

## 大阪HITECの活動報告

# 暑熱環境対策の性能評価

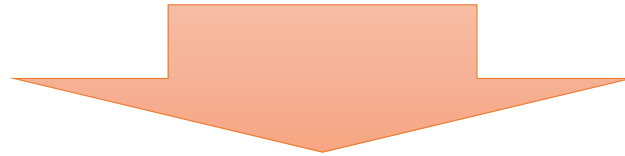
夏季の実験結果と測定法に関する知見

木下 進一      山口 和輝

大阪公立大学 大学院工学研究科

# 研究目的

暑熱化の適応策として街中に設置されている暑熱対策設備の評価指標が必要



指標として熱中症対策指標の一つであるWBGTを採用

市販の電子式湿球黒球温度指数計（WBGT計）による評価



- 人工気候室内での市販WBGT計の精度確認
- 屋外における暑熱対策設備の技術評価における市販WBGT計の適応性の確認

# 使用測器

model	A	B	C
クラス*	1.5	2	1.5
放射除け	あり	なし	なし
WBGT	0~60°C ±1.5°C (15~40°C)	0~50°C ±2.0°C	0~59°C ±1.5°C
黒球温度	0~80°C (150mm)	0~80°C (75mm) サイズ換算あり	0~80°C (50mm) サイズ換算なし
相対湿度	10~90%	10~90%	1~99%
気温	0~60°C	0~50°C	0~50°C
湿球温度	表示あり	表示なし	表示あり

\* : JIS B 7922(電子式湿球黒球温度(WBGT)計)で規定.

