

令和3年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

加熱式タバコの喫煙による呼吸特性と化学種物質の挙動特性

分担研究者 李 時桓 名古屋大学

研究要旨

喫煙によって発生するタバコの煙は、主流煙と副流煙の両方の発がん物質として定義され、人の健康への危険性が広く認識されている。したがって、喫煙室などの屋内空間では、喫煙によって発生する汚染物質を効率的に除去するための換気設計が必要である。最近では、加熱式たばこが他人の健康を損なう恐れがあることが明らかでないことから、加熱式たばこ専用の室内エリアも設置されている。しかし、加熱式タバコによる健康への危険性はまだ明らかになっておらず、室内環境における受動喫煙による有害性及びその健康影響については明確な検討事例が少ない。そこで本研究では、喫煙時の加熱式タバコ呼吸特性と汚染物質の発生を実測により定量的に分析し、呼吸特性を適用した解析モデルを提案することで化学種物質の挙動特性を明らかにすることを目的とした。喫煙時の加熱式タバコ呼吸特性に関する実測結果によると、喫煙時の一呼吸での空気流量は約 2,000 ml となり、非喫煙時の約 600 ml と比べ、約 3.3 倍増加した。また、非喫煙時の最大呼気 CO₂ 濃度は 40,000 ppm、喫煙時の最大呼気 CO₂ 濃度は 42,000 ppm と実測され、喫煙時と非喫煙時における呼気の CO₂ 濃度の差は小さかった。更に、数値解析により、喫煙による汚染物質発生量および空気中における挙動が再現され、CO₂ は非喫煙、喫煙時において常に発生し、室内に拡散されることが分かった。加熱式タバコの副流煙から発生する CO₂ 濃度は 1,100 ppm (紙巻式タバコは 10,000 ppm) として非常に少なく、副流煙から発生する CO₂ は室内への影響が小さい結果が得られた。

A. 研究目的

喫煙によって発生するタバコの煙は、主流煙と副流煙の両方の発がん物質として定義^りされ、人の健康への危険性が広く認識されている。したがって、喫煙室などの屋内空間では、喫煙によって発生する汚染物質を効率的に除去するための換気設計が必要である。

最近では、加熱式たばこが他人の健康を損なう恐れがあることが明らかでないことから、加熱式たばこ専用の室内エリアも設置されている。しかし、加熱式タバコによる健康への危険性はまだ明らかになっておらず、室内環境における受動喫煙による有害性及びその健康影響については明確

な検討事例が少ない。

本研究では、喫煙時の加熱式タバコ呼吸特性と汚染物質の発生を実測により定量的に分析し、呼吸特性を適用した解析モデルを提案することで化学種物質の挙動特性を明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

1. 実測による喫煙時の呼吸特性

本研究では喫煙時の呼吸特性を検討するために、呼吸流量の測定を行う。同時に、汚染源を CO₂ として呼気 CO₂ 濃度を測定する。Figure 1 に実測

風景を示す。実測機器としては流量と CO₂ 濃度が同時測定可能なエアロモニター（ミナト医科学, AE-310E）を使用する。被験者実測では Fig.2(a)に示す呼吸手順（非喫煙 5 回, 喫煙 1 回）を 1 サイクルとし、加熱式タバコの喫煙による呼吸特性について複数回測定する。なお、喫煙時は Fig. 2(b)に示すように呼吸方法を統一している。また、副流煙については、タバコ本体から発生する CO₂ 濃度を測定する。

