

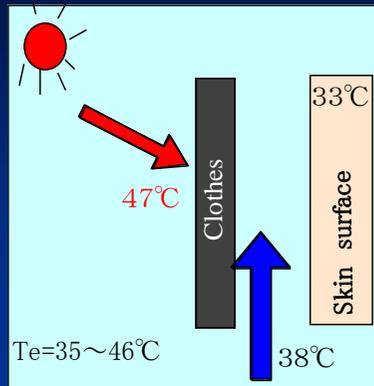
生活環境懇話会

着衣のふいご作用による換気性能の評価

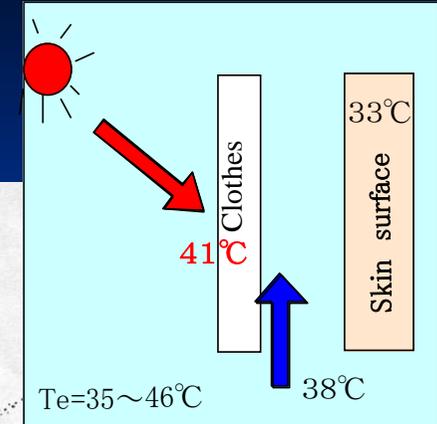
横浜国立大学

薩本弥生

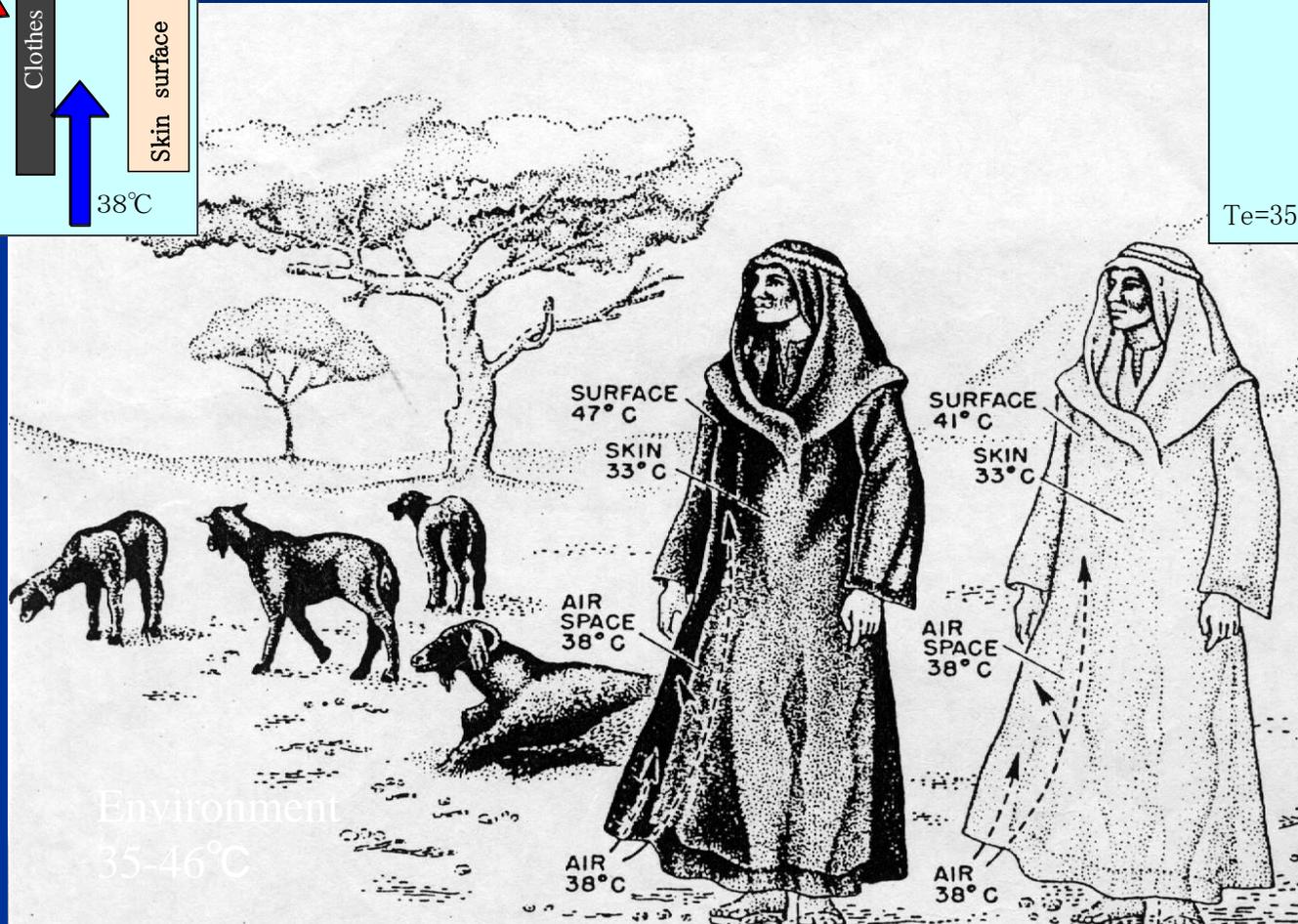
Why do Bedouins wear black robes in hot deserts?



Black robe

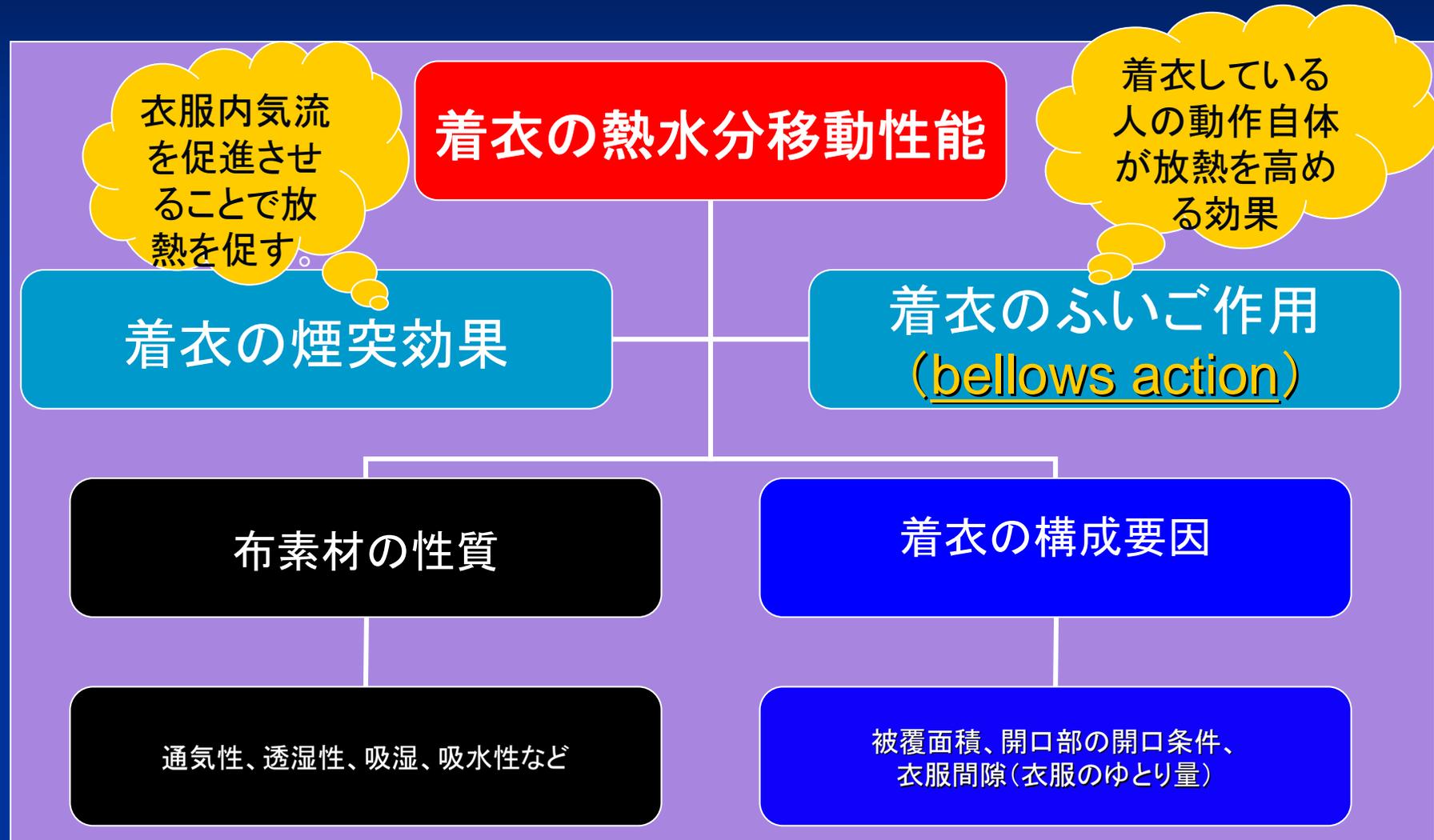


White robe



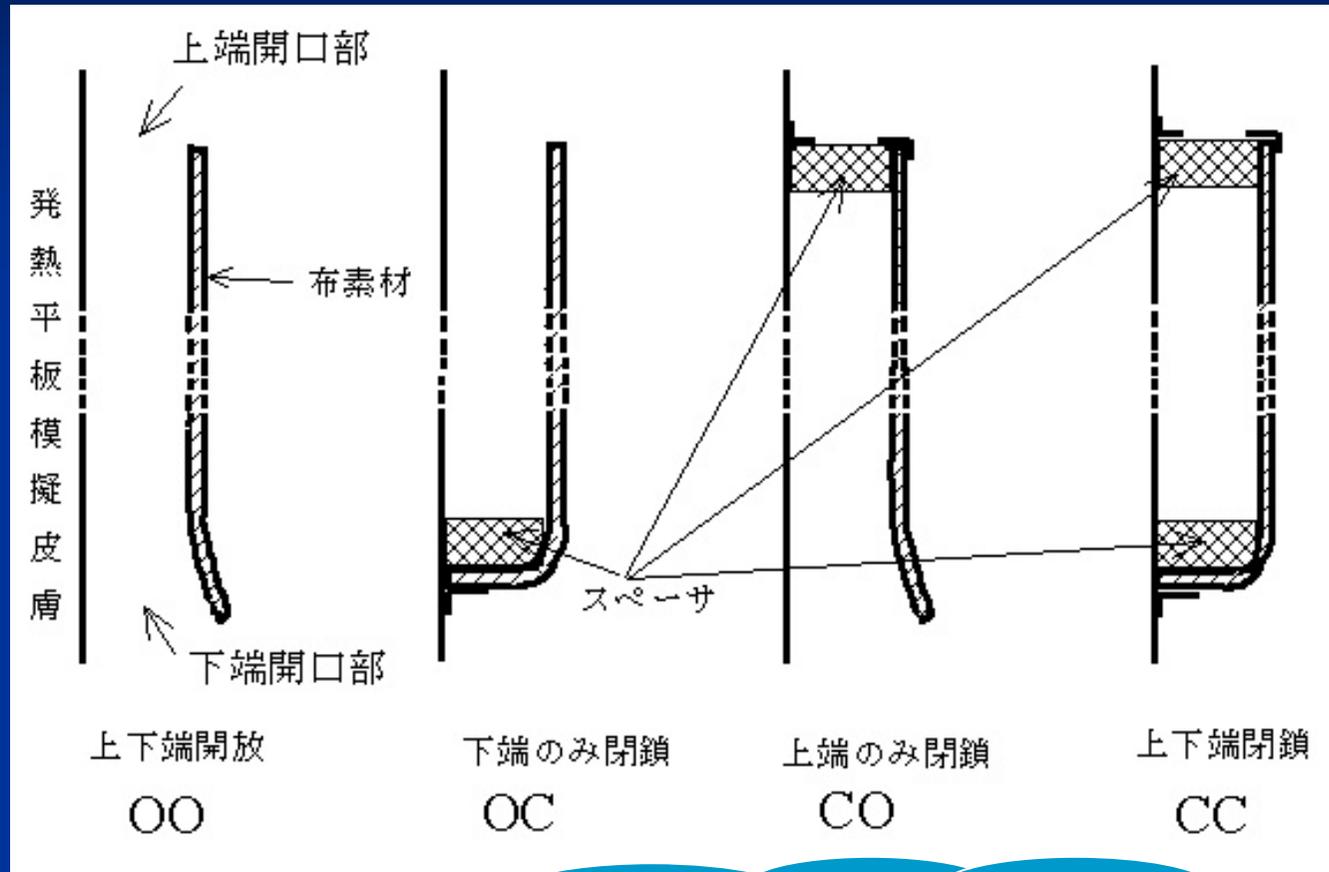
衣服の着方・デザインなどの着装要因によっては対流の影響を受け素材の物性だけでとらえた常識と異なる場合があり得る

着衣の熱水分移動性能に影響する要因



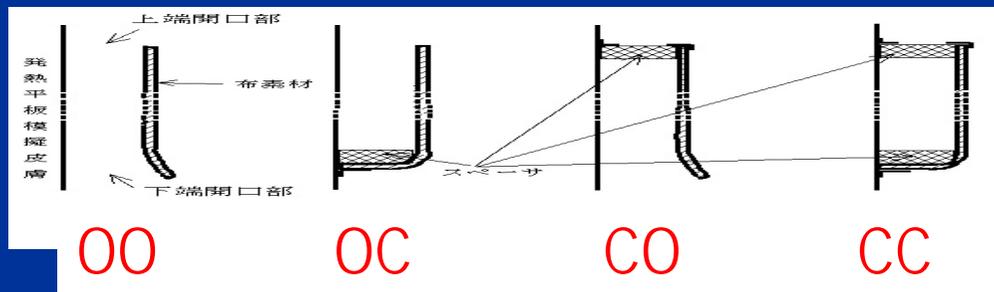
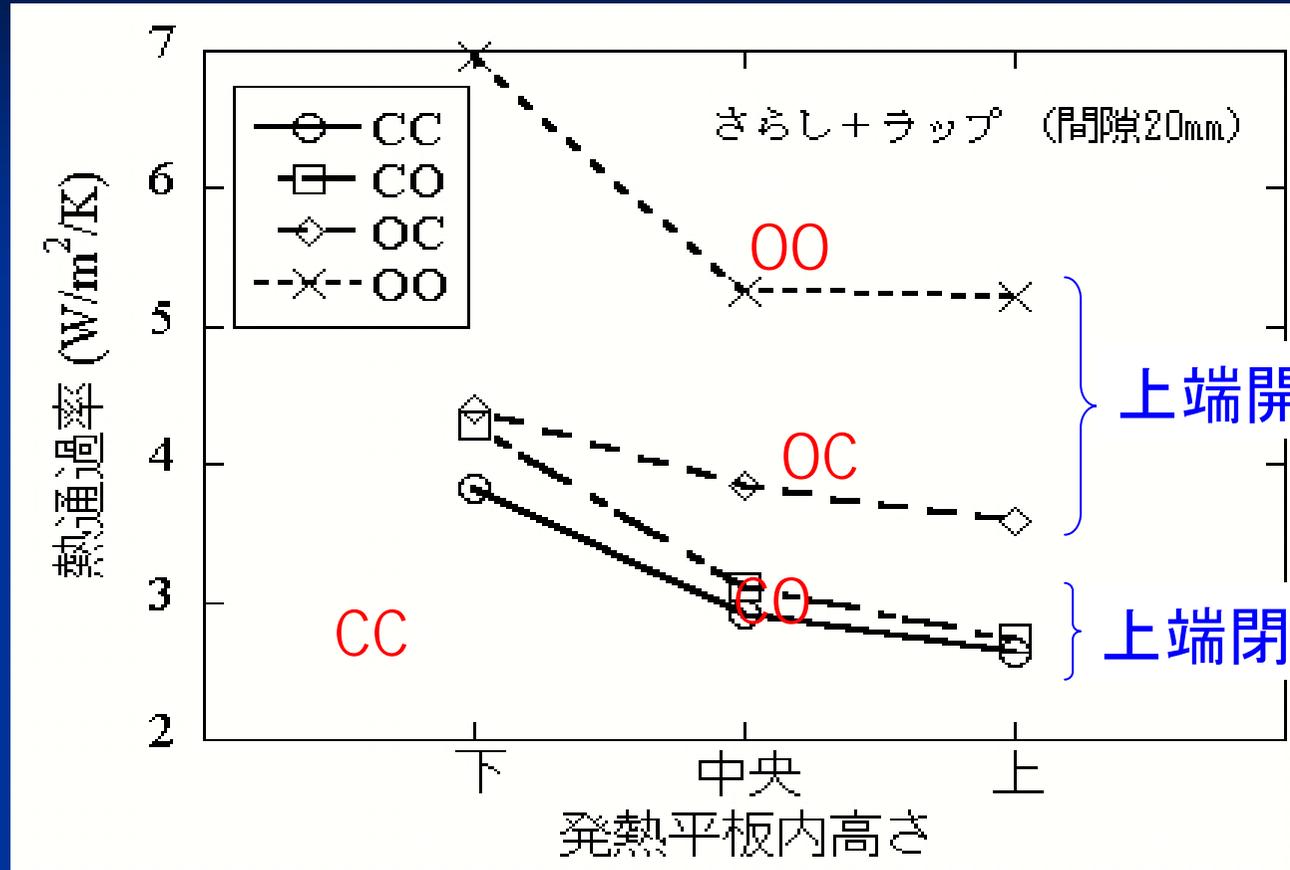
無風安静時の着衣の伝熱 への着衣の構成要因の影響