# 人工気候室での各測器間の器差評価

## 測定条件

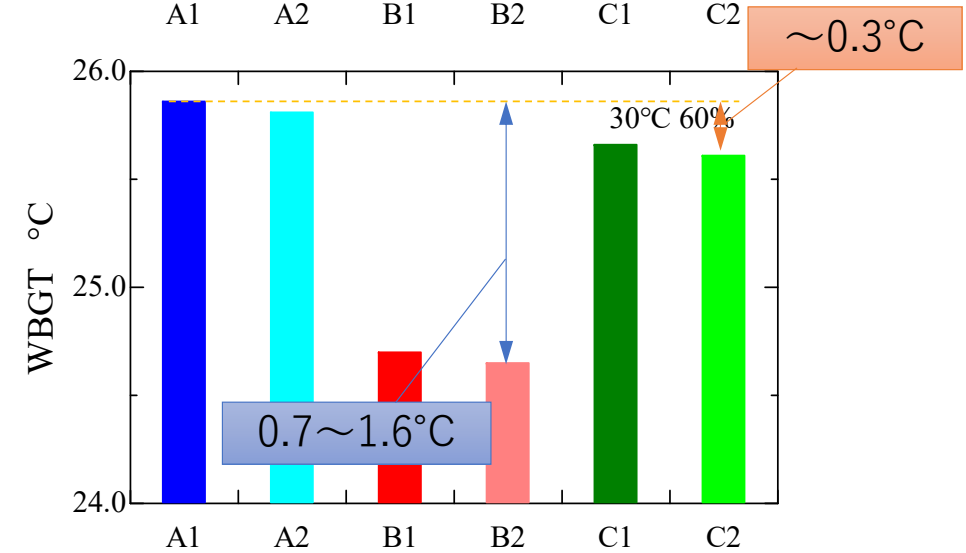
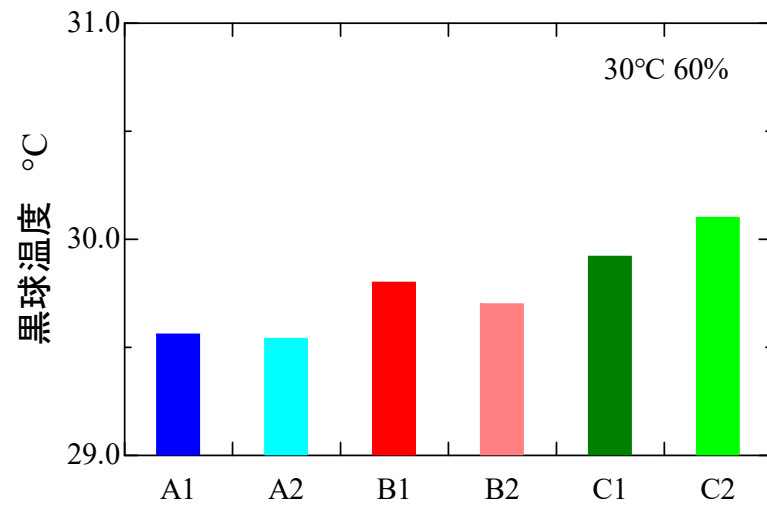
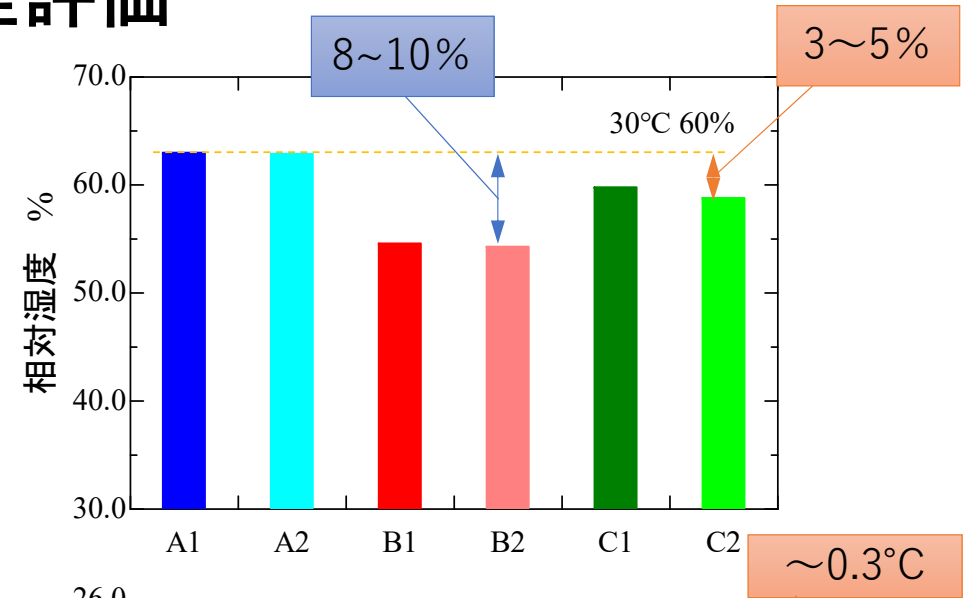
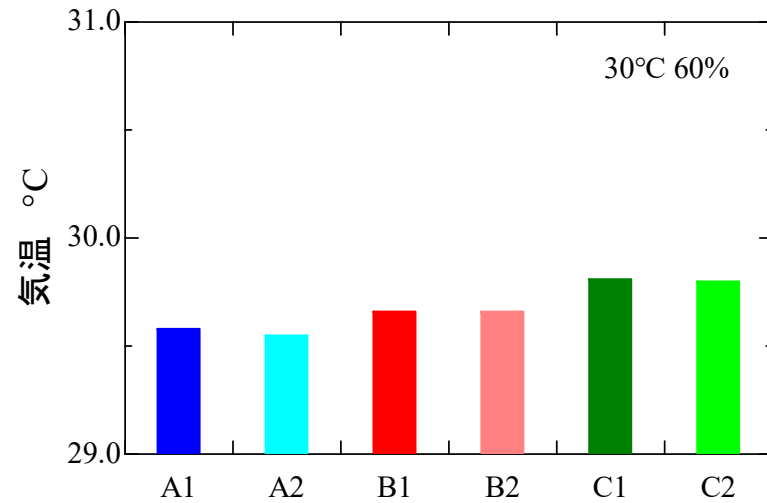
- 条件1  
相対湿度一定 (60%)  
気温20°C, 25°C, 30°C
- 条件2  
気温一定 (25°C)  
相対湿度40%, 60%, 80%

## 測定項目

気温、相対湿度、黒球温度、WBGT(各種WBGT計2台ずつ、計6台)  
風速 (超音波風速計)



