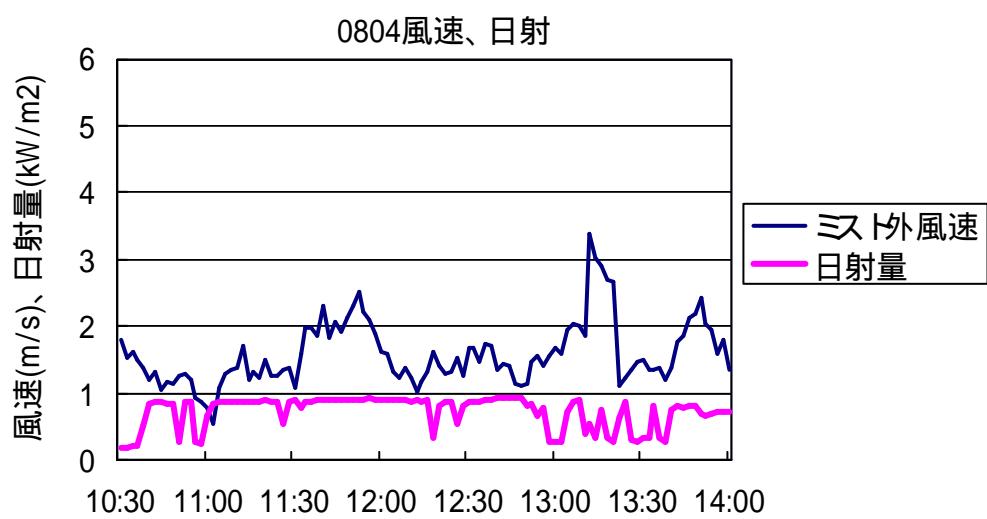
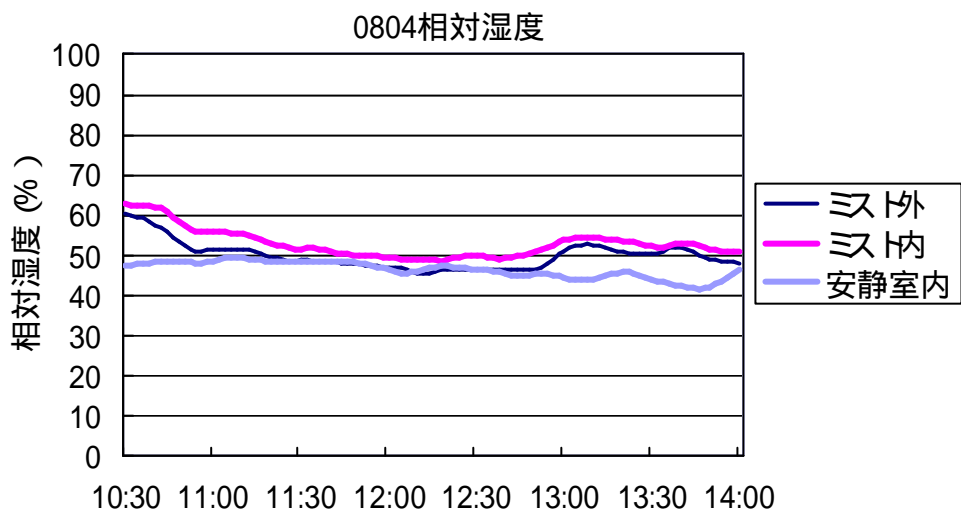
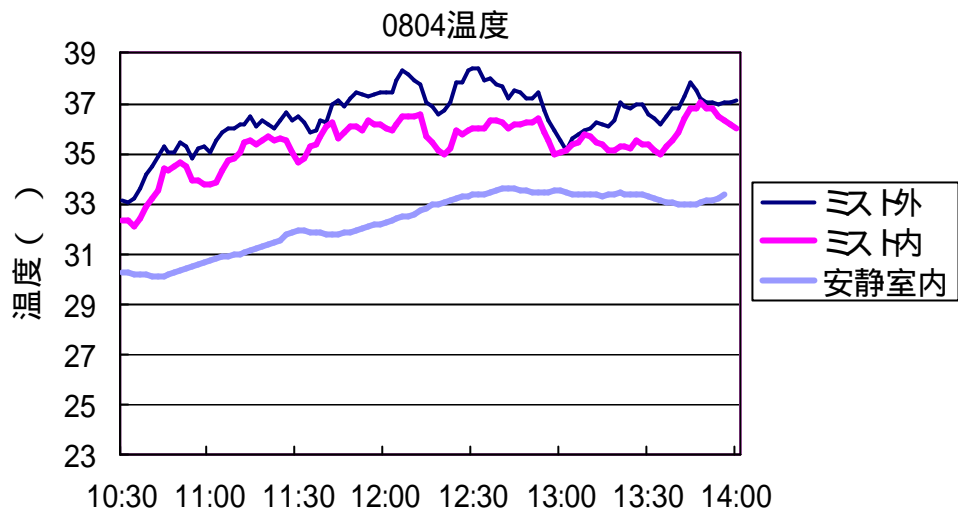


図 41 8/4 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

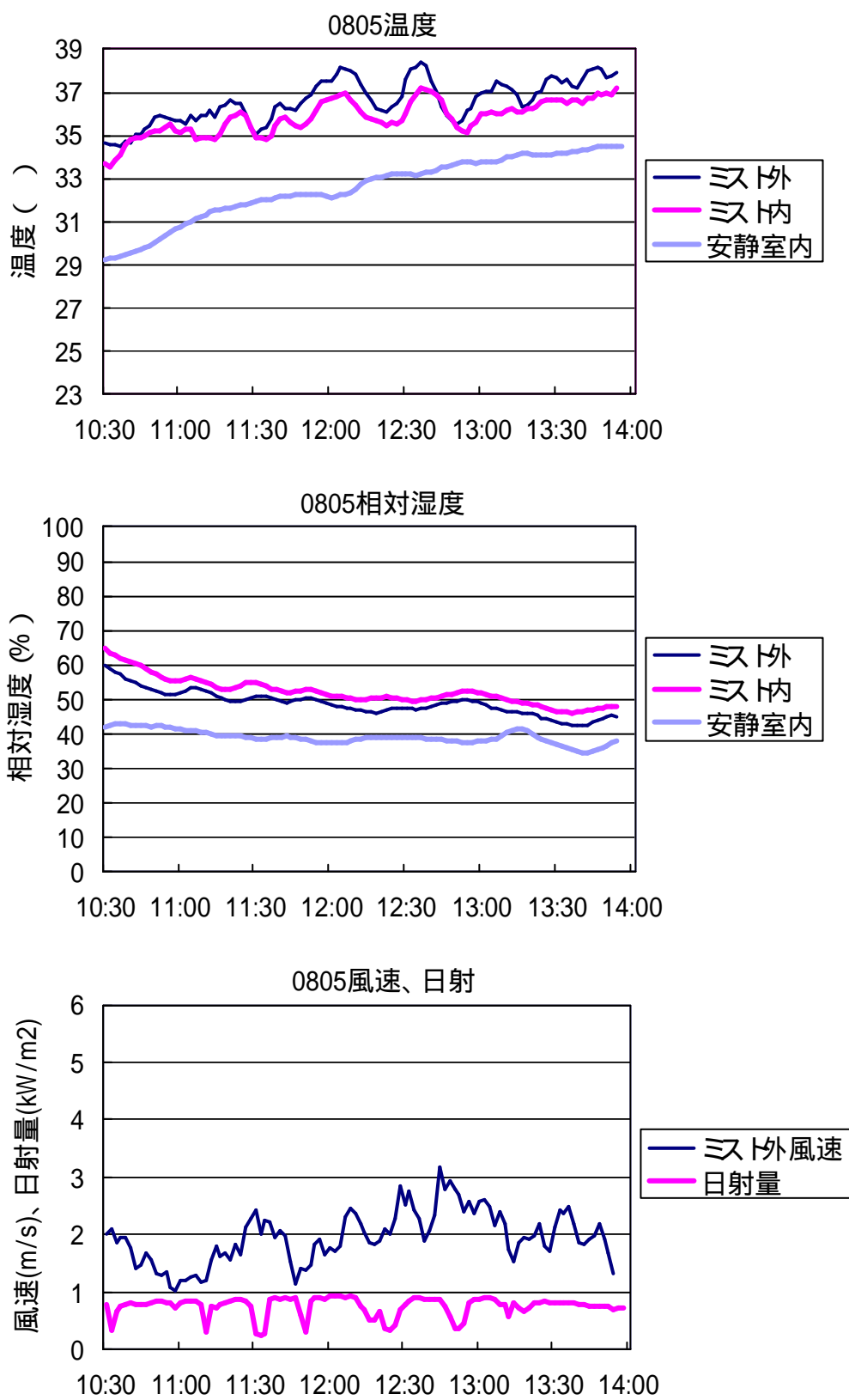


図 42 8/5 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

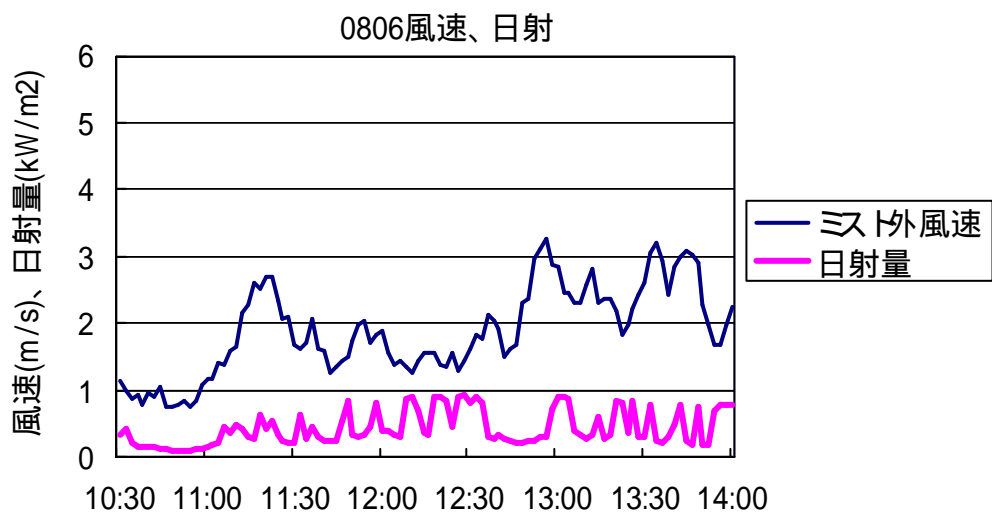
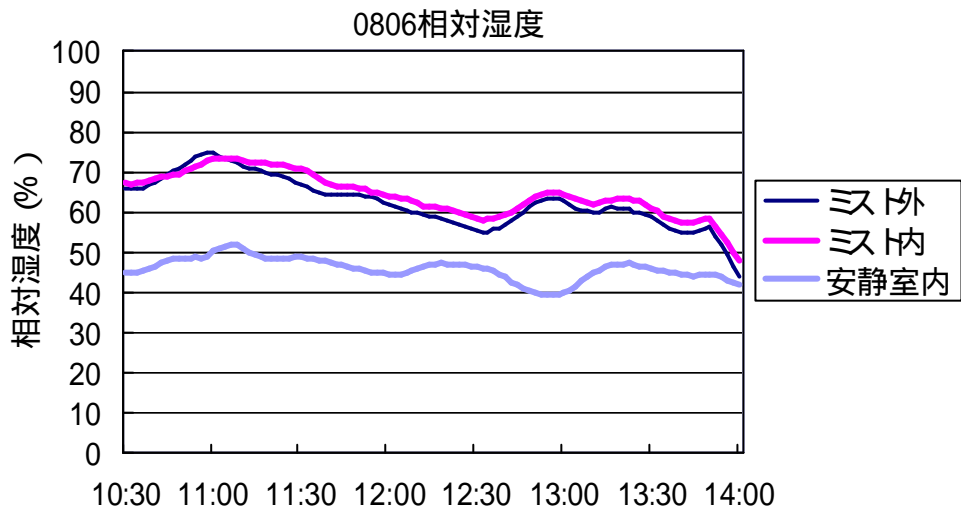
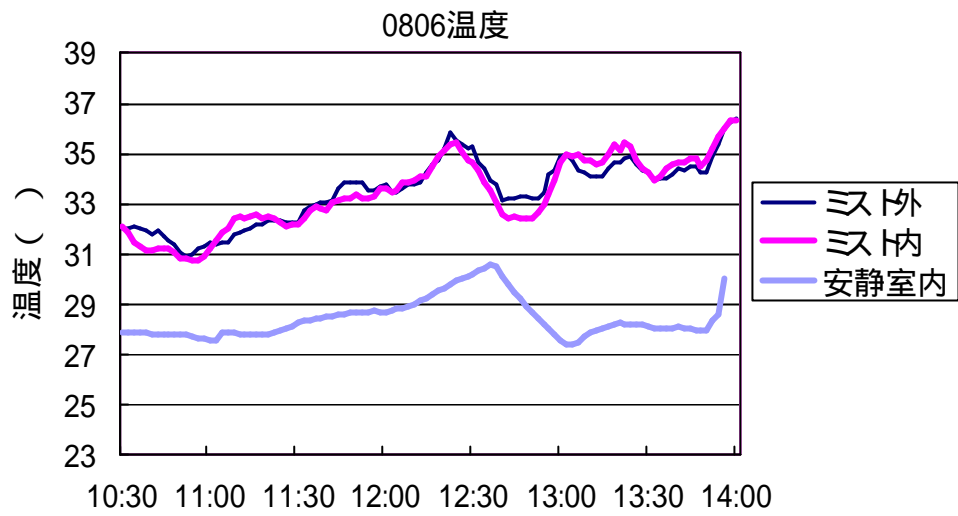


図 43 8/6 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

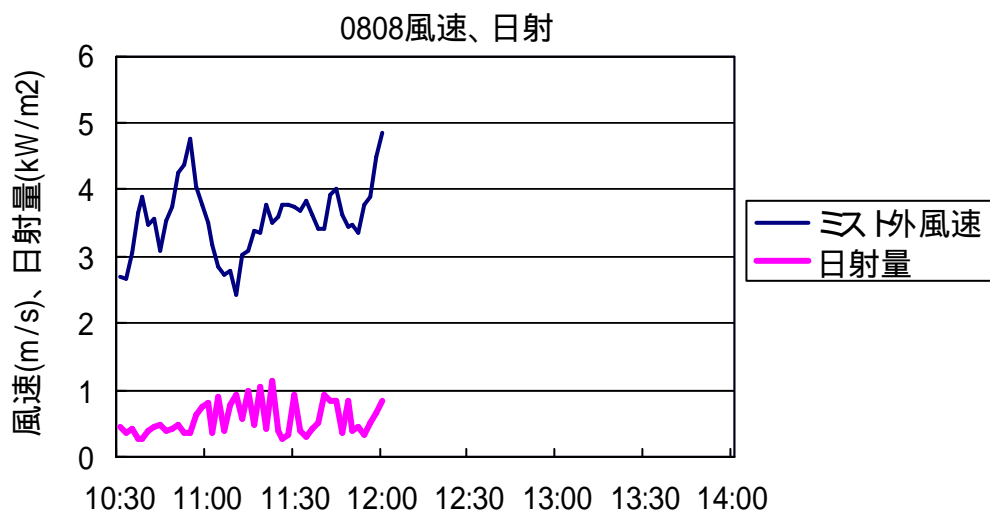
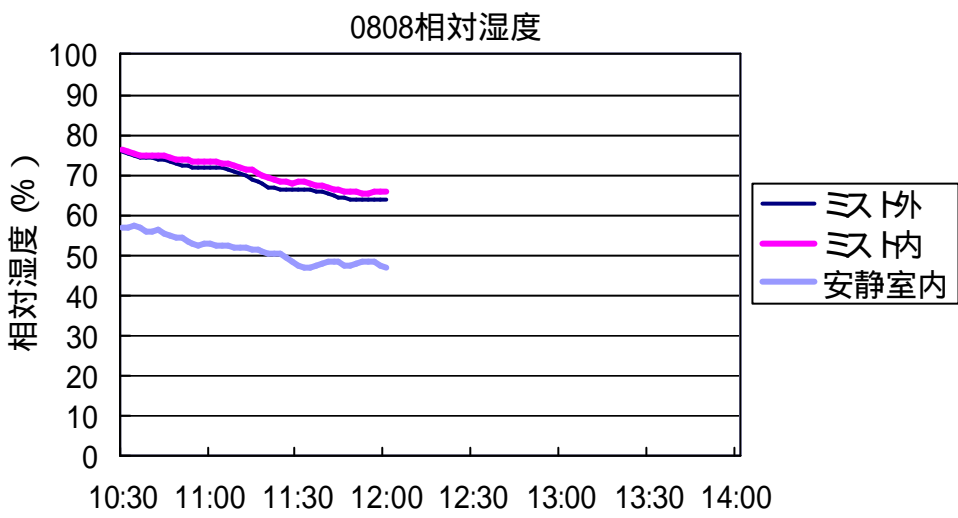
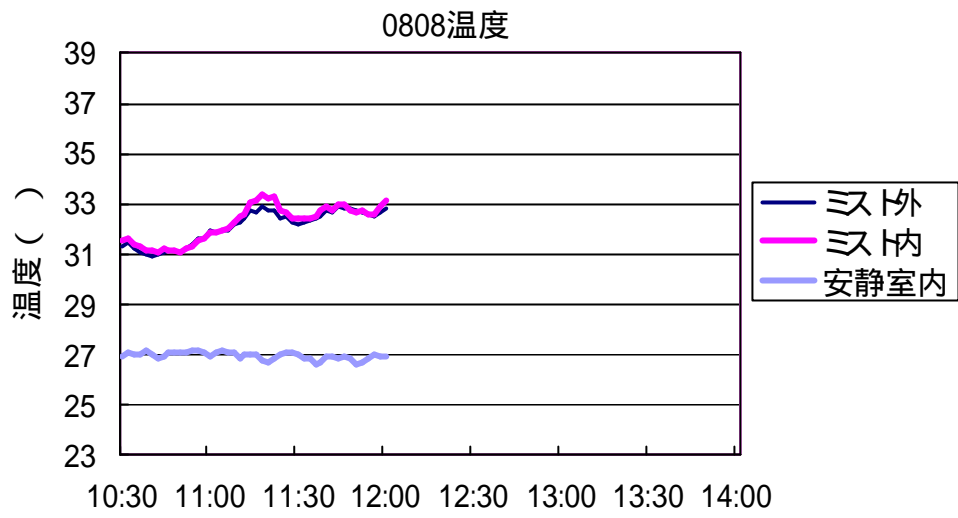