着衣開口部開口条件の効果



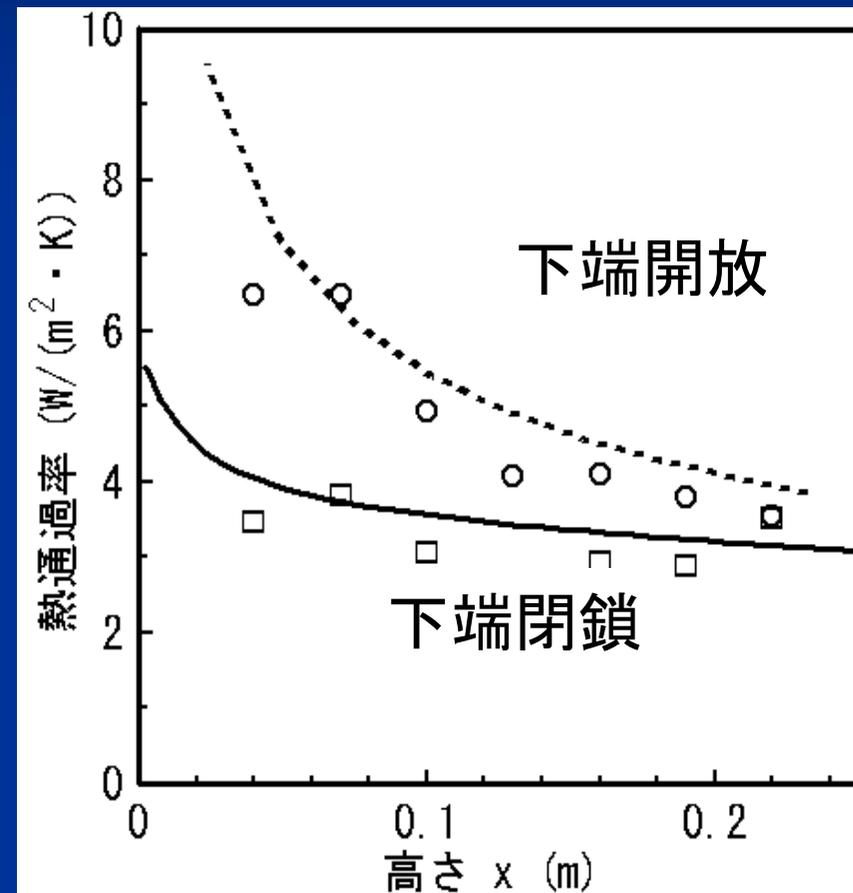
クールビズにはどんな着装が良い？
Ex) ノーネクタイ

着衣開口部開口条件の効果



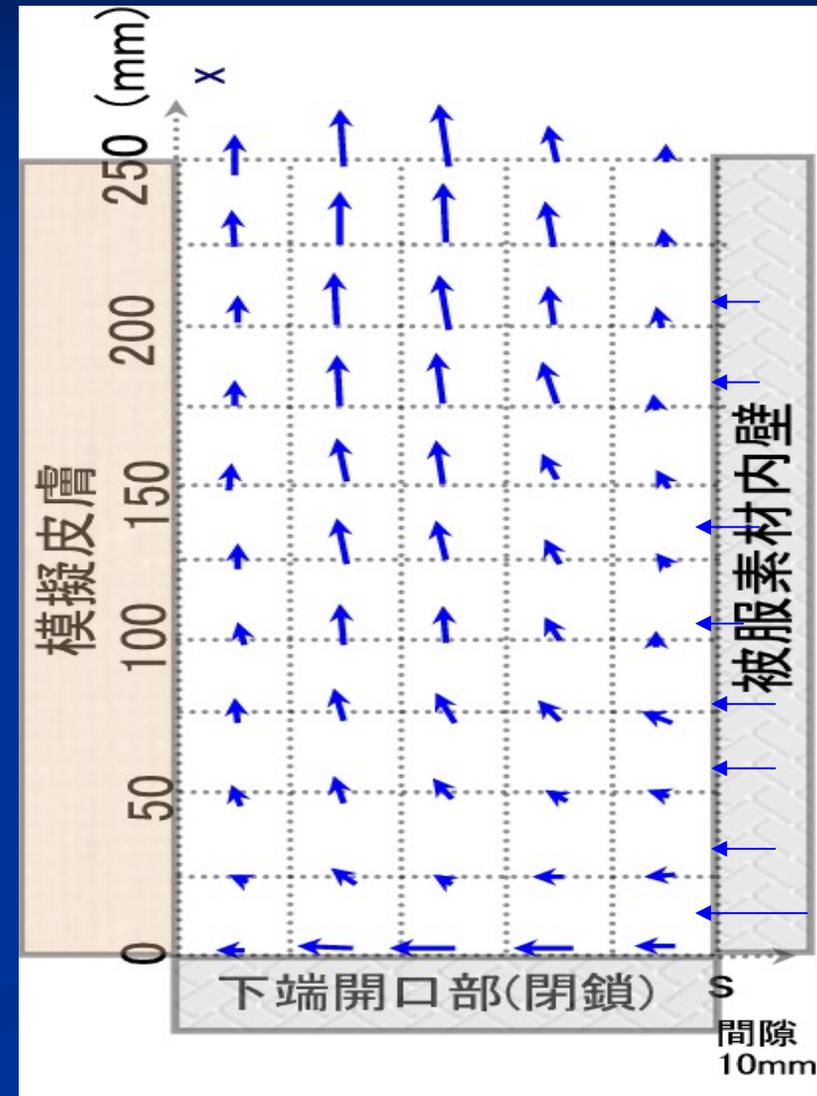
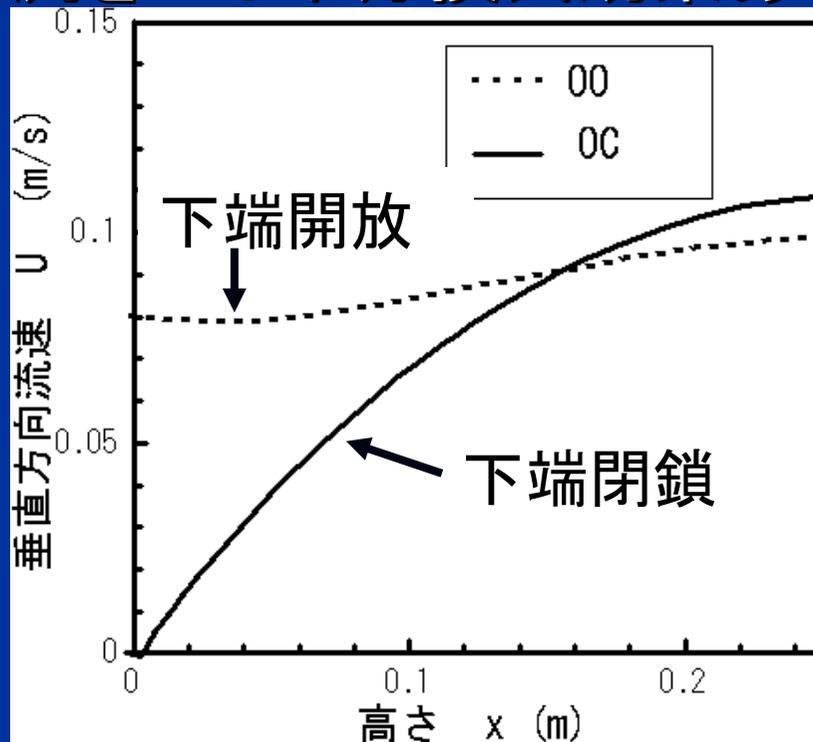
着衣下端開放と閉鎖で比較 (理論解析の結果)着衣上端はいずれも開放

- 着衣下端を閉鎖しても間隙内に素材の通気性に応じて浸透する空気が間隙内で上昇気流を生じ十分換気効果がある。
- 一方、間隙内の温度分布は下端閉鎖の方が全体に保温性大)。



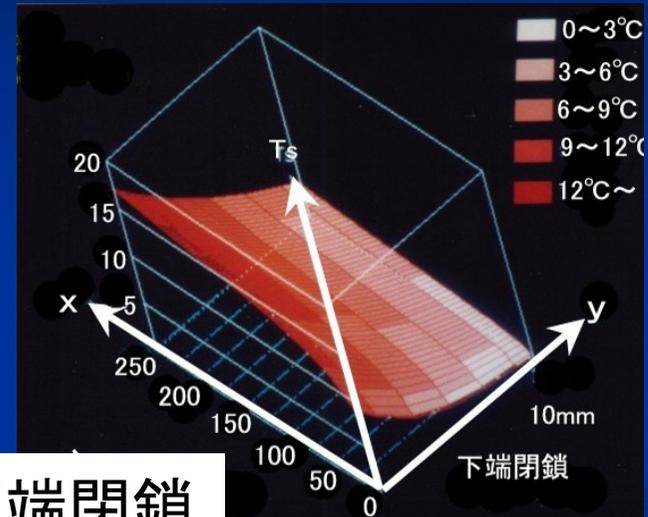
着衣下端開放と閉鎖で比較(理論解析)

- 着衣下端閉鎖でも間隙内に素材の通気性に応じて浸透する空気が間隙内で上昇気流を生じ十分換気効果あり。

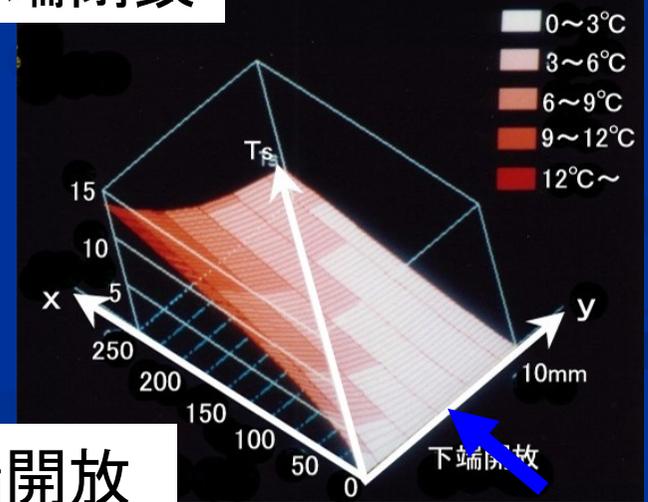


着衣下端開放と閉鎖で比較 (理論解析の結果)着衣上端はいずれも開放

- 着衣下端を閉鎖しても間隙内に素材の通気性に応じて浸透する空気が間隙内で上昇気流を生じ十分換気効果がある。
- 一方、間隙内の温度分布は下端閉鎖の方が全体に温度が高く保たれる(保温性大)。



下端閉鎖

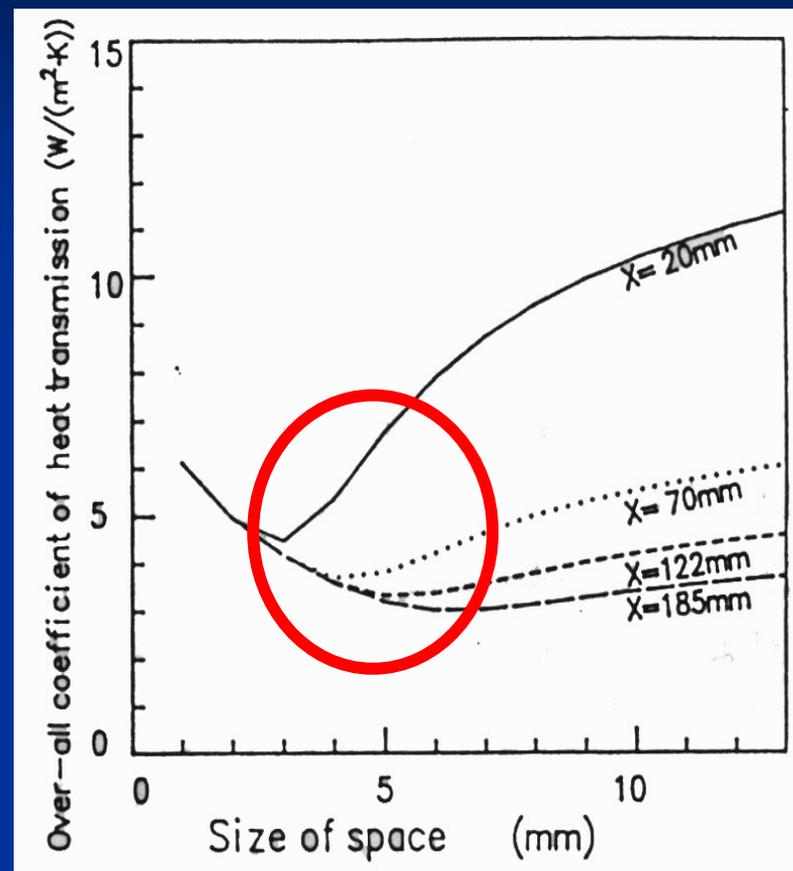


下端開放

冷氣流入

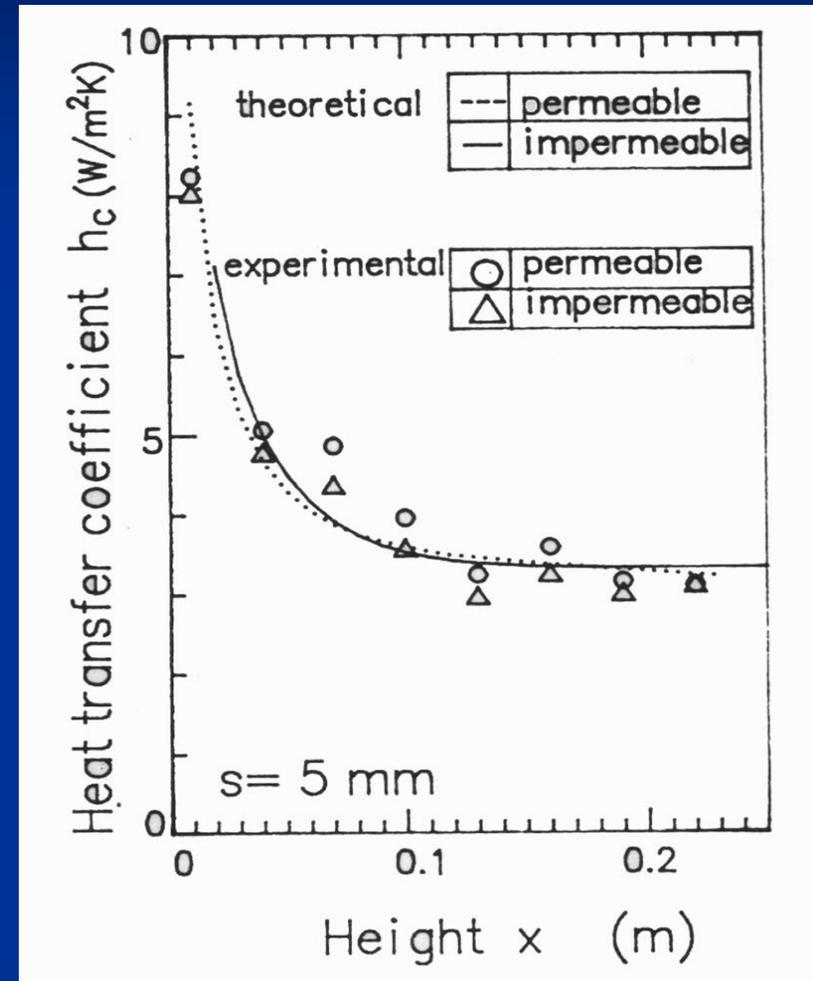
着衣のゆとり(被服間隙の寸法)の効果

- 断熱性能の高い静止空気をどれだけ保持するかが保温性に寄与
- 間隙5~10mmまで
 - 空気の粘性が働き空気は流動できないため間隙が増加することによって断熱層が増す。
- 間隙10mm以上
 - 間隙内で人体からの放熱による浮力が原動力となり人体に沿った対流が生じるため高さ(x)の影響がでてくる。
 - 高さや間隙寸法により、熱通過率は異なる。



素材の通気性の効果

- 無風時は素材の通気性は保温性(熱通過率の逆数)に直接寄与しない
- しかし、素材の通気性は炭酸ガス、水蒸気を含めた空気の換気に重要な影響を与える



着衣の熱水分移動性に影響する要因に戻る



着衣のふいご作用が 放熱性能へ及ぼす影響

■ ふいご作用とは

- 人体と衣服の相対的な動きによる強制的な空気の流れが、着衣からの放熱に影響を与える現象。
- 歩行時に四肢部の動作に伴う衣服のリズミカルな動き
- 衣服の襟元をつまみパタパタと動かす動作

■ 目的

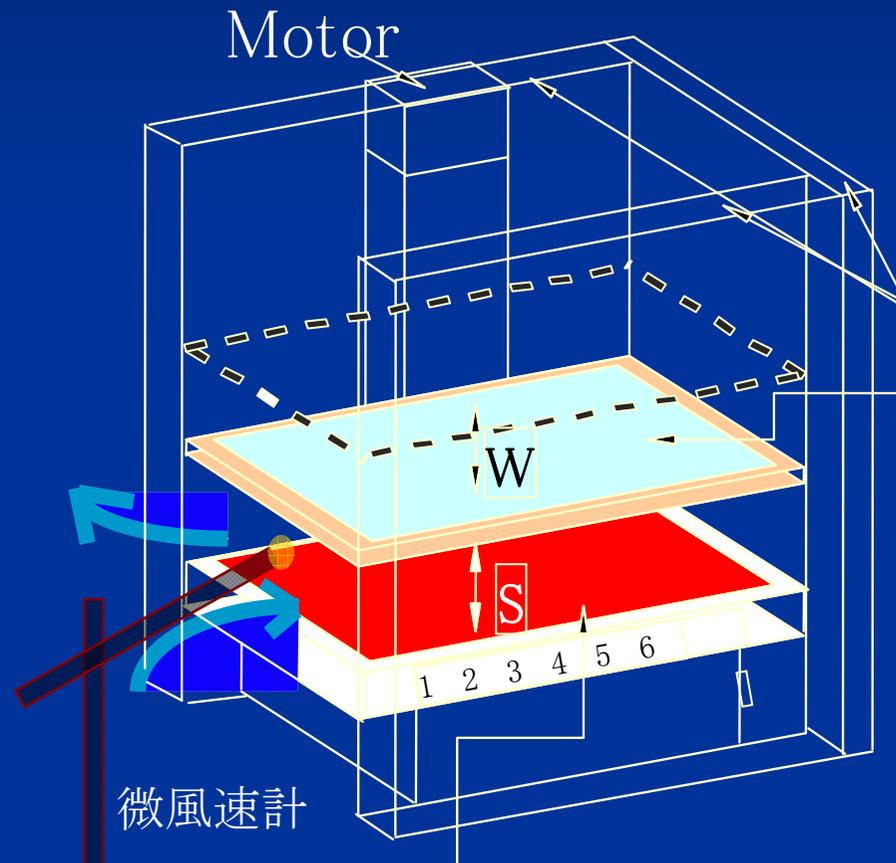
- 経験的にはふいご作用が放熱に有効ということは周知であるが定量的な研究はあまり見られないため、着衣のふいご動作が着衣の放熱性能へどのように影響するかを定量的に検討

参考文献:

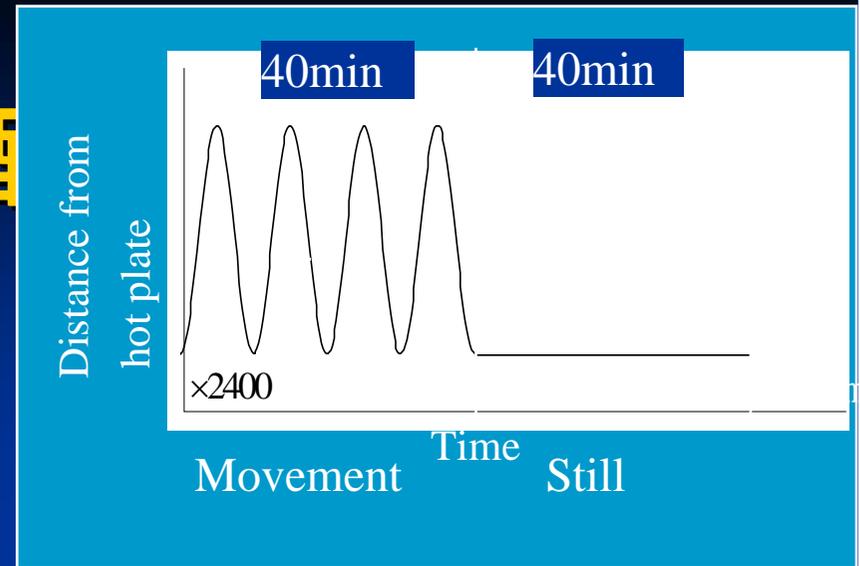
- 1) 薩本弥生, 王 海華, 長谷部ヤエ, 石川欽造, 竹内正顯, Bellows action(ふいご作用)の着衣の放熱性能への影響、第1報 衣服下間隙寸法と通気性の効果Vol.56(11) 524-536 (2000)
- 2) 薩本弥生, 伊藤幸子, 長谷部ヤエ, 竹内正顯, Bellows action(ふいご作用)の着衣の放熱性能への影響、第2報 開口部の開口条件の効果Vol.59(1)22-29(2003)

実験装置

- 図は開口部1小の場合



Hot plate(heat fluxmeters,thermocouples)

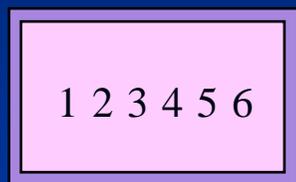


Time table of experiment
Side insulator
Material Plate

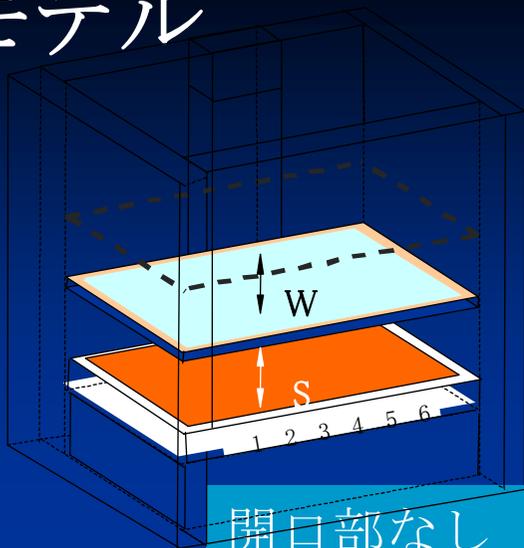


開口部1大の場合

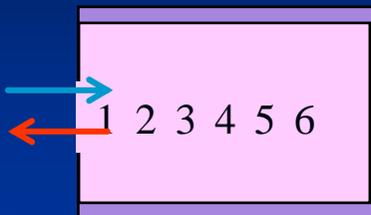
開口部のモデル



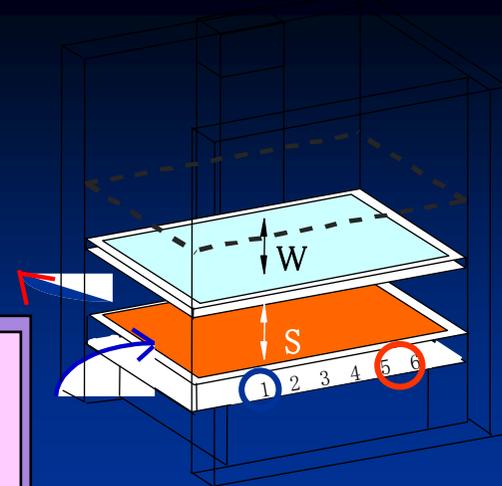
開口部なし
Model(0)