# 人工気候室での各測器間の器差評価



# 屋外実験

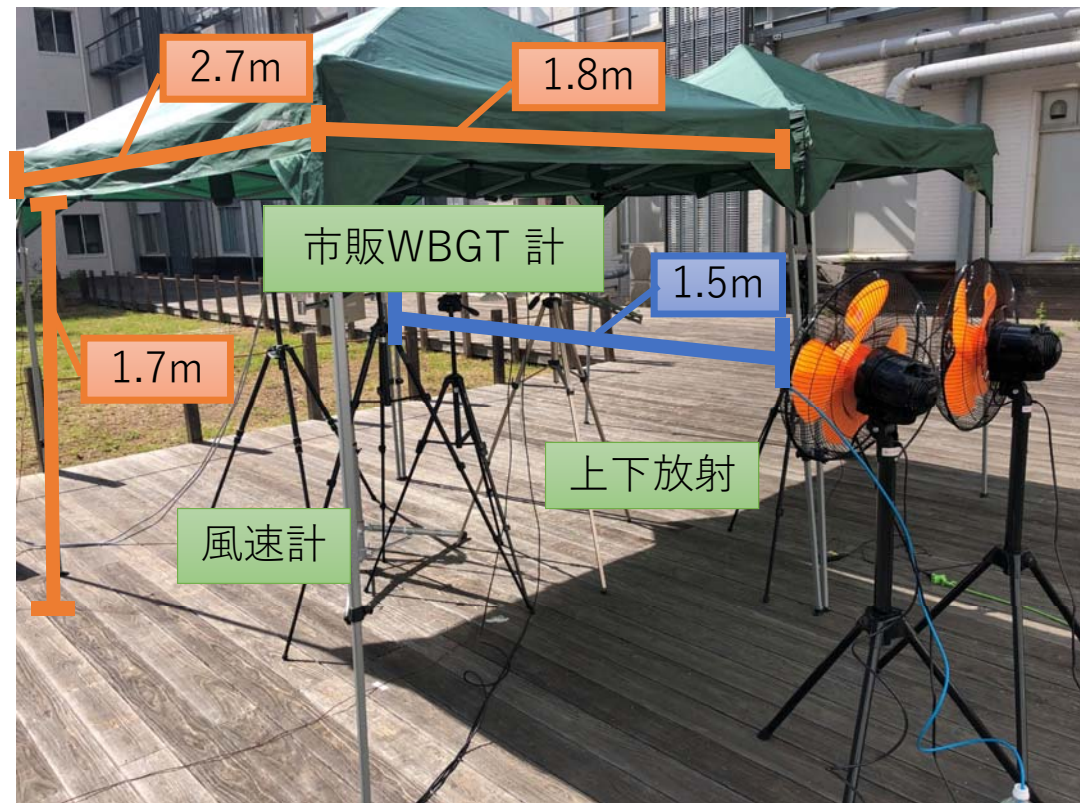
## 実験方法

膜材料の違い



測定日 2021/9/19~25

ファンの風量の違い



測定日 2021/10/15

# 実験結果

白幕の実験日(9/21)のデータ  
11:30~12:30の30分間のデータを平均し利用

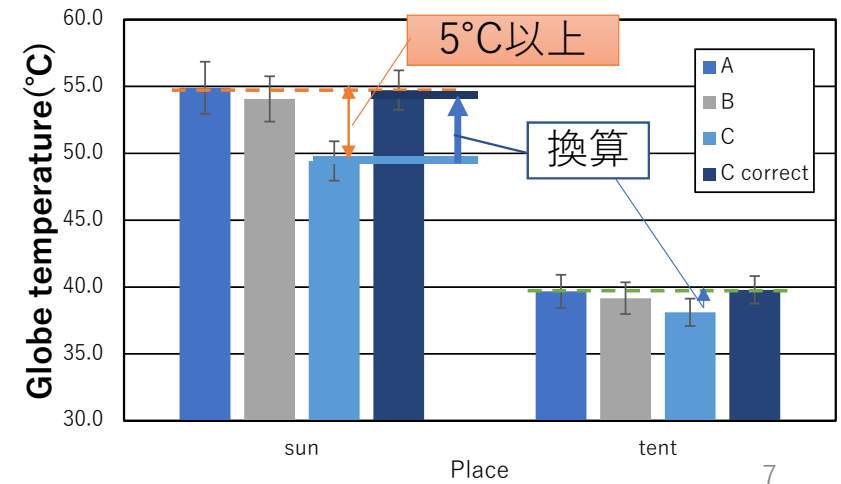
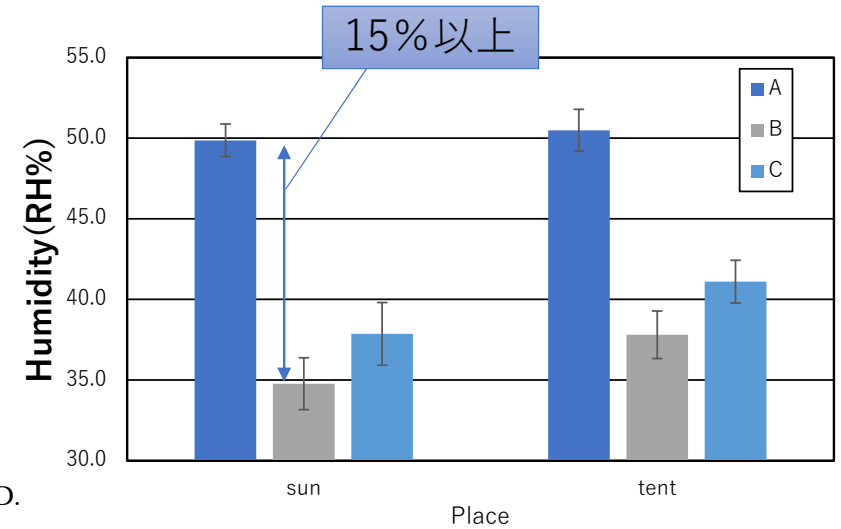
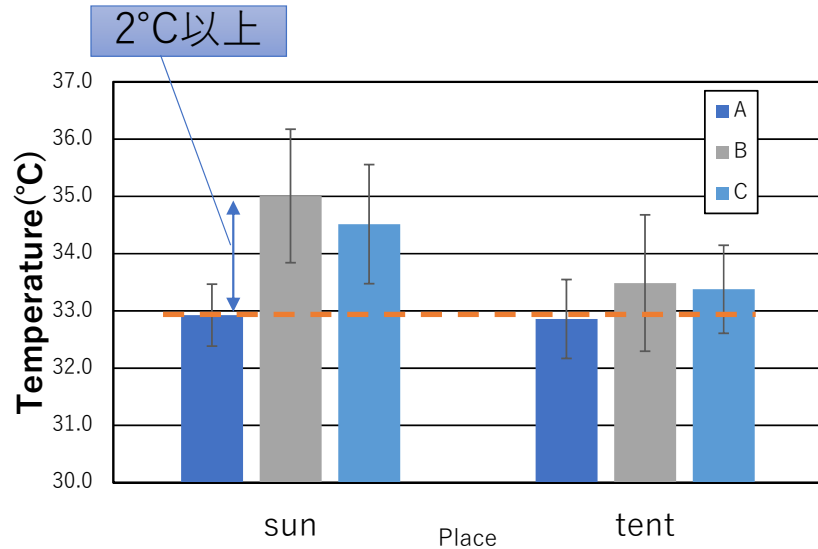
黒球温度は下式によってサイズ換算を行った.

$$t_{g150} = t_a + [(1 + 1.13v_a^{0.6}d^{-0.4})(t_{gd} - t_a)/(1 + 2.41v_a^{0.6})] *$$

$t_{g150}$ : 直径150mm黒球温度(°C),  $t_a$ : 乾球温度(°C),

$t_{gd}$ : 直径dmm黒球温度(°C),  $v_a$ : 風速(m/s)

\* : McIntyre D.A.(1980) Indoor climate. London, UK : Applied Science Publisher LTD.