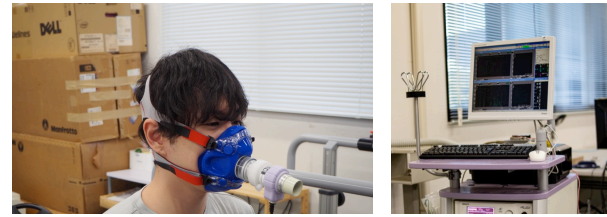
2. 数値解析による化学種物質の挙動特性

喫煙時の化学種物質発生状況および挙動特性を検討するため、数値解析モデルを作成する。Figure 3 に解析モデルの概要を示す。解析領域は 1.80 (x)×1.00 (y)×1.00 (z) m³ とし、人体は上半身のみ解析対象とする。Table 1 に解析条件を示す。呼吸特性は実測と同様に非喫煙時の呼吸 5 回と喫煙中の呼吸 1 回を 1 サイクルとし、呼吸は鼻で喫煙は口で行う。また、加熱式タバコ 1 スティックあたりの喫煙時間は約 6 分間であり、喫煙は 10 サイクル行うと設定する。汚染物質は化学種物質として CO₂ とニコチンの 2 種類を対象とし、人体モデルの口と鼻、タバコ先端部を汚染物質の発生源とする。副流煙の発生源は 0.01 (x)×0.01 (y)×0.01 (z) m³ としてモデル化し、空間内環境の CO₂ 濃度は 1,000 ppm, ニコチンは 0 ppb とする。実測で得られた呼吸流量と CO₂ 濃度, ニコチン濃度を境界条件として与えるが, 呼吸から発生するニコチン量は主流煙の 30%²⁾とする。数値解析は喫煙 1 サイクルを非定常計算で行い, 発生する CO₂, ニコチン濃度および空気中での挙動特性を確認する。

C. 結果及び考察

1. 喫煙時の呼吸特性

Figure 4 に非喫煙時と喫煙時の呼吸特性を示す。呼吸特性と CO₂ 濃度は数回の呼吸を行い, アンサンブル平均化した。喫煙時の一呼吸での空気流量は約 2,000 ml となり, 非喫煙時の約 600 ml と比べ, 約 3.3 倍増加した。Figure 5 に 1 サイクルにお



(a) Transducer (b) Aero monitor

Fig.1 Status of measurement

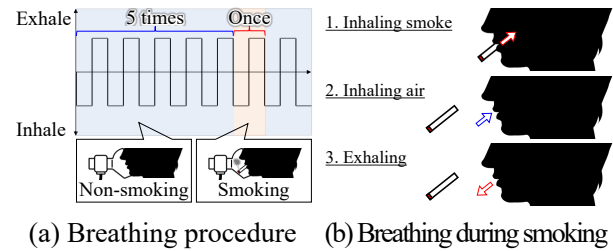


Fig.2 Breathing Method

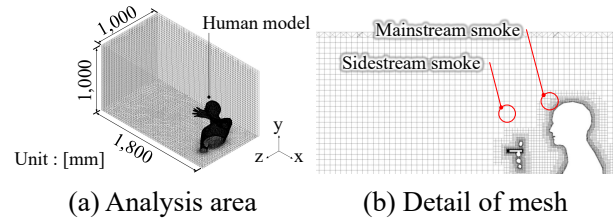


Fig.3 Overview of analytical model

Table.1 Analysis conditions

Items	Contents	
Scheme	SIMPLE	
Turbulence model	Standard k-ε model	
Meshes	Approximately 1,300,000	
Calculation time	60 s (1 cycle)	
CO ₂ emission [ppm] (Mainstream smoke)	Non-smoking	40,000
	Heated tobacco	42,000
CO ₂ emission [ppm] (Sidestream smoke)	1,100	
Nicotine emission [mg/stick] (Mainstream smoke)	1.640	
Nicotine emission [mg/stick] (sidestream smoke)	0.056	
Temperature [°C]	Exhalation	32
	Indoor air	24
	Heated tobacco	47

ける呼吸流量, Figure 6 に呼吸 CO₂ 濃度を示す。非喫煙時の最大呼気 CO₂ 濃度は 40,000 ppm, 喫煙時の最大呼気 CO₂ 濃度は 42,000 ppm と実測され, 喫煙時と非喫煙時における呼気の CO₂ 濃度の差は小さかった。一方, 実測された空間内温度は 24.0 °C 喫煙時の呼吸温度は 32.0 °C, 加熱式タバコの表面温度は 47.0 °C であった。

2. 喫煙による化学種物質の挙動特性

Figures 7, 8 に CO₂ とニコチンの解析結果を示す。喫煙による汚染物質発生量および空気中における挙動が再現され, CO₂ は非喫煙, 喫煙時において常に発生し, 室内に拡散された。加熱式タバコの場合, 副流煙から発生する CO₂ 濃度が 1,100 ppm として非常に少なく, 副流煙から発生する CO₂ は呼吸と比べ室内への影響が小さい結果となった。

一方, ニコチンは喫煙時のみ口から発生し, ニコチンの副流煙は CO₂ に比べて大きく室内へ影響を与える結果となった。また, 発生した汚染物質は加熱式タバコと人体表面温度により発生する上昇気流に沿って上昇した。

D. 結論

本研究では, 喫煙時の呼吸特性と化学種物質の挙動特性を定量化することを目的とし, 実測と数値解析を行った。実測により得られた呼吸流量と汚染物質を基に数値解析モデルを作成し, 喫煙時の化学種物質挙動特性を明らかにした。今後, 本解析モデルを基に, 室内における受動喫煙の影響を検討する予定である。

E. 参考文献

- (1) World health organization international agency for research on cancer: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol.83, Tobacco smoke and involuntary smoking, 2004.
- (2) Frank Kelley St. Charles et. al.: Methodologies for the quantitative estimation of toxicant dose to cigarette smokers using physical, chemical and bioanalytical data, Inhalation Toxicology, 25(7), p.383-397, 2013.

