

温熱環境 SET\* 温湿度 WBGT 風速 風速 CO<sub>2</sub>濃度 CO<sub>2</sub>濃度

1. はじめに

公益社団法人日本ユネスコ協会連盟<sup>[1]</sup>によると世界の初等教育就学率は年々上がっているが、現在も教育を受けられない児童は存在しているとされ、教育現場も整備されておらず国際的な教育環境の法整備も十分ではない。その対策として特定非営利活動法人（NPO）などが教育環境の整備等の支援活動を行っているが、空気調和設備など快適な環境を維持管理する設備は十分でなく、児童が安全で快適に生活できる環境づくりが求められている。

本研究は特定非営利活動法人「虹の学校」がタイ王国のカンチャナブリー県サンクラブリ郡に建設している孤児院兼学校を対象とした生活環境の現状把握と課題の抽出を行うことを目的としており、対象とする施設は蒸暑地域における空気調和設備のない環境であるため、生活環境上の対策についても検討を行った。

2. 研究概要

本研究では生活環境の現状把握のため空気環境の実測を2015/3/2～2015/3/4（タイにおける乾期）に行った。対象施設は4つの主な建物であるRC造教室、天翔ける方舟、木造広場（サラ）および木造高床式住居で構成されており、生活一般、授業、宗教活動等をそれぞれの施設で行っている。対象施設の配置図を図1に、対象建物の概要および測定項目と測定間隔を表1および表2に示す。

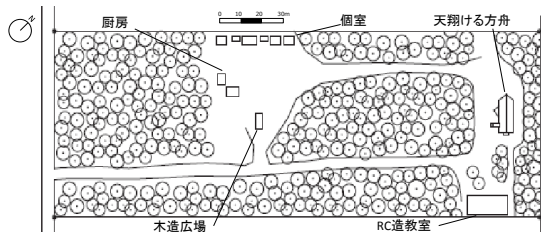


図1 対象施設配置図

表1 対象建物の概要

測定場所（建物）	使用用途	写真
土囊ドーム (天翔ける方舟)	お祈りの場 集会	
仏間 (天翔ける方舟)	お祈りの場 授業	
木造広場	食事 授業	
RC造教室	教室 図書館	

表2 測定項目と測定機器

測定項目	型番	測定間隔
WBGT	HI-2000SD	5分（自動測定）
CO <sub>2</sub> 濃度	KNS-CO2S	5分（自動測定）
温湿度	RTR-53A	5分（自動測定）
風速	WS-03SD	5分（自動測定）
表面温度	RTR-52A	2時間（巡回測定）
表面温度	testo810	2時間（巡回測定）
照度	testo540	2時間（巡回測定）

3. 測定結果

3.1 対象地域の外気条件

図2および図3に測定期間中のバンコク<sup>[2]</sup>と虹の学校の温度、相対湿度を示す。虹の学校における最高気温は36.9℃、最低気温は17.4℃とバンコクと比べて昼夜間の温度差が大きい。相対湿度は夜間が90%RHと高い値で推移しており多湿である。しかし虹の学校の昼間の相対湿度はバンコクと比べて約20%RH低く、バンコクに比べて空気中の水蒸気量が少ない条件であった。

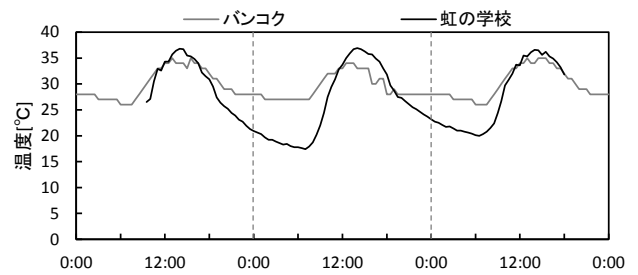


図2 温度 2015/3/2～2015/3/4

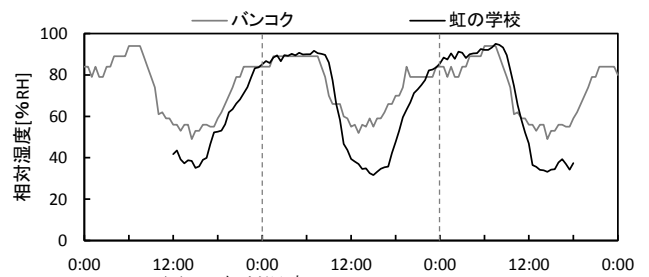


図3 相対湿度 2015/3/2～2015/3/4

3.2 測定値の評価

建物内での温湿度、CO<sub>2</sub>濃度および風速を図4～7に示す。実測で得られた結果を日本の室内環境基準と比較し環境評価を行った。評価項目は温湿度、気流、CO<sub>2</sub>濃度である。表3に建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準<sup>[3]</sup>と学校保健安全法の学校衛生管理基準<sup>[4]</sup>を示す。図中において青色で示す範囲は学校衛生管理基準を示す。