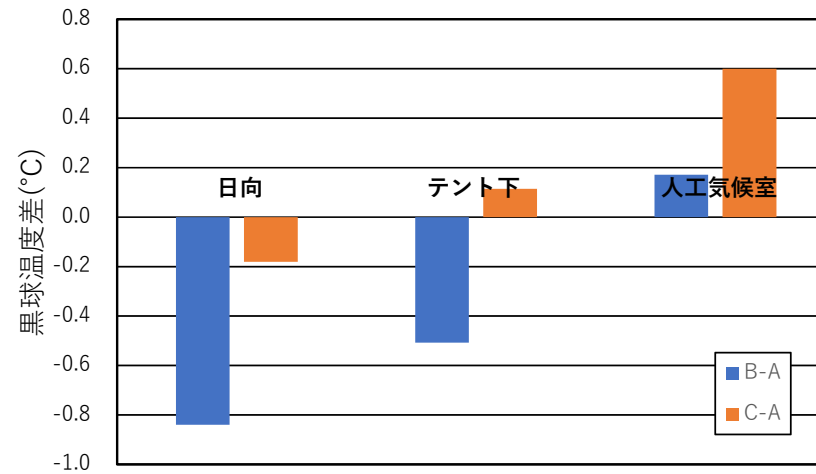
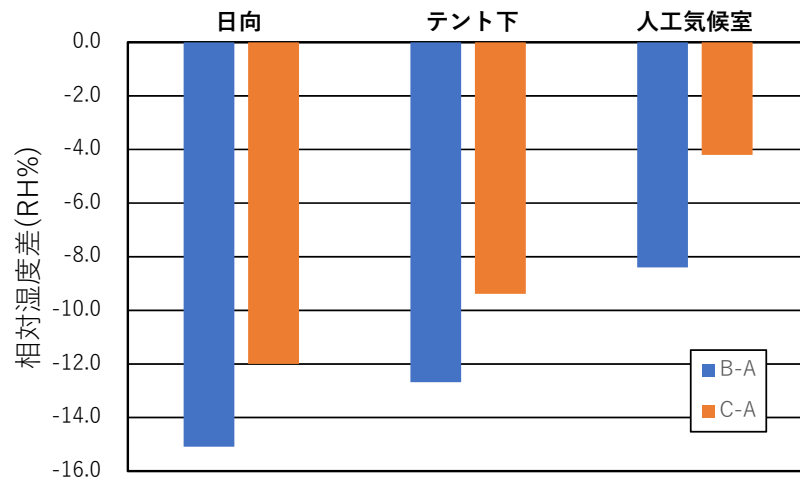
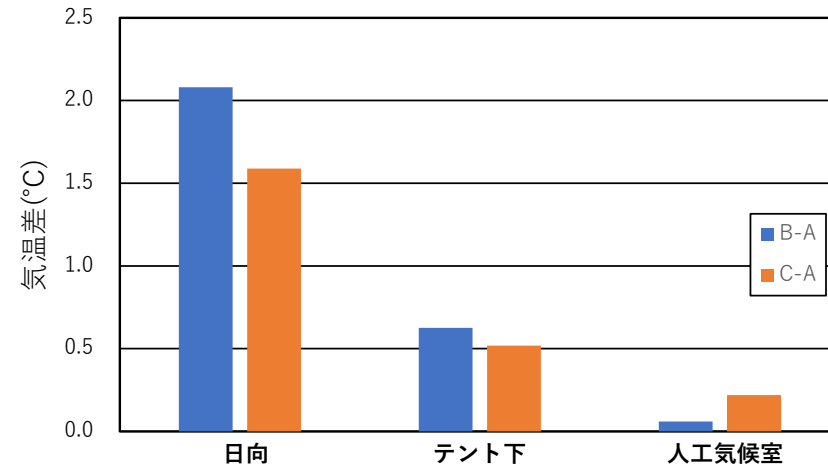