図 44 8/8 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

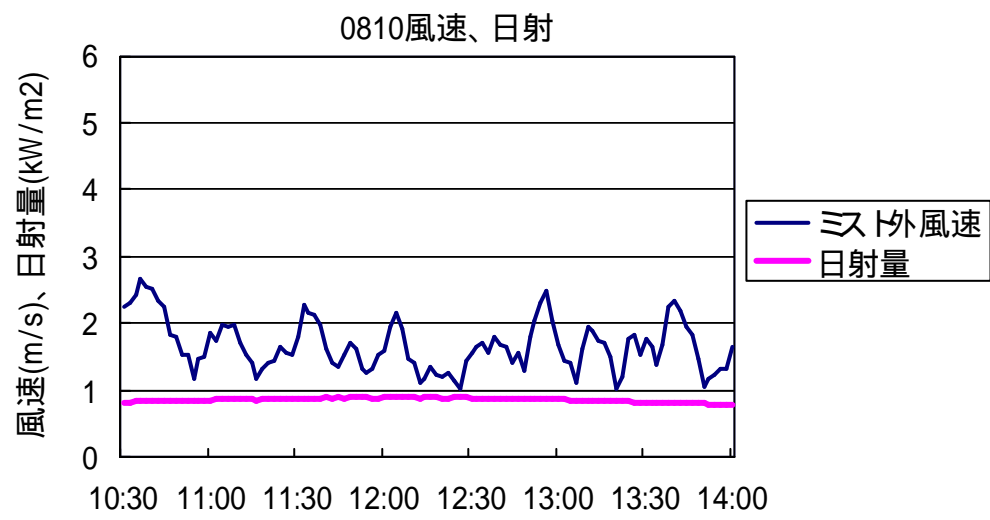
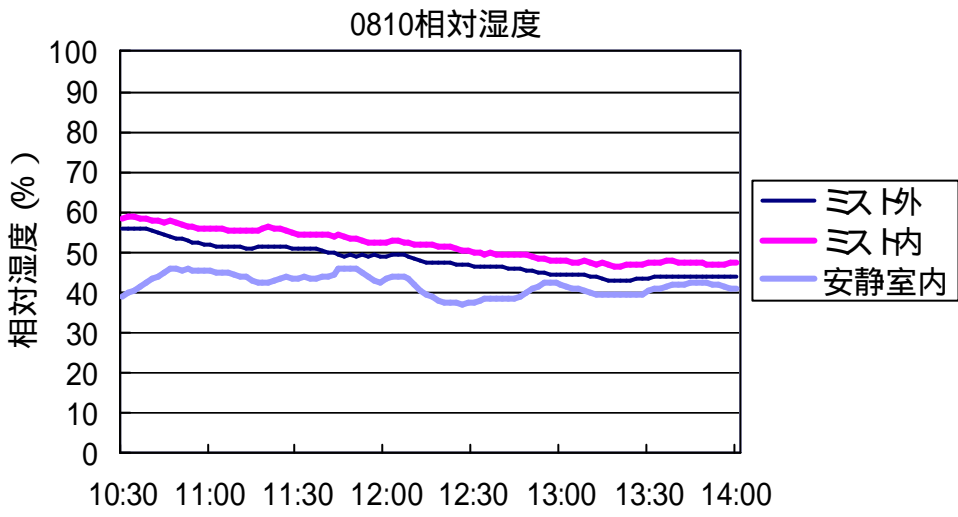
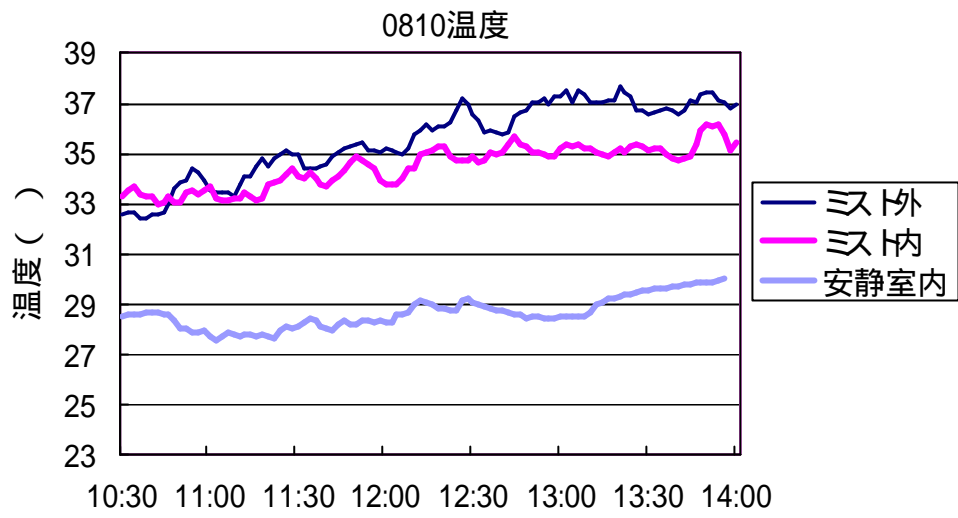


図 45 8/10 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

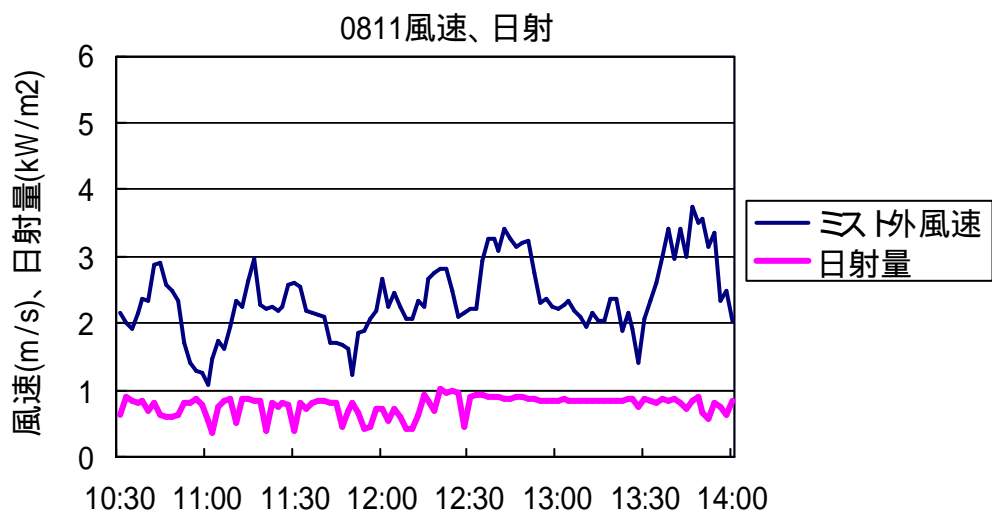
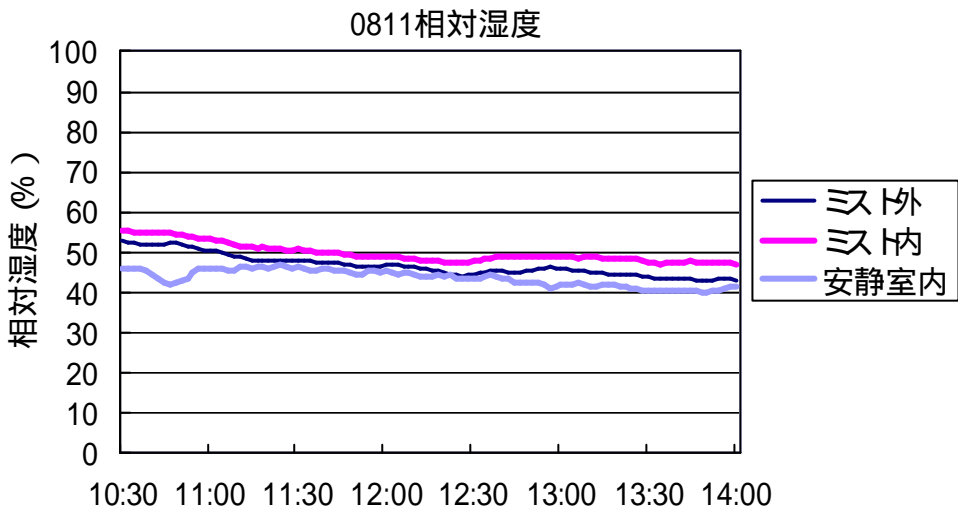
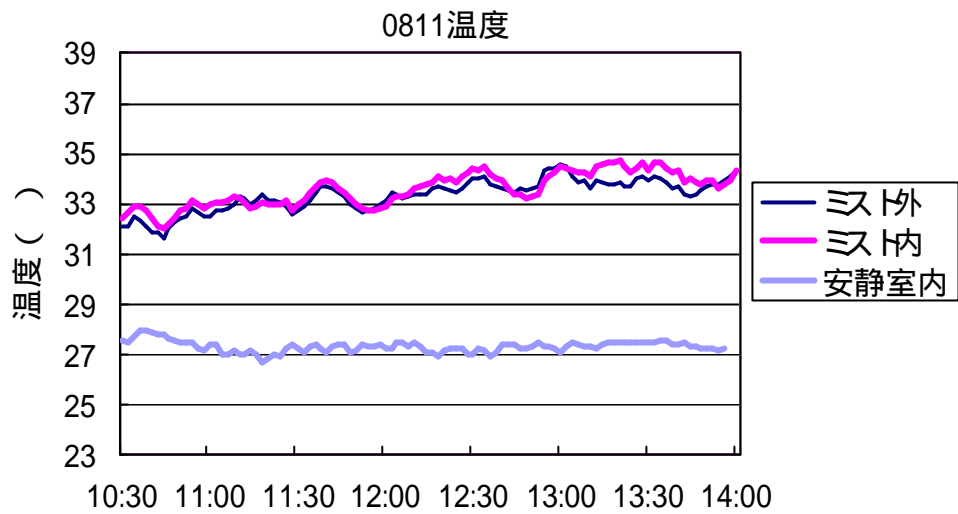


図 46 8/11 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

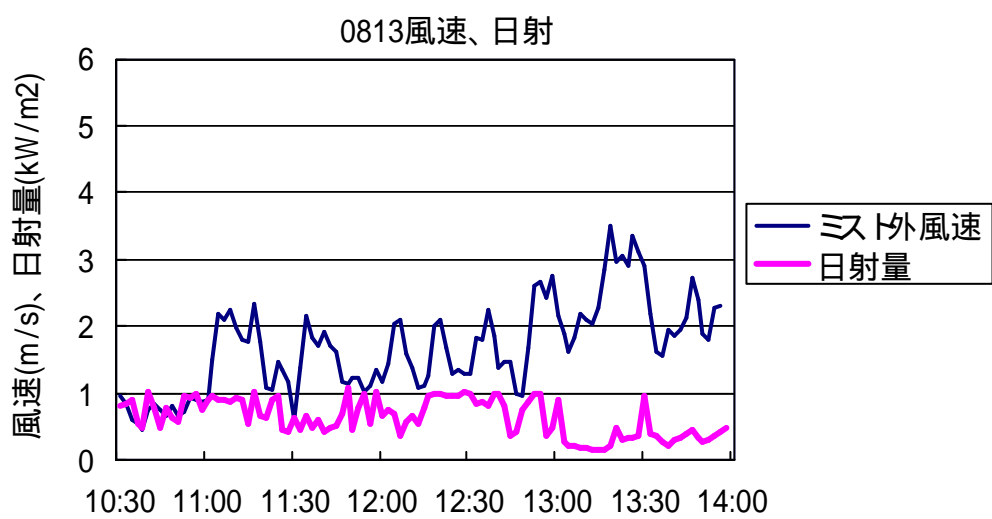
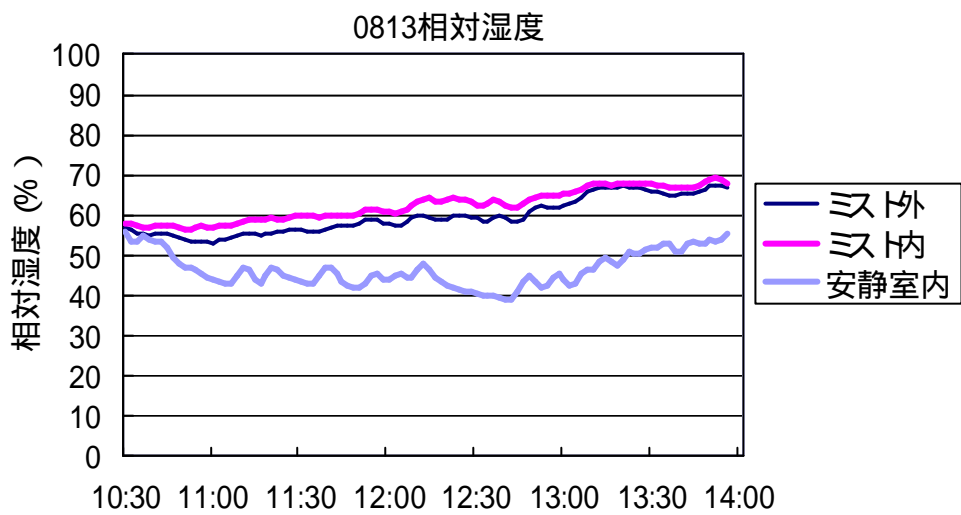
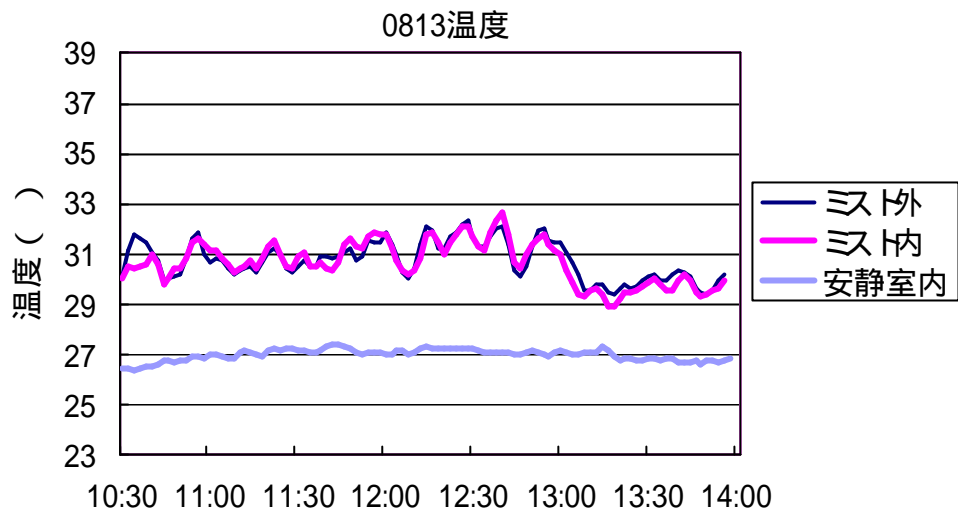


