令和７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

加熱式たばこなど新たなたばこ製品の成分分析と生体影響研究を組み合わせた能動喫煙・受動喫煙の健康影響評価―未知成分の分析―

分担研究者　三宅　祐一　　横浜国立大学

研究要旨

加熱式たばこは、たばこ葉に香料等が添加されており、喫煙時に加熱されることによって紙巻たばこと異なる匂いが発生することが知られている。これは、紙巻きたばこのたばこ煙には含まれない未知物質が存在することを示唆している。そこで本研究では、市販加熱式たばこ製品を対象として、GC-MS Scan 分析により主流煙およびたばこ葉中成分の網羅的解析を行った。その結果、製品特異的に検出される成分が複数確認され、既報が限られる未知成分の存在が示唆された。特に、香料由来成分、材料由来添加物および加熱過程に伴う熱分解生成物が主流煙中へ移行・生成していることが明らかとなった。また、一部製品では、ベンズアミド骨格を有する検出報告がない化合物の存在が推定され、製品ごとの加熱条件や添加成分の違いが主流煙中化学組成に影響を与えることが示唆された。さらに、Nicotine 誘導体や furan 類、pyranone 類などの生成挙動から、加熱過程における熱分解反応が未知物質生成に関与していることが示唆された。今後は、GC×GC-TOFMS や GC-Orbitrap-MS を用いた高分離・高精度分析により未知成分の構造推定を進めるとともに、生成機構および曝露影響について詳細に検討する予定である。

A. 研究目的

加熱式たばこ製品は、改正健康増進法において「指定たばこ」という位置付けとなっており、紙巻たばこと比較して販売の歴史が浅