# 屋外と屋内の比較

測器A基準

屋外：気温33°C，湿度50%

人工気候室：気温30°C，湿度60%

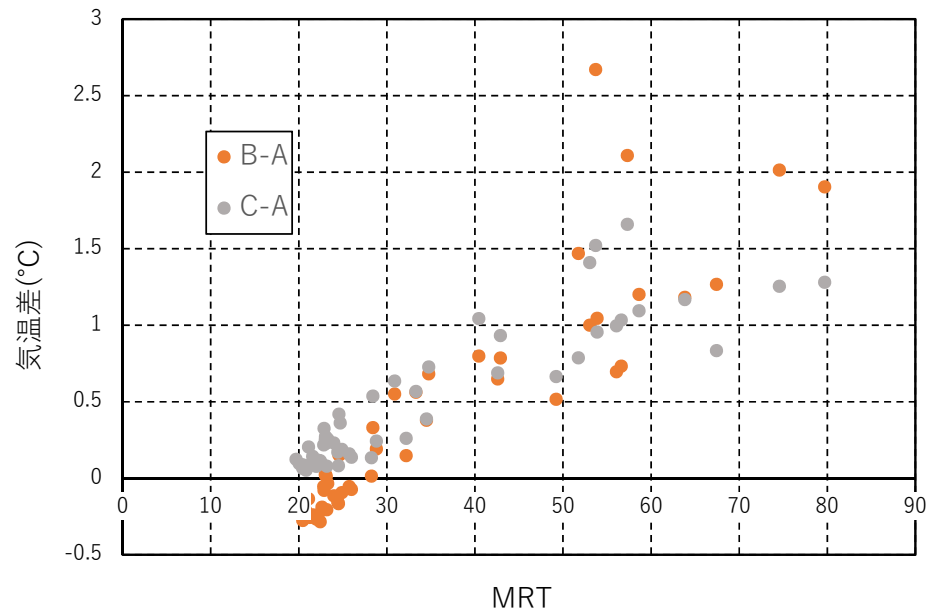




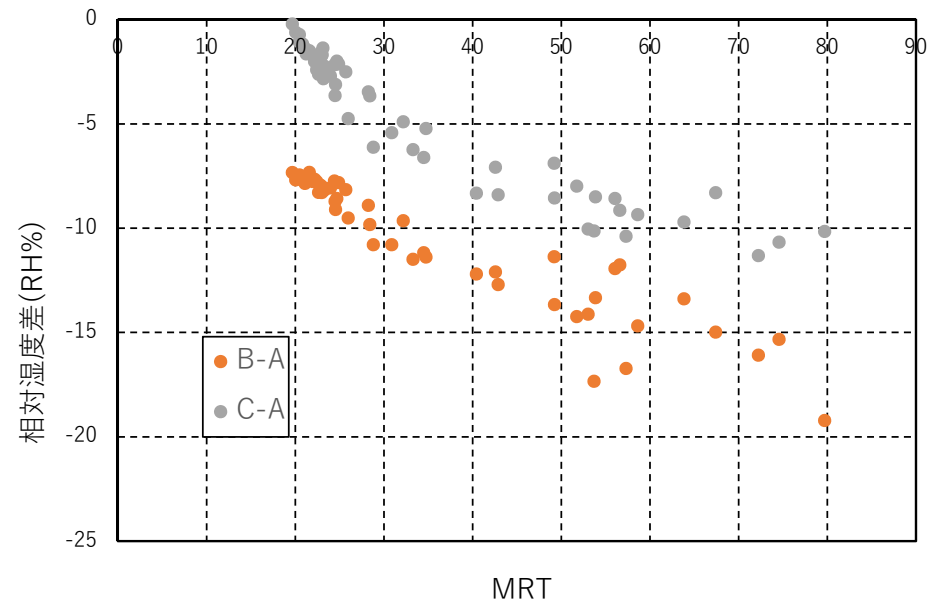
# 実験結果

$$T_r = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 v^{0.6}}{\varepsilon_g d^{0.4}} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

$T_a$ : 気温,  $T_r$ : 平均放射温度(MRT),  $v$ : 風速,  $d$ : 黒球の直径,  $\varepsilon_g$ : 黒球の放射率