図 47 8/13 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

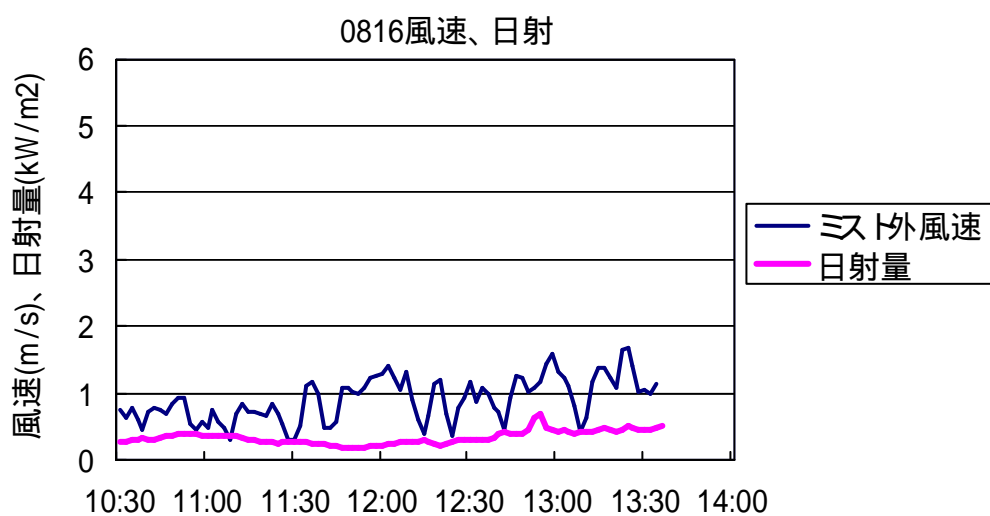
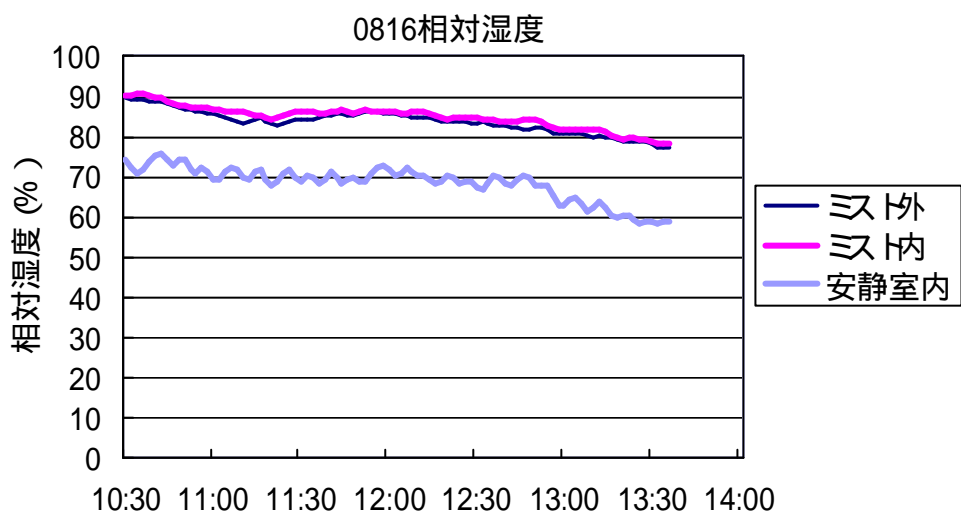
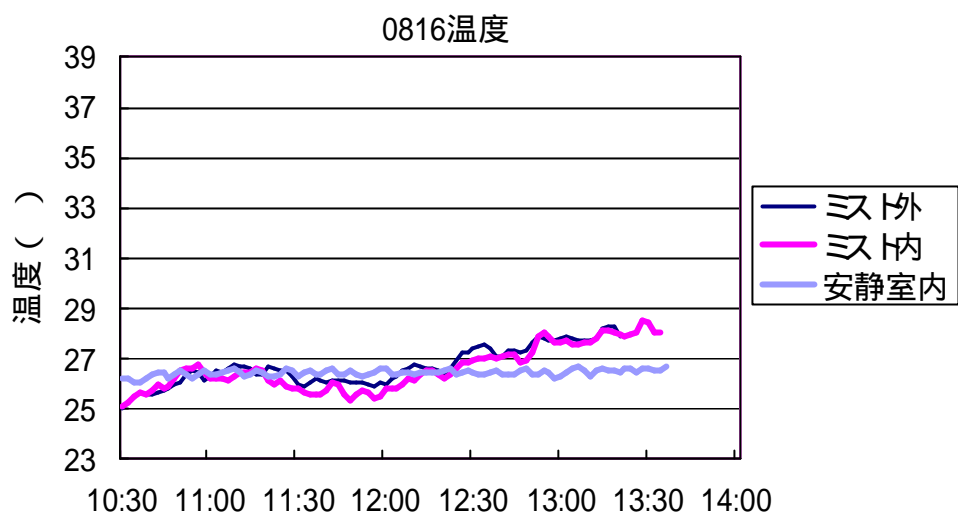


図 48 8/16 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

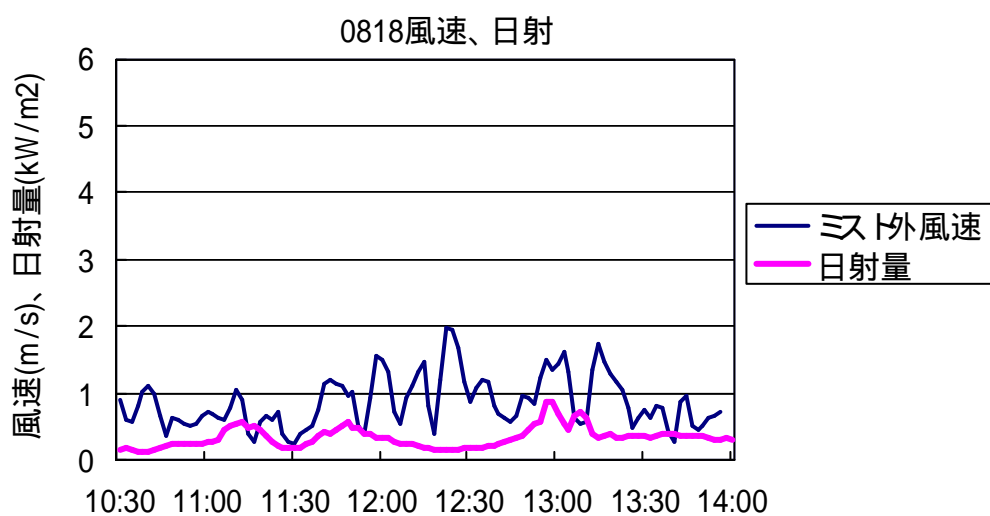
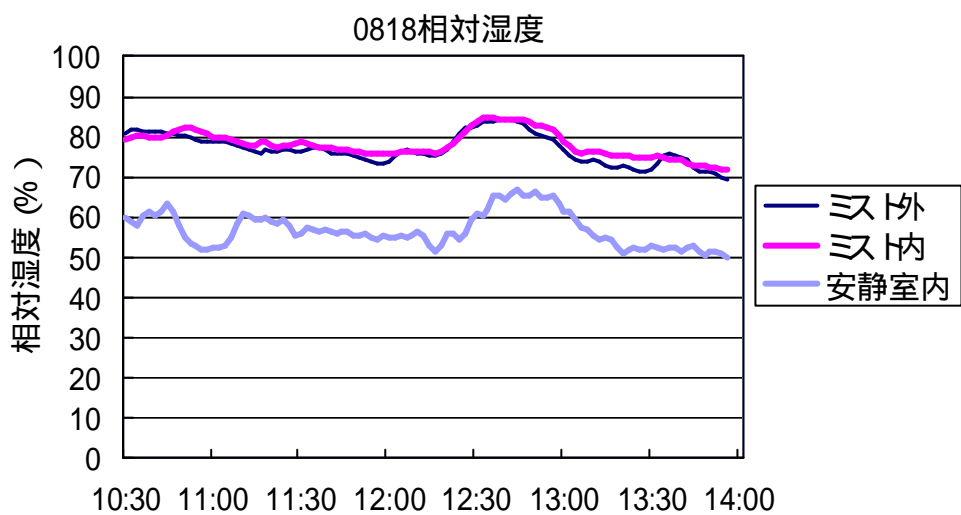
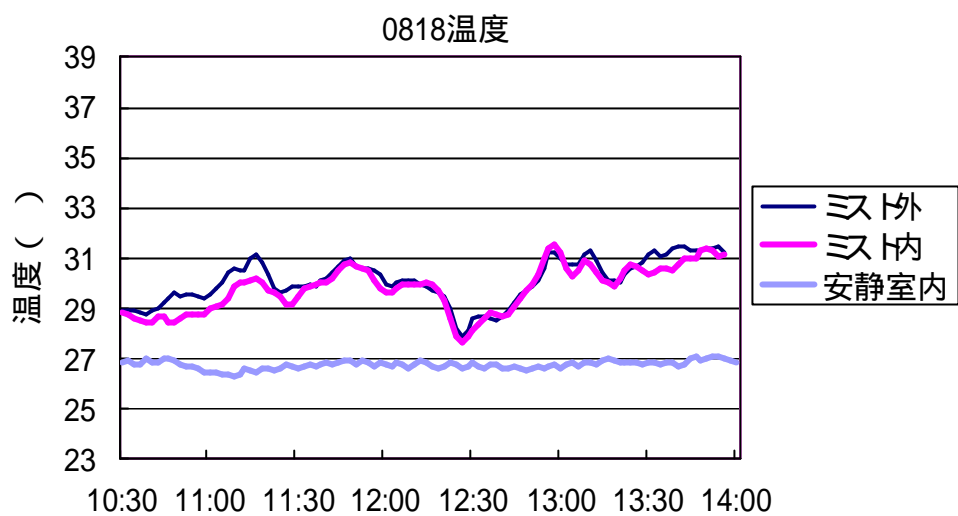


図 49 8/18 の温熱環境条件 (2003 年、ささしま)

付録 日進温熱環境

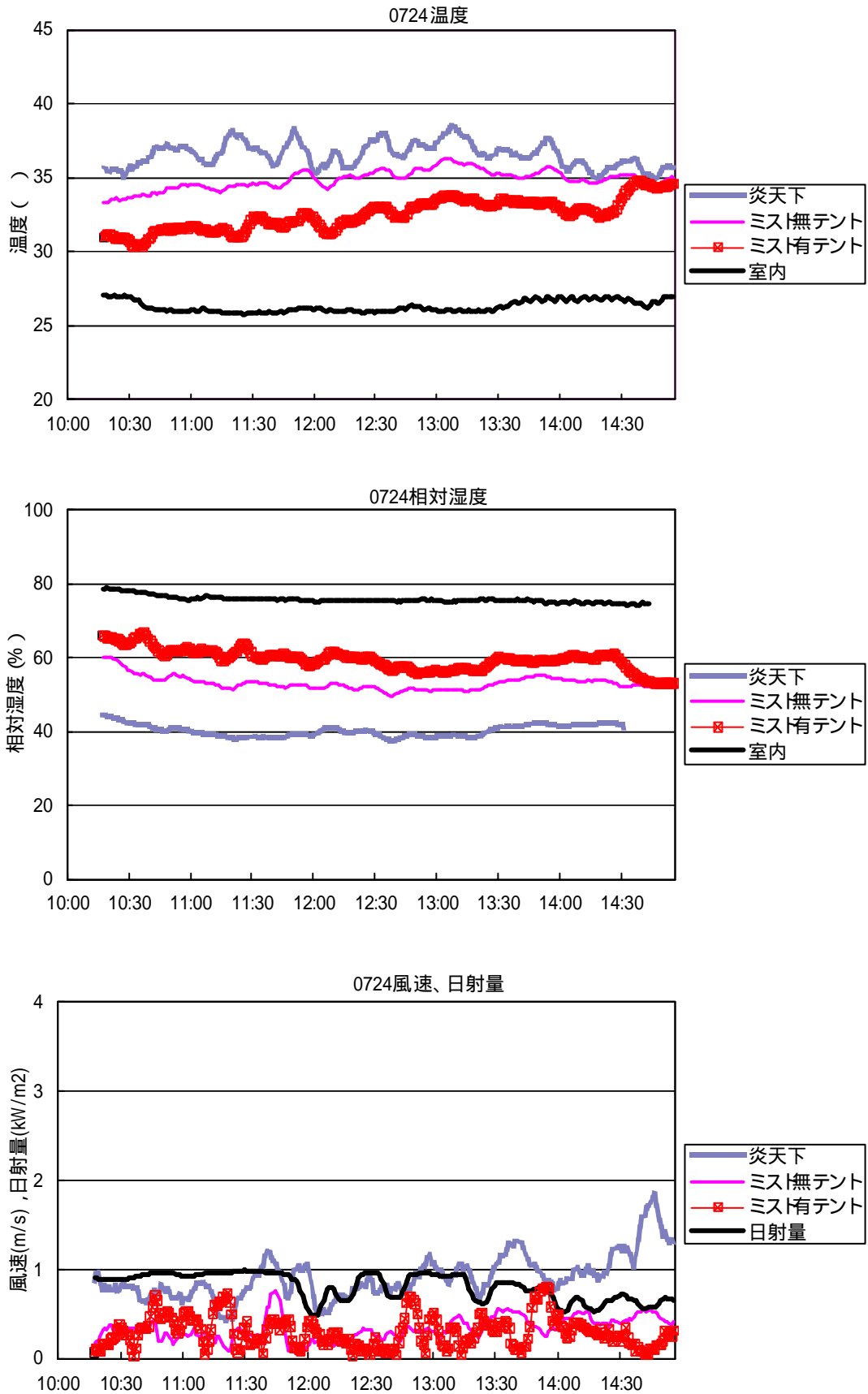


図1 7/24の温熱環境条件(2004年、日進)

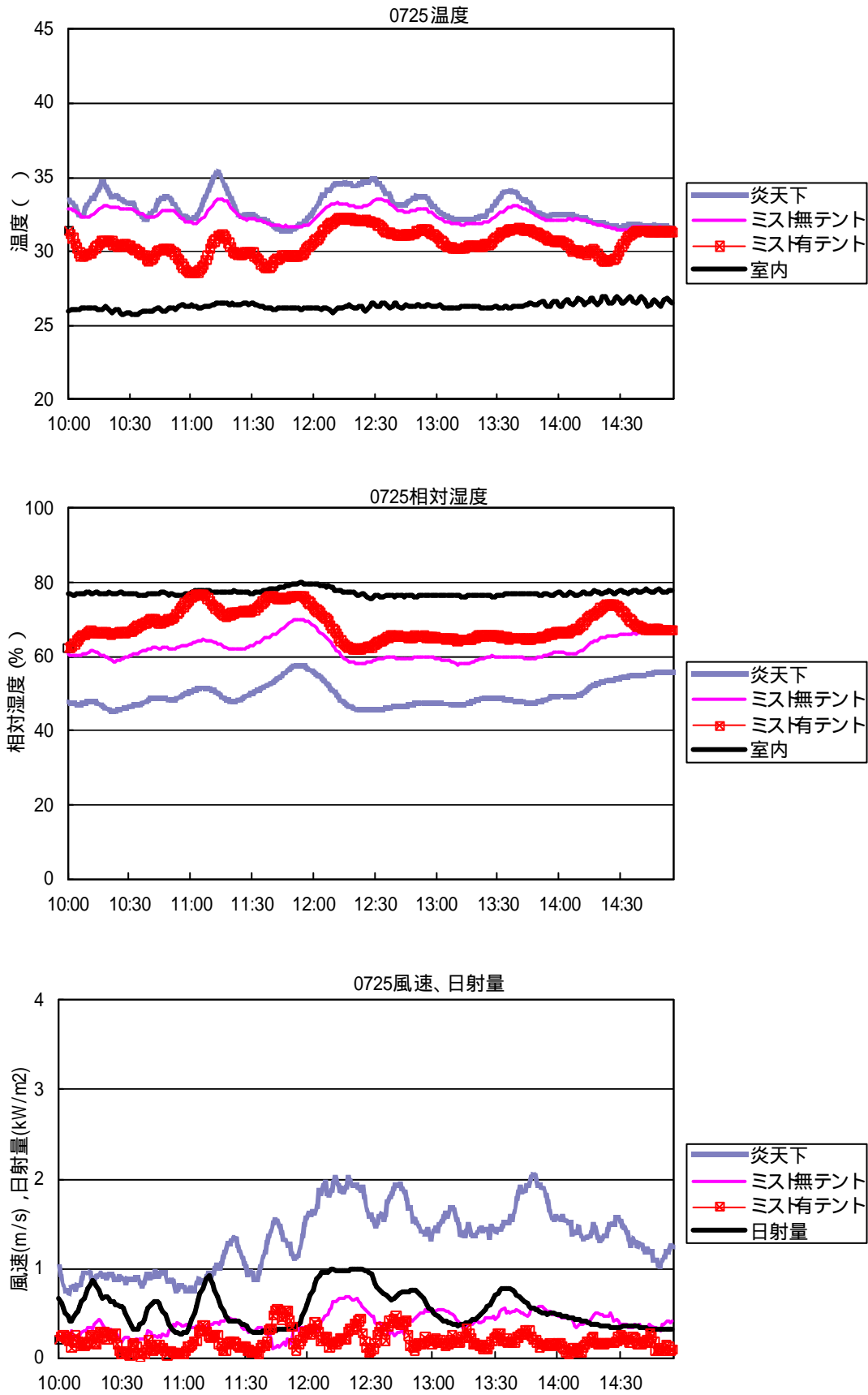


図2 7/25の温熱環境条件(2004年、日進)