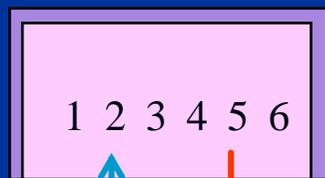
開口部なし
Model(0)



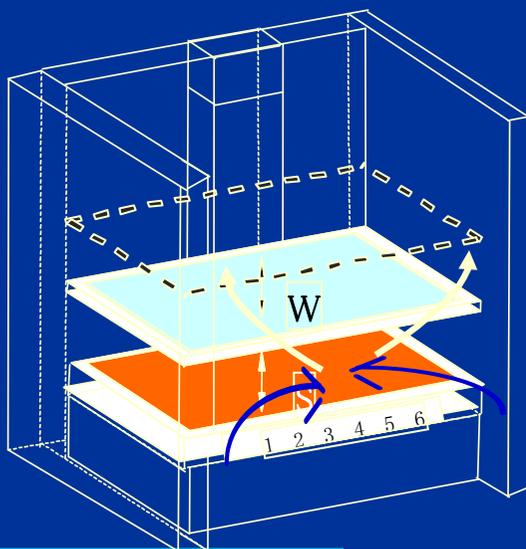
開口部(1小)
Model(1a)



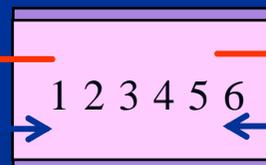
開口部小
Model(1a)



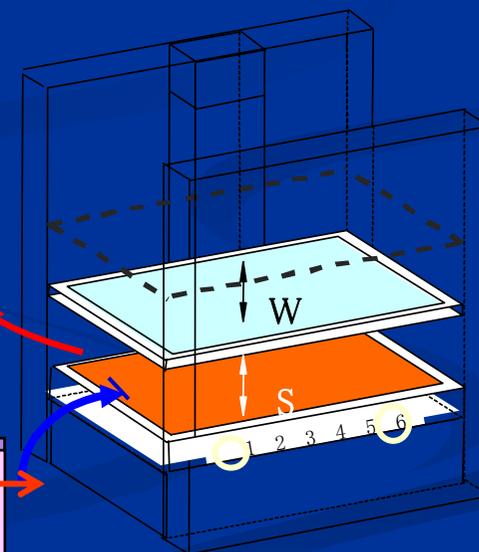
開口部(1大)
Model(1b)



開口部 1 大
Model(1b)

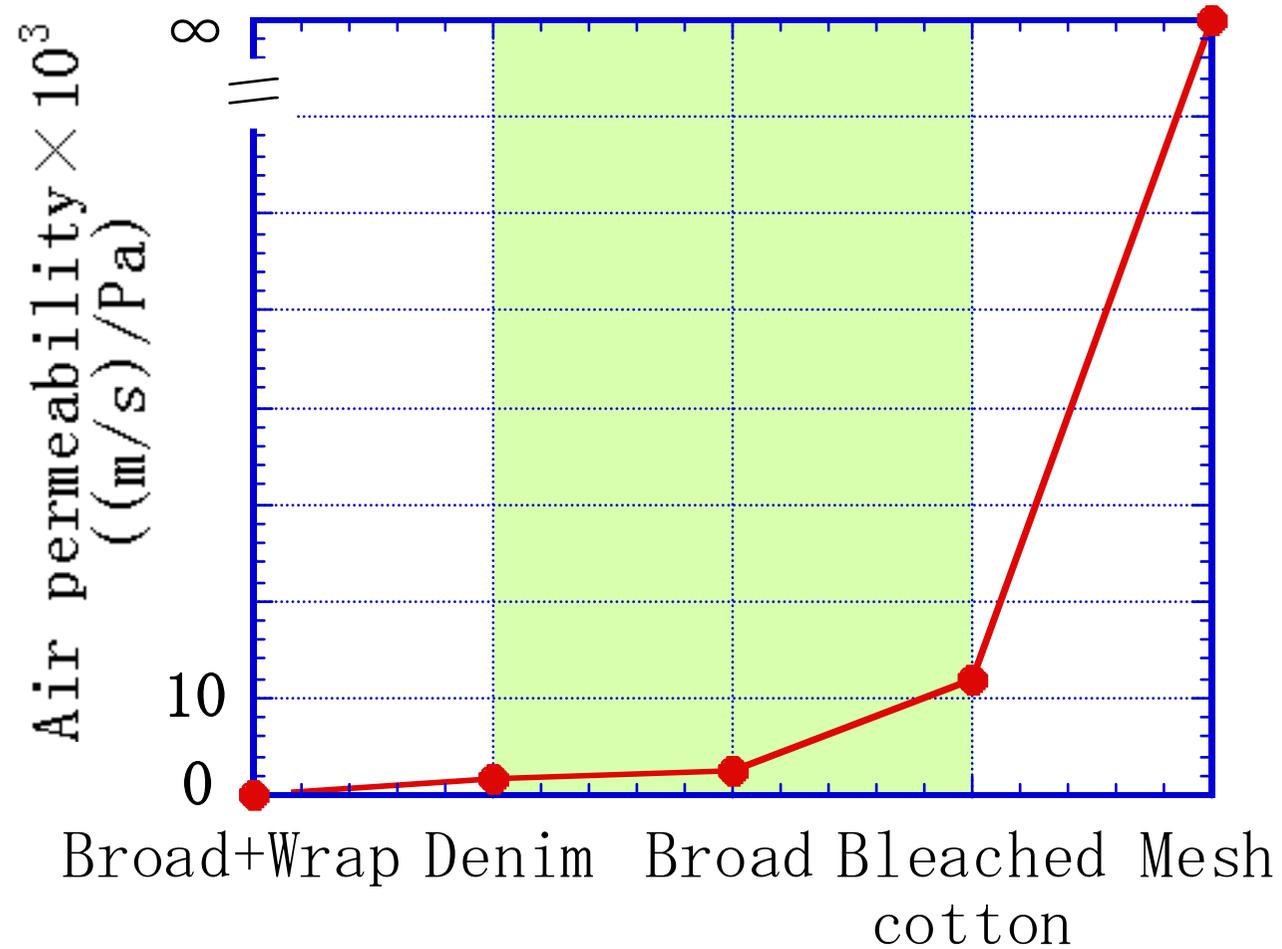


開口部 2
Model(2)

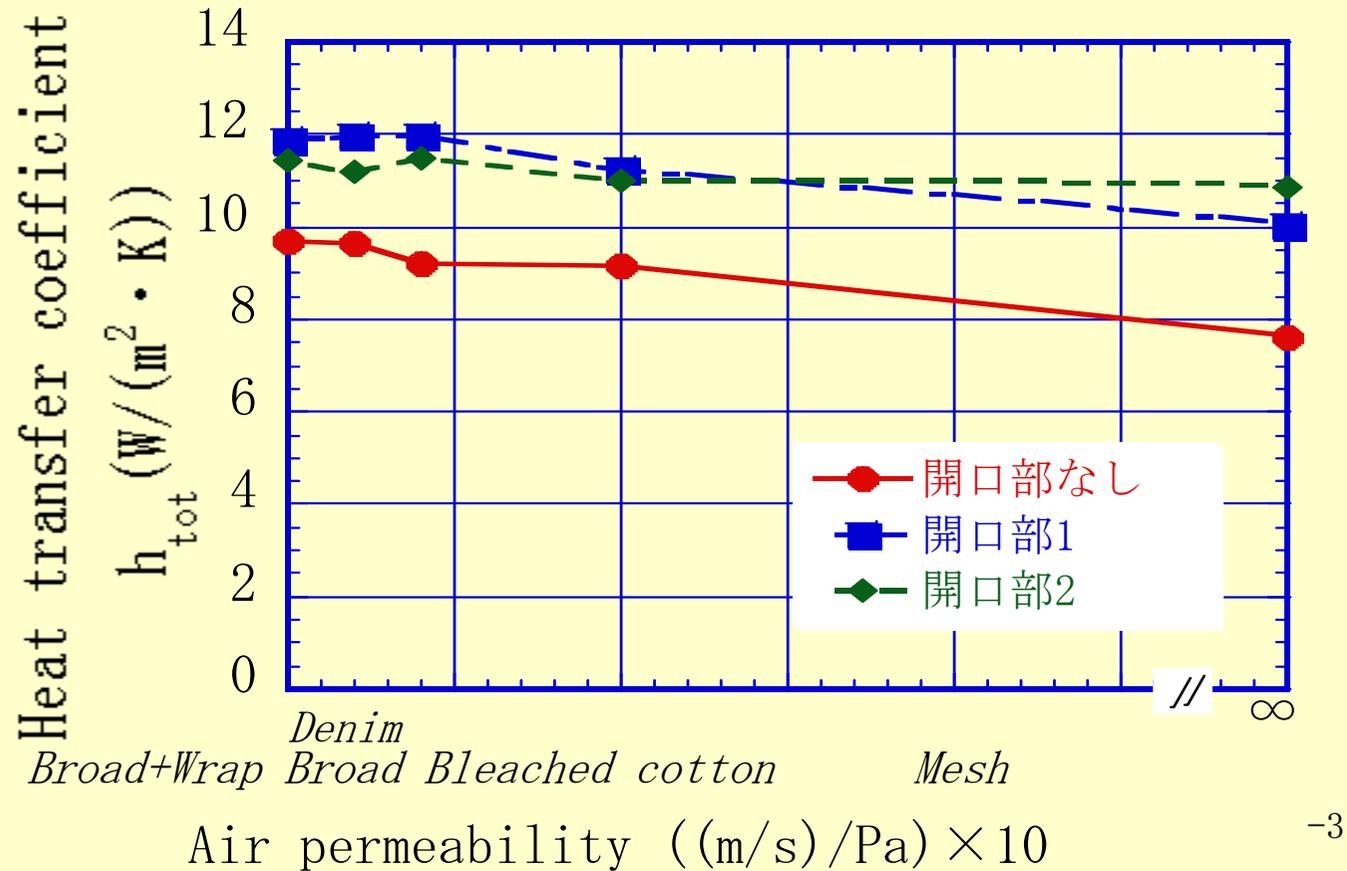


開口部 2
Model(2)

実験に用いた素材の通気性の比較



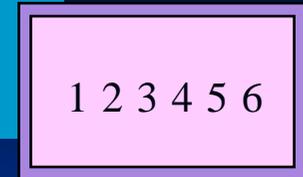
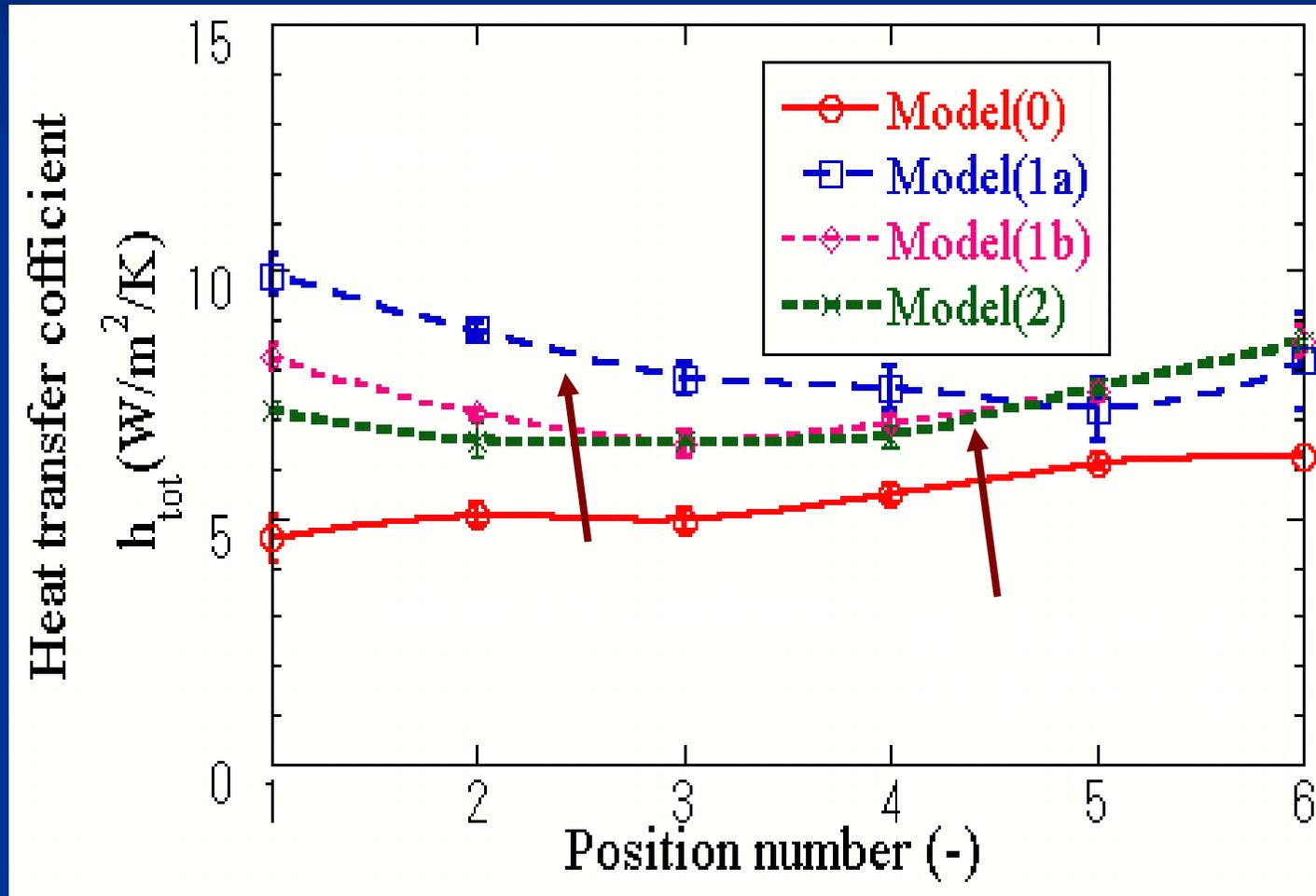
ふいご動作時の放熱への通気性の効果



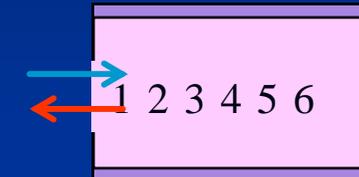
メッシュ以外は通気性による差がほとんど、みられなかった。

開口部の開口条件の影響

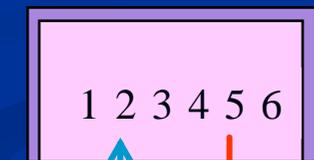
(間隙2,5mmで共通の現象)



開口部なし
Model(0)



開口部(1小)
Model(1a)



開口部(1大)
Model(1b)



開口部2
Model(2)
Hot air

Cold air

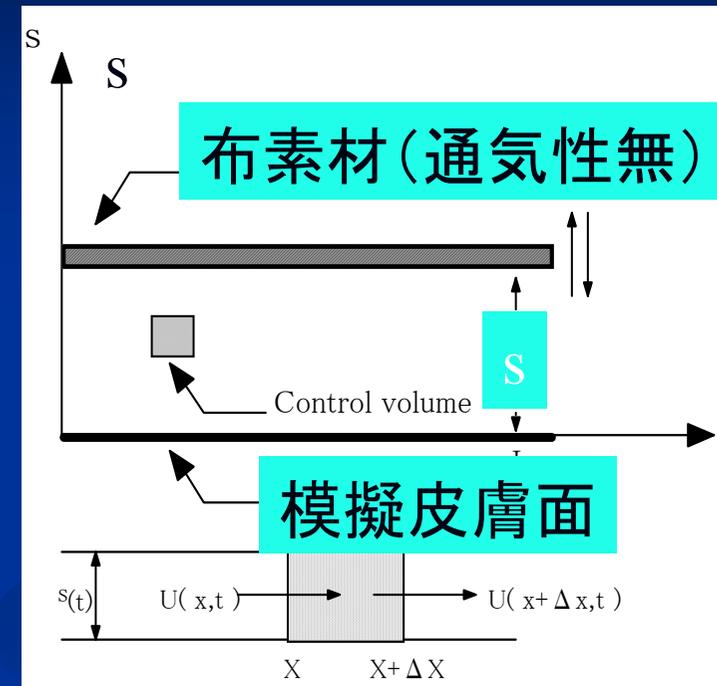
理論解析：間隙内の流速の式

- Control volumeの質量時間変化
 - $\rho \cdot s(t+\Delta t) \cdot \Delta x - \rho \cdot s(t) \cdot \Delta x$
- Control volumeに流入する質量
 - $\rho \cdot u(x,t) \cdot s(t) \cdot \Delta t$
- Control volumeから流出する質量
 - $\rho \cdot u(x+\Delta x,t) \cdot s(t) \cdot \Delta t$
- 質量保存法則から次式となる