表3 建築物衛生法<sup>[3]</sup>と学校保健安全法<sup>[4]</sup>(一部抜粋)

検査項目	基準	
	建築物環境衛生管理基準	学校衛生管理基準
温度	17℃以上 28℃以下	10℃以上、30℃以下
相対湿度	40%RH以上 70%以下	30%RH以上、80%RH以下
気流	0.5 m/s 以下	0.5m/s 以下
CO <sub>2</sub> 濃度	1000ppm 以下	1500ppm 以下

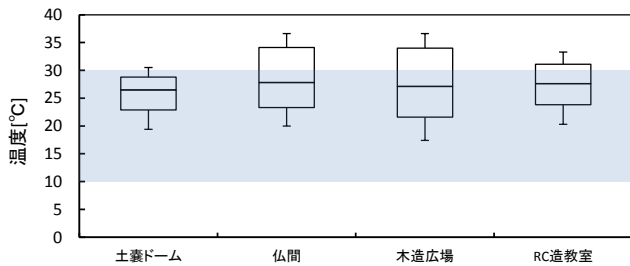


図4 対象建物の空気温度

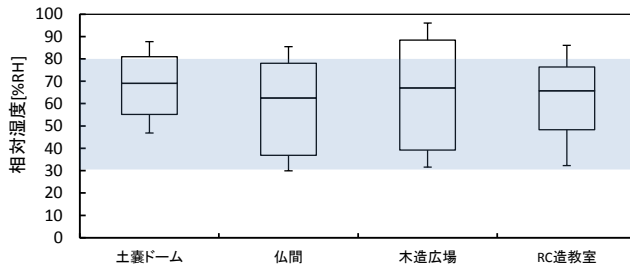


図5 対象建物の相対湿度

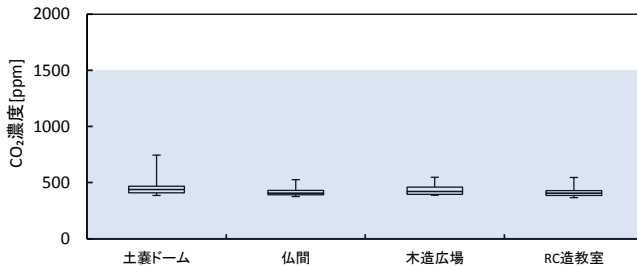


図6 対象建物のCO<sub>2</sub>濃度

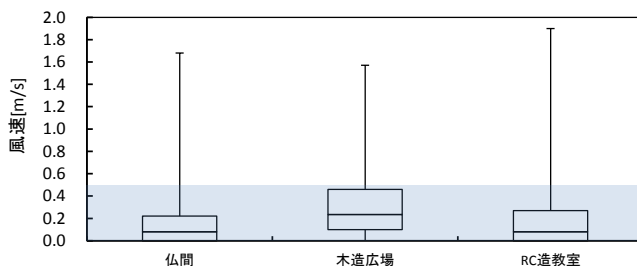


図7 対象建物の風速

### 3.2 空気温度

空気温度の測定結果を図8に示す。各建物で学校衛生管理基準の下限値は下回っていないが、10時から18時の時間帯では土囊ドームを除く3か所で基準の上限値30℃を上回っており日中の室内環境は生活環境として適していないといえる。一方、土囊ドームはほぼ全ての時間で基準値内であり対象建物内で最も温冷感覚上快適といえる。室内温度が基準値範囲内を大きく超える建物に関しては温熱環境上の対策が必要である。