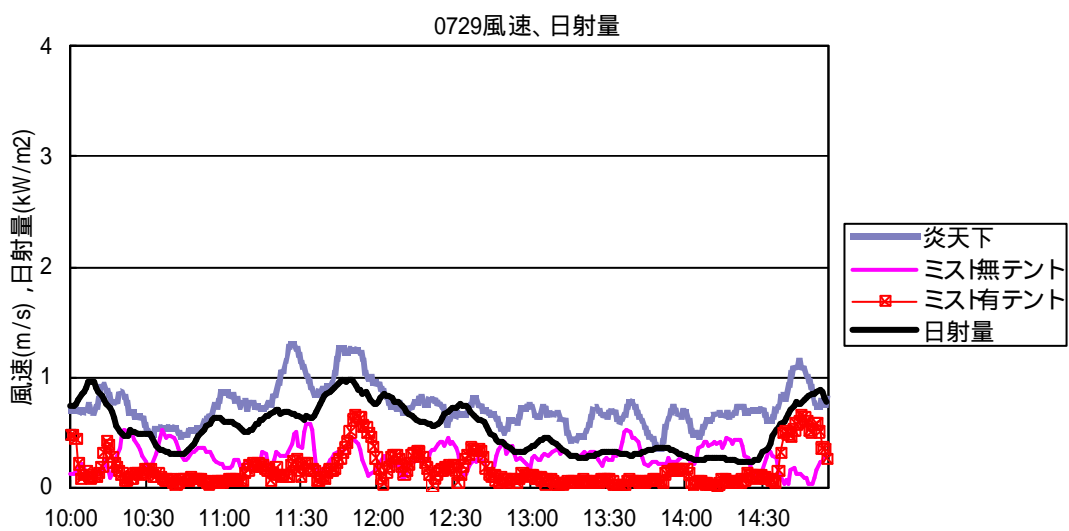
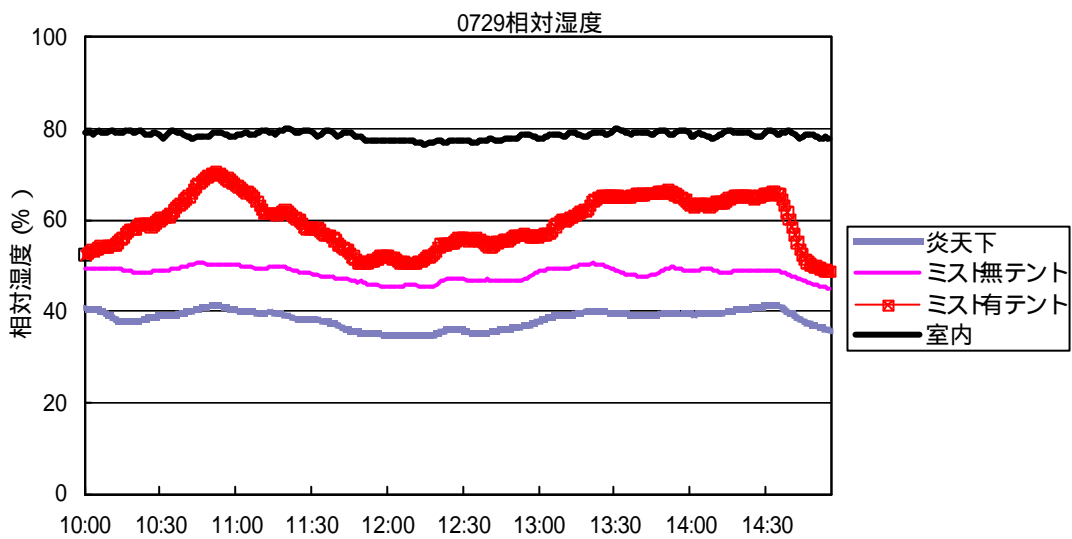
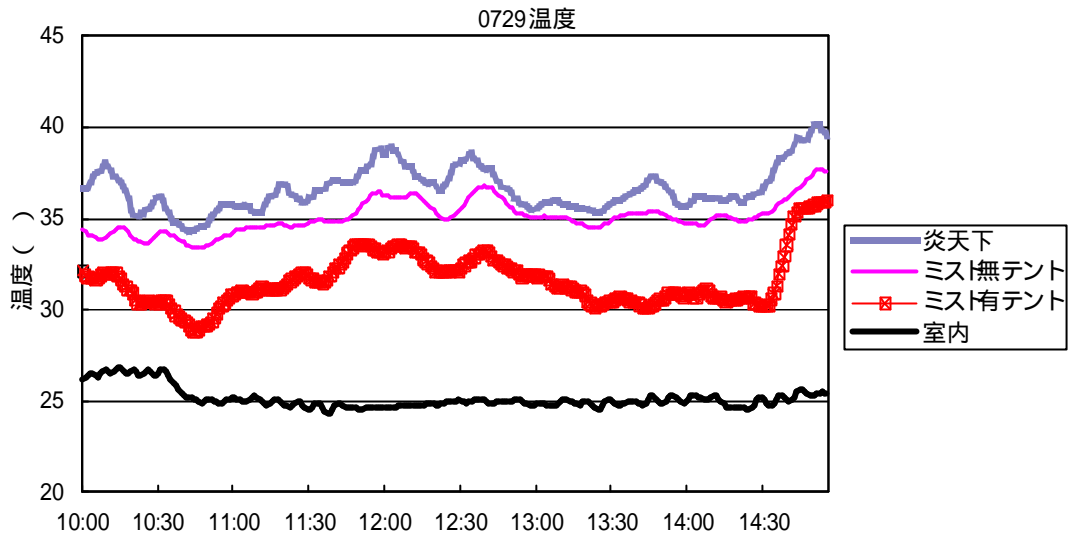


図3 7/29の温熱環境条件(2004年、日進)

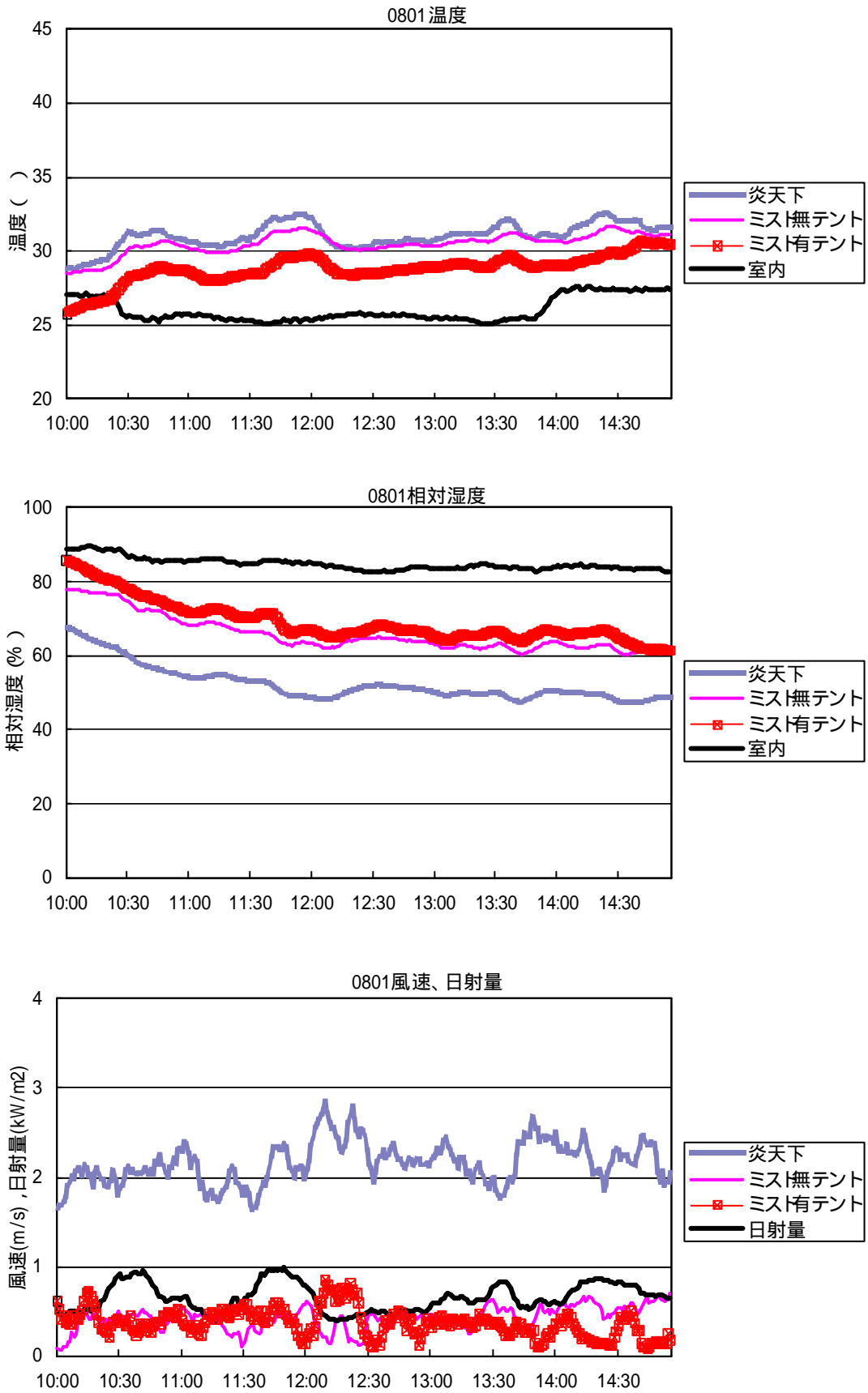


図4 8/1の温熱環境条件(2004年、日進)

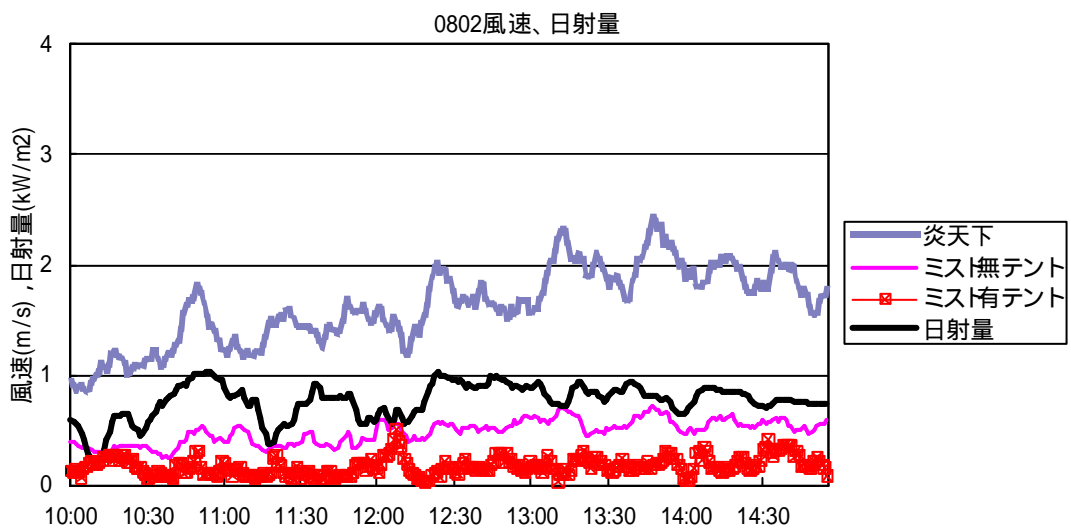
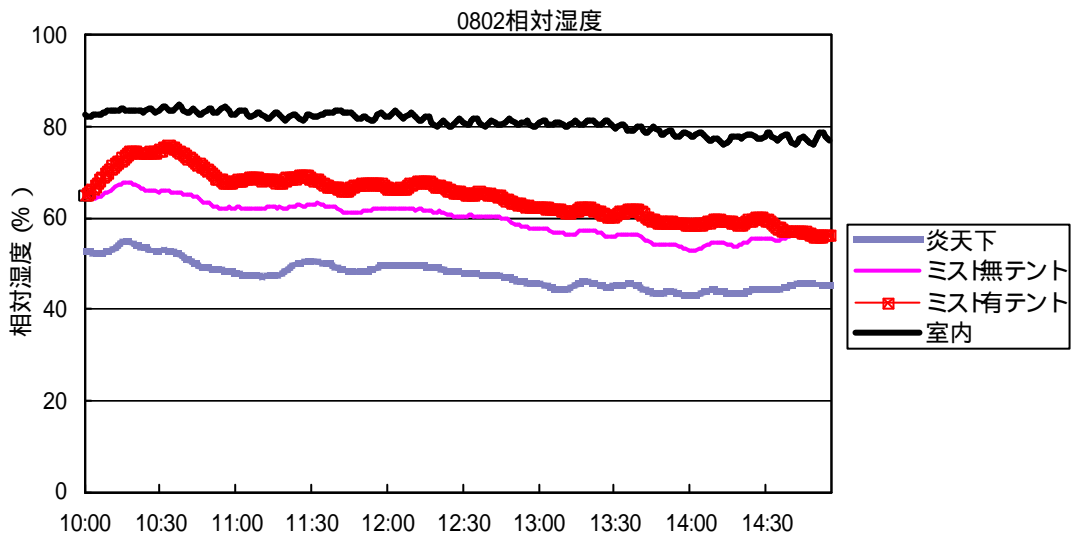
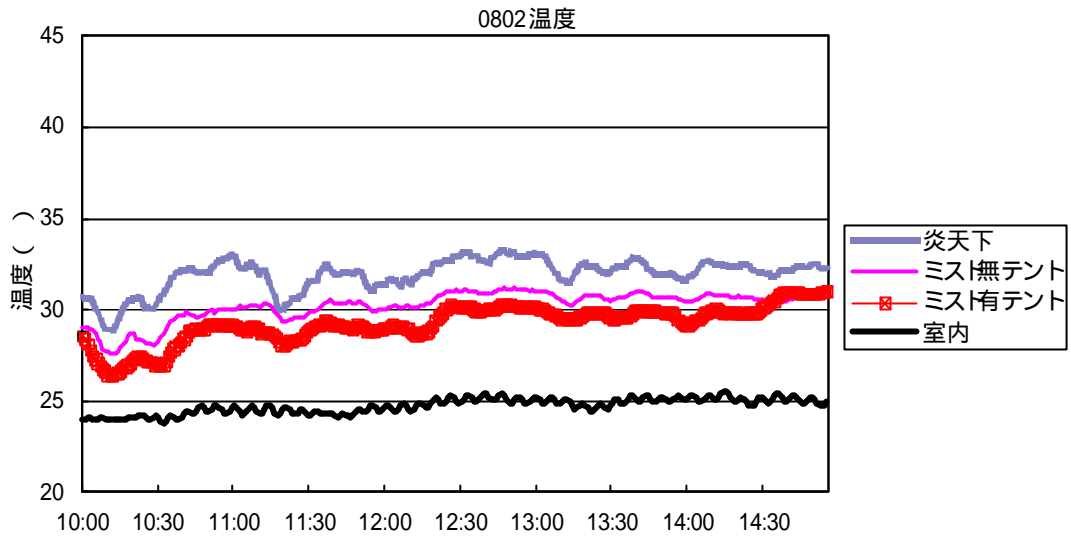


図5 8/2の温熱環境条件(2004年、日進)

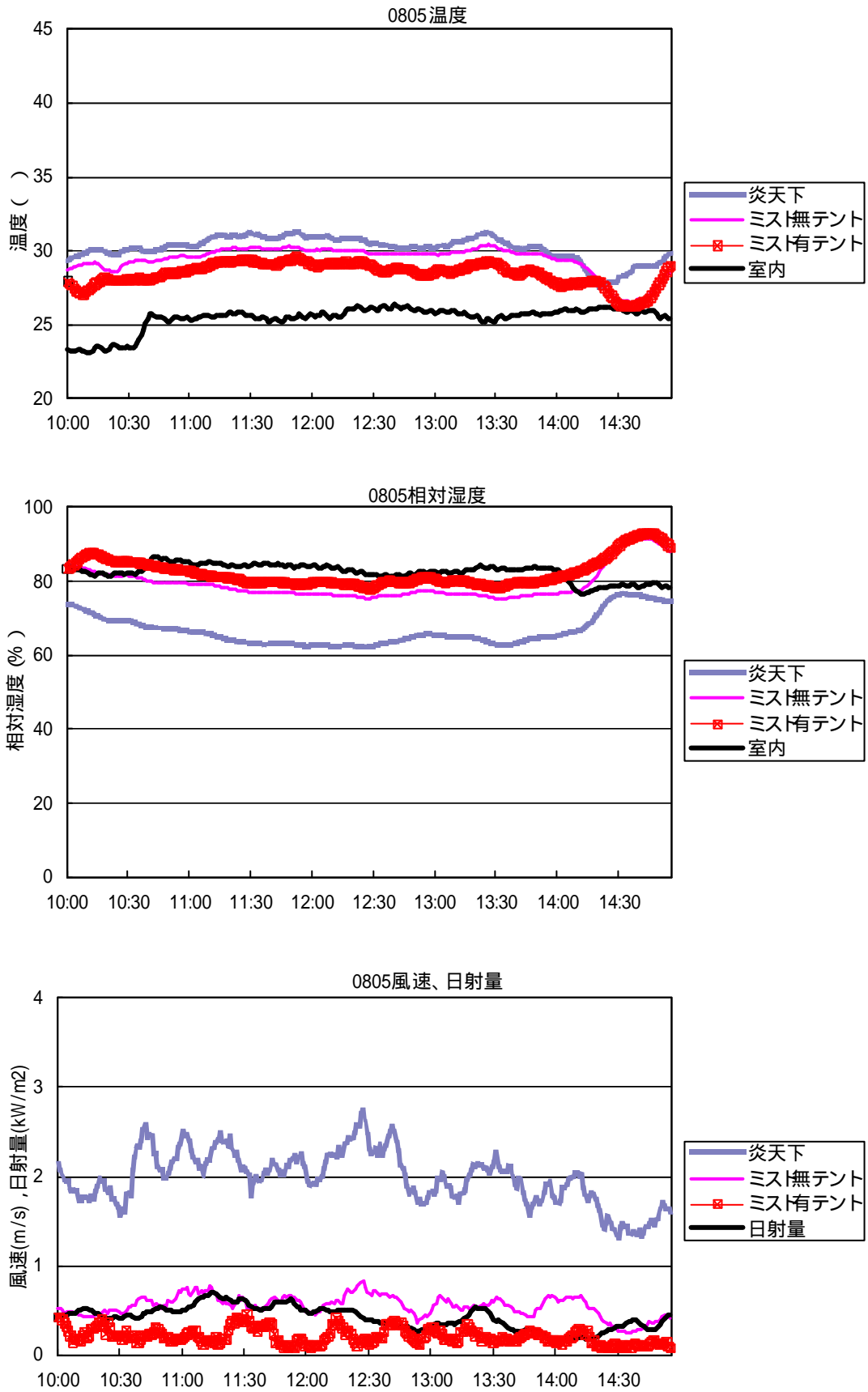


図6 8/5の温熱環境条件(2004年、日進)