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dt} = 0$$

- 積分し境界条件 $U_{x=0}=0$ を入れ以下の流速の式がえられる。

$$u = -\frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot x$$

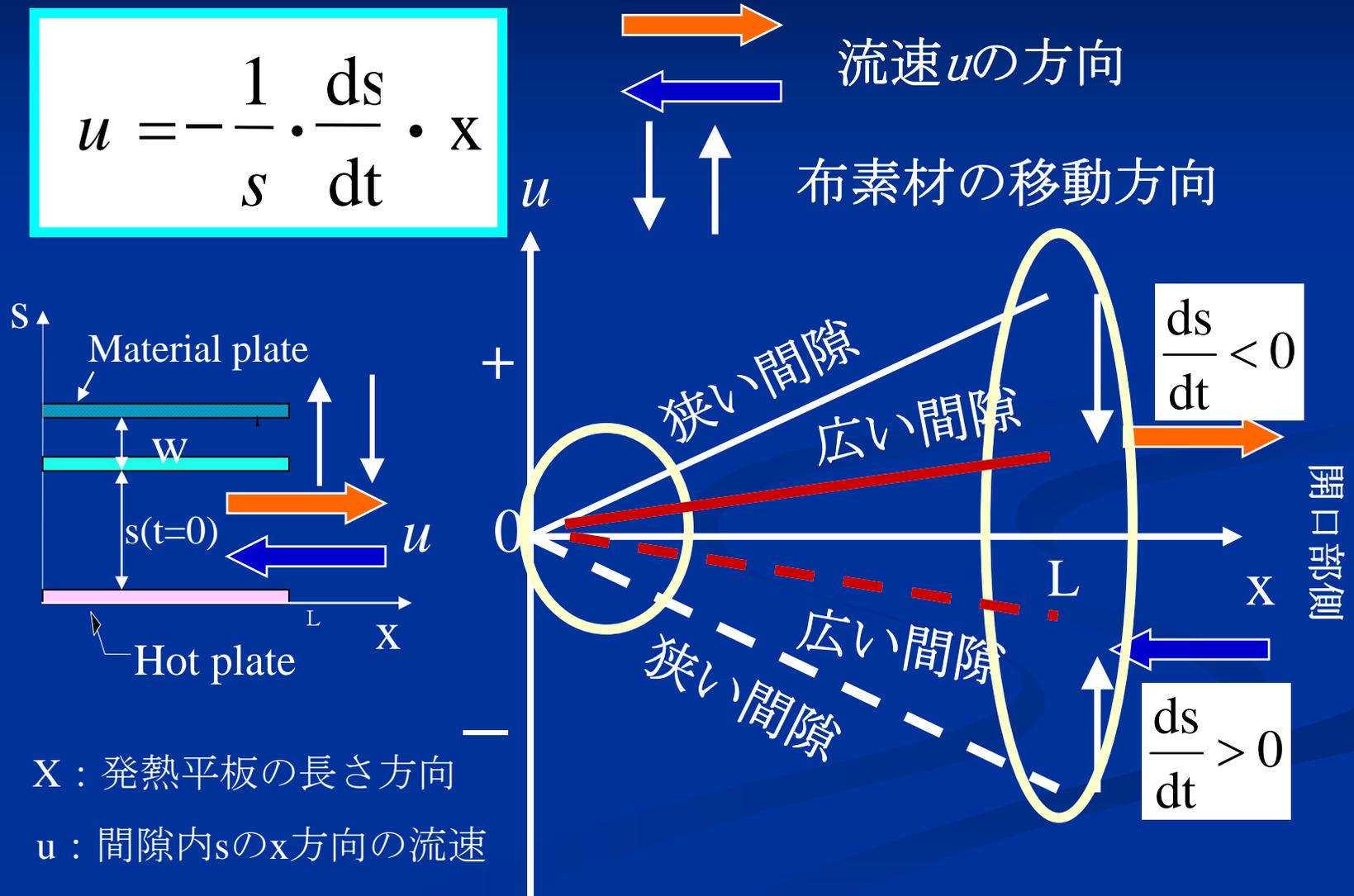


s : 衣服下間隙(縦軸)
 x : 板の長さ方向 (横軸)
 L : 板の長さ
 u : 間隙 s 内の x 方向の流速
 ρ : 空気の密度

衣服下間隙内の空気の流速

理論解析

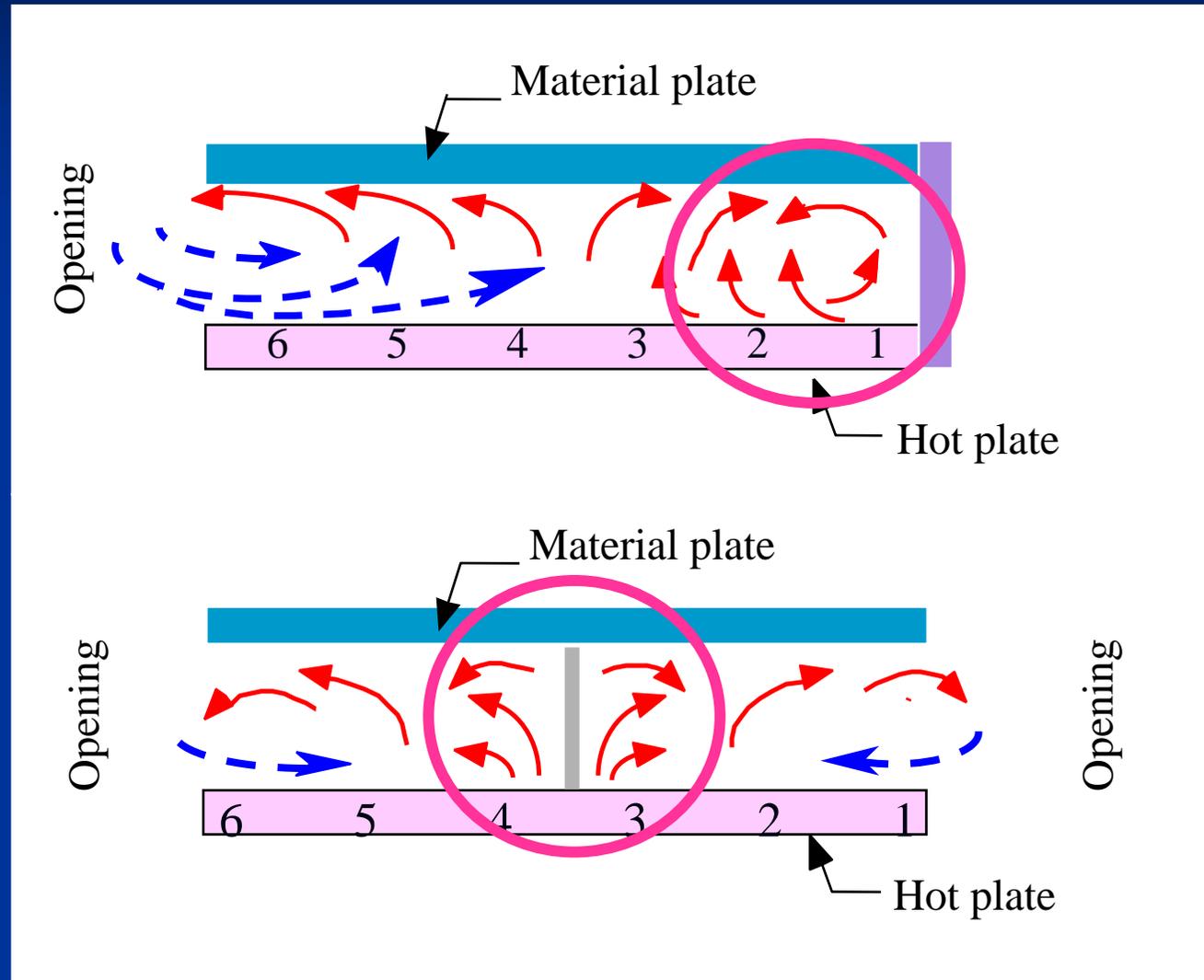
$$u = -\frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot x$$



x : 発熱平板の長さ方向
 u : 間隙内 s の x 方向の流速
 L : 板の幅

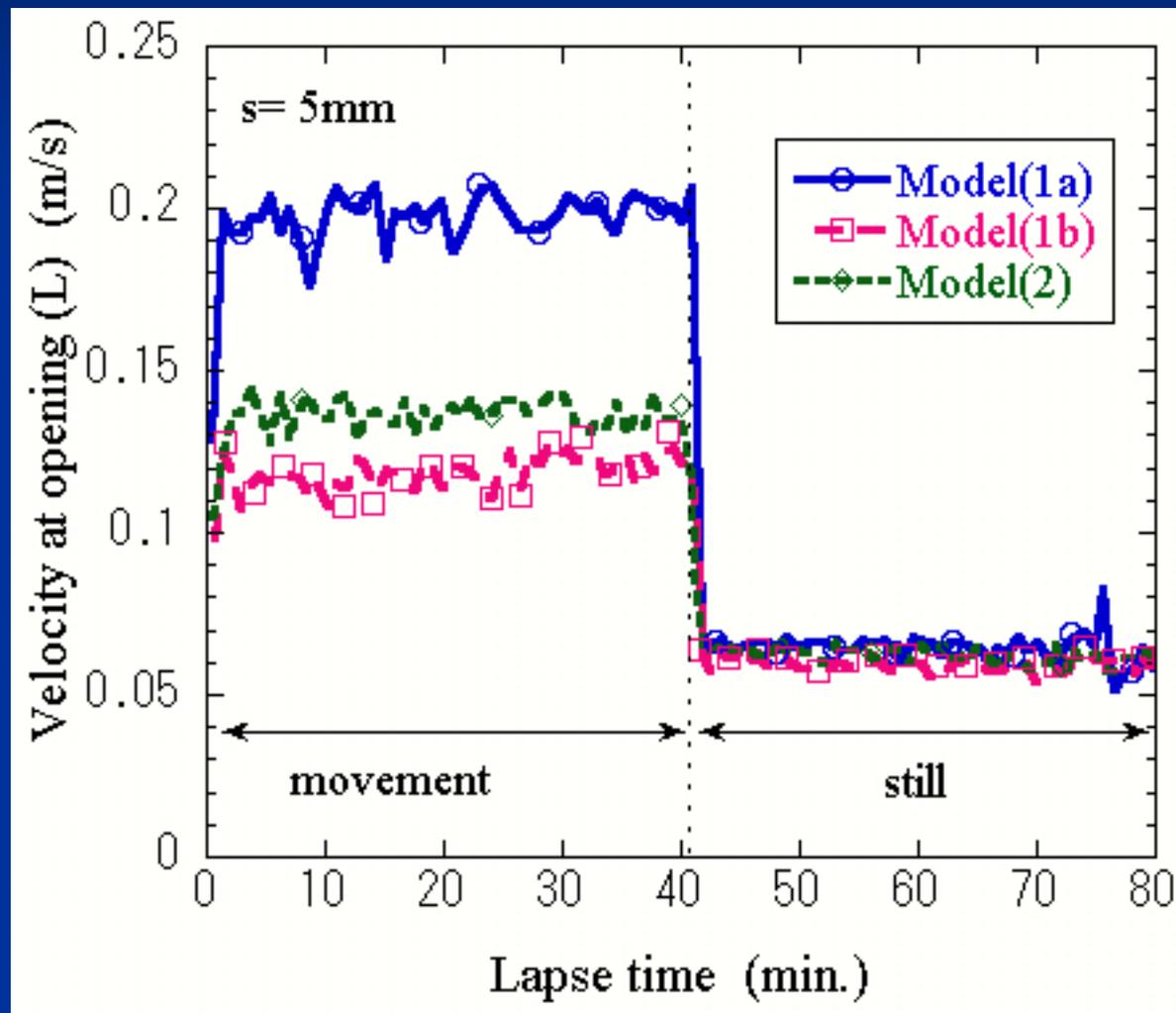
間隙内気流の模式図

開口部2と開口部1小の比較



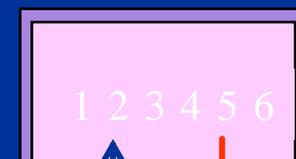
開口部開口条件の流速分布への影響

入り口流速実測値



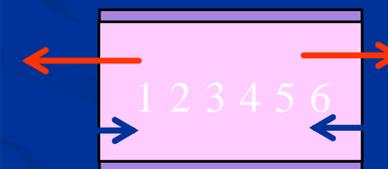
開口部(1小)

Model(1a)



開口部(1大)

Model(1b)



開口部2

Model(2)

Hot air
Cold air

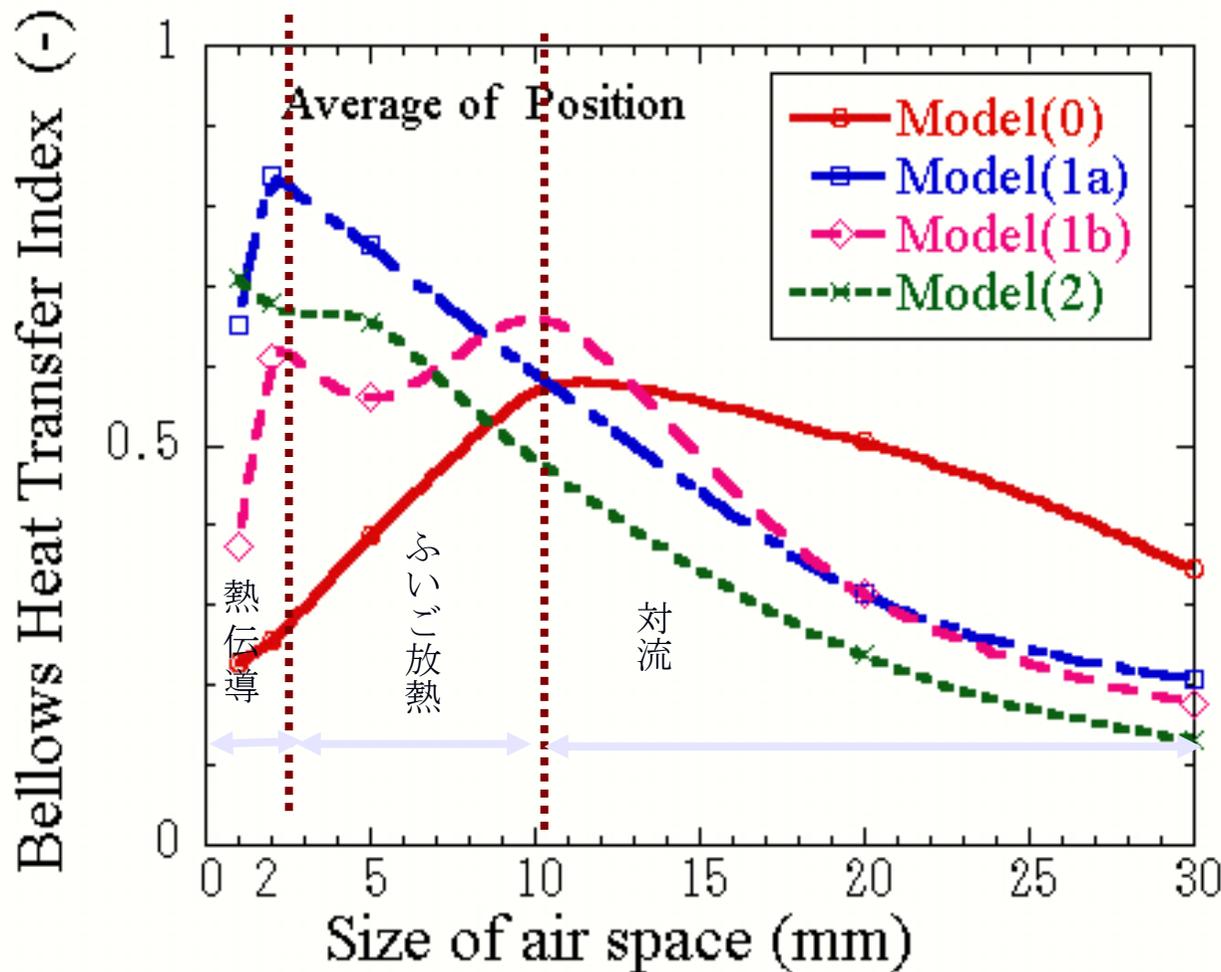
ふいご作用が放熱に寄与する割合

ふいご放熱指数 (Bellows Heat Transfer Index)

$$\text{BHTI} = \frac{h_m - h_s}{h_s}$$

h_s : 安静時の熱通過率

h_m : ふいご動作時の熱通過率



1 2 3 4 5 6

開口部なし
Model(0)

1 2 3 4 5 6

開口部(1小)
Model(1a)

1 2 3 4 5 6

開口部(1大)
Model(1b)

1 2 3 4 5 6

開口部2
Model(2)
Hot air
Cold air

ふいご作用の放熱促進への効果は？

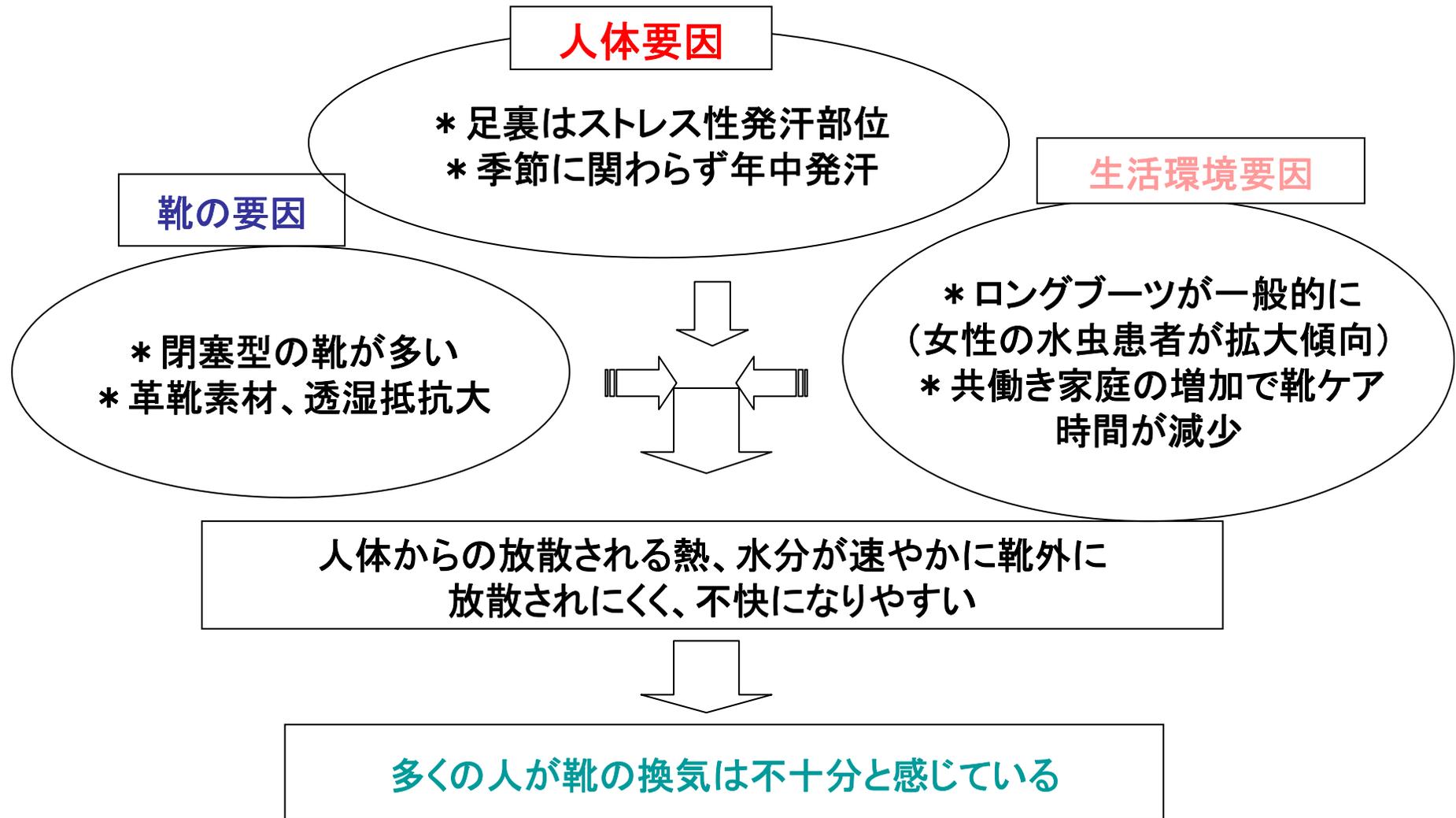
- 隙間の寸法の影響：間隙が5～10mm位が効果が高い。
- 部位：開口部からの距離に比例し開口部付近が一番大。
- 最大効果：開口部付近で開口部無しや安静時の約1.5倍。
- 素材の通気性：あまり影響しない。
- 奥行き：長い方が開口部での換気効果大

ふいご作用の活用用途

- 放熱性能よりも優先する機能がある服は温熱的快適性の点で問題有り。
 - 例えば消防服等の密閉型衣服。
 - 革靴。
 - 生理用ナプキンやオムツ等。
- いずれもふいご作用等の換気性能を応用することで快適性を改善できる余地があり。

革靴の温熱的快適性 について

靴内環境に関する現状



本研究の目的

快適な靴内環境を求める声

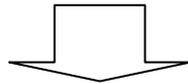
換気機能を謳う市販靴の登場

→その効果を確認

十分な効果
あり？



・換気機能を持つ中敷きを試作→性能の評価

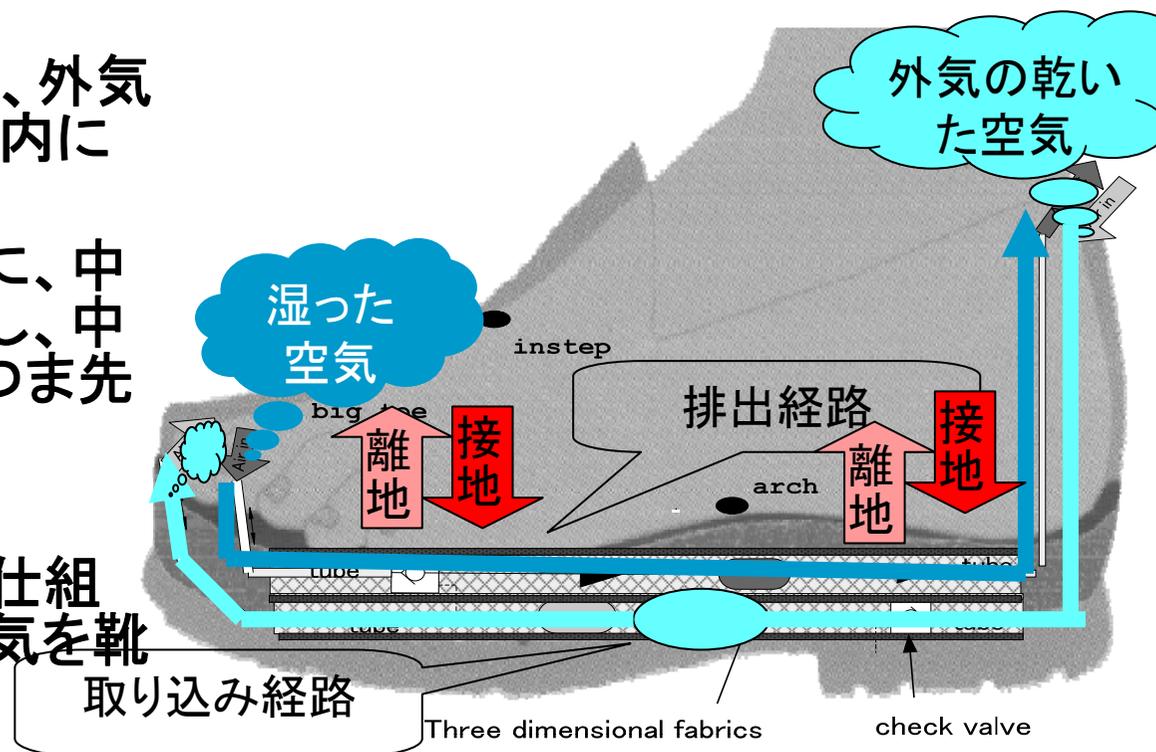


・革靴の温熱的快適性の向上を目指す

換気機能を持つ中敷き 「換気中敷き」*

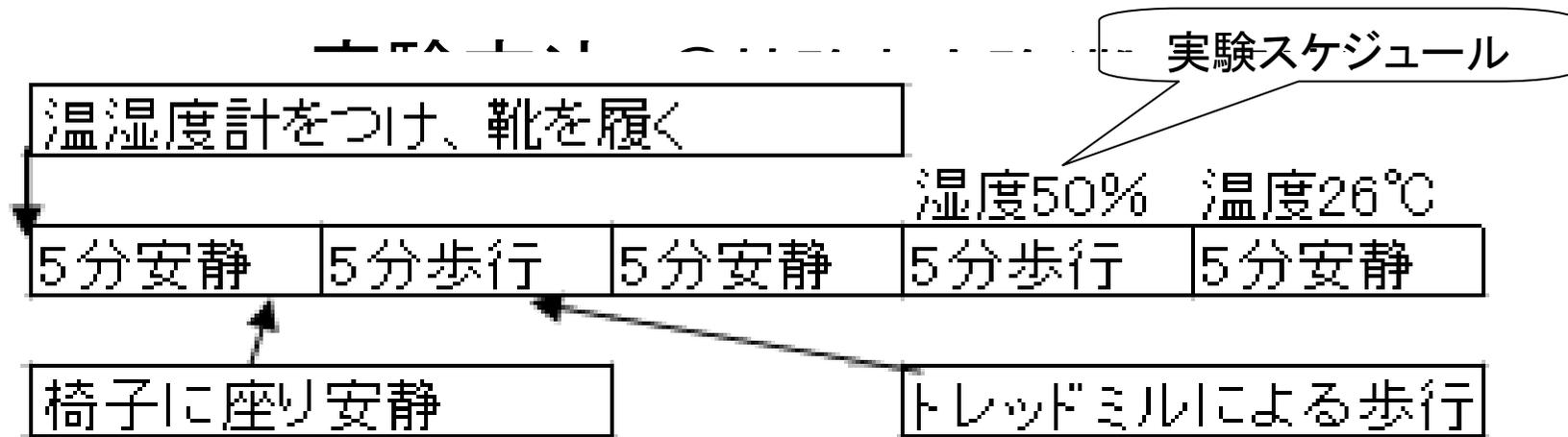
換気中敷きの仕組み

- 歩行動作を利用した靴内換気
- 排出・取り込みの2経路をもつ
- 取り込み経路
 - 靴が地面から離れた時、外気の乾いた空気が中敷き内に流入
 - 踵・つま先の接地の際に、中敷きにかかる力を利用し、中敷き内を通して外気をつま先に吐出
- 排出経路
 - 取り込み経路と同様の仕組みでつま先の湿った空気を靴外に排出