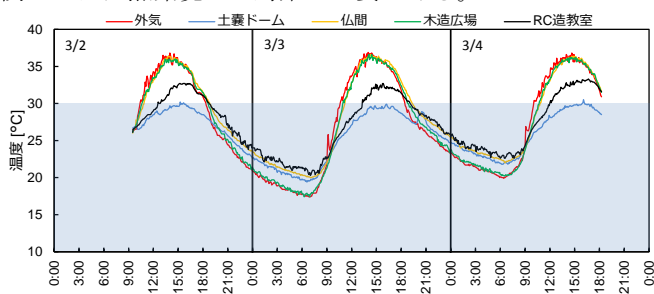


図8 対象建物の温度

### 3.3 相対湿度

相対湿度の測定結果を図9に示す。相対湿度は学校衛生管理基準の下限値を下回っている測定箇所はなかったが、夜間は80%RHを超える条件も確認された。

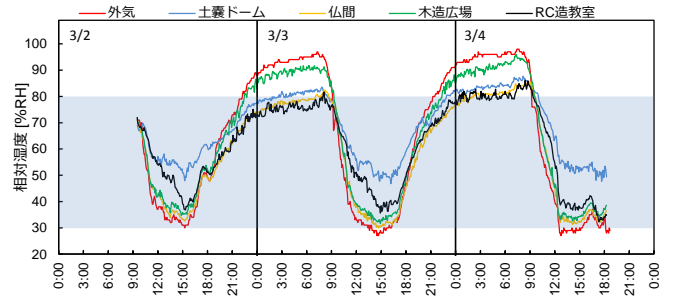


図9 対象建物の相対湿度

### 3.4 CO<sub>2</sub>濃度及び気流

図6および図7のとおり、CO<sub>2</sub>濃度は学校衛生管理基準である1500ppmを超える建物はなく、気流は3カ所全てで中央値、平均値ともに0.5m/s以下となった。

### 3.5 まとめ

日本の学校衛生管理基準と比較した結果から、特に温熱環境評価において改善が必要であることが分かった。通常生活で熱中症の危険性などの健康管理面に問題が生じる恐れが示唆されるため、次章で温熱環境を熱ストレスや熱的快適性について評価する。

## 4. 快適指標による温熱環境評価

### 4.1 評価概要

3章の結果からWBGTを用いた温熱環境の熱ストレス評価とSET\*による熱的快適性評価について対策が必要な温熱環境の分析、評価を行った。SET\*とは標準新有効温度と呼ばれ、熱的に中立な標準状態において定義した新有効温度ET\*であり、着衣量と代謝量を設定することで快適域(22.2℃~25.6℃)を含んだ暑熱環境、寒冷環境の評価に適用できる。なお「熱的快適性」とは、ASHRAE<sup>[3]</sup>によって「その温熱環境に満足を示す心の状態」として定義されている。

### 4.2 温熱環境熱ストレス評価

温熱環境熱ストレスに関する分析は測定したWBGTとWBGT指数に基づく作業者の熱ストレス評価と照らし合わせることで、在室者に対する熱中症の危険度として評価した。表4に作業強度とmet値の対応<sup>[5]</sup>、図10にWBGT指数に基づく作業者の熱ストレスの評価<sup>[6]</sup>を示す。図11および図12に仏間と木造広場の各時間帯におけるWBGTを示す。なお図11および図12の図中の25℃と28℃に示している線は図10の熱に順化している人の「3 激しい作業 気流を感じるとき時」と「4 極めて激しい作業 気流を感じない時」の値である。土囊ドーム以外の測定建物では熱中症の警戒が必要な時間帯があり、特に10時から18時までの時間帯は中程度以上の作業(草むしり、

果物や野菜を摘む、3.5~5.5km/h の速さで歩く等) 以上の強度の作業を行う場合に熱中症の危険性が伴うため注意が必要である。

次に活動している様々な人の生活パターンをモデル化し、熱ストレス評価を行った。本稿では熱に順化している児童の結果を示す。対象モデルの生活スケジュールを表5に示し、図13に熱ストレス評価を示す。熱中症の危険性が危惧される基準値を超える時間は17時~18時付近に存在しているが、ほとんどの時間で基準値以下であるため熱中症の危険性が高い時間帯は少ない結果となった。

表4 作業強度と met 値の対応

作業強度	met 値
0 安静	0.7~1.0
1 軽作業	1.0~2.0
2 中程度の作業	2.0~3.0
3 激しい作業	3.0~6.5
4 極激しい作業	6.5~