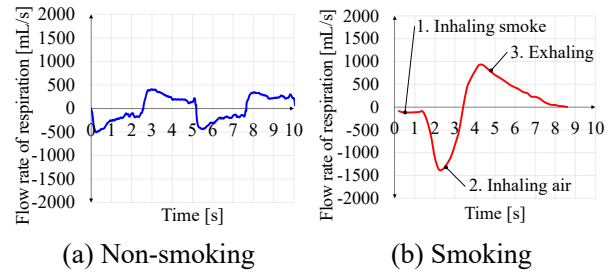


Fig.4 Respiratory characteristics

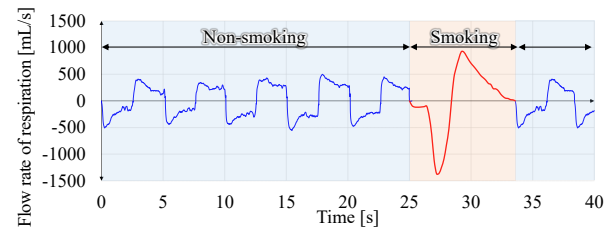


Fig.5 Fluctuations in flow rate of respiration

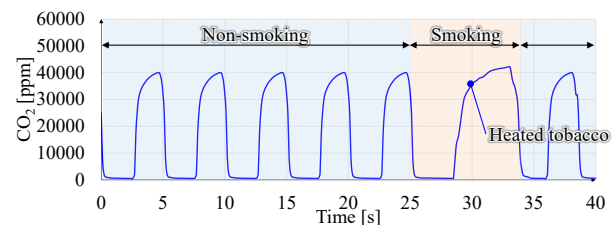


Fig.6 CO₂ concentration with the tobacco

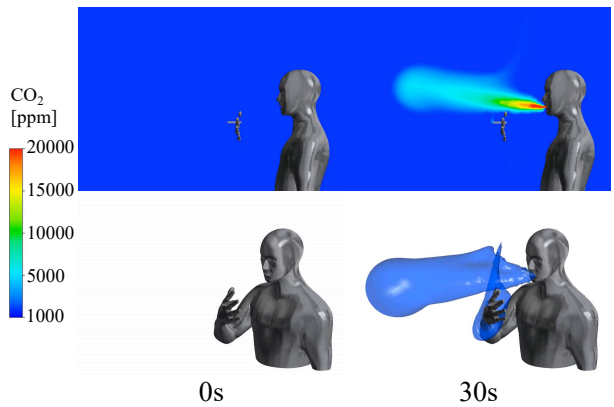


Fig.7 Analysis results (CO₂)

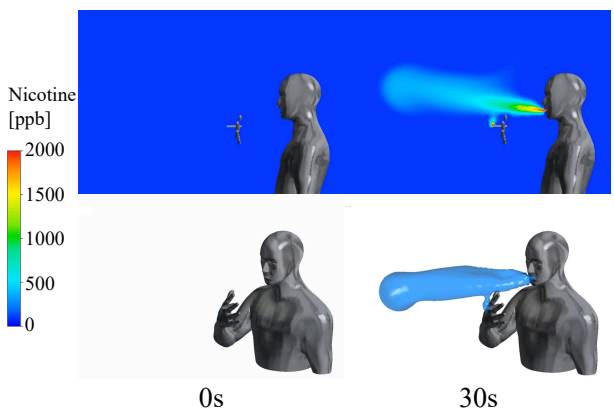


Fig.8 Analysis results (Nicotine)

F. 研究発表

1. 論文発表

現在執筆中

2. 学会発表

岡村晃, 李時桓, 黄載雄, 近藤志樹. 喫煙による呼吸特性, その数値解析 室内環境学会学術論文集, B-06, p.146-147, 2021.12.

李時桓, 黄載雄. 加熱式タバコの喫煙による呼吸

特性と化学種物質の挙動特性 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学, 2022.09. (投稿済み, 発表予定)

Jaeung HWANG, Sihwan LEE. Respiratory characteristics during smoking and its numerical analysis Indoor Air 2022, 2022.06. (Paper accepted)

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし