

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

加熱式たばこの副流煙に含まれる有害成分の分析

研究分担者 戸次 加奈江 国立保健医療科学院  
研究代表者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院

研究要旨：近年、国内で幅広く使用される加熱式たばこは、多種多様のフレーバーを使用した多くの銘柄が販売され、主流煙中においても従来の紙巻たばことは異なる特徴が報告されている。こうした主流煙中の成分は、加熱式たばこ本体や吸い口の先端部等から漏れ出す副流煙にも含まれ放散し、室内汚染の要因となる可能性も考えられる。そこで本研究では、これまでに確立した主流煙中のフラン類及びピリジン類に関する捕集及び分析方法を用い、副流煙中の各成分の濃度を調べることを目的とした。結果として、対象としたフラン類及びピリジン類、メンソールなどの殆どがカートリッジで比較的多く捕集され、ガス状のものが多く含まれていることが確認された。一方で、ニコチンは、フィルターで検出された他、フィッシュテールからも吸着したものが検出されていたため、主に粒子状で存在するものと推測された。また、検出された成分は、銘柄によって傾向がことなっていたことから、フレーバーに由来しているものと予想された。検出された成分の中でも、特に、フルフラールについては吸入曝露や経皮曝露により有害性が指摘されていることや、2-フランメタノールとピリジンについては、IARC（国際がん研究機関）により発癌性が危惧される成分でもあることから、加熱式たばこの使用により発生する呼出煙や副流煙などによる室内汚染の影響や、受動喫煙による非喫煙者への曝露を引き起こす可能性も考えられた。

## A. 研究目的

近年、国内で普及する加熱式たばこ等の新型たばこは、従来の紙巻たばこに比べ有害成分が大幅に低減されたことが特徴とされている。しかしながら、これらの製品は、市場に出て間もないことから疫学的データは殆どなく、有害性や安全性に関しては未知の問題も多く残されている。実際に、健康影響と関連性の高い加熱式たばこの主流煙中には、WHOが指定する9つの規制対象成分（たばこ特異的ニトロソアミン類（TSNAs）やカルボニル化合物などの発がん性のある物質）が低濃度ながら含まれており<sup>1,2)</sup>、特に喫煙者は直接曝露される危険性がある。さらに、加熱式たばこからは、紙巻たばこと同様

度、あるいはそれを上回る濃度の化合物も検出されており<sup>3)</sup>、こうした成分には、香料などの添加物や、加熱により生成し有害性のあるピリジン類やフラン類等が比較的多く含まれていると報告されている<sup>3)</sup>。また、Cancelada<sup>4)</sup>らによると、加熱式たばこからも副流煙となるたばこ煙が発生していることが報告されており、これらは加熱式たばこ本体や吸い口の先端部等から漏れ出し大気中に放散され、室内汚染の要因となる可能性も考えられる。そこで本研究では、これまでに確立した主流煙中のフラン類及びピリジン類を対象とした捕集及び分析法を用い<sup>5)</sup>、加熱式たばこから発生する副流煙中でのこれら成

分の検出の有無と発生量について調べることとした。

## B. 研究方法

### B. 1. 個体捕集カートリッジの作製

Tenax GR (GL サイエンス社製) 20 mg をポリエチレン製カートリッジ (Rezorian tube, 1 mL) に充填し、予め酢酸エチル、メタノール各 10 ml を通液し洗浄した後、窒素ガス 2L を通気し乾燥させ、捕集まで冷暗所にて保管した。

### B. 2. たばこ副流煙の捕集及び分析

副流煙の捕集は、稲葉らによる令和 2 年度厚労科研報告書<sup>6)</sup>における手法を用いて行った。具体的には、自動喫煙装置 (Borgwaldt Technik GmbH 製, LM4E) で加熱式たばこを吸引し、その際、デバイスやスティックの先端部分から発生する煙を専用の捕集管を用い、流速 1 L/min で吸引しながら捕集した。捕集には、フィッシュテール、CFP、Tenax GR カートリッジ、インピンジャーを設置し、フィッシュテールと CFP からは主に粒子状成分を、Tenax GR カートリッジとインピンジャーでガス成分を捕集した。捕集後は、Tenax GR カートリッジ及び CFP を有機溶媒で抽出し、フィッシュテール及びインピンジャーで採取した試料はそのまま分析に供した。捕集管等の接続に使用した捕集チューブも有機溶媒で洗い流し分析に使用した。また本研究では、多くの夾雑成分を含むたばこ主流煙を対象に微量成分も含めた 21 成分の分析を行うため、高感度高選択性の高い GC-MS/MS の MRM モードにより分析した<sup>5)</sup>。

### B. 3. 分析に使用したたばこ製品

本実験で使用した加熱式たばこは、glo hyper (British American Tobacco) であり、専用スティックには以下の 6 種の銘柄、Fresco Menthol、

