

卒業論文要旨

実測にもとづく自動車の室内空気環境の評価

建築環境工学研究室 1170162 安井 綜

1. はじめに

自動車の室内空気環境に関する規格として、例えば車室内の温熱環境評価指標や測定技術についてまとめられている ISO14505⁽¹⁾や、シックハウス症候群の一要因として問題視されている VOC の車室内での測定に関する ISO12219⁽²⁾があげられる。しかしながら車室内の空気汚染物質の基準濃度が定まっていないことや、熱中症に代表されるような車室内で発生する現実的な問題に対して管理基準が設けられていないなど、自動車の室内空気環境に関しての更なる検討が望まれている。また前述した ISO14505 を用いた評価方法では人体の放熱特性を模擬したサーマルマネキンが用いられており、自動車の実使用条件下で車室内温熱評価を行うことは高価な機器や専門的な知識が必要となるため容易ではない。そこで本研究では自動車の室内環境の評価として、建築分野で使われている衛生管理指標を用いて比較的簡易な手法により車室内の安全性、快適性について評価をすることを目的に実測を行った。

2. 車室内環境の測定概要

室内環境の測定は夏期(2016/07/19~09/11)、中間期(2016/11/07~11/22)、冬期(2016/12/14~12/19)に普通自動車の室内を対象に行った。対象車は定員4人、室容積3m³、排気量1.598L、車体の色は青色でルーフ部分のみ白色であった。測定期間中は常に空調温度を23℃、風量を最小に設定した。使用した測定指標、測定回数および測定機器を表1、表2および表3に示す。

3. CO₂濃度に関する分析

3.1 CO₂濃度の測定結果

図1に運転時のCO₂濃度を示す。内気循環時は運転開始後10分以内に全ての条件で1000ppmを超え、中間期・冬期、2人の条件では1時間以内に3500ppmを超えた。外気取り入れ時は全期間において1000ppmを下回った。

3.2 WBGTとCO₂濃度の関係

図2にWBGTとCO₂濃度の90%信頼楕円を示す。夏期の内気循環時において冷房によりWBGTの値はほとんど基準値を下回るが、CO₂濃度が上昇し基準値を超えていた。また外気取り入れ時のWBGTの測定値の範囲は内気循環時と変わらず、CO₂濃度は500ppm近辺で一定であった。

3.3 PMVとCO₂濃度の関係

図3にPMVとCO₂濃度の90%信頼楕円を示す。内気循環時は冷暖房によりPMVが0に近づくにつれてCO₂濃度が上昇した。PMVの範囲は前節と同様に外気取り入れ時は内気循環時と大きな差はなく、CO₂濃度も500ppm近辺で一定であった。

Table 1 Evaluation index

Comparing index value	Recommended value
CO ₂ concentration	(1) less than 1000ppm* ¹ (2) less than 3500ppm* ²
WBGT* ³	less than 29°C
PMV* ⁴	with in a range of ±0.5

*¹建築物環境衛生管理基準⁽³⁾に基づき、室内空気汚染の総合的指標として設定
 *²健康影響に基づく基準値として、空気調和・衛生工学会⁽⁴⁾の値を設定
 *³熱中症の危険度を表す指標としてJIS⁽⁵⁾に規定されており、普通の状態での乗りの運転(低代謝率条件)における熱に順化していない人のWBGTの基準値として29°Cが示されている
 *⁴温熱環境評価指標としてISO⁽⁶⁾に規定されており、±0.5以内となるよう推奨されている

Table 2 Number of measurement cases

Measurement conditions	Driving	
	Fresh air	Full recirculated air
Summer	11	3
In-between* ¹	13	10
Winter	5	6

*¹中間期のみ乗車人数が2人の場合の測定も行った

Table 3 Measuring items and instruments

Measuring items	Instruments	Measuring point
WBGT [°C]	HI-2000SD	Passenger seat
Wind velocity [m/s]	SWA-03	Passenger seat
CO ₂ concentration [ppm]	KNS-CO2S, RVR-52L	Air supply terminal Air return terminal
Temperature [°C]	RTR-53A	Outside of the car
Relative humidity [%RH]	RTR-53A	Outside of the car
Heart rate [bpm]	53PBLK-INT	Driver's arm