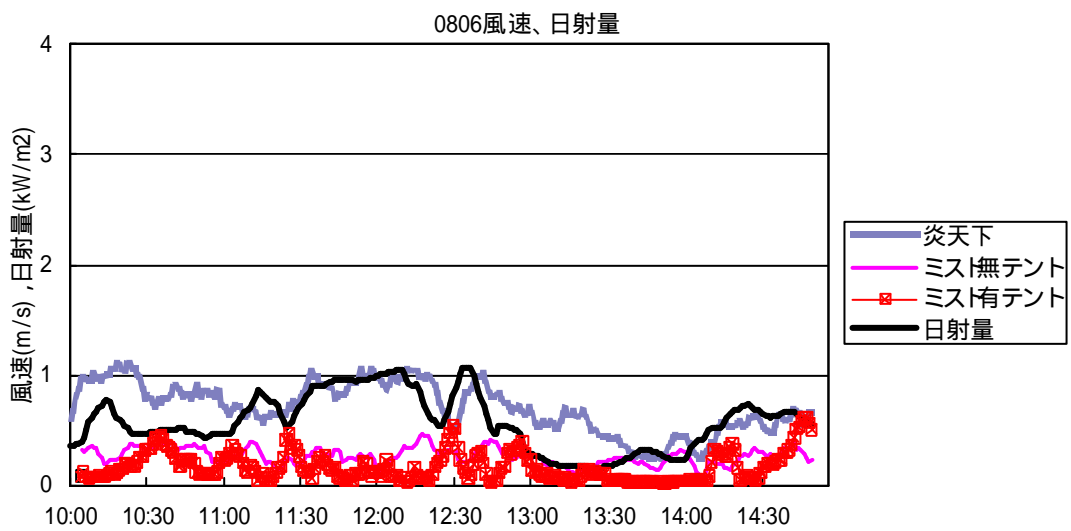
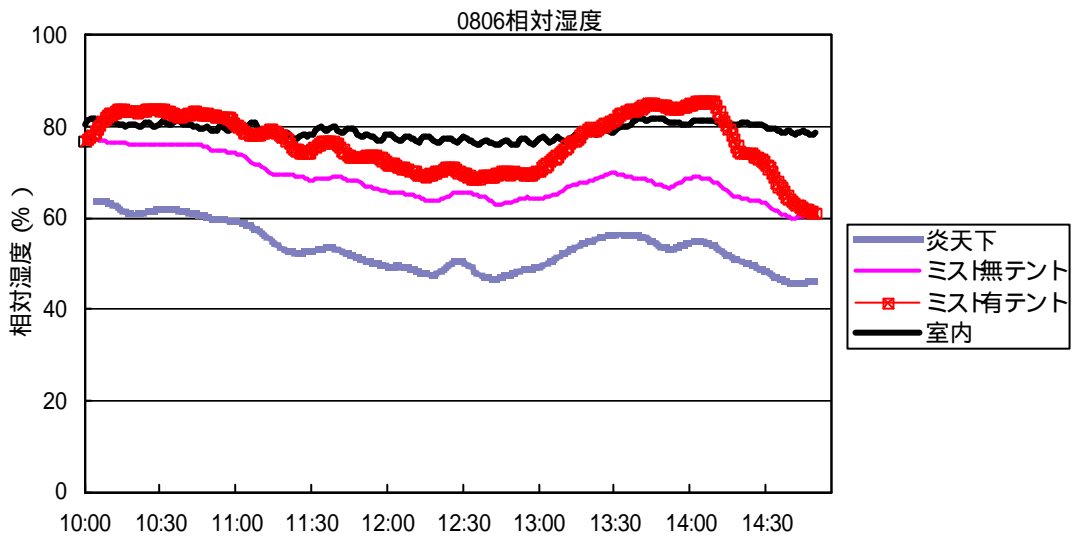
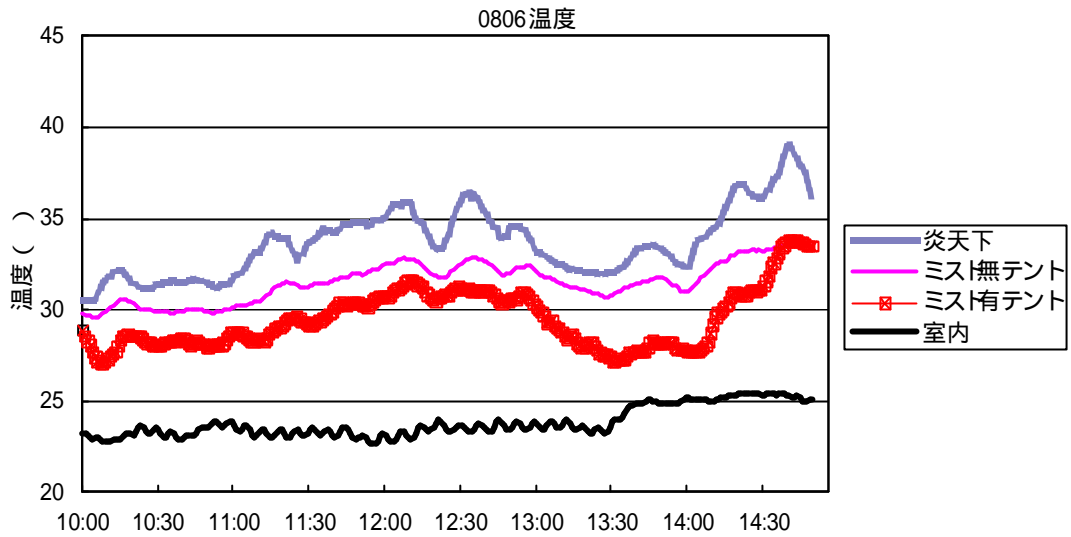


図7 8/6の温熱環境条件(2004年、日進)

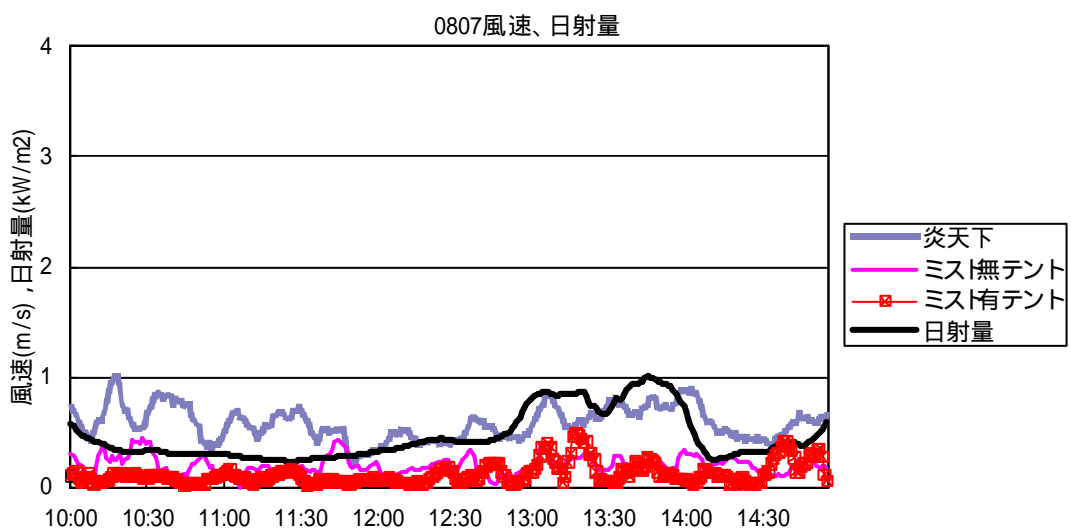
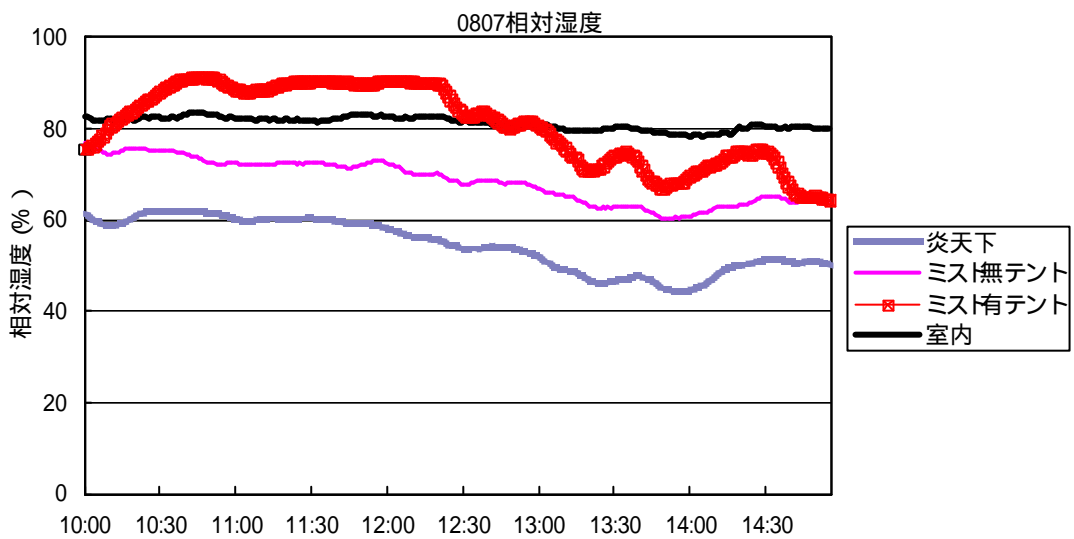
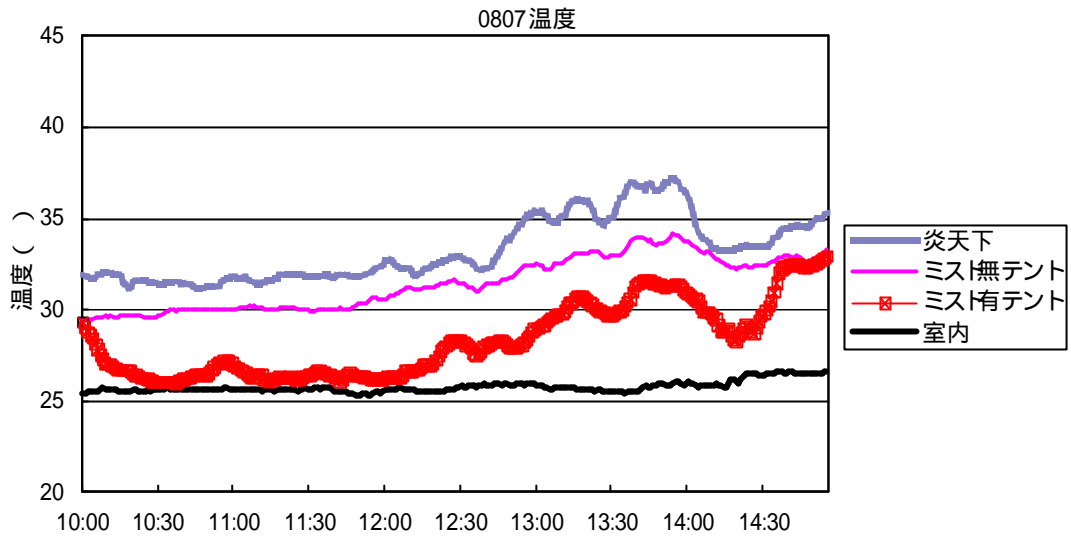


図8 8/7の温熱環境条件(2004年、日進)

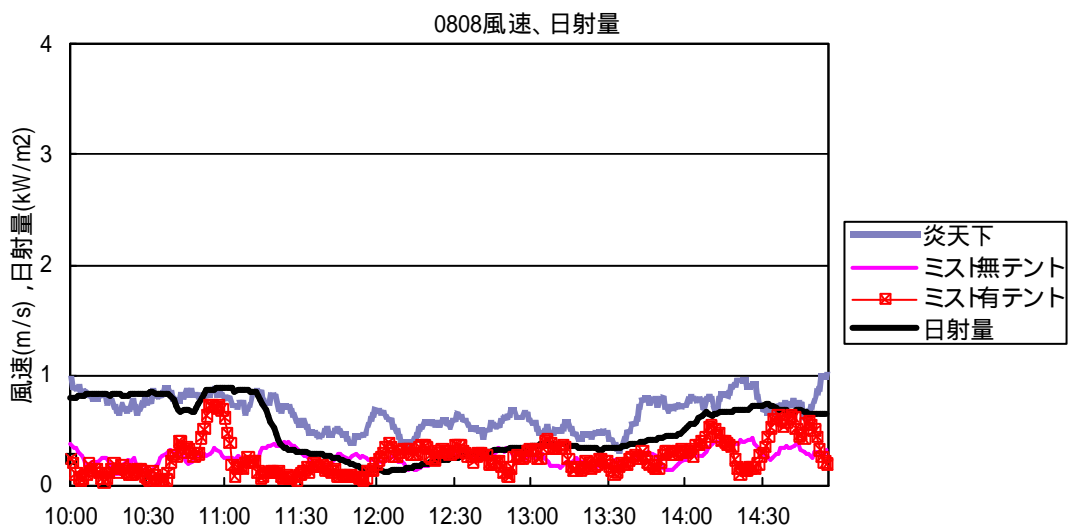
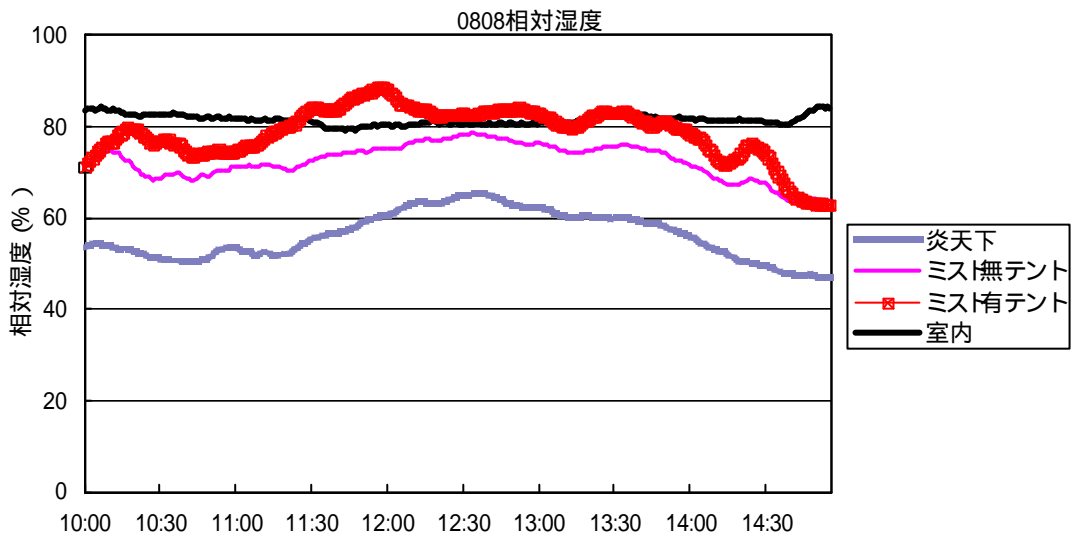
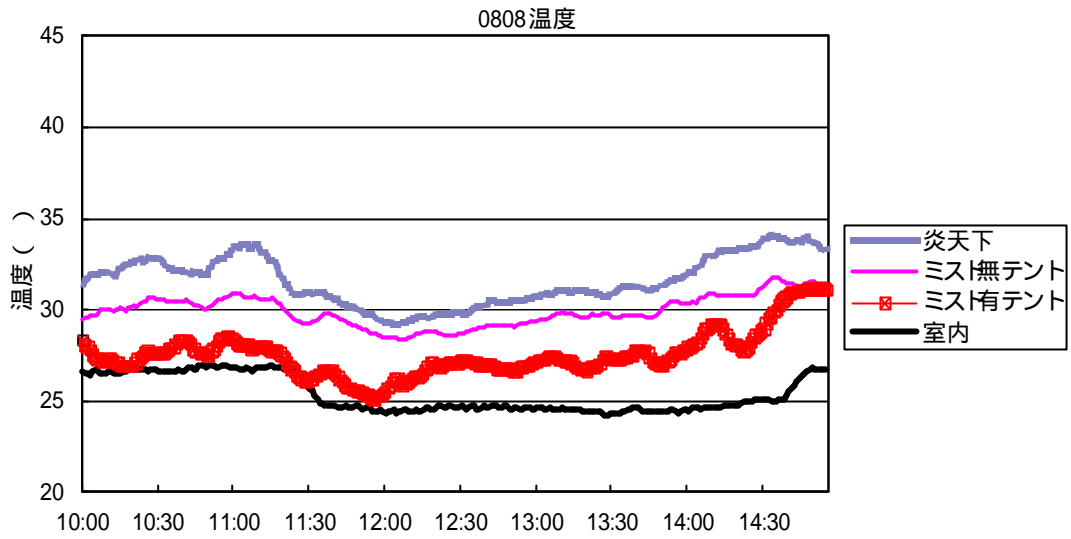


図9 8/8の温熱環境条件(2004年、日進)