True Tobacco、Freeze Menthol、Fluorescent Citrus、Tropical Swirl、True Berry Boost を使用した。

## C. 結果及び考察

### C. 1. 加熱式たばこの副流煙に含まれるフラン類及びピリジン類の分析

フィッシュテール、CFP、Tenax GR カートリッジ、インピンジャーにより glo hyper の各銘柄の専用スティックから発生する副流煙を捕集し、GC-MS/MS で各成分を分析した結果を Table 1 に示す。

対象としたフラン類及びピリジン類、メンソールなどの殆どがカートリッジで比較的多く捕集され、ガス状のものが多く含まれていることが確認された。一方で、ニコチンは、フィルターで検出された他、フィッシュテールからも吸着したものが検出されていたため、主に粒子状で存在することが確認された。また、検出された成分は、銘柄によって傾向がことなっていたことから、フレーバーに由来しているものと予想された。

検出された成分の中でも、フラン類に該当するフルフラールについては、吸入により接取することで、頭痛、めまい、吐き気などの中毒症状を示す可能性が指摘されており<sup>7)</sup>、ACGIH (アメリカ合衆国産業衛生専門官会議) では“動物実験で発がん性が認められた物質”として A3 に分類されている<sup>8)</sup>。2-フランメタノール及びピリジンについては、IARC により“発がん性を示す可能性のあるもの”として Group 2B に分類されている。さらに、3/4-EP は、ニコチン由来のガス状成分として、従来より、受動喫煙や三次喫煙に関する空気中のマーカー成分としても着目されている。こうした成分により、呼出煙や副流煙などによる室内汚染の影響や、受動喫煙による非喫煙者への曝露を引き起こす可

能性が考えられた。

#### D. 結論

本研究結果より，加熱式たばこの副流煙からもガスまたは粒子の形態でフラン類及びピリジン類等に関する成分が検出され，呼出煙や副流煙などによる室内汚染の影響や、受動喫煙による非喫煙者への曝露を引き起こす可能性が考えられた。本研究では、一部の成分のみしか対象としていないが、フラン類やピリジン類と同様の揮発性の高いガス状の様々な化合物が、副流煙中に含まれ、室内の汚染因子となっている可能性が考えられた。

#### E. 参考文献

1. Bekki K, Inaba Y, Uchiyama S, Kunugita N. Comparison of chemicals in mainstream smoke in heat-not-burn tobacco and combustion cigarettes. *J UOEH* 2017, 39: 201-207.
2. Uchiyama S, Noguchi M, Takagi N, Hayashida H, Inaba Y, Ogura H, Kunugita N. Simple Determination of Gaseous and Particulate Compounds Generated from Heated Tobacco Products. *Chem Res Toxicol* 2018, 31: 585-593.
3. St Helen G, Jacob Iii P, Nardone N, Benowitz NL. IQOS: examination of Philip Morris International's claim of reduced exposure. *Tob Control*. 2018 27 (Suppl 1): s30-s36.
4. Cancelada L, Sleiman M, Tang X, et al. Heated Tobacco Products: Volatile Emissions and Their Predicted Impact on Indoor Air Quality. *Environ Sci Technol*. 2019. 53: 7866 - 7876.
5. Bekki K, Uchiyama S, Inaba Y, Ushiyama

A. Analysis of furans and pyridines from new generation heated tobacco product in Japan. *Environ Health Prev Med* 2021, 26: 89.

6. 稲葉洋平、戸次加奈江、牛山明、内山茂久. 令和2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「加熱式たばこなど新たなたばこ製品の成分分析と受動喫煙による健康影響の評価手法の開発」加熱式たばこの副流煙の捕集・分析法に関する検討. 分担研究報告書
7. フルフラール : Wikipedia. <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%83%AB%E3%83%95%E3%83%A9%E3%83%BC%E3%83%AB%E5%AE%89%E5%85%A8%E6%80%A7>
8. フルフラール : GHS 分類結果 . <https://www.nite.go.jp/chem/ghs/06-imcg-0914.html>.

F. 研究発表  
なし

Table 1 Concentrations of chemical compounds detected in the sidestream smoke of HTPs using Tenax GR cartridge, CFP, fishtale and impinger ( $\mu\text{g}/\text{stick}$ ) (n=3). n.d. means not determined.