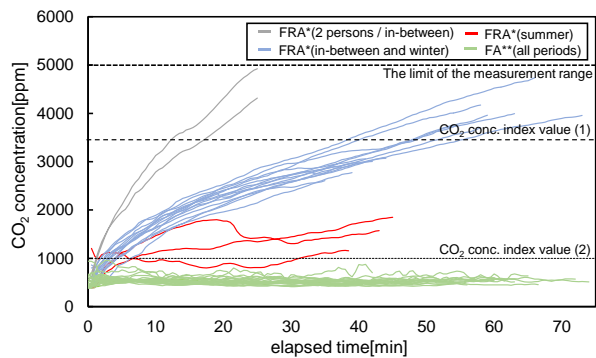


Fig.1 CO₂ concentration (driving period)

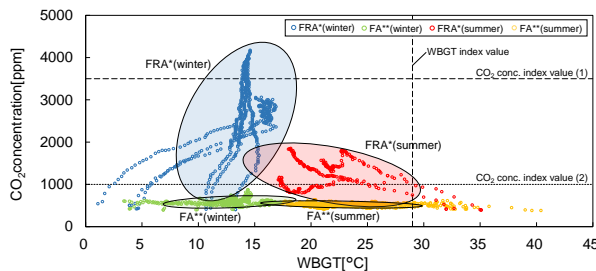


Fig.2 WBGT-CO₂ for analyzing the correlation (driving period)

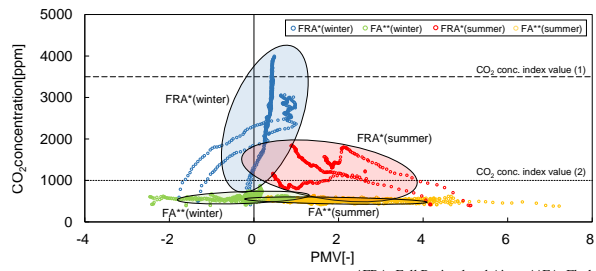


Fig.3 PMV-CO₂ for analyzing the correlation (driving period)

*FRA: Full Recirculated Air **FA: Fresh Air
 PMV算出時に用いるclo値は夏期・中間期0.55、冬期1.30とした

4. 車室内のCO₂濃度に関する試算

4.1 試算概要

本試算では車室内のCO₂濃度推定式を作成し、理論計算により内気循環と外気取り入れを交互に行った場合の車室内のCO₂濃度に関する検討を行った。

4.2 車室内のCO₂呼出量推定式の概要

物質平衡の式を変形し作成した車室内のCO₂濃度の微分方程式を(4-1)に示す。

$$\frac{dC_{car}}{dt} V_{car} = \sum P_{CO_2} + Q_{car}(C_o - C_{car}) \quad (4-1)$$

C_{car} : 車室内のCO₂濃度[m³/m³] V_{car} : 車室内の容積[m³]
 P_{CO_2} : CO₂呼出量[m³/h] Q_{car} : 換気量[m³/h]
 C_o : 外気CO₂濃度[m³/m³]

ここで P_{CO_2} は車室内におけるCO₂の発生量は人間の呼吸のみとしたものであり、その算出には既往研究⁽⁷⁾で作成された式(4-2)を用いた。

$$P_{CO_2} = 1.601 \times 10^{-4} \times (60.63 \times A_D \times Met \times C_g \times C_a) \quad (4-2)$$

$$A_D = 0.007246 \times W^{0.425} \times H^{0.725} \quad (4-3)$$

P_{CO_2} : CO₂呼出量[m³/h] A_D : 日本人成人の体表面積[m²]
 Met : エネルギー代謝率[-] C_g : 性別 女性0.73, 男性1.00
 C_a : 年齢係数 1.00 (18~29歳を基準とした場合) W : 体重[kg]
 H : 身長[cm]

また式(4-2)で使用する運転時のエネルギー代謝率(Met)は式(4-4)を用いて算出した。算出にあたっては運転時に測定した脈拍数を用い、様々な活動条件を設定しダグラスバック法により得られた代謝量と脈拍数との回帰分析により運転手に関する式(4-4)を導出して使用した。

$$Met = 0.1025 \times X - 6.6675 \quad (4-4)$$

Met : エネルギー代謝率[-] X : 脈拍数[bpm]

4.3 推定式を用いた車室内のCO₂濃度のシミュレーション

式(4-1)を用い、中間期における運転時の車室内のCO₂濃度シミュレーションを行った。シミュレーションに用いた条件値を表4に示す。空調パターンとして運転開始時を内気循環とし、CO₂濃度が1000ppmもしくは3500ppmに達した時点で外気取り入れに変更し、CO₂濃度が750ppmに近づいた時点で内気循環に戻すパターンとした。