※文献<sup>[5]</sup>より引用

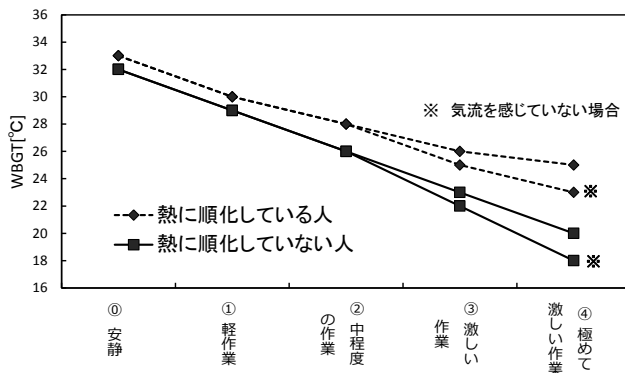


図10 WBGT 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価  
※文献<sup>[6]</sup>を参考に作成した

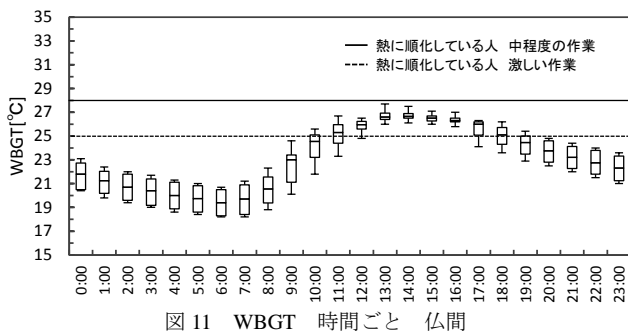


図11 WBGT 時間ごと 仏間

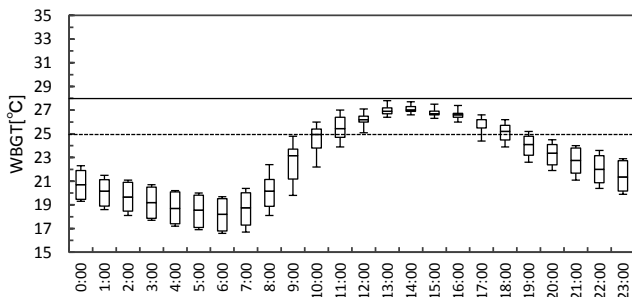


図12 WBGT 時間ごと 木造広場

表5 児童の生活パターン

時刻	生活行為	活動場所	met値	clo値
5:30	就寝	仏間	1.0	1.3
	お祈り		1.3 (30分)	
	掃除		2 洗濯物を干す、畳む(30分) 3.8 掃き掃除(30分)	
7:00	食事	木造広場	2.5 食事準備 (30分)	
			2.0 食事 (30分)	
8:00	国旗掲揚	外部	1.3 (20分)	
	移動		2 (10分)	
8:30	授業	RC造教室	1.3 (60分)	0.3 (着衣例) パンツ Tシャツ ショートパンツ サンダル
	休憩		3.5 走る、遊ぶ (10分)	
	授業		1.3 (20分)	
	体育		3.8 (30分)	
	休憩		1.3 (10分)	
	体育		3.8 (20分)	
	授業		1.3 (60分)	
	授業		1.3 (60分)	
12:00	食事	木造広場	2.5 食事準備 (30分)	
			2.0 食事 (30分)	
13:00	授業	RC造教室	1.3 (60分)	
			1 (60分)	
			1.3 (60分)	
17:00	掃除	外部	2 洗濯物を干す、畳む(30分)	
			3.8 掃き掃除(30分)	
17:20	移動	外部	2 (5分)	
			1.5 (15分)	
17:20	水浴び	RC造教室	1.5 (15分)	
18:00	自由時間	RC造教室	3.5 走る、遊ぶ (40分)	
19:00	食事	木造広場	2.5 食事準備 (30分)	
			2.0 食事 (30分)	
19:00	自由時間	RC造教室	1 (25分)	
19:25	移動	外部	2 (5分)	
19:30	お経	仏間	1.3 (25分)	
19:55	移動	外部	2 (5分)	
20:00	就寝	仏間	1.0	1.3 <sup>[7]</sup> (毛布着用時)