相関係数 B-A 0.89  
C-A 0.91

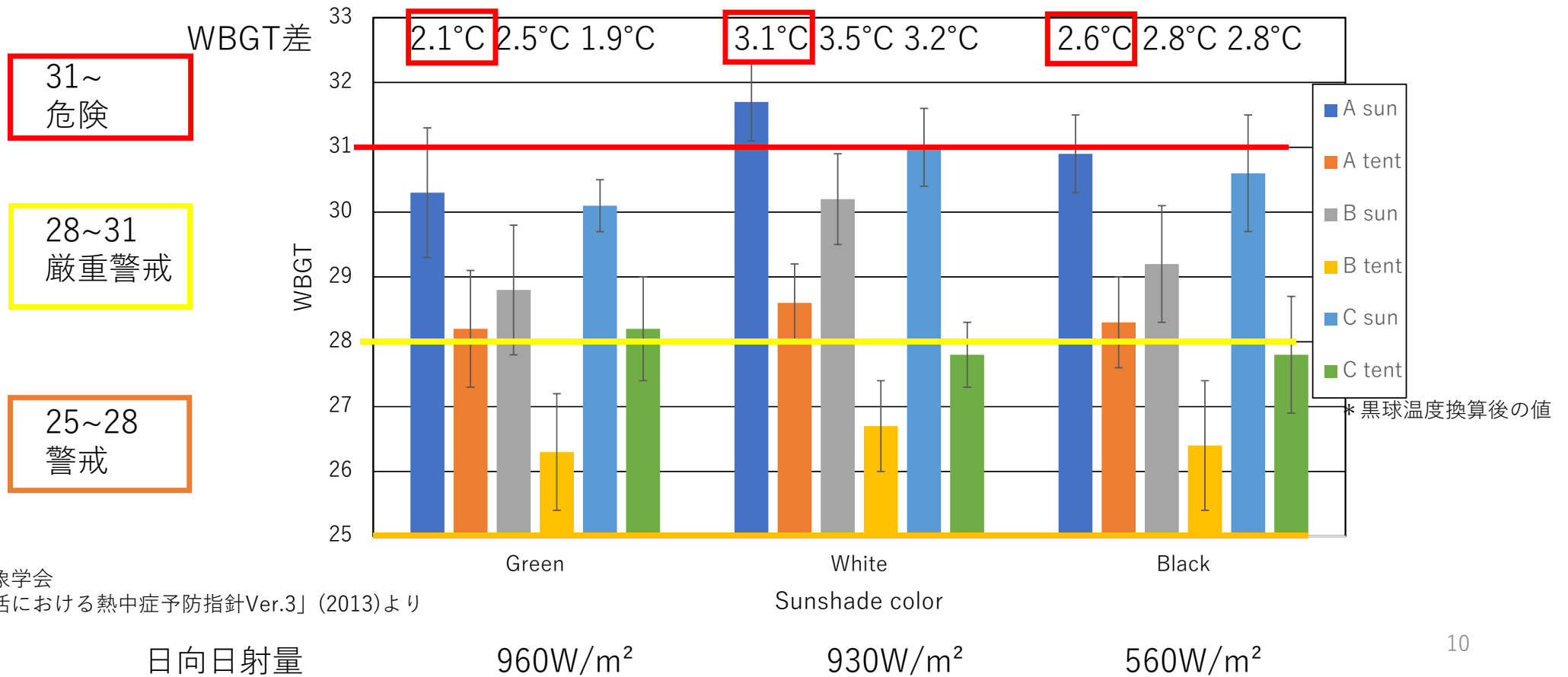


相関係数 B-A -0.94  
C-A -0.93

# 屋外実験

実験結果  
膜材料の違いによるWBGTへの影響

異なる日の同時間帯(11:30~12:30)におけるデータ



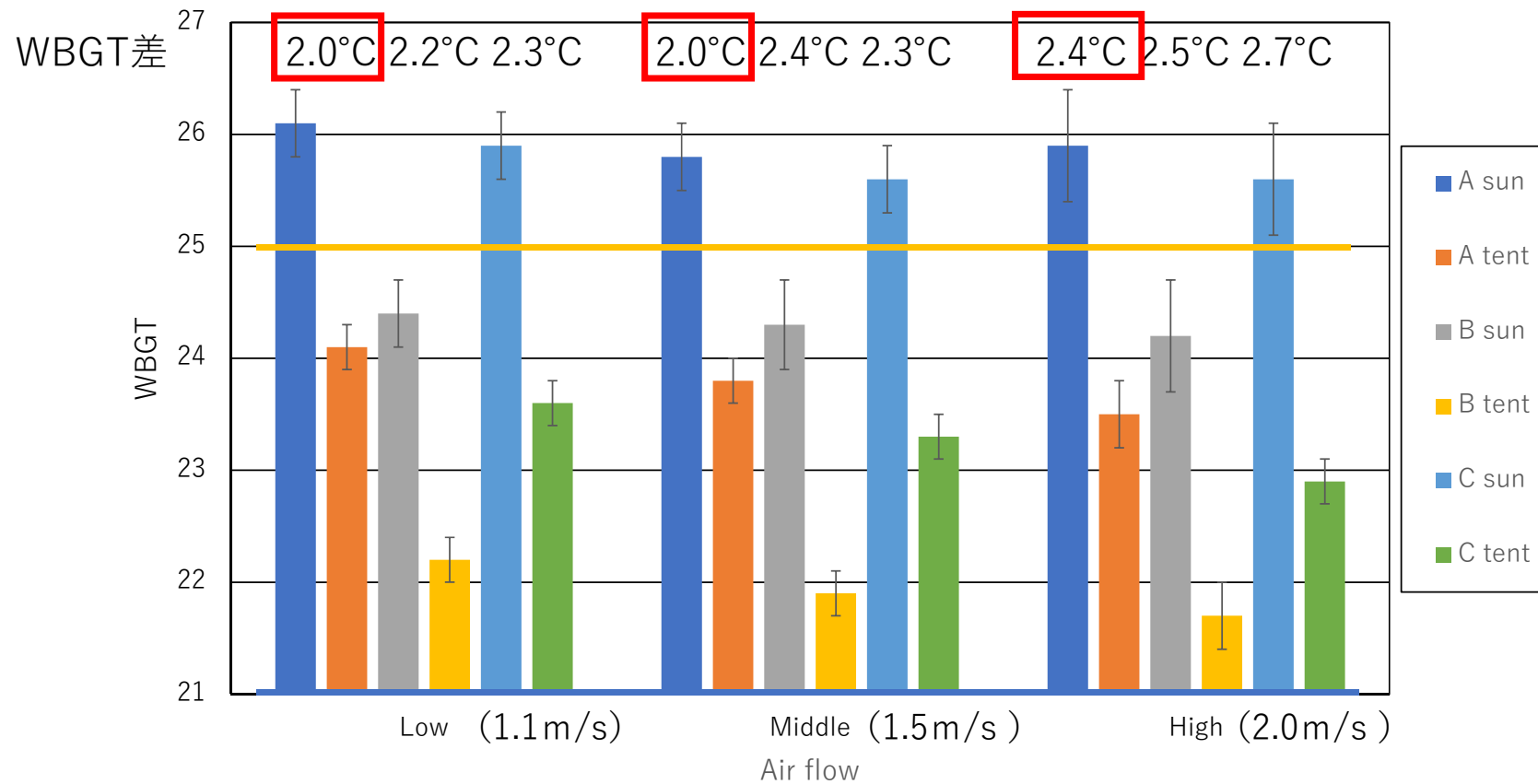
日本生気象学会  
「日常生活における熱中症予防指針Ver.3」(2013)より