Table 4 Calculation condition

Parameter name	Setting value
Ventilation rate (calculated value)*1	Full Recirculated air: 8 m ³ /h Fresh air: 300 m ³ /h
Car volume	3 m ³
Number of people	1(driver only), 2, 4
Gender	Man
Weight	Driver: 57 kg Passenger ⁽⁸⁾ : 66.3 kg
Height	Driver: 169 cm Passenger ⁽⁸⁾ : 172.1 cm
Age	Driver: 20 Passenger ⁽⁸⁾ : 20
Met	Driver: 1.62 Passenger: 1.3 ⁽⁹⁾

*1中間期・冬期における測定ケース毎に式(4-1)を用いて算出した換気量を平均して算出した

4.4 CO₂濃度のシミュレーション結果

シミュレーション結果を図4および図5に示す。1000ppmを閾値とした場合、乗車人数1人の時は内気循環2分につき外気取り入れ30秒、2人の時は内気循環1分につき外気取り入れ30秒、4人の時は内気循環30秒につき外気取り入れが1.5分必要となった。3500ppmの場合、1人の時では内気循環95分につき外気取り入れ1.5分、2人の時は内気循環15分につき外気取り入れ1.5分、4人の時は内気循環6分につき外気取り入れ2.5分となった。どちらのケースでも人数

が増えるにつれて外気取り入れの比率が大きくなった。連続運転に関する考え方⁽¹⁰⁾などで行われている「2時間間隔で休憩をとる」といった時間間隔での切り替えでは、CO₂濃度の観点からは課題ある結果となった。

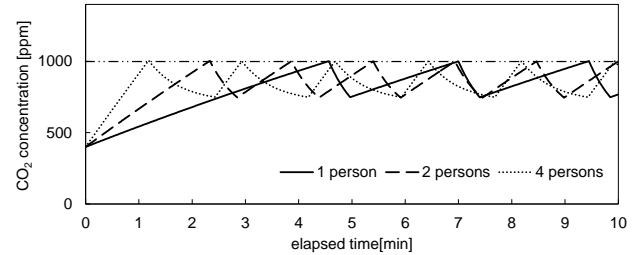


Fig.4 Calculation of CO₂ concentration (upper limit 1000ppm)

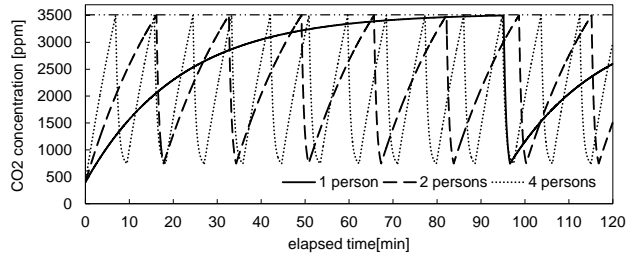


Fig.5 Calculation of CO₂ concentration (upper limit 3500ppm)

5. おわりに

本研究では自動車の室内空気環境を測定し、主に建築分野で使われる評価指標を用いて運転時の車室内環境の評価を行った。運転時間における車室内のCO₂濃度を把握するために推定式を作成し、シミュレーションを行った結果、安全性の観点から内気循環を連続して行うことができる時間を示した。

運転時に空調を使用していた場合、WBGT、PMVには課題はないと考えられるが、内気循環時はCO₂濃度が上昇し、基準値を超える要因となってしまうため、室内空気環境に配慮した運転計画が望まれる結果を得た。

文献

- (1)ISO14505: Evaluation of thermal environment in vehicles
- (2)ISO12219: Interior air road vehicles
- (3)厚生労働省: 建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>
- (4)空気調和・衛生工学会: SHASE-S 102-2011 換気基準同解説, 2011
- (5)JIS Z8504: 人間工学-WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-暑熱環境
- (6)ISO7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
- (7)田島昌樹 井上貴之 大西裕治: 換気測定のための在室者の二酸化炭素呼集出量の推定, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻 第728号, pp885-892, 2016.10
- (8)政府統計の総合窓口(e-Stat): 第2部 身体状況調査の結果, 平成26年国民健康・栄養調査, <http://www.e-stat.go.jp/>, 2016.4
- (9)独)国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部 中江 悟司・田中 茂穂健康増進研究部 宮地 元彦: 改訂版『身体活動のメッツ(METs)表』, <http://www0.nih.go.jp/eiken/programs/2011>, pp38, 2012.4
- (10)国土交通省自動車局: 連続運転時間・休憩の考え方, 高速乗合バス交替運転者の配置基準(解説), http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudouki_jun/dl/kousokubus-03_05.pdf, 2013.6