→バッテリーの必要なし

*:特開2008-161478,(2008)



- 換気機能のない市販革靴・換気機能を謳った市販革靴・換気中敷き入りの市販革靴をそれぞれ履き温度・湿度の変化を測定し比較
- 測定部位：親指・甲・土踏まず

②換気中敷きの換気のメカニズム

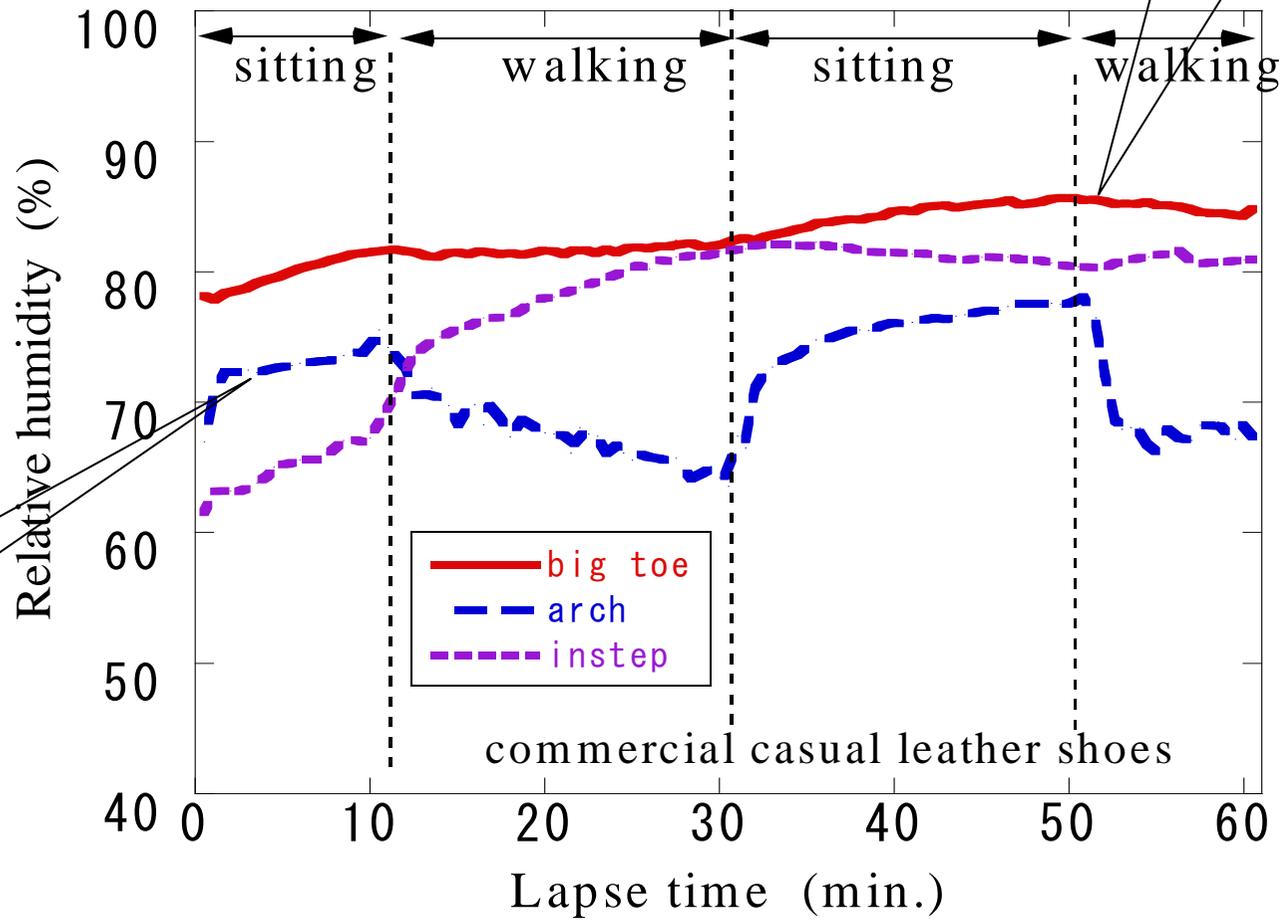
換気中敷きにかかる圧力と、外気取り込み経路から出てくる空気の流量を計測した。



実験結果 ① — 1市販革靴

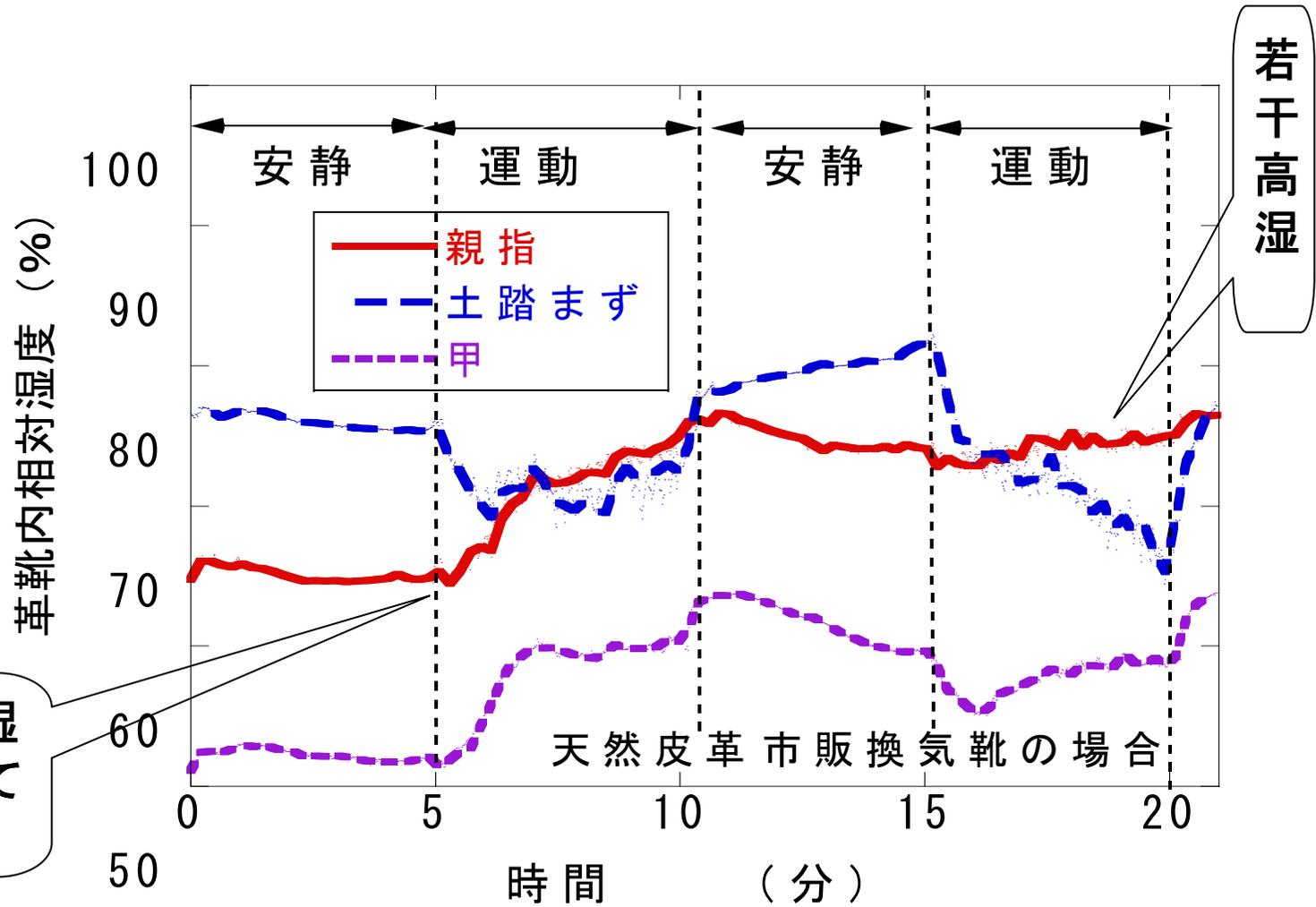


高湿な状態のまま!

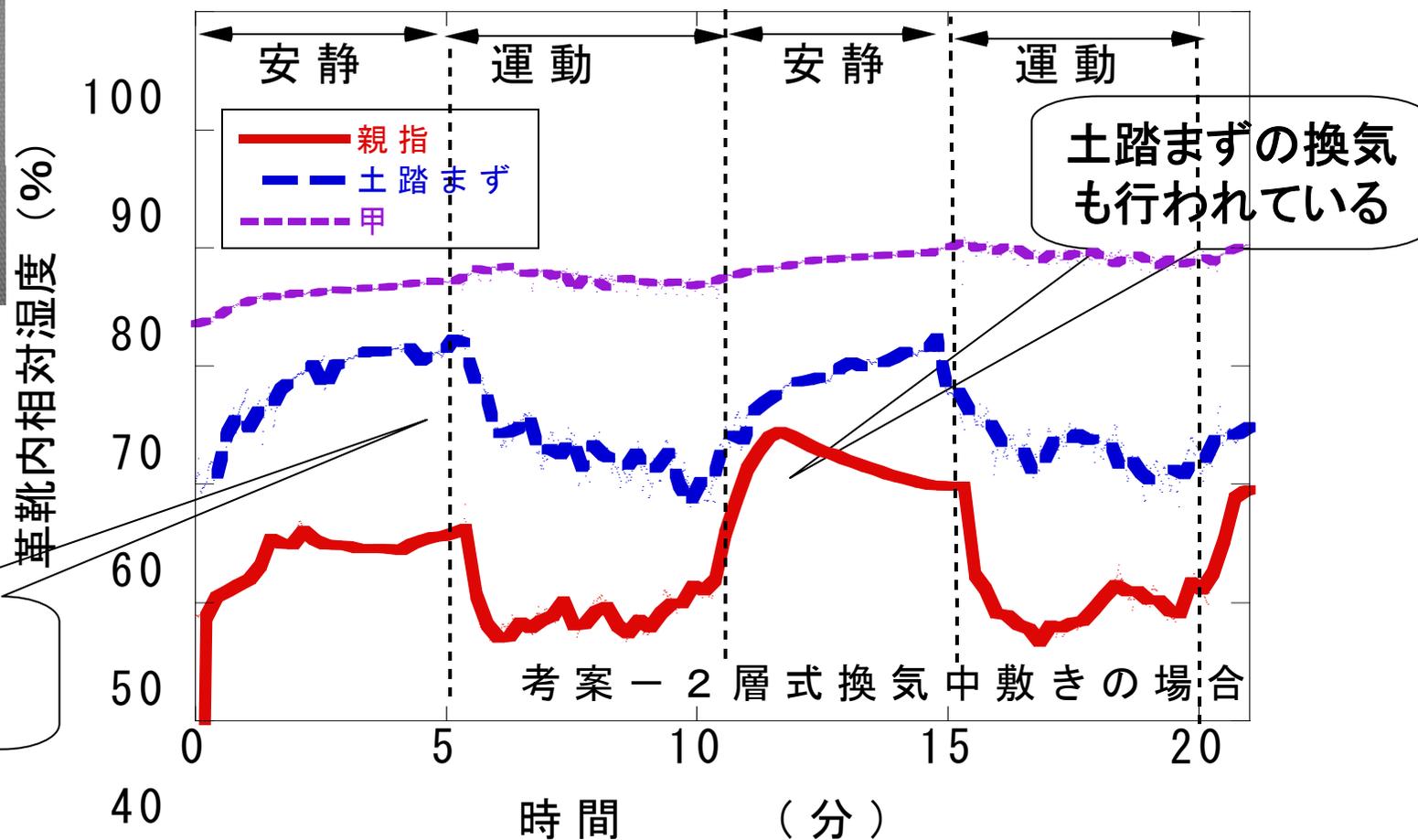


歩行中に湿度低下

実験結果 ①-2換気効果を謳う市販革靴

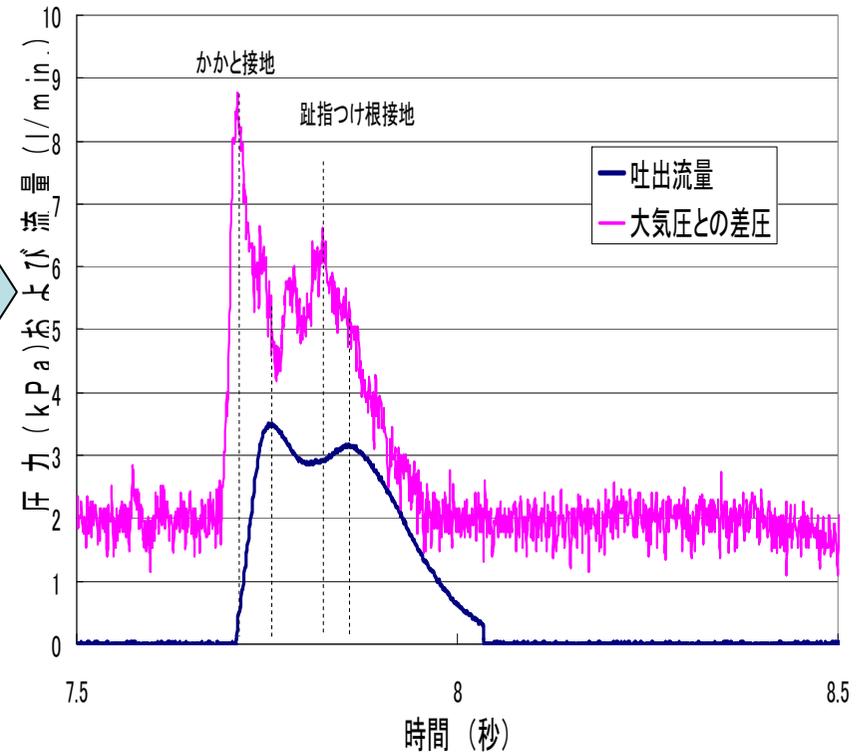
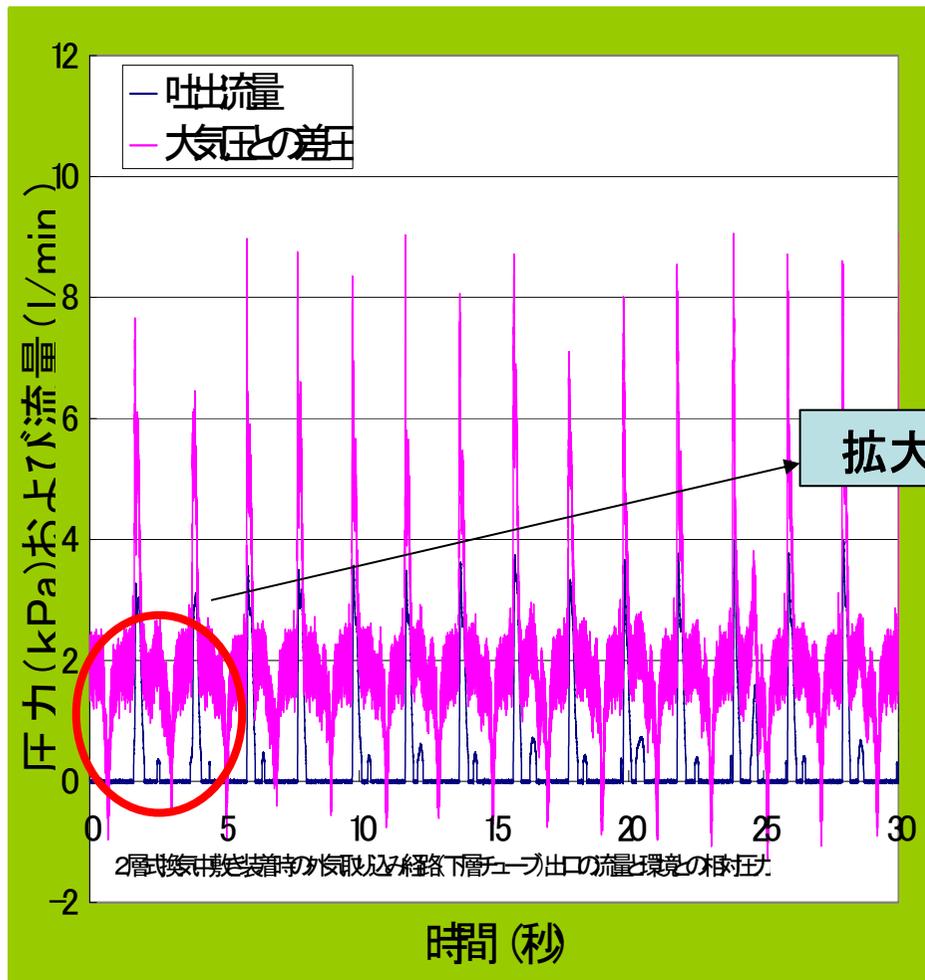
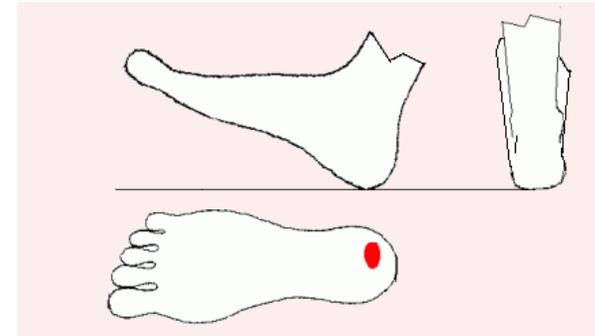


実験結果 ①-3換気中敷き



実験結果② 外気取込経路の歩行と流量の関係

気体用流量センサkeyenceFD-V40(センサヘッドFD-A10)0.3~10L/min.,
デジタル圧力センサkeyenceAP-V80(センサヘッドAP10S)-100~100kPa



まとめ

- 換気機能のない市販靴では、土踏まずでは歩行中に靴内湿度の低下が見られたが、親指付近が高湿な状態で、親指付近が最も改善の必要な場所であることが分かった。
- 換気機能を謳った市販靴では、換気機能の無い靴よりも、やや低湿な状態であったが、親指付近は依然として高湿なままであった。
- 今回試作した換気中敷きを使用することで、他の靴と違い、歩行と同期して親指付近の湿度の低下が見られた。



トレーサガス法を用いた 紙おむつの換気性能の 測定法について

おむつの着心地の問題点

運動機能的な問題

おむつのずれ

歩行のもたつき

尿漏れ

風合いの問題

肌触り

おむつによる摩擦

温熱的な問題

蒸れ

おむつかぶれ



◆背景◆ ～オムツ内環境のコントロール～

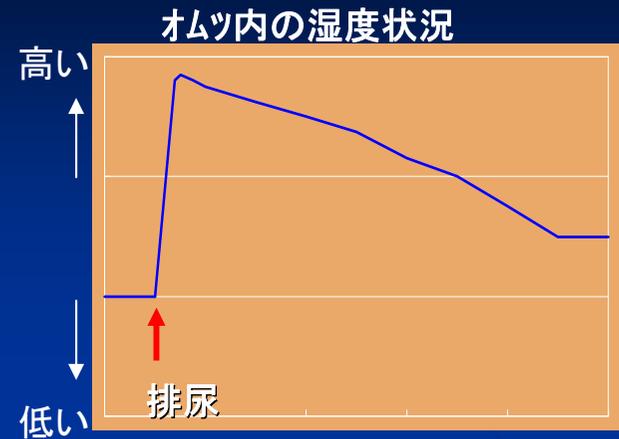
オムツ着用により腰部閉塞

← 排尿

高温多湿

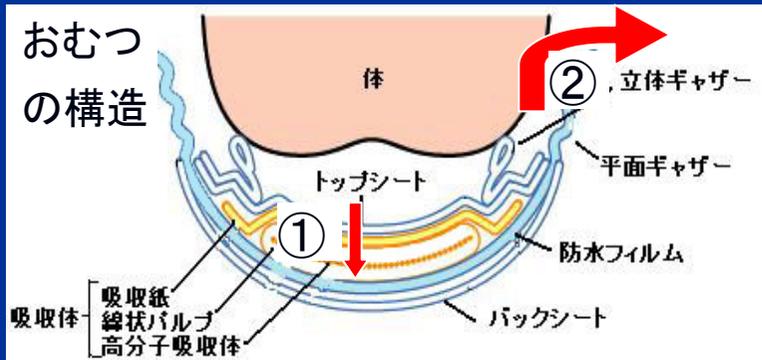
解消するために...