$\mu\text{g}/\text{stick}$	Fresco Menthol					True Tobacco				
	cartridge	filter	fishtale	impinger	total	cartridge	filter	fishtale	impinger	total
<b>Furans</b>										
Furfural	6.2 ± 1.1	0.015 ± 0.0064	0.015 ± 0.012	0.018 ± 0.015	6.3 ± 1.1	5.2 ± 0.28	n.d.	0.013 ± 0.0024	n.d.	5.3 ± 0.28
Furfuryl Alcohol	10 ± 2.0	n.d.	n.d.	0.013 ± 0.012	10 ± 2.0	8.4 ± 0.38	n.d.	0.019 ± 0.021	n.d.	8.5 ± 0.38
2(5H)-furanone	0.19 ± 0.036	n.d.	n.d.	n.d.	0.19 ± 0.036	0.13 ± 0.0088	n.d.	n.d.	n.d.	0.14 ± 0.0083
5-methylfurfural	2.1 ± 0.47	0.066 ± 0.021	n.d.	n.d.	2.2 ± 0.48	1.8 ± 0.11	0.067 ± 0.024	n.d.	n.d.	1.9 ± 0.086
<b>Pyridines</b>										
Pyridine	0.72 ± 0.21	n.d.	n.d.	n.d.	0.73 ± 0.21	0.44 ± 0.042	n.d.	n.d.	n.d.	0.45 ± 0.043
2,6-Dimethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010 ± 0.0053	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,5-Dimethylpyrazine	0.063 ± 0.017	n.d.	n.d.	n.d.	0.077 ± 0.015	0.029 ± 0.011	n.d.	n.d.	n.d.	0.042 ± 0.014
2-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010 ± 0.0053	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3-Ethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4-Ethenylpyridine	0.44 ± 0.069	0.10 ± 0.043	0.037 ± 0.016	n.d.	0.59 ± 0.10	0.37 ± 0.026	0.080 ± 0.016	0.054 ± 0.012	n.d.	0.51 ± 0.030
3-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.018 ± 0.0028	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.012 ± 0.0012
2,3,5-Trimethylpyrazine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.019 ± 0.0071	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.016 ± 0.0046
<b>Additives</b>										
Benzyl Alcohol	0.95 ± 0.22	0.33 ± 0.052	0.010 ± 0.0069	n.d.	1.3 ± 0.27	0.038 ± 0.028	0.035 ± 0.021	n.d.	0.025 ± 0.0072	0.10 ± 0.033
Linalol	0.010 ± 0.0087	n.d.	n.d.	n.d.	0.021 ± 0.010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.012 ± 0.0053
Menthol	130 ± 19	13 ± 2.8	0.031 ± 0.014	0.65 ± 0.58	150 ± 21	3.3 ± 1.2	0.61 ± 0.034	0.014 ± 0.018	1.3 ± 0.29	5.3 ± 1.5
4-Ethyl guaiacol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eugenol	n.d.	n.d.	n.d.	0.017 ± 0.011	0.033 ± 0.021	n.d.	0.012 ± 0.0081	n.d.	0.013 ± 0.0031	0.041 ± 0.0064
<b>Others</b>										
Nicotine (mg/stick)	0.48 ± 0.079	56 ± 12	3.0 ± 0.065	n.d.	60 ± 12	0.19 ± 0.29	35 ± 3.2	2.9 ± 0.45	n.d.	39 ± 3.7
<b>Freeze Menthol</b>										
	cartridge	filter	fishtale	impinger	total	cartridge	filter	fishtale	impinger	total
<b>Furans</b>										
Furfural	4.3 ± 0.67	n.d.	0.018 ± 0.011	n.d.	4.3 ± 0.67	6.1 ± 1.5	0.021 ± 0.0051	0.035 ± 0.0072	0.012 ± 0.00085	6.1 ± 1.5
Furfuryl Alcohol	8.0 ± 1.0	n.d.	n.d.	n.d.	8.0 ± 1.0	11 ± 3.0	0.035 ± 0.038	0.014 ± 0.0028	0.010 ± 0.0029	11 ± 3.0
2(5H)-furanone	0.15 ± 0.021	n.d.	n.d.	n.d.	0.15 ± 0.022	0.18 ± 0.053	n.d.	n.d.	n.d.	0.18 ± 0.053
5-methylfurfural	1.5 ± 0.22	0.045 ± 0.0067	n.d.	n.d.	1.6 ± 0.21	2.3 ± 0.66	0.053 ± 0.0089	n.d.	n.d.	2.4 ± 0.67
<b>Pyridines</b>										
Pyridine	0.42 ± 0.059	n.d.	n.d.	n.d.	0.42 ± 0.056	0.67 ± 0.20	n.d.	n.d.	n.d.	0.67 ± 0.20
2,6-Dimethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010 ± 0.0025	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.015 ± 0.0046
2,5-Dimethylpyrazine	0.049 ± 0.012	n.d.	n.d.	n.d.	0.071 ± 0.011	0.034 ± 0.021	n.d.	n.d.	n.d.	0.050 ± 0.024