# 屋外実験

## 実験結果

ファンの風量の違いによるWBGTへの影響

同日の異なる時間帯におけるデータ



# 実験結果

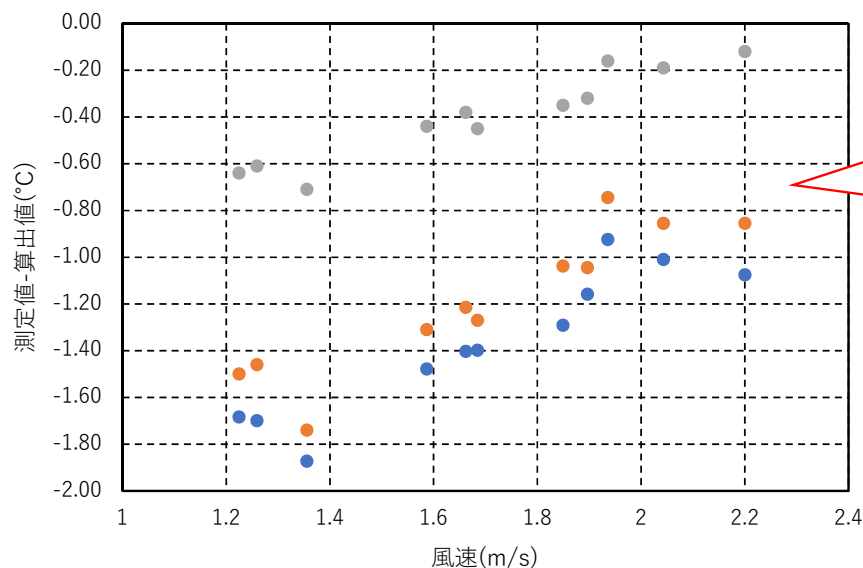
風速の変化と湿球温度の算出値と測定値の差

$$4.18v^{0.444}(T_a - T_{nw}) + 10^{-8}[(T_r + 273)^4 - (T_{nw} + 273)^4] - 77.1v^{0.421}(p_{(T_{nw})} - RHp_{(T_a)}) = 0 \quad *$$

$$T_r = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 v^{0.6}}{\epsilon_g d^{0.4}} \times (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$

$T_{nw}$ : 自然湿球温度,  $T_a$ : 気温,  $T_r$ : 平均放射温度,  $v$ : 風速, RH: 相対湿度  
 $p_{(T)}$ : 温度 $T$ における飽和水蒸気圧,  $d$ : 黒球の直径  $\epsilon_g$ : 黒球の放射率

\*: "WBGT Index Revisited After 60 Years of Use" Ann. Occup. Hyg., 2014, Vol. 58, No. 8, 955-970



WBGT計は風速の影響が  
考慮されていない

↓  
風速の増大に伴う湿球温度  
差の減少

↓  
風速の測定と湿球温度の  
補正が必要

## まとめ

- 気温、相対湿度センサが放射の影響を受けることで、WBGT軽減効果の過大評価につながる。  
→評価のための測定には、気温、相対湿度センサに対して放射除けが必要
- 精度について、クラス2の測器では相対湿度に10%近くの誤差がみられ、WBGTのクラス1.5の測器との差が2°C近くなった。  
→クラス1.5以上が望ましい。
- 黒球サイズの違いによって換算なしの値では直径150mm黒球温度と5°C以上の差がみられ、サイズ換算すると差は小さくなった。  
→サイズ換算が必要。
- 風速の違いによって湿球温度の評価に影響する。  
→風速の測定を行い、何らかの換算が必要

# 検討事項

- ミストを有する暑熱対策設備に対する評価手法の検討の必要性
- 暑熱対策設備の規模に応じた評価手法の検討
- 暑熱環境下でのWBGT測定に及ぼす風速の影響の評価