非排尿時	7月: 35°C	70~80%RH
	3月: 32°C	30~40%RH
排尿時	100%RH	



オムツ装着内の熱の移動

① 厚み方向の水分を伴う熱移動



② 隙間からの空気の換気による熱移動

バックシートに透湿性を付与することによって、水分・熱移動の改善を行なってきたが、実使用においてオムツ内環境をコントロールできるレベルまでは至っていない。

動きに伴ったウエスト部やレッグギャザー部からの換気が、オムツ内環境コントロールに大きな影響を及ぼすと考えられながらも、その実態を観察したことはなく、動作に応じてどのくらい換気が起こっているのかわかっていない。

本研究の目的

- 赤ちゃんの動きによってできる、おむつの隙間からの換気を促進するようなおむつの構造の開発のために
- **換気を定量できる装置の開発。**

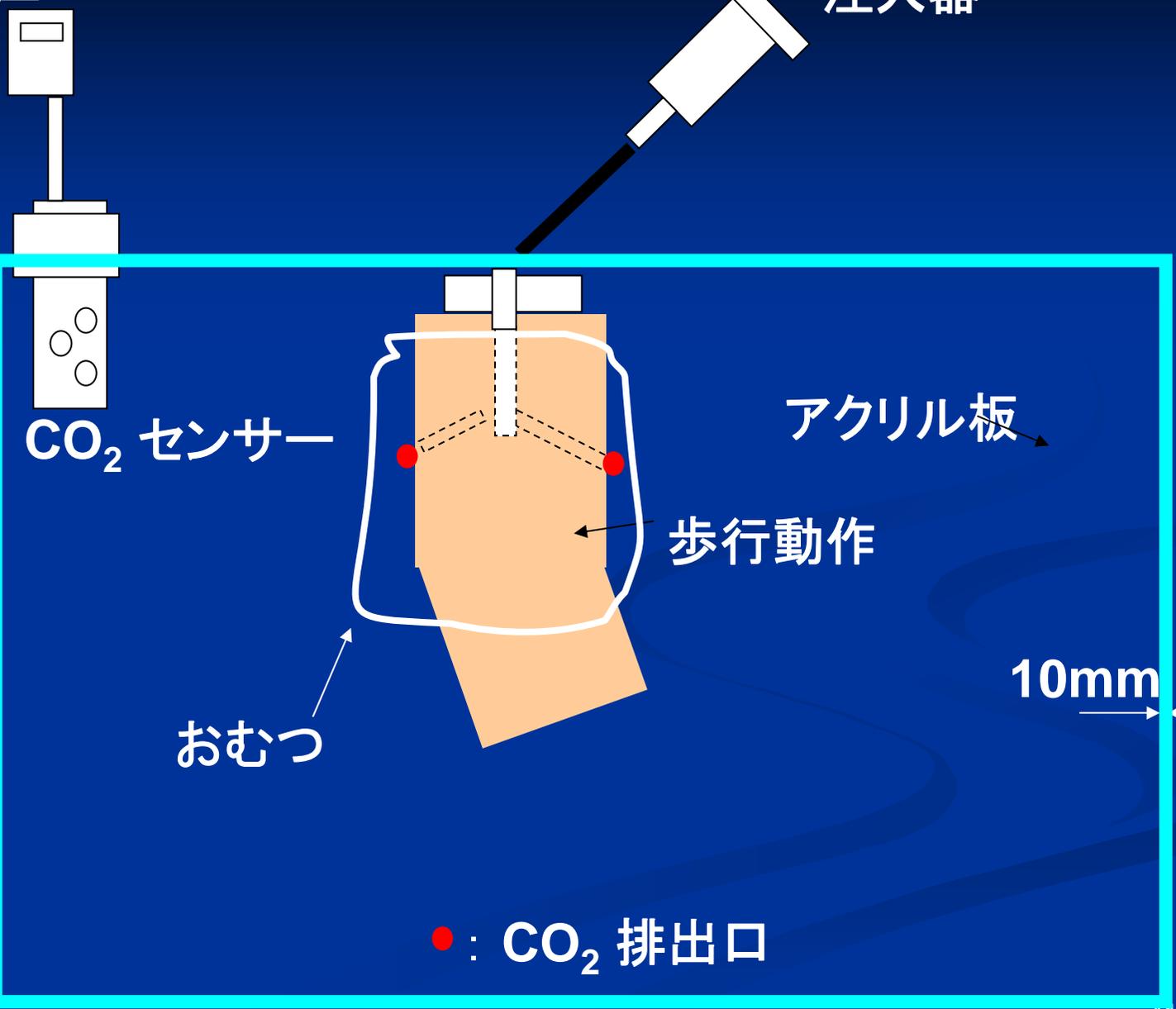
トレーサガス法を用いた 着衣の換気性能に関する先行研究

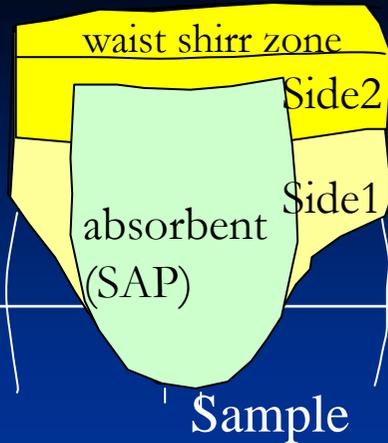
- Crockford et al (1972)
 - have developed the way to measure the air exchange directly from the tracer gas method.
- Birnbaum・Crockford (1978)
 - also proposed the vacuum method to measure volume as their transient tracer gas method needed clothing microclimate volume to calculate air exchange rate
- Ueda・Havenith (2005, 2006)
 - investigated the effect of air permeability, opening condition and clothing air gap between skin and clothing on ventilation during walking and/or with wind.
 - They found that the ventilation was affected not only by the air permeability (one of the material factor of clothing) but also the constructive factor like opening and air gap between skin and clothing.

方法

換気測定装置

注入器





Characteristics of diaper materials

Sample	Area weighted air resistance *2 (kPa·s/m)	Water vapor permeability of unwoven clothes *3 (g/m ² /24h)
Permeable pant	0.05	—*1
Diaper A	1.93	4525.6
Diaper B	2.65	4078.3
Diaper C	2.68	4640.2
Diaper D	2.34	1572.8
Impermeable pant	—*1	1807.4

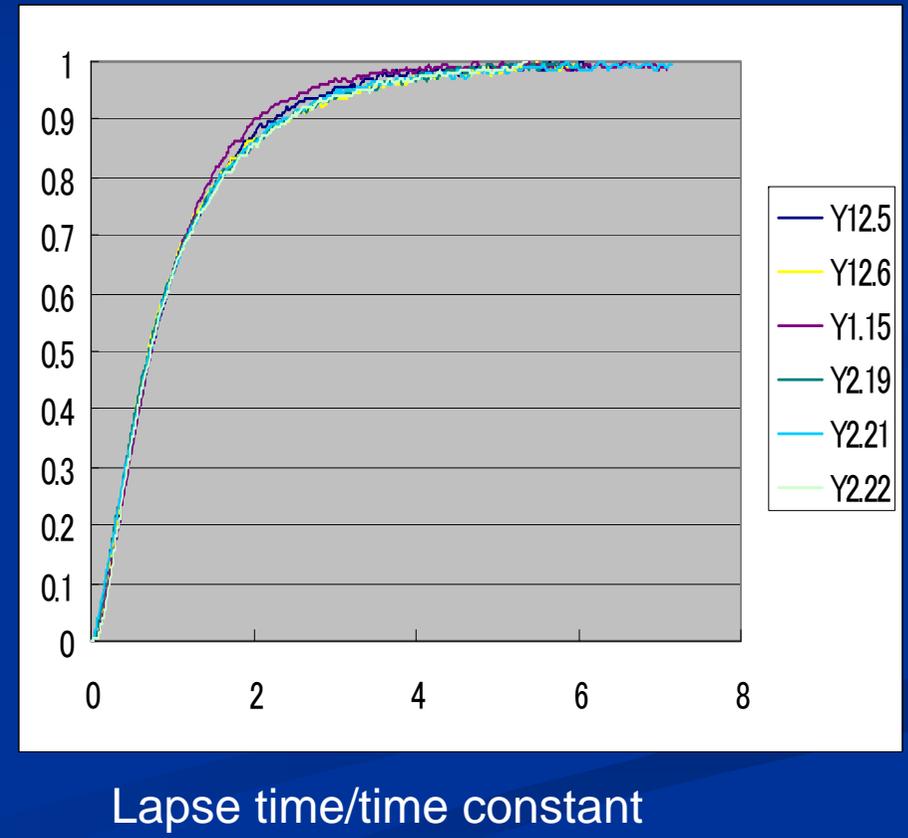
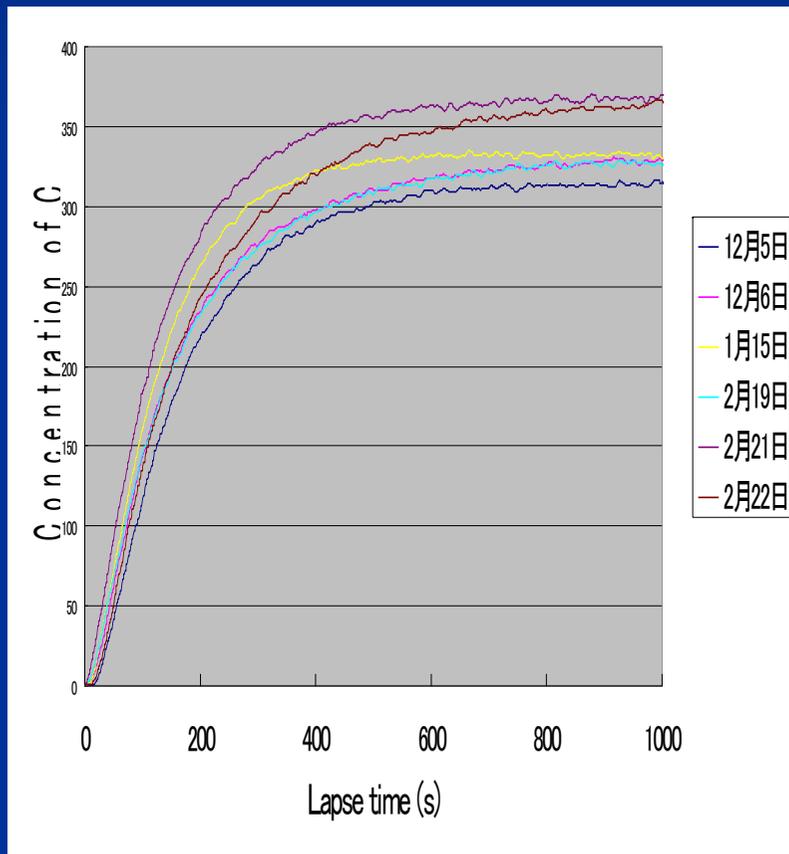
*1: impossible to measure,

*2: measured by KES methods

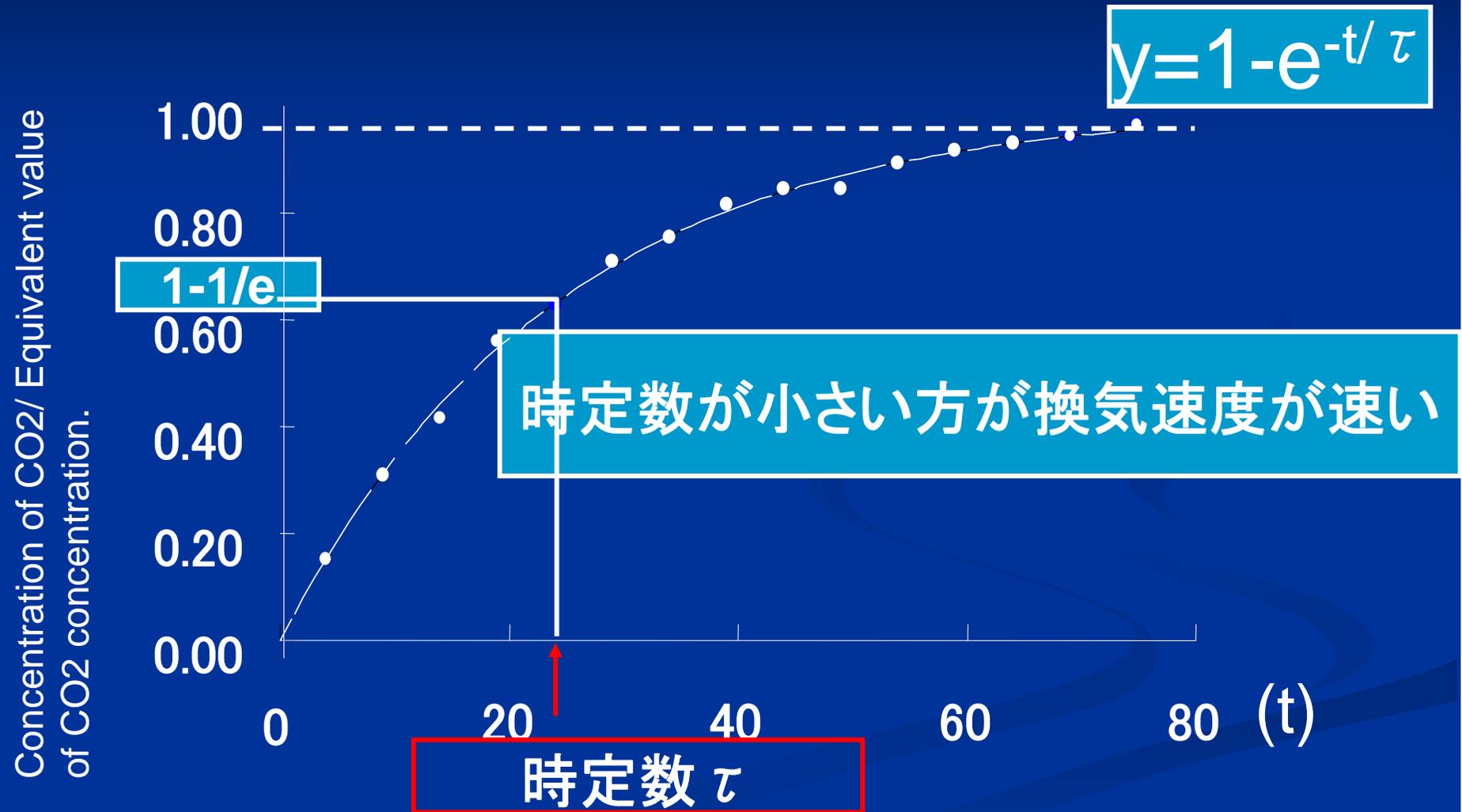
*3: measured by JIS L1099 A-2 Methods

Results : In case of Impermeable shorts.

Raw data \rightarrow Normalized data.

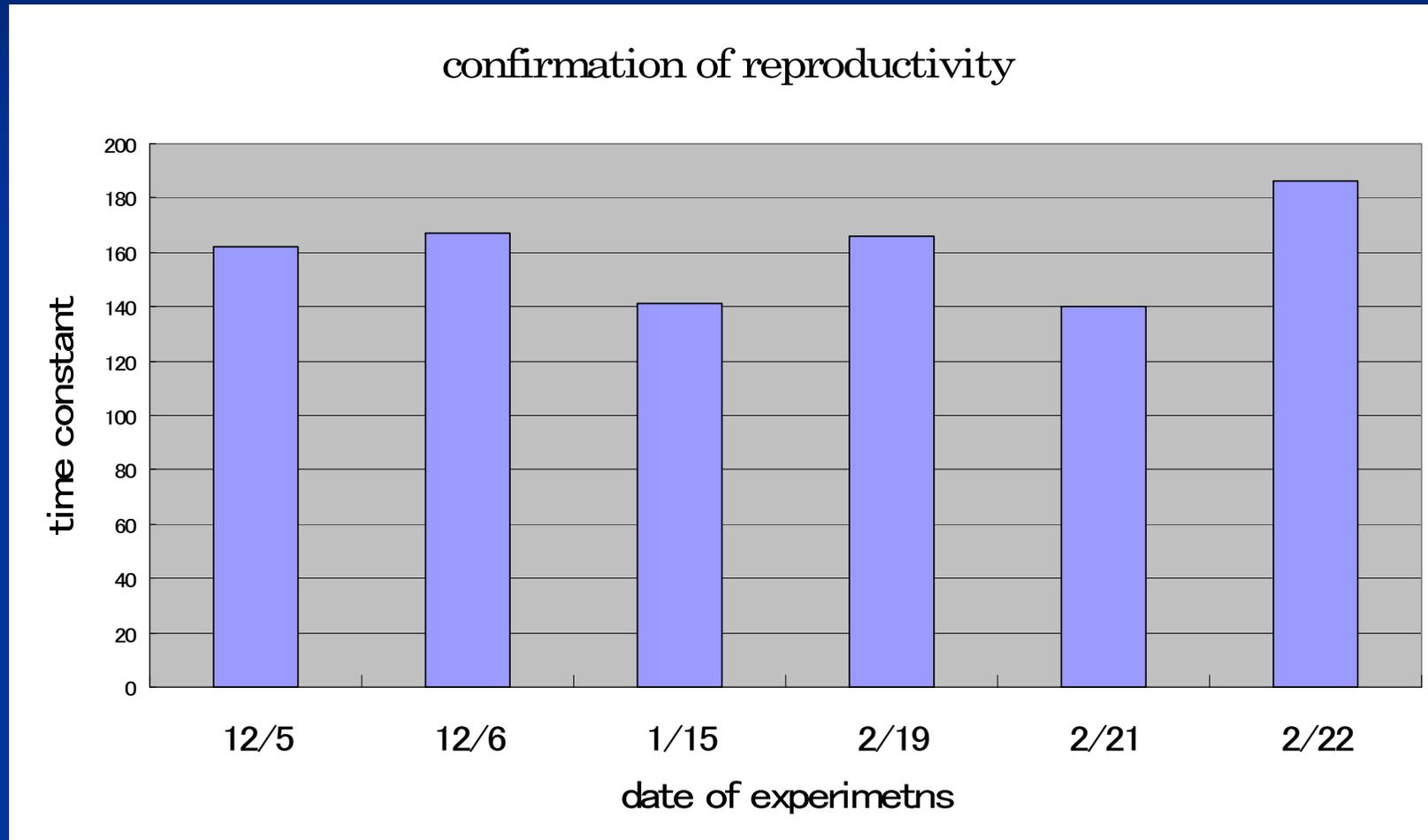


時定数



Results

In case of Impermeable shorts.



- 換気量を測定する実験を行った



- 同条件の実験の再現性が悪い



- 換気を再現性良く定量できるように、
装置を改良

データのばらつきは本当にばらつきなのか？

〈装置自体のばらつきを確認〉

【実験①】装置内濃度の均一化

→攪拌用扇風機1台から3台に変更

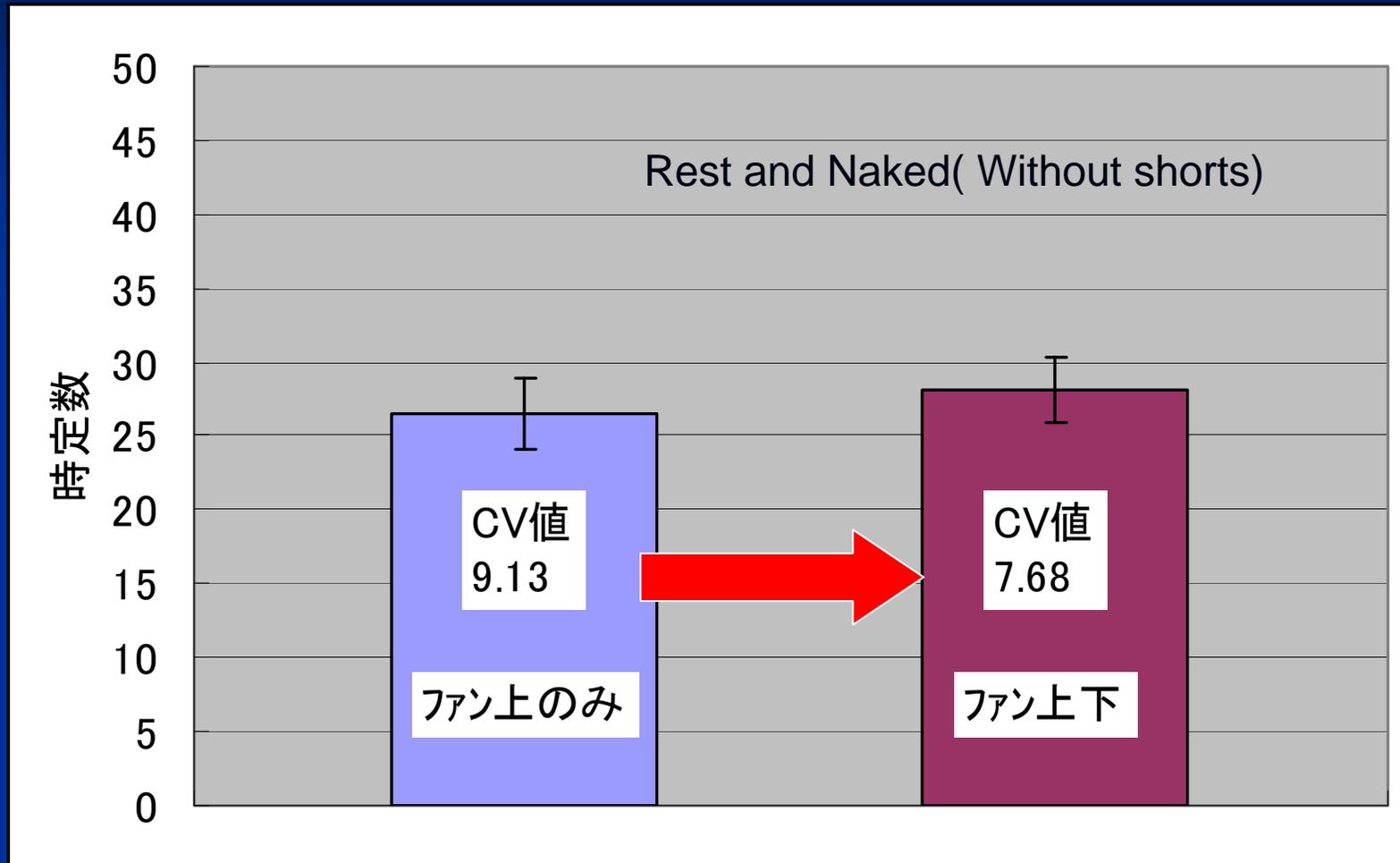
【実験②】CO₂注入速度の一定化

→手動から自動に変更

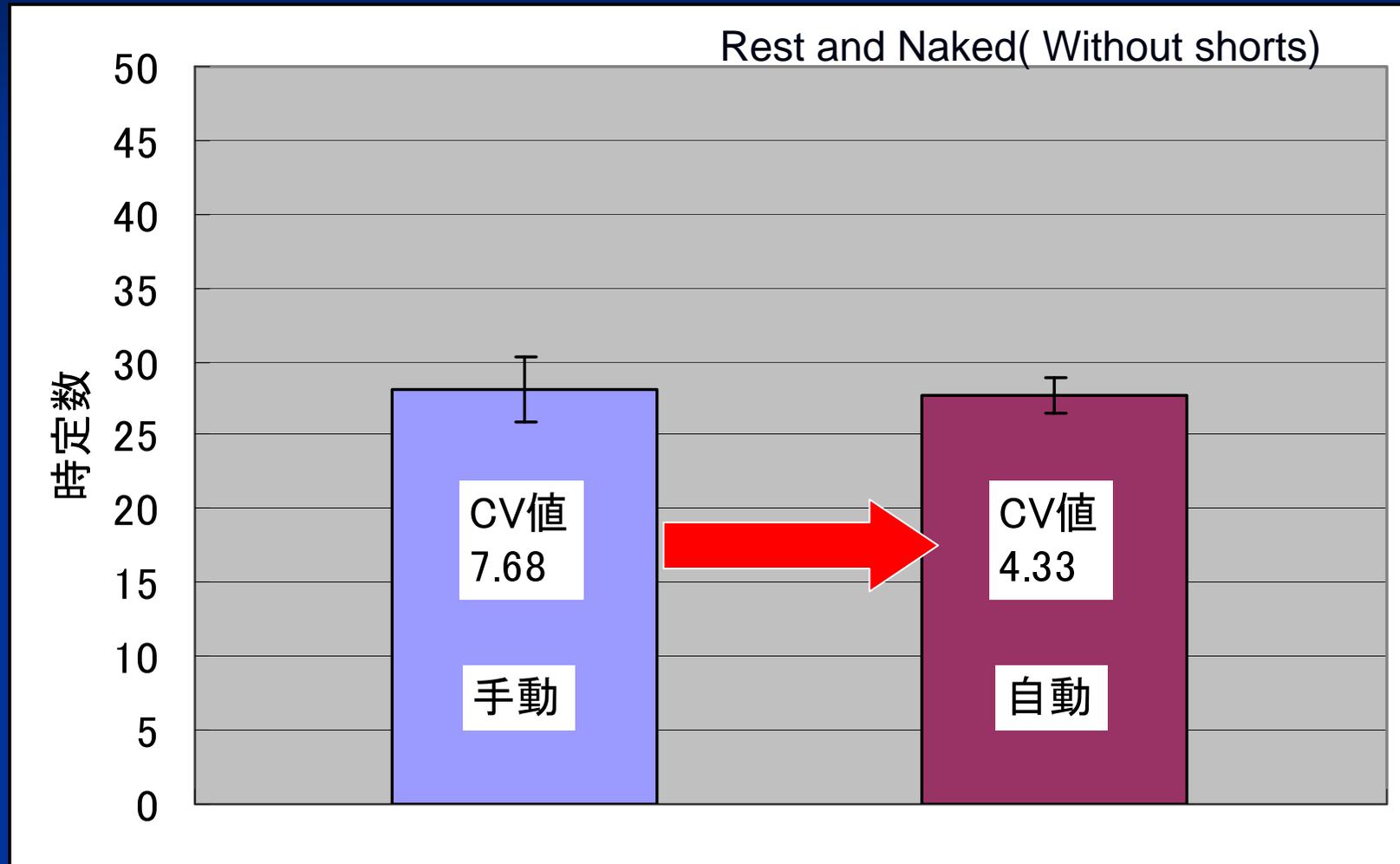
〈ショーツ・オムツでの再現性を確認〉

【実験③】非通気ショーツ安静/歩行データN数確保

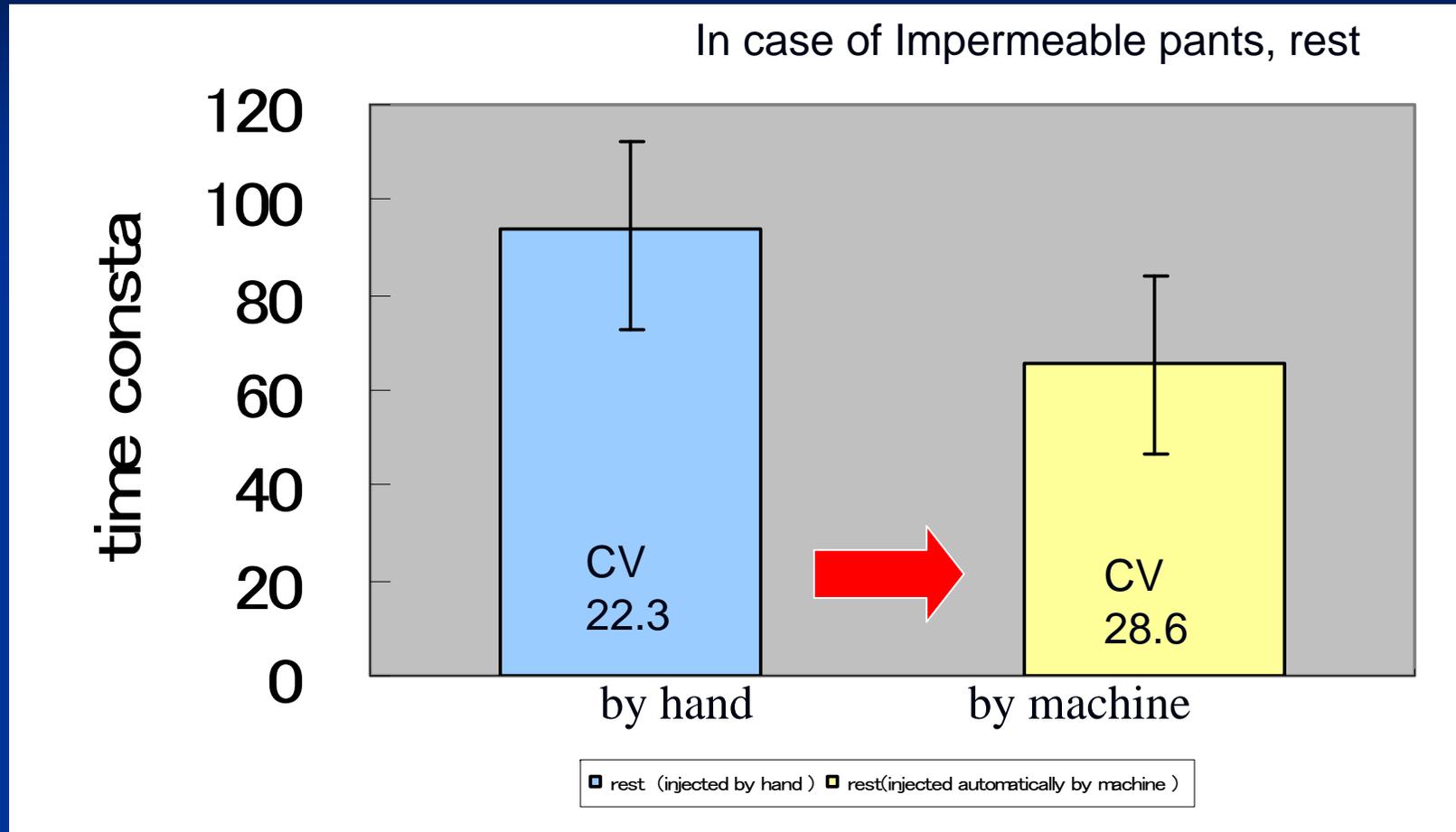
【実験①】装置内濃度の均一化



【実験②】CO₂注入速度の一定化



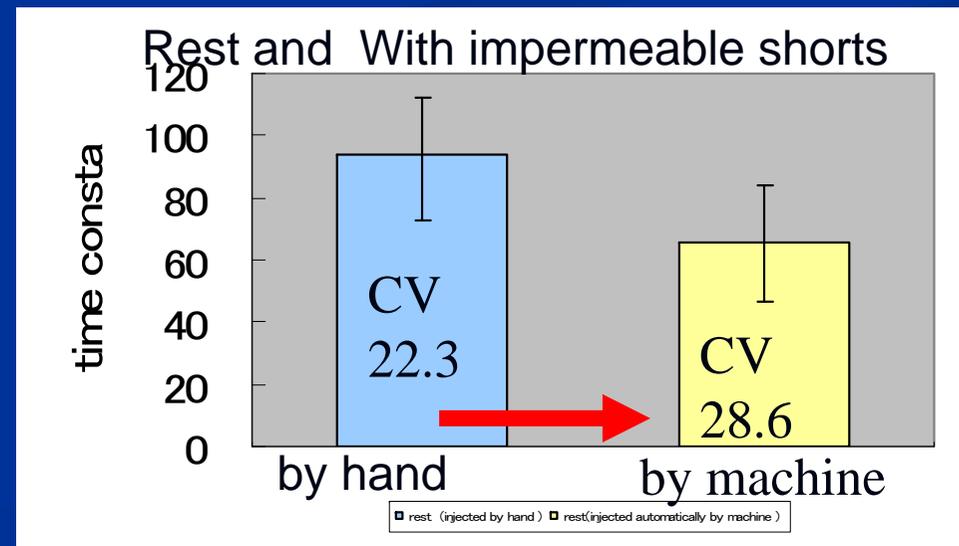
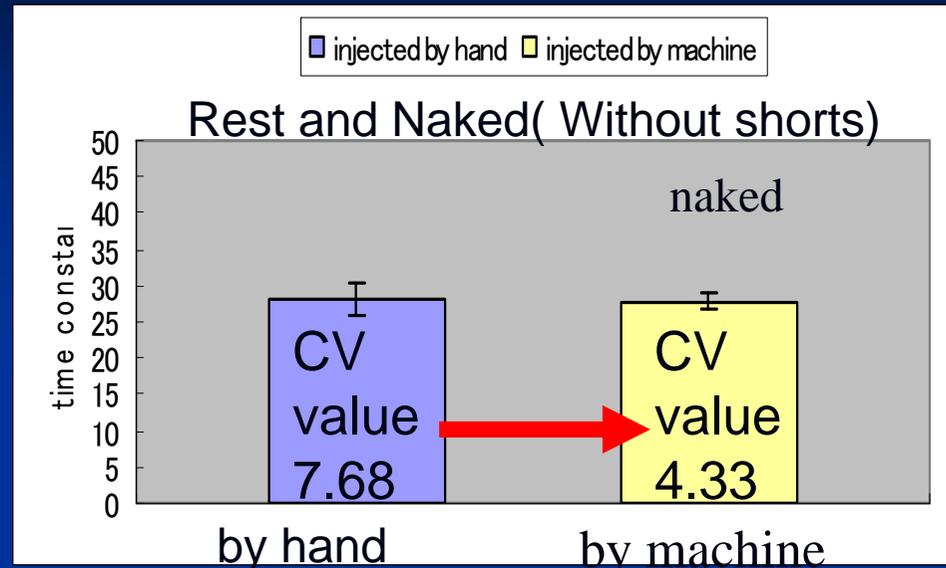
【実験③】非通気シューズ安静/歩行データN数確保



Discussion:

What is the reason of unstable results?

- For the experiment with naked manikin, repetitive error decreased and small (cf. right graph).
- We think that the reason of instability seems difficulty of the putting on the same construction of diaper.
- Are there any other reasons?



自動二酸化炭素定量注入装置の設置
攪拌用扇風機: 1から3に増加



マネキン裸体時の再現性は向上

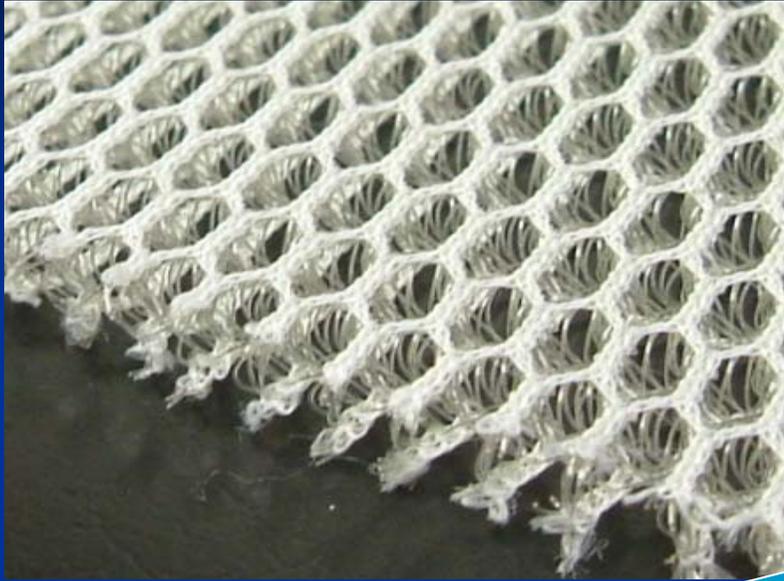


マネキンおむつ装着時は再現性が悪い



装着の度に構成要因が変化! ?

三次元網布



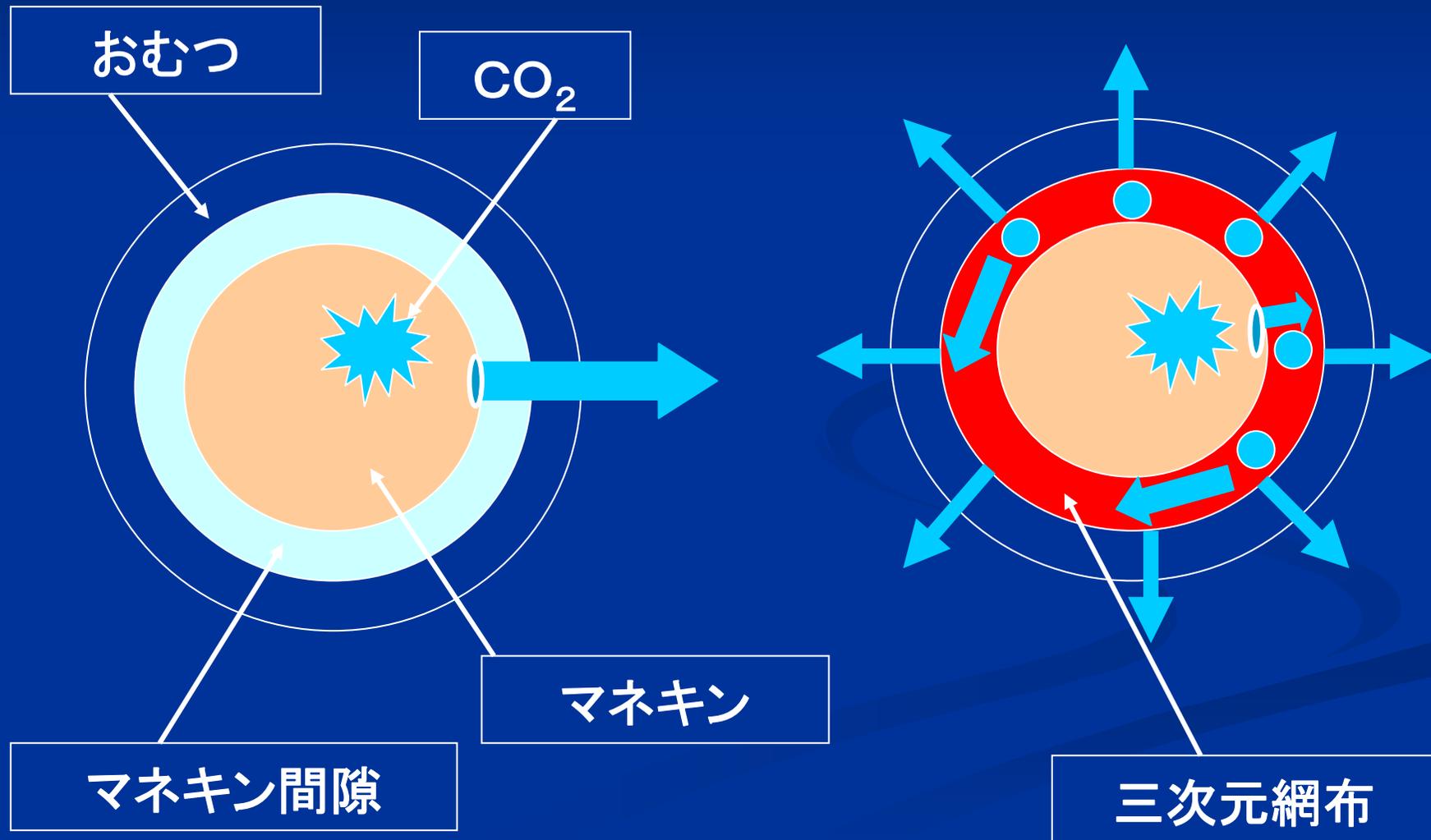
着装状態の再現
性向上

衣服内空間で注射器からの注入
の勢いを止める。

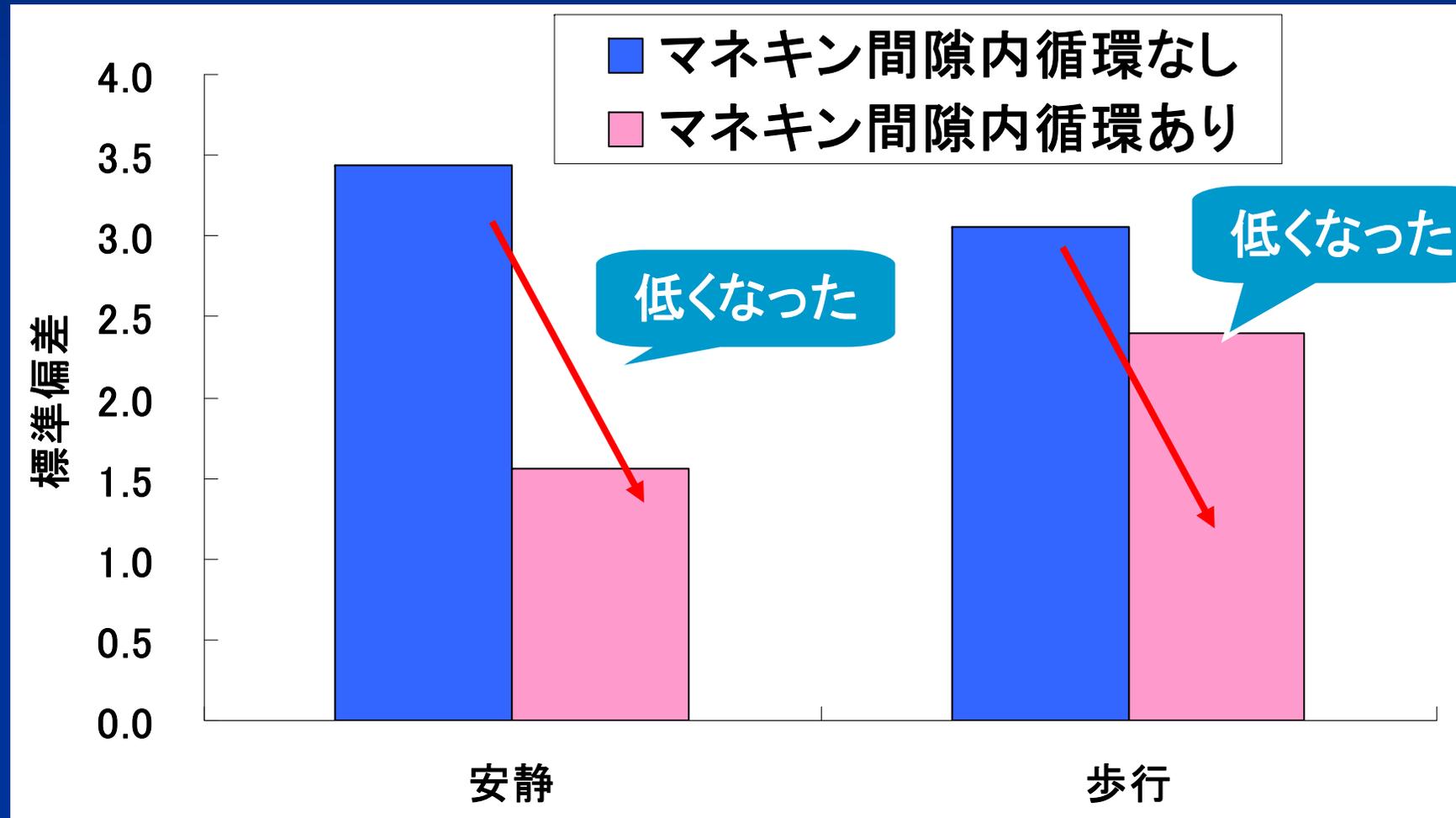
マネキン間隙内空気循環

間隙内の二酸化炭素
が局所に偏在するこ
とを防ぐ。

マネキンを上から見た図



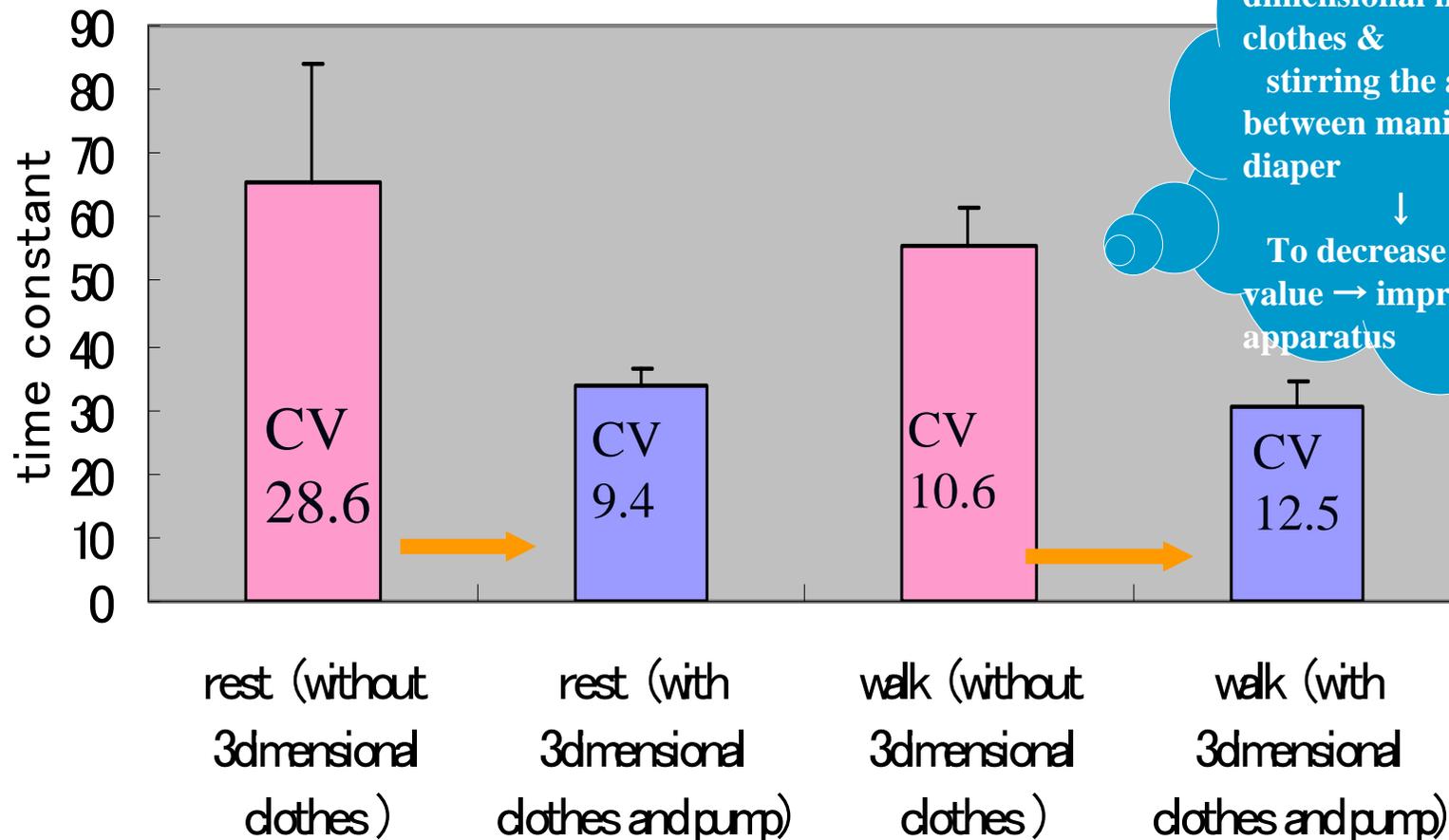
マネキン間隙内空気を循環させた効果 標準偏差



三次元網布+マネキン間隙内の空気を循環

→ 以前より換気定量の精度向上

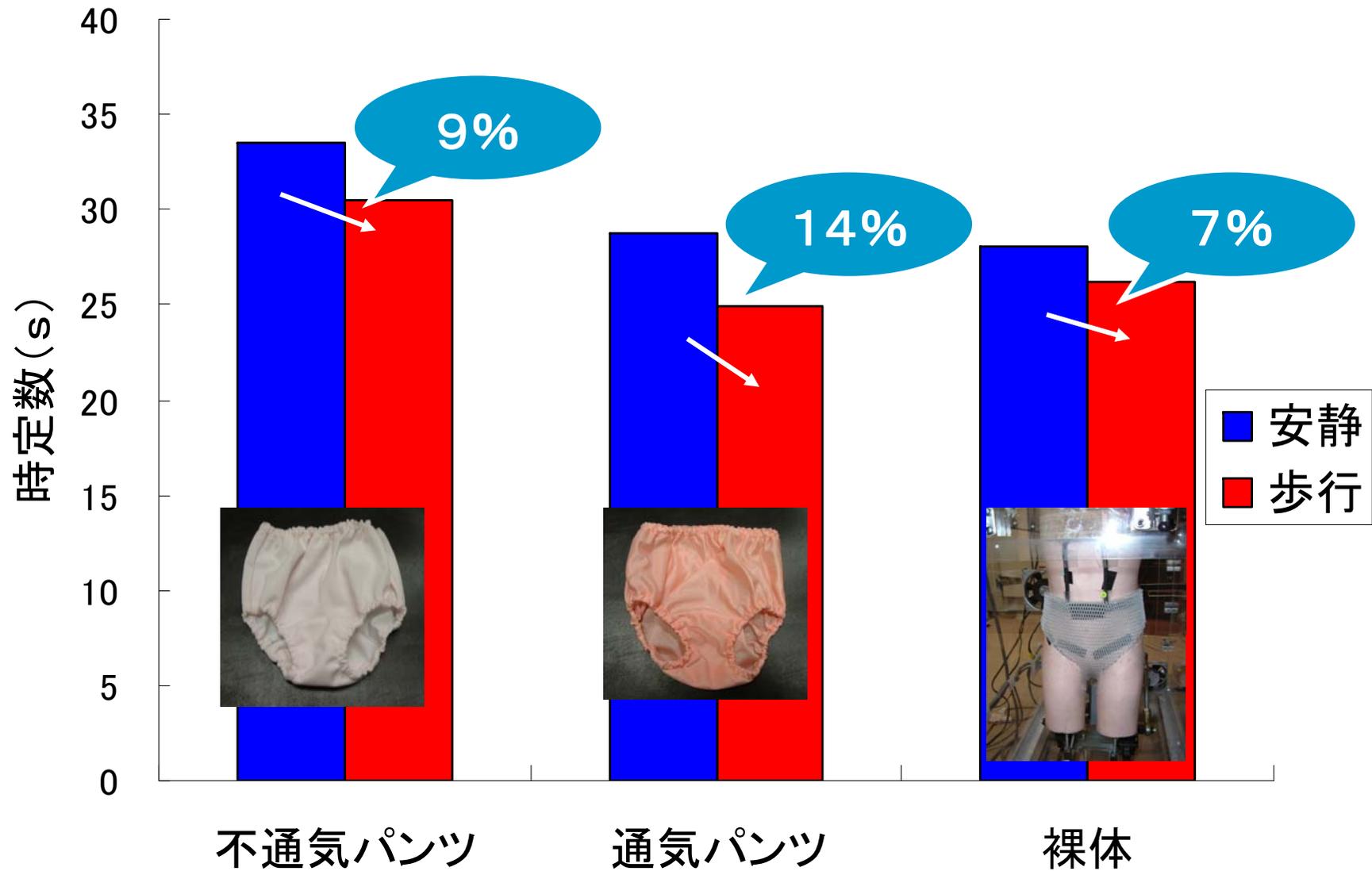
Effect of pump circulation and wearing three dimensional clothes



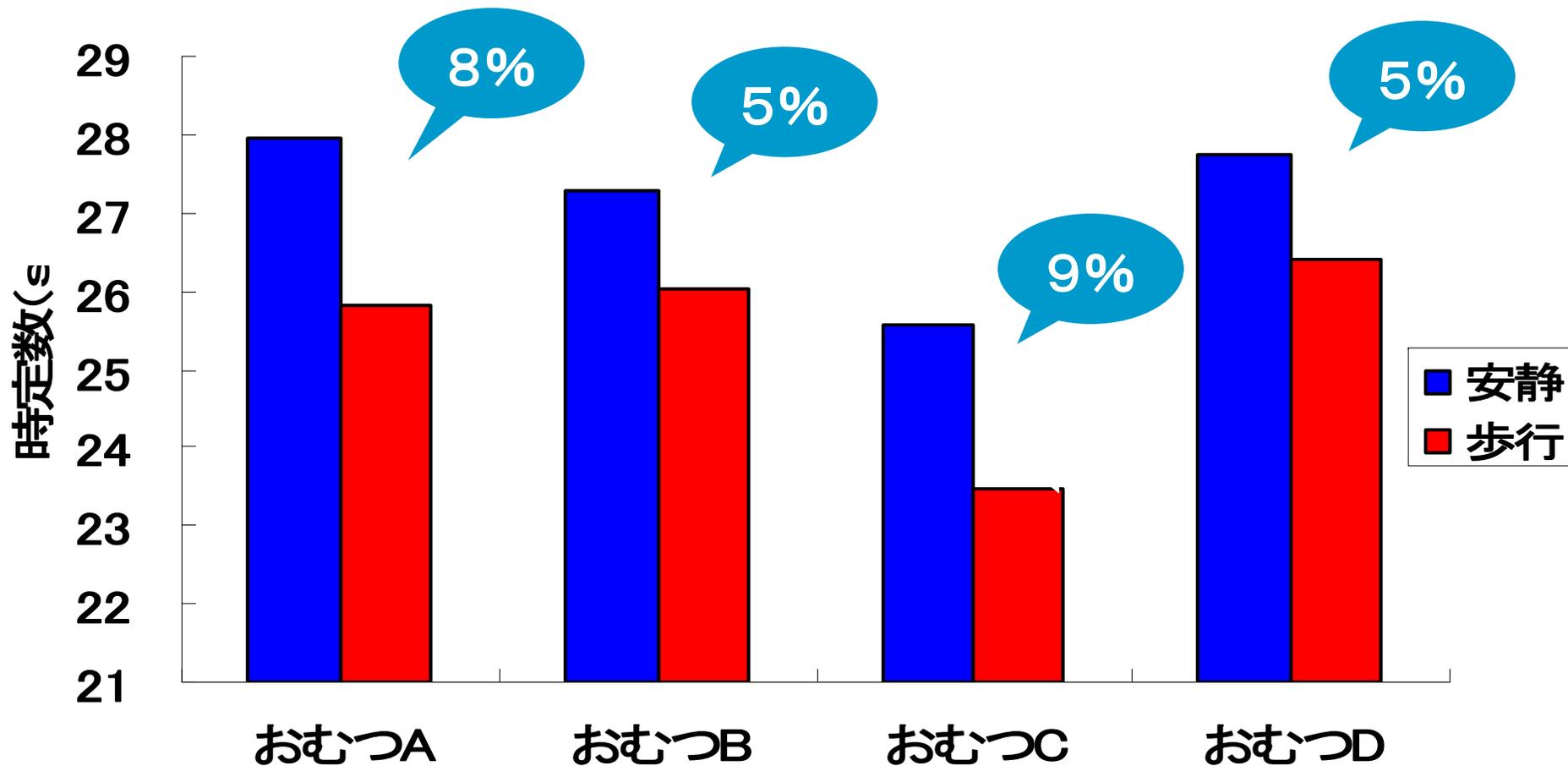
Because of 3 dimensional net clothes & stirring the air space between manikin and diaper

↓
To decrease the CV value → improve the apparatus

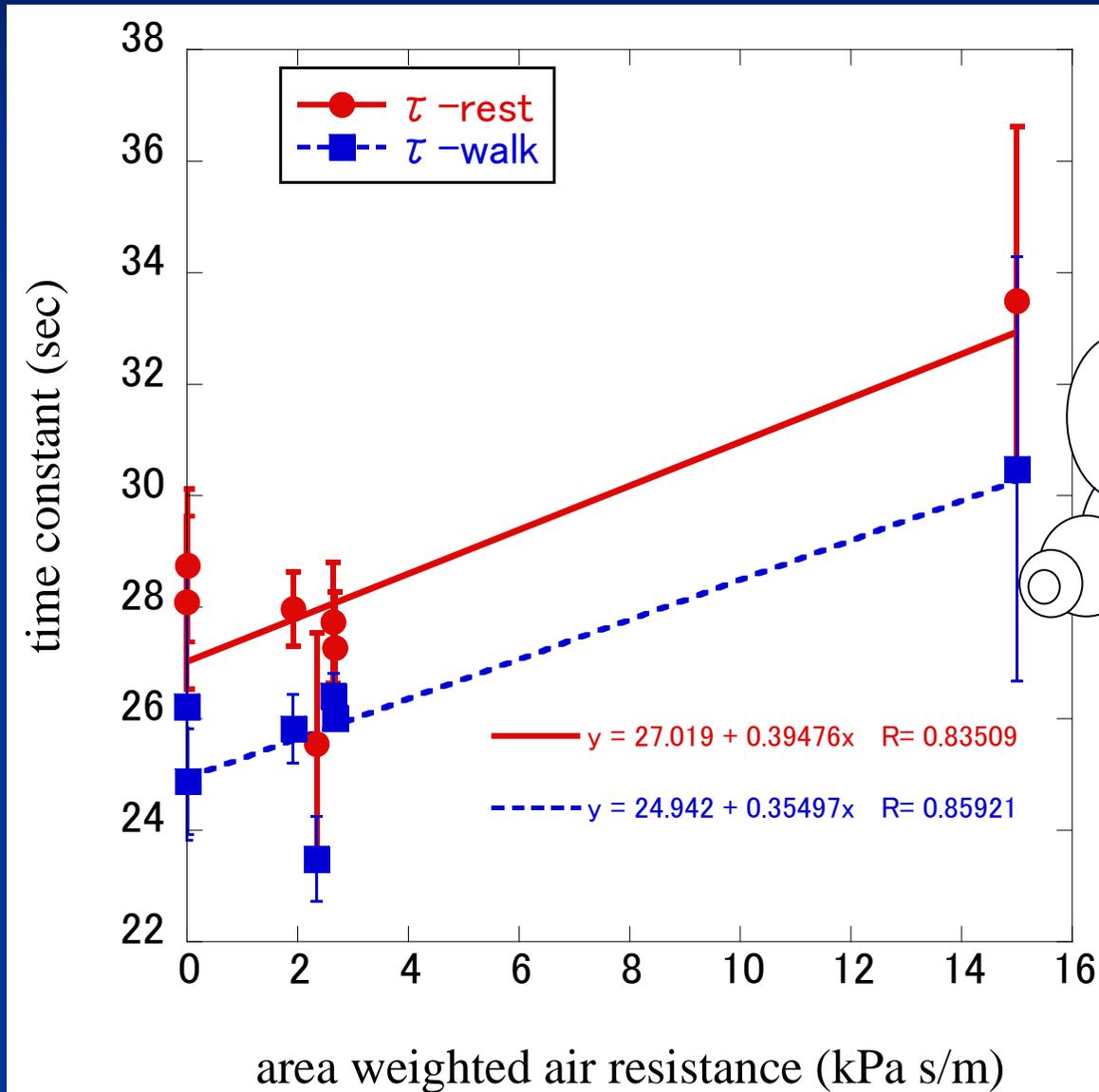
基準パンツにおける着衣条件と歩行の効果



市販紙おむつの着衣条件と歩行の効果



おむつ素材の通気性と換気性能の関係



通気パンツ、不通気パンツの中間におむつが位置するが、おむつ間の違いは通気性だけでは説明が付かない

結論

- パンツ・おむつ着用時
 - 装置改良以前よりも換気の定量の再現性向上
 - パンツ・おむつ共に歩行動作による換気効果あり
- ↓
- 赤ちゃんの動きによる換気効果を生かしたおむつ構造のさらなる検討。
 - おむつ構造の工夫でふいご作用の換気性能を応用することで快適性を改善できる可能性あり。