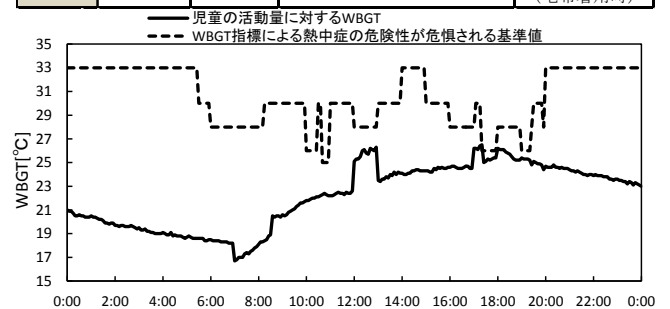


図13 生活パターンに基づく生活建物における熱ストレス評価

### 4.3 温冷感評価

児童の温冷感を把握するため、SET\*による温冷感評価を行った。SET\*はCBE<sup>[8]</sup>のプログラムを利用した。定常状態のSET\*は活動場所を時間ごとに変える児童の生活パターンに対応しないため、非定常状態への拡張を深井による修正SET\*<sup>[9]</sup>を参考に行った。図14に生活パターン(表5)に合わせたSET\*を示し、図中のグレーのハッチングはASHRAEで示された快適域である22.2℃~25.6℃を表す。

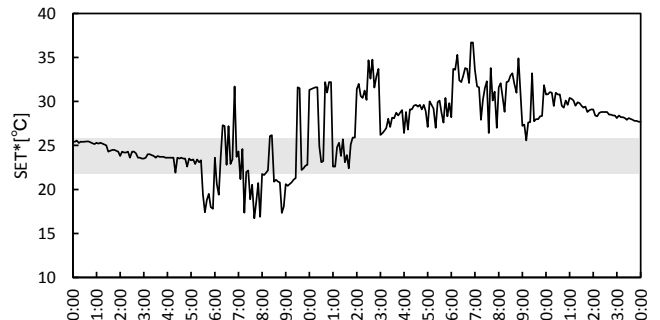


図14 児童の修正SET\*

#### 4.4 まとめ

SET\*の計算結果および WBGT の測定結果において特に昼間の時間帯で快適域を超える時間帯が多く存在した。温湿度が共に上昇する 12 時から 18 時では SET\*は快適域から外れ、WBGT 指標で示した熱中症の危険性も高くなっている時間が存在している。また夜間は朝方にかけて SET\*が徐々に下がり、早朝のお祈りの時刻 (5:30) では普段の着衣量で快適域を下回っている。

#### 5. 温熱環境の熱ストレスおよび熱的快適性に関する検討

温熱環境の熱ストレスおよび熱的快適性の評価結果より抽出した課題を改善するために問題があった時間帯の対策を検討する。朝方の冷え込みの時間帯で快適域を下回るため、着衣量を 0.3clo (パンティ・T シャツ・ショートパンツ・薄着ソックス・サンダル) から 0.6clo (ショーツ・シャツ・薄着ズボン・ソックス・靴) に増加させ熱的快適性の改善を図る。一方昼間は温度が高く、熱中症の危険性や SET\*で示す快適範囲を外れる時間帯が存在するため、扇風機で 0.5m/s、1.0m/s の気流を発生させ改善を図る。図 15 および図 16 に着衣量の変化と SET\*および気流の変化と SET\*を示し、表 6 および表 7 に平均値および SET\*快適域の割合を示す。SET\*に関しては着衣量を変化させることで 5 時~10 時において快適域に入る割合が 29.5%から 63.9%と 34.4 ポイント上昇した。また気流を風速 1.0m/s の扇風機を連続運転させることで 10 時~20 時において快適域に入る割合が 11.6%から 43.8%と 32.2 ポイント上昇した。

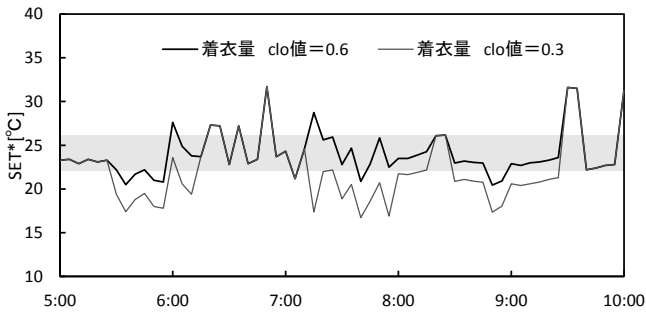


図 15 着衣量の変化と SET\* (児童 比較的涼しい時間帯)

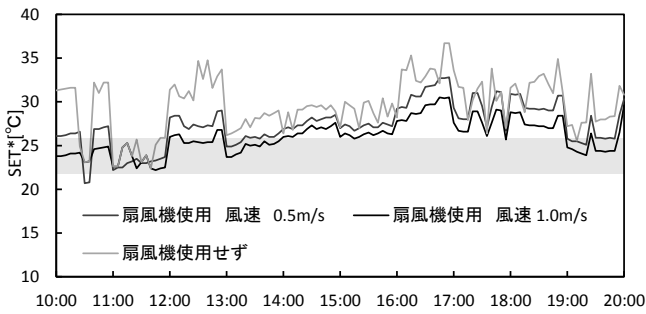


図 16 気流の変化と SET\* (児童 比較的暑い時間帯)