2-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3-Ethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4-Ethenylpyridine	0.39 ± 0.064	0.075 ± 0.0051	0.044 ± 0.020	n.d.	0.51 ± 0.049	0.40 ± 0.076	0.079 ± 0.0091	0.052 ± 0.016	n.d.	0.54 ± 0.079
3-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.014 ± 0.0057	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.014 ± 0.0054
2,3,5-Trimethylpyrazine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017 ± 0.0028	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.011 ± 0.0025
<b>Additives</b>										
Benzyl Alcohol	n.d.	0.019 ± 0.016	0.020 ± 0.015	n.d.	0.054 ± 0.030	0.014 ± 0.019	0.034 ± 0.0051	0.017 ± 0.018	0.023 ± 0.0054	0.090 ± 0.029
Linalol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.014 ± 0.0018	0.041 ± 0.045	n.d.	n.d.	n.d.	0.054 ± 0.054
Menthol	100 ± 20	9.7 ± 0.61	0.051 ± 0.016	0.42 ± 0.22	110 ± 20	100 ± 19	7.2 ± 0.42	0.071 ± 0.073	1.2 ± 0.13	110 ± 19
4-Ethyl guaiacol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eugenol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.026 ± 0.0049	0.013 ± 0.014	n.d.	n.d.	n.d.	0.034 ± 0.016
<b>Others</b>										
Nicotine (mg/stick)	0.25 ± 0.043	27 ± 2.9	2.5 ± 0.38	n.d.	30 ± 3.3	1.7 ± 0.33	40 ± 9.2	2.3 ± 0.32	n.d.	44 ± 9.8
<b>Tropical Swirl</b>										
	cartridge	filter	fishtale	impinger	total	cartridge	filter	fishtale	impinger	total
<b>Furans</b>										
Furfural	4.3 ± 0.62	0.014 ± 0.011	n.d.	0.010 ± 0.0028	4.4 ± 0.62	4.1 ± 0.70	n.d.	n.d.	n.d.	4.1 ± 0.70
Furfuryl Alcohol	9.2 ± 1.0	0.010 ± 0.0038	0.011 ± 0.015	n.d.	9.3 ± 1.0	8.0 ± 0.69	n.d.	n.d.	0.013 ± 0.0046	8.0 ± 0.69
2(5H)-furanone	0.14 ± 0.014	n.d.	n.d.	n.d.	0.14 ± 0.015	0.14 ± 0.017	n.d.	n.d.	n.d.	0.14 ± 0.017
5-methylfurfural	1.7 ± 0.18	0.054 ± 0.014	n.d.	n.d.	1.7 ± 0.18	1.2 ± 0.23	0.049 ± 0.020	n.d.	n.d.	1.3 ± 0.25
<b>Pyridines</b>										
Pyridine	0.44 ± 0.073	n.d.	n.d.	n.d.	0.44 ± 0.073	0.44 ± 0.044	n.d.	n.d.	n.d.	0.45 ± 0.040
2,6-Dimethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010 ± 0.0013
2,5-Dimethylpyrazine	0.023 ± 0.0071	n.d.	n.d.	n.d.	0.037 ± 0.011	0.053 ± 0.010	n.d.	n.d.	n.d.	0.059 ± 0.014
2-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3-Ethylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4-Ethenylpyridine	0.36 ± 0.040	0.096 ± 0.0040	0.062 ± 0.011	n.d.	0.52 ± 0.038	0.37 ± 0.026	0.10 ± 0.0079	0.052 ± 0.0074	n.d.	0.52 ± 0.027
3-Ethenylpyridine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.011 ± 0.0092	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.018 ± 0.0041
2,3,5-Trimethylpyrazine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.013 ± 0.0071	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010 ± 0.0035
<b>Additives</b>										
Benzyl Alcohol	0.041 ± 0.011	0.071 ± 0.014	0.026 ± 0.012	n.d.	0.14 ± 0.034	0.18 ± 0.055	0.064 ± 0.0095	0.012 ± 0.0064	0.023 ± 0.016	0.28 ± 0.053
Linalol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017 ± 0.0043	0.015 ± 0.0036	n.d.	n.d.	n.d.	0.028 ± 0.0042
Menthol	74 ± 3.1	6.9 ± 1.4	0.034 ± 0.0078	0.94 ± 0.47	81 ± 3.4	86 ± 7.7	8.9 ± 0.66	0.048 ± 0.044	1.1 ± 0.44	97 ± 7.6
4-Ethyl guaiacol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eugenol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.021 ± 0.016	n.d.	0.014 ± 0.022	n.d.	n.d.	0.031 ± 0.025
<b>Others</b>										
Nicotine (mg/stick)	1.2 ± 0.38	35 ± 4.5	2.1 ± 0.72	0.010 ± 0.0072	39 ± 4.9	n.d.	18 ± 5.5	1.7 ± 0.39	0.011 ± 0.0034	20 ± 5.9
<b>True Berry Boost</b>										