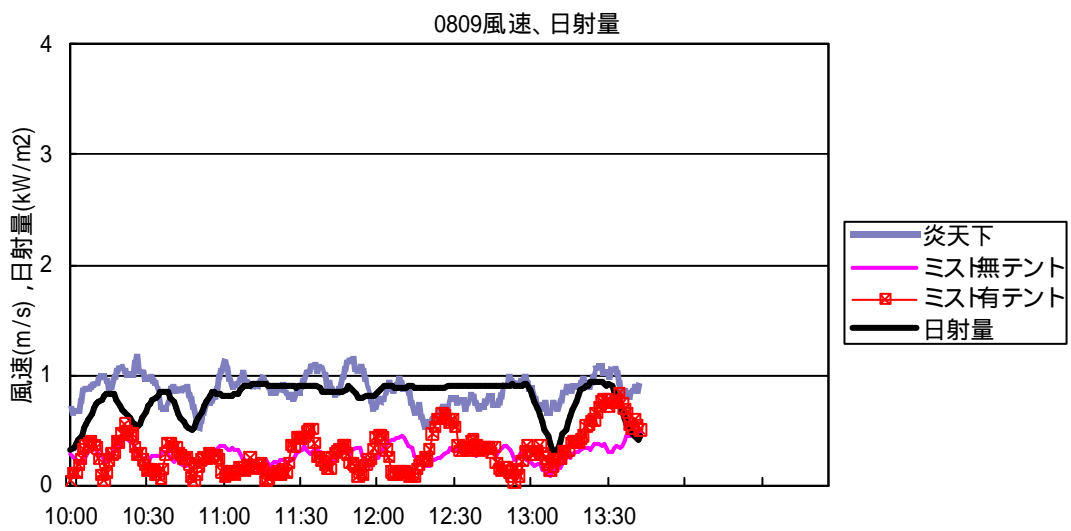
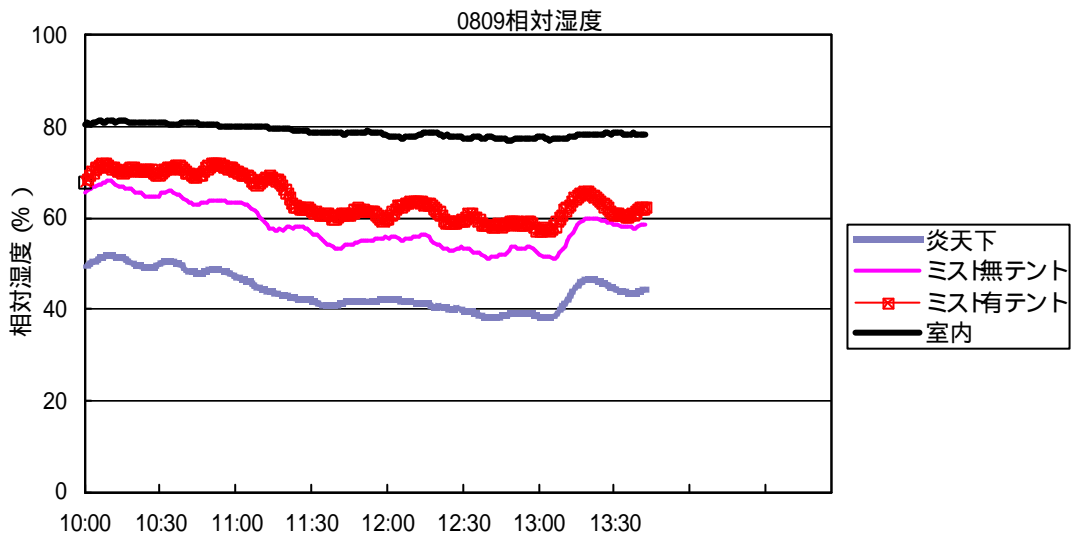
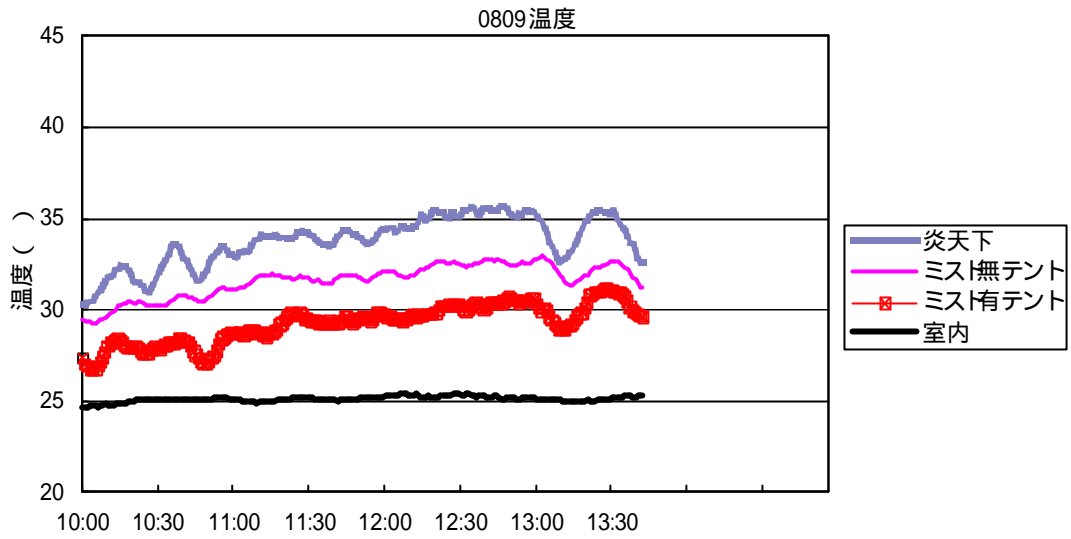


図 10 8/9 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

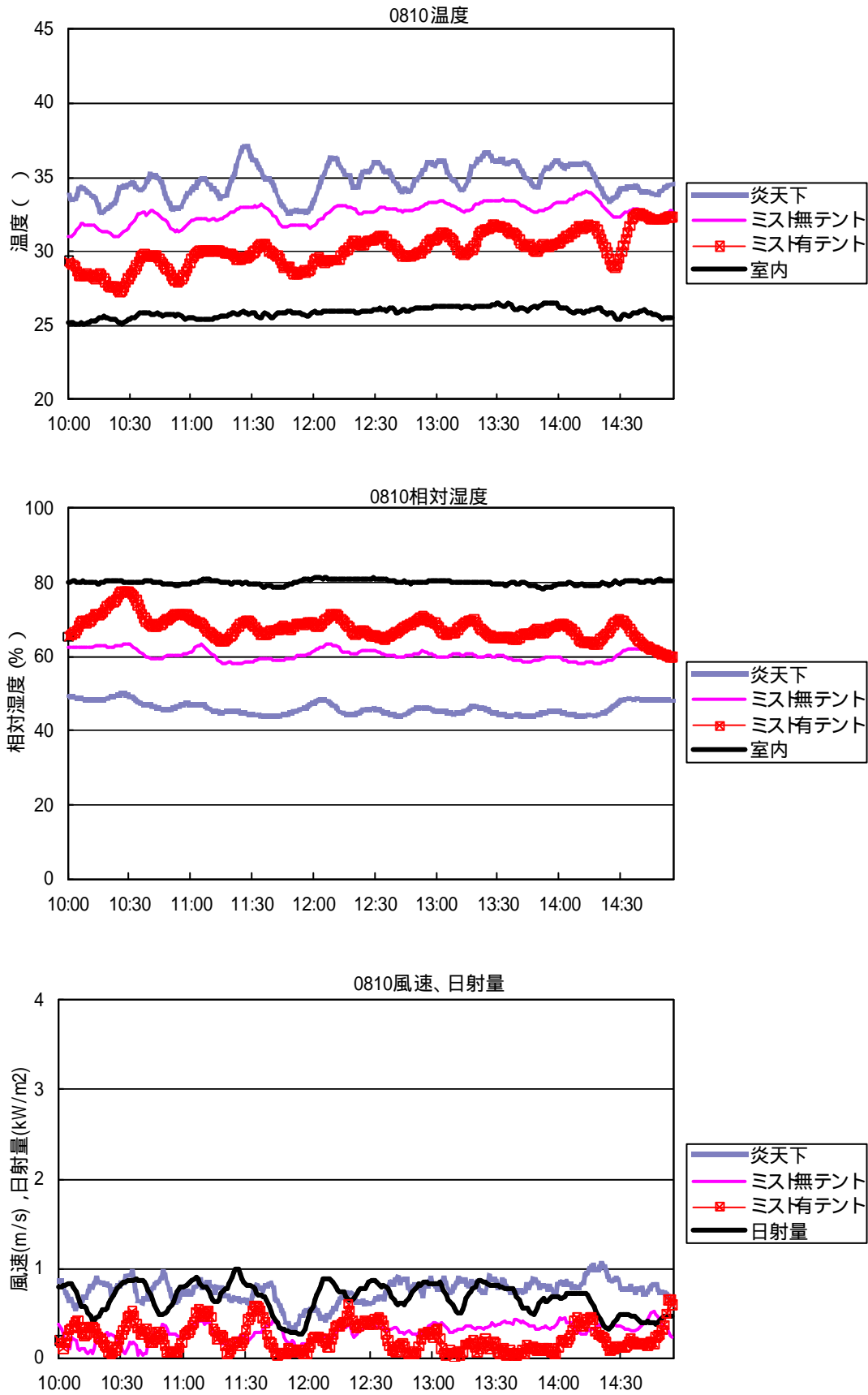


図 11 8/10 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

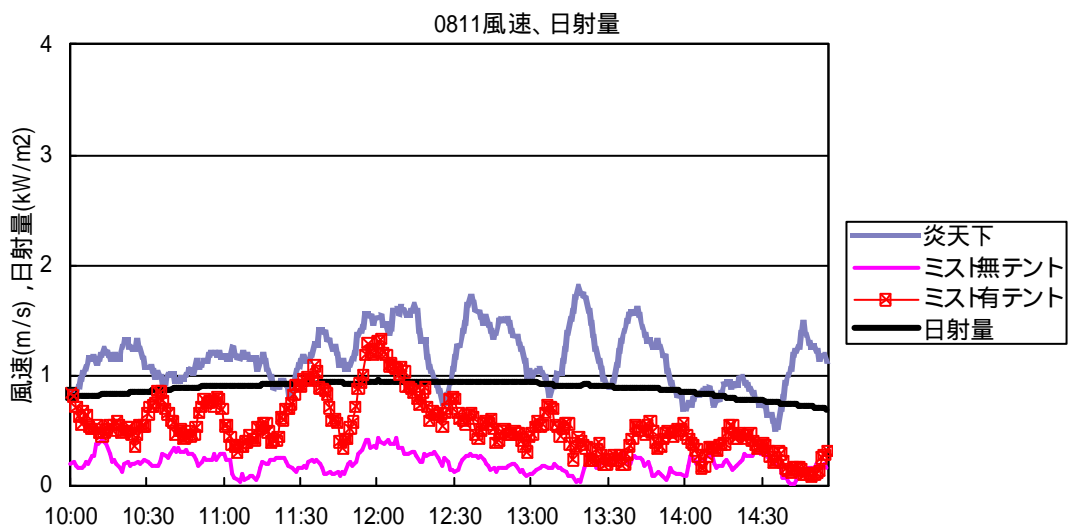
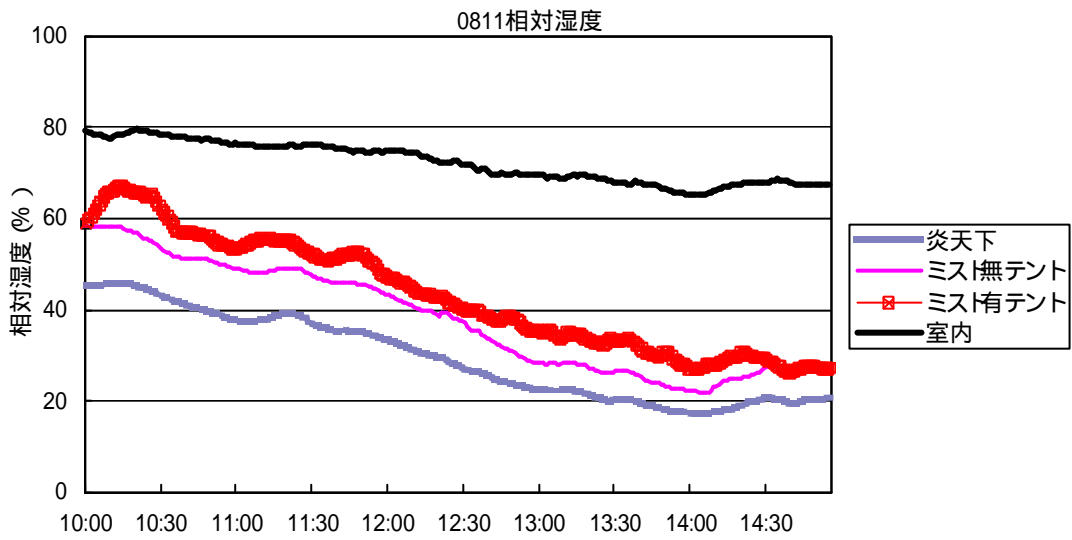
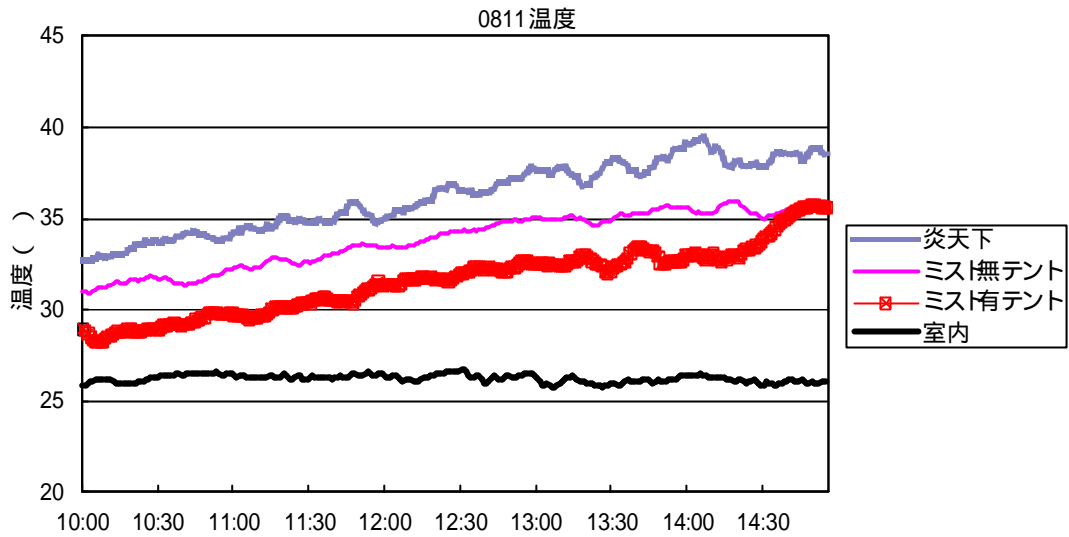


図 12 8/11 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

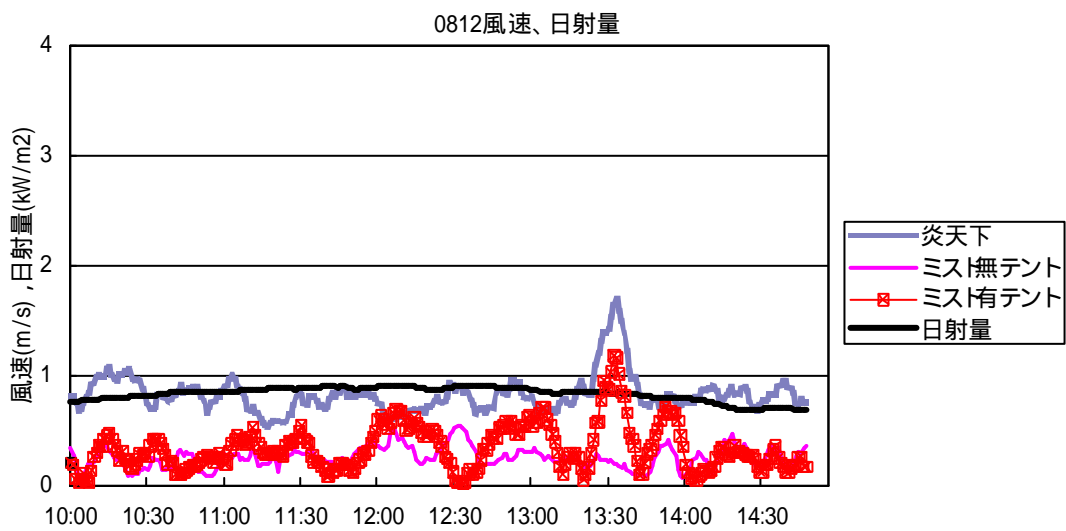
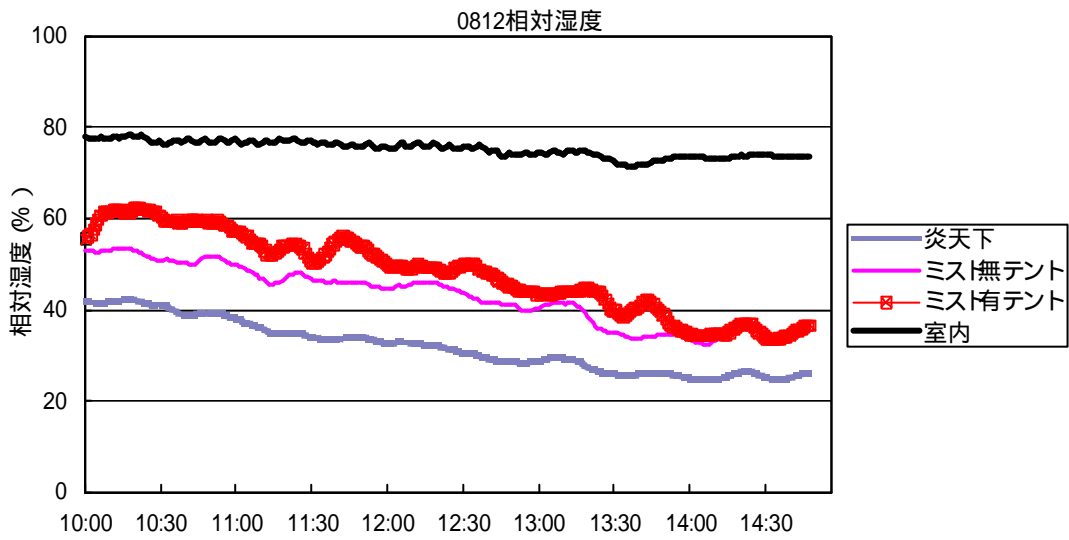
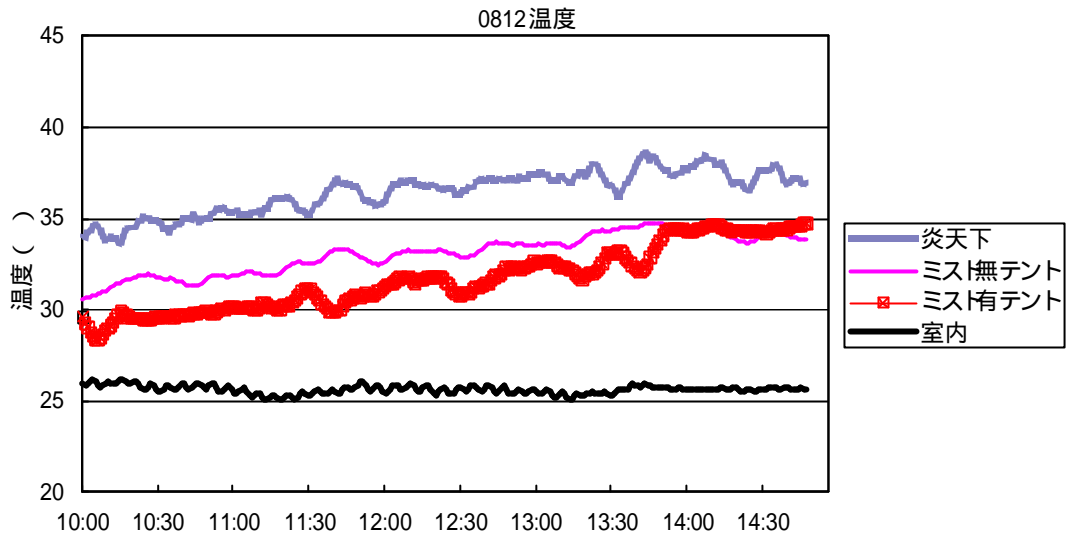


図 13 8/12 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

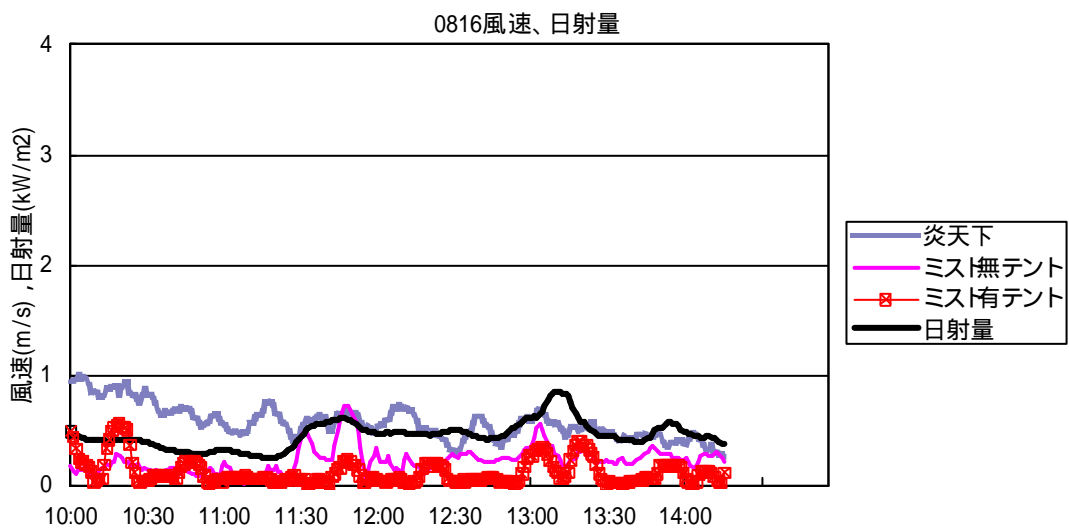
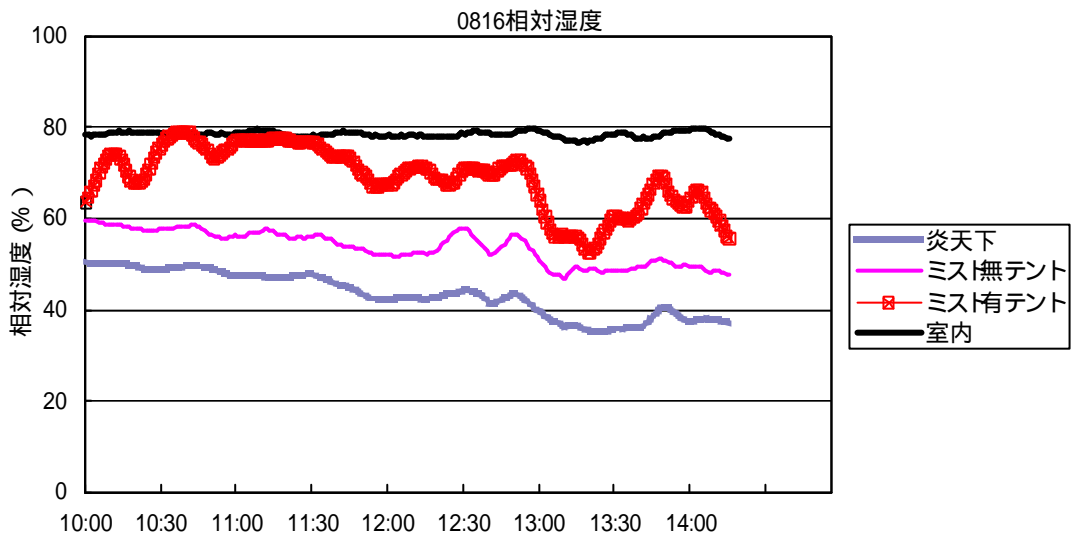
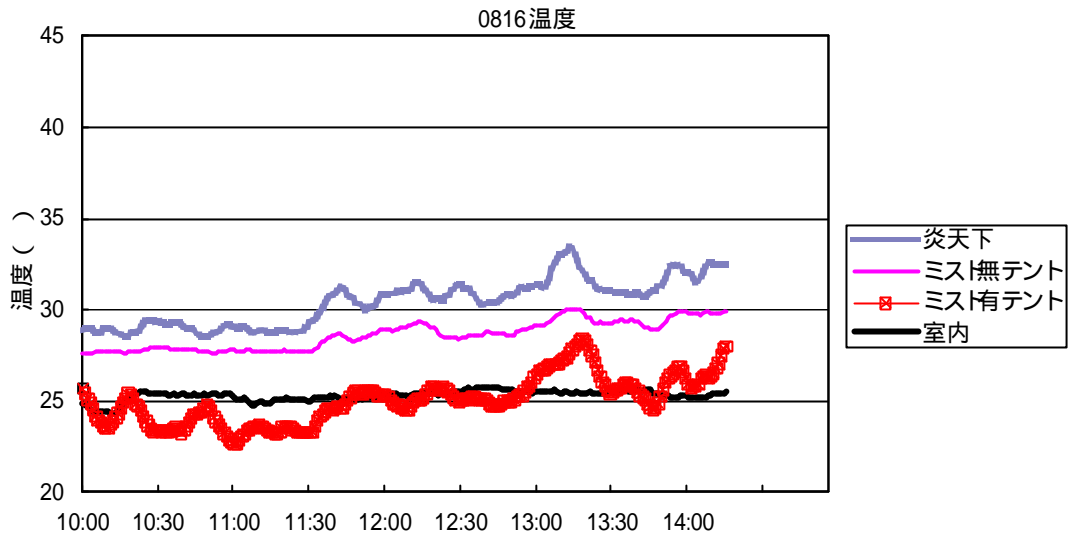


図 14 8/16 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

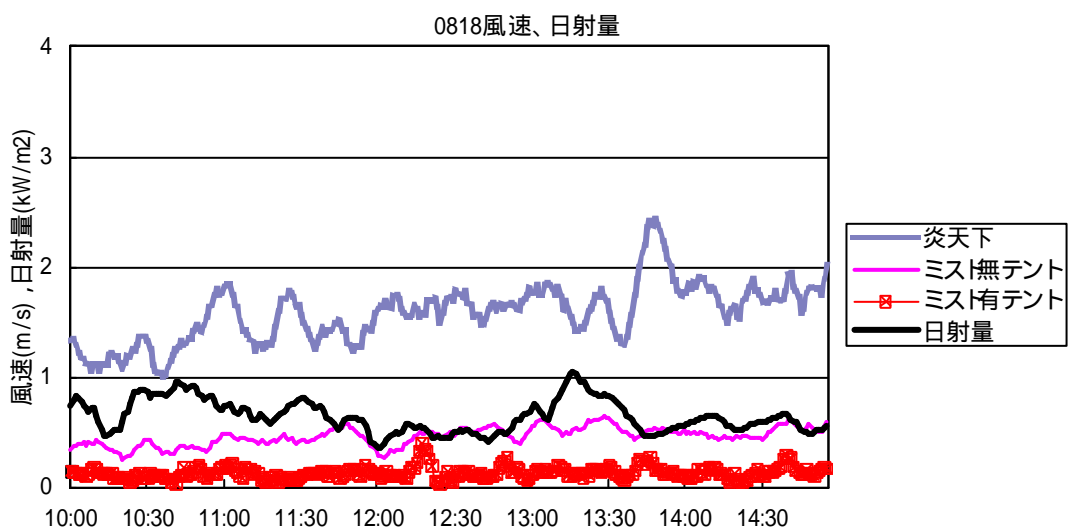
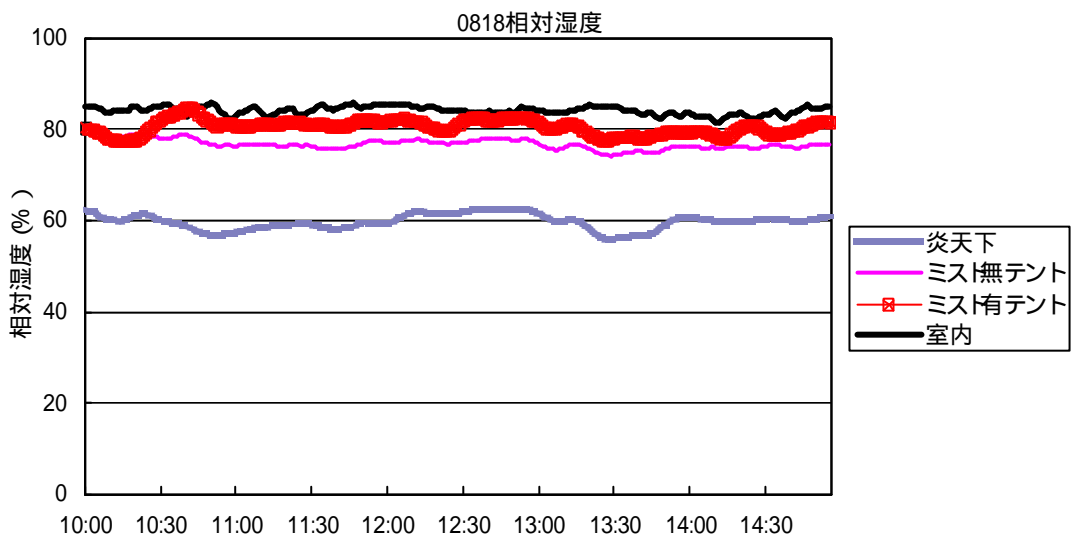
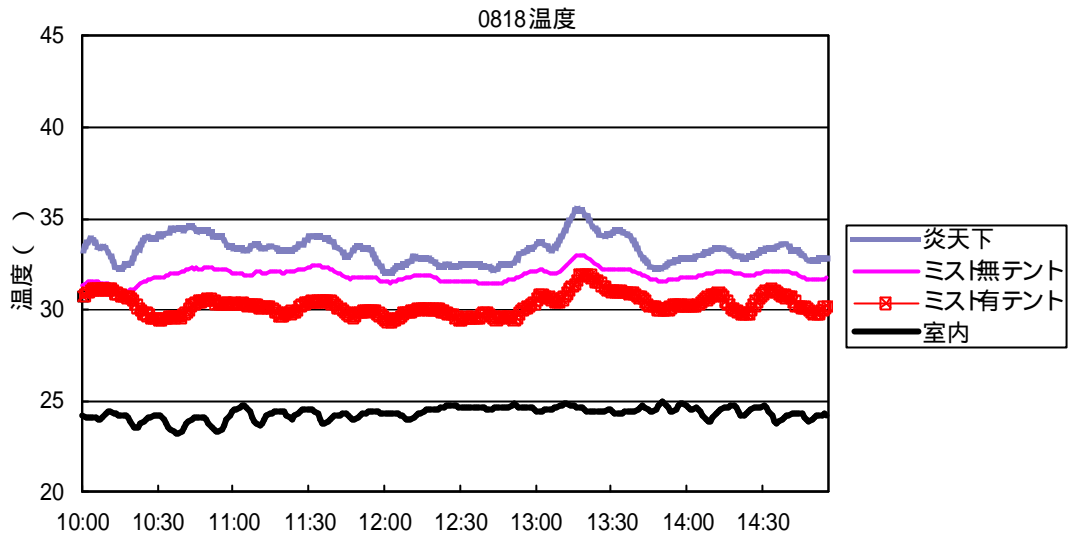


図 15 8/18 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

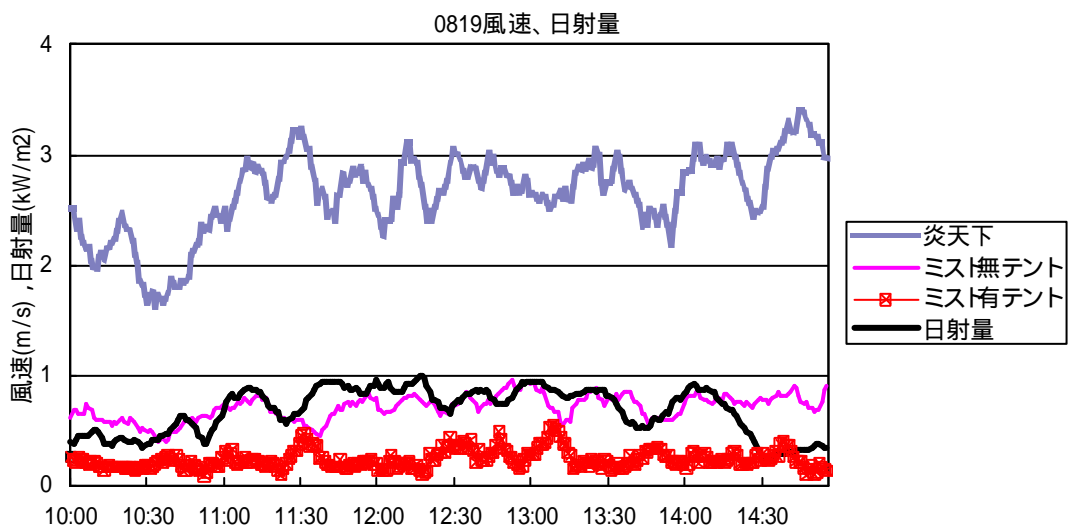
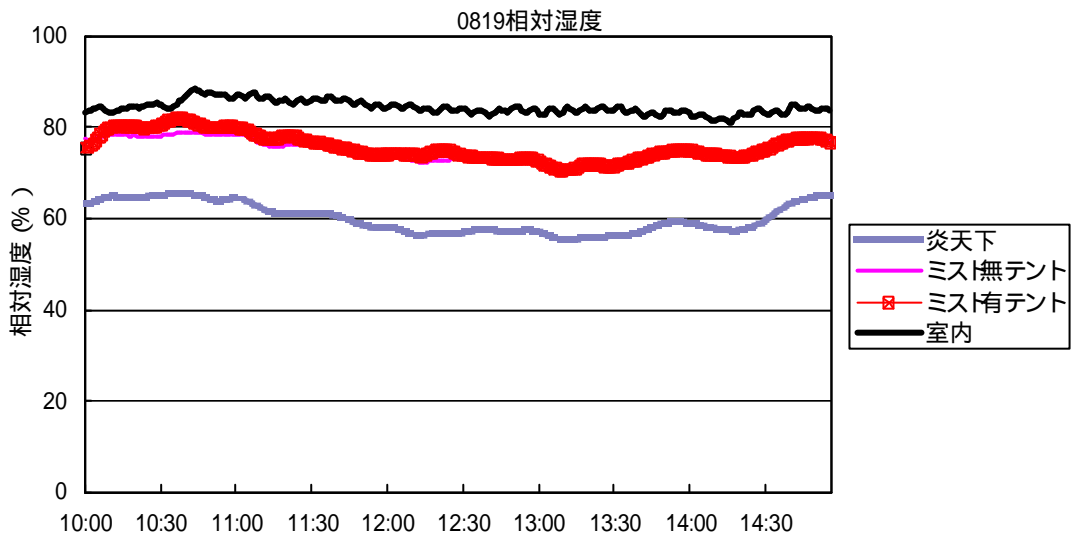
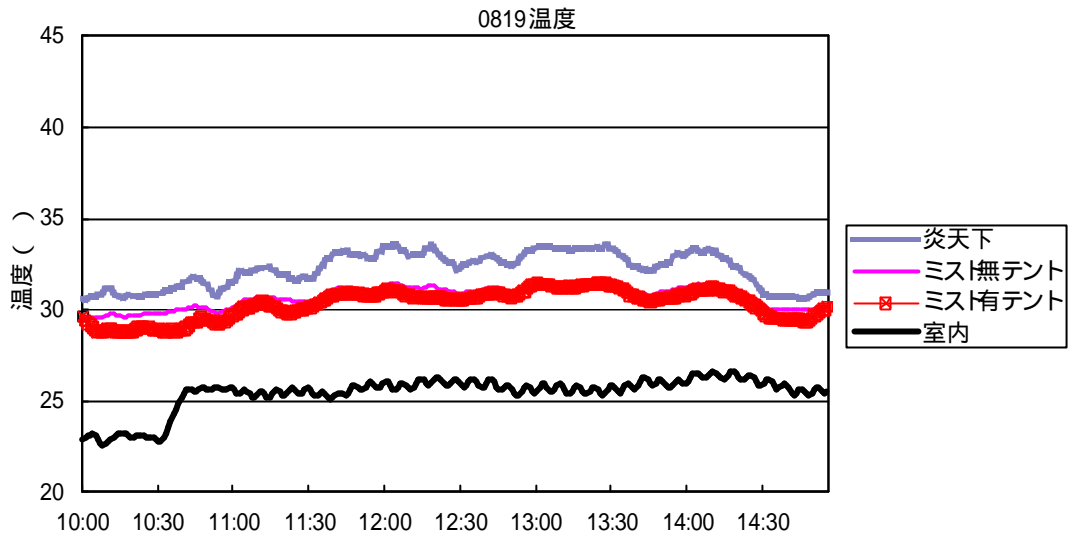


図 16 8/19 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

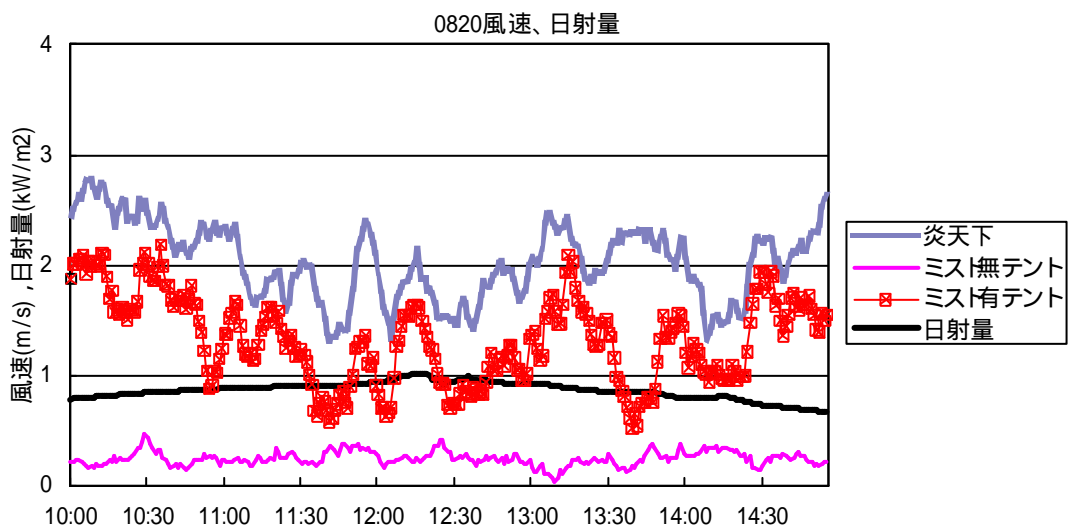
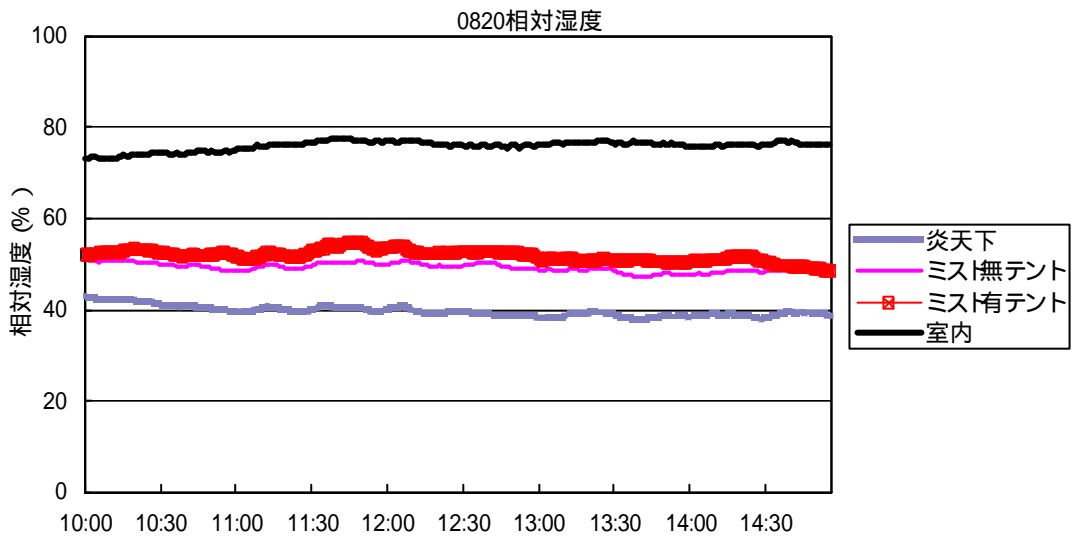
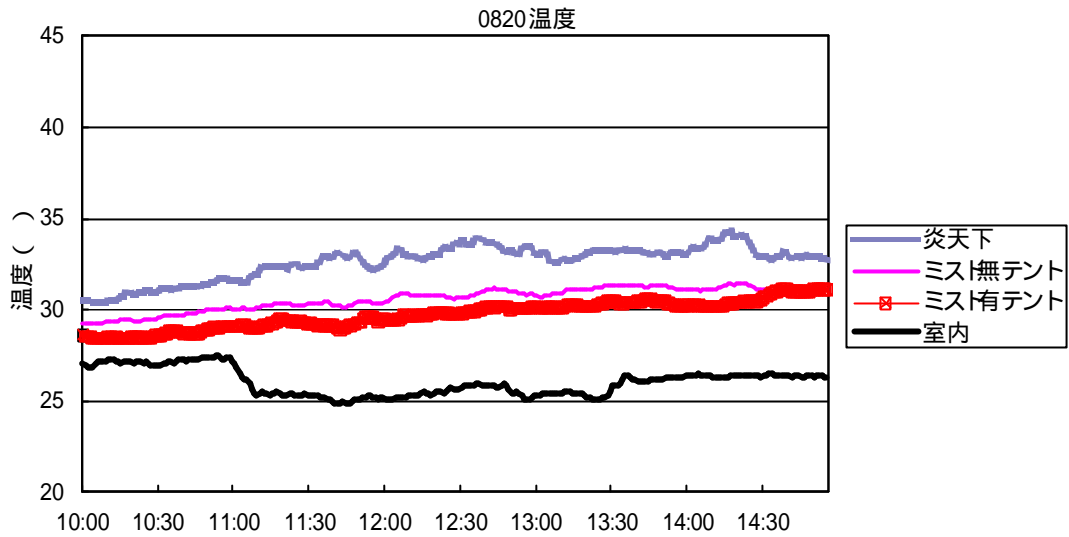


図 17 8/20 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

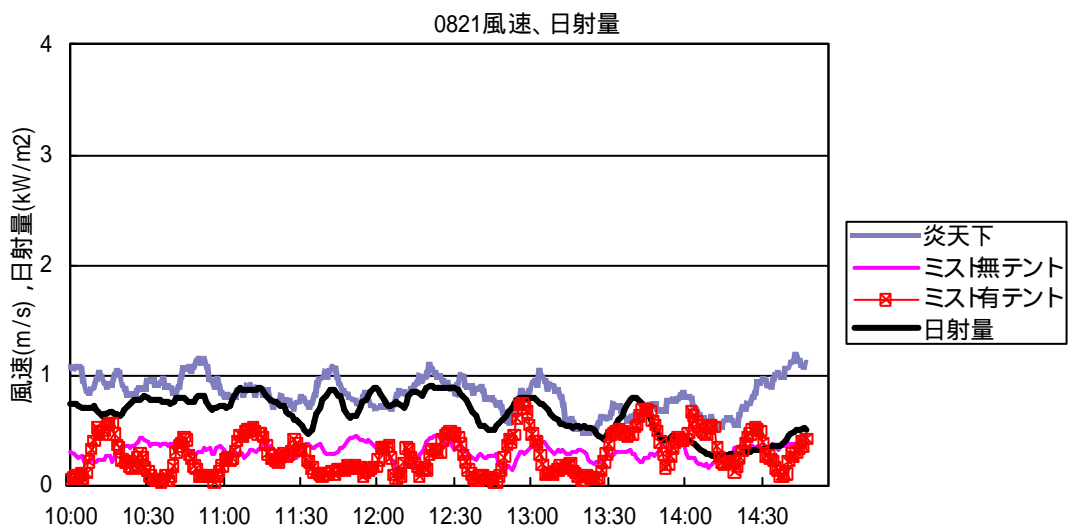
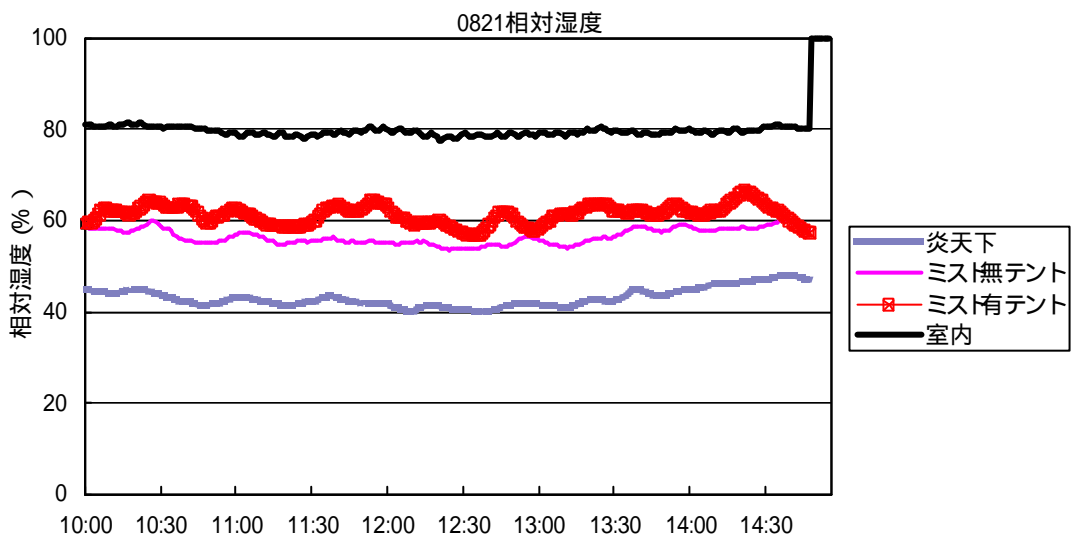
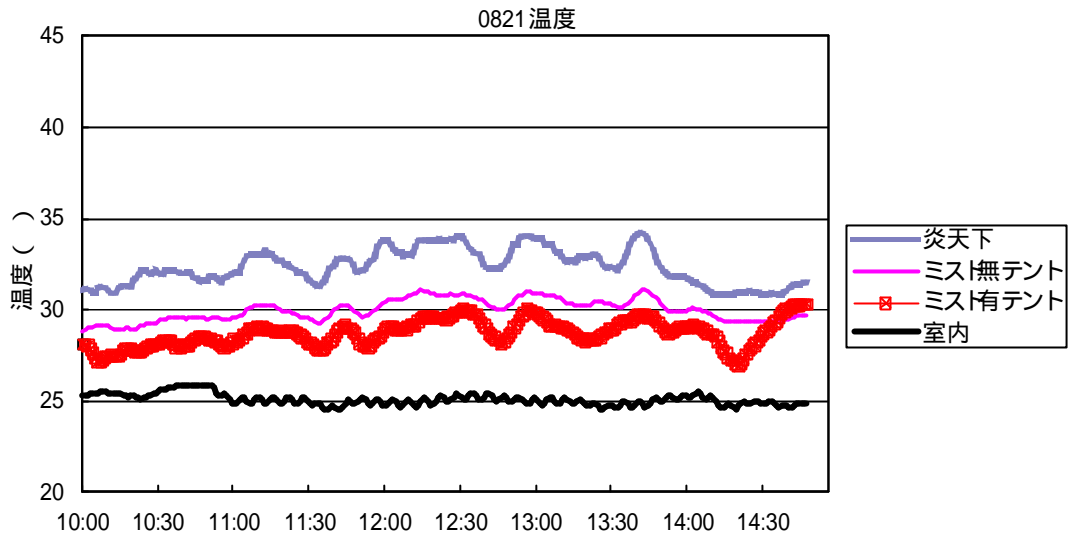


図 18 8/21 の温熱環境条件 (2004 年、日進)

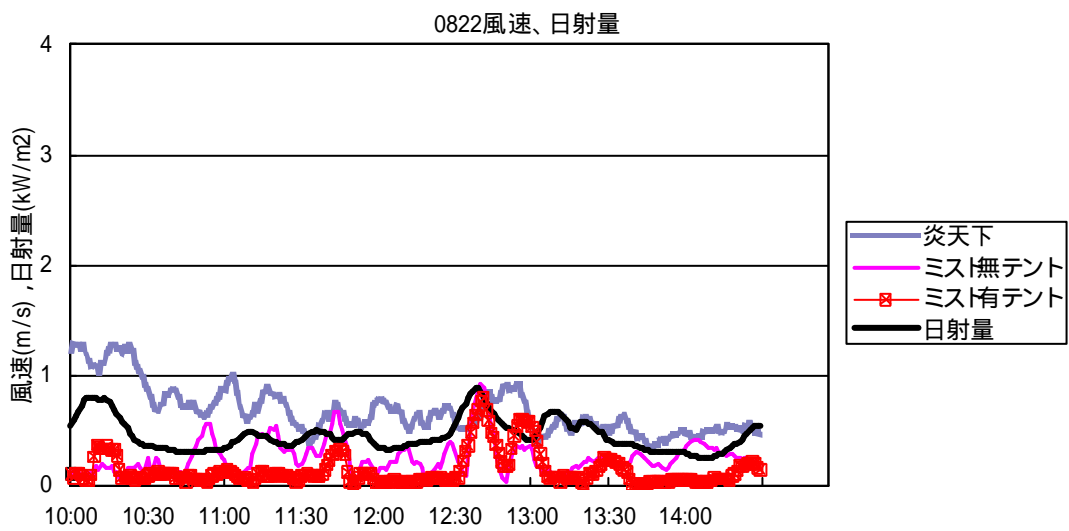
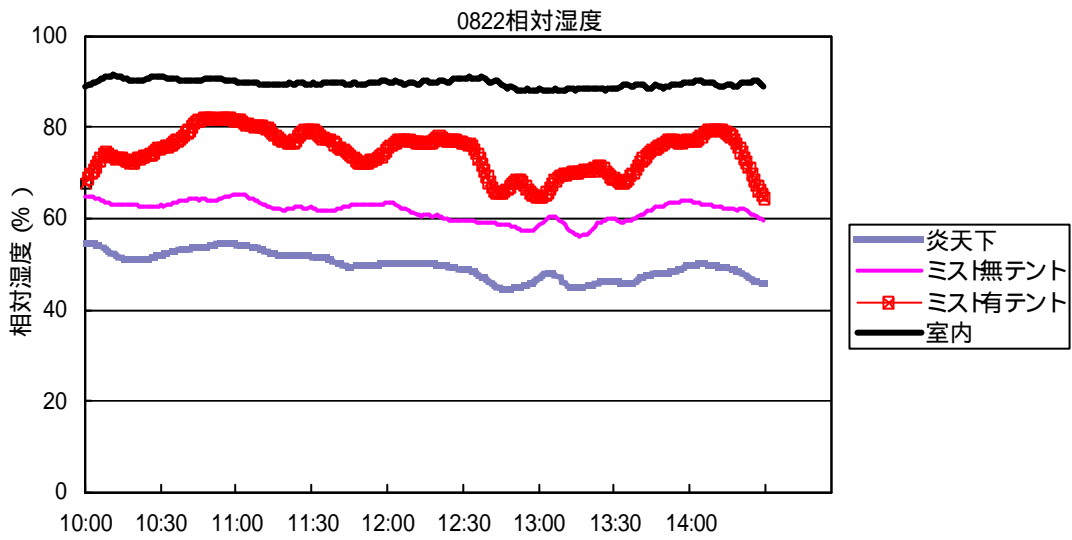
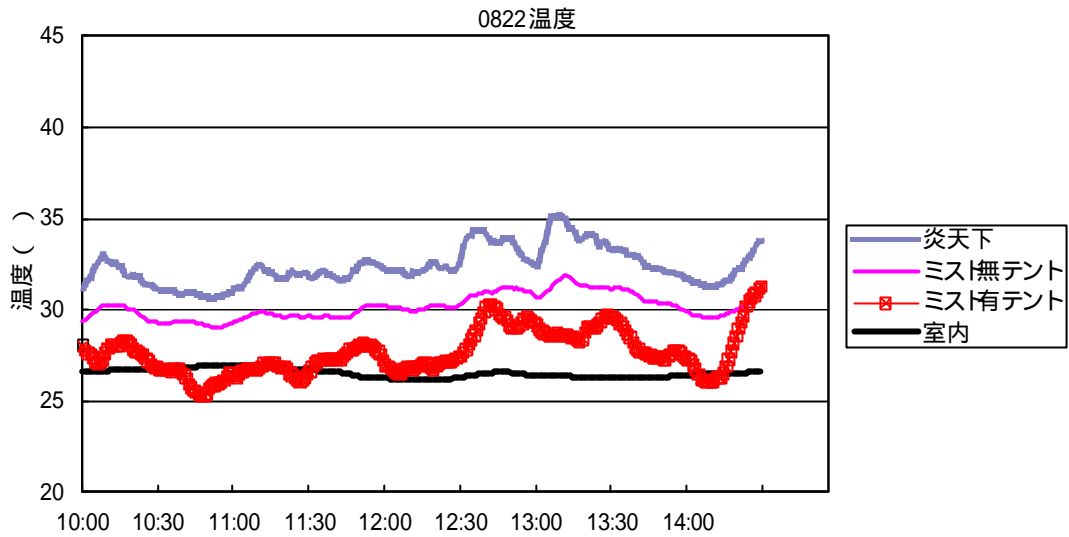


図 19 8/22 の温熱環境条件 (2004 年、日進)