表 6 着衣量変化による SET\*の快適域内の割合

	通常 着衣量 clo 値=0.3	対策 着衣量 clo 値=0.6
平均 (°C)	22.2	24.1
SET*快適率 (%)	29.5	63.9

表 7 気流変化による SET\*の快適域内の割合

	自然風 (0.1m/s~0.3m/s)*	風速 0.5m/s	風速 1.0m/s
平均 (°C)	29.6	27.4	26.0
SET*快適率 (%)	11.6	17.3	43.8

\*実測値に基づく

着衣量を 0.6clo とし気流を 1.0m/s と変更する対策を講じた前後の SET\*を図 17 に示し、表 8 に対策による SET\*の快適域内の割合を示す。SET\*快適率は 31.1%から 52.2%に上昇し、平均 SET\*も約 1°C下がる結果となった。met 値の高い活動時は扇風機の稼働により約 10°Cほど SET\*が下がっており、扇風機による気流の改善は温冷感に対する効果が高いと考えられる。しかし対策後においても met 値が高い活動時に 30°Cを超える時間帯があり更に効果の高い対策が必要である。

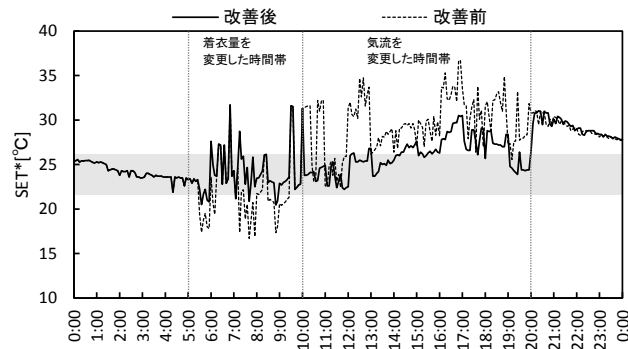


図 17 対策前後の SET\* (児童)

表 8 対策による SET\*の快適域内の割合

	対策前	対策後
平均 (°C)	26.8	25.8
SET*快適率 (%)	31.1	52.2

#### 6. おわりに

本研究では虹の学校における室内環境の現状把握を行い、WBGT を用いた温熱環境の熱ストレス評価と SET\*による熱的快適性評価を行った。実際に対象建物で生活している児童の活動と照らし合わせて温冷感を分析することで現状の温熱環境の課題点を抽出した。またその対策として着衣量と気流を変化させることで SET\*快適率を向上させ、より安全で快適な条件に近づけることができた。

参考文献・本研究に関する既発表論文

- [1]世界が抱える教育問題 - 公益社団法人日本ユネスコ協会連盟 <http://www.unesco.or.jp/terakoya/issue/> 最終取得日 2015/8/20
- [2]Weather underground:タイの気候データ, <http://nihongo.wunderground.com/> 最終取得日 2015/6/24
- [3]空調調和衛生工学便覧 第14版 1基礎編 空気調和・衛生工学会 p336
- [4]文部科学省 学校保健安全法学校環境衛生基準 [http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/other/\\_icsFiles/afilefile/2009/04/01/1236264\\_9.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afilefile/2009/04/01/1236264_9.pdf)
- [5](独)国立健康・栄養研究所:改訂版「身体活動のメッツ(METS)表」2012.4.11 更新
- [6]環境省 熱中症予防サイト [http://www.mext.go.jp/wbgt.env.go.jp/wbgt\\_lp.php](http://www.mext.go.jp/wbgt.env.go.jp/wbgt_lp.php) 最終取得日 2016/2/1
- [7]寝床内の快適性 快眠 ABC - フランスベッド ベッド・インテリア <http://interior.francebed.co.jp/support/gdsleep-aba/science/snugness-pallet.html> 最終取得日 2016/1/12
- [8]Center for the Built Environment, CBE Thermal Comfort Tool for SET\*.; <http://comfort.cbe.berkeley.edu/> 最終取得日 2016/2/1
- [9]深井一夫: SET\*の考え方に基づく非常温熱指標(修正 SET\*)の開発 日本建築学会学術講演梗概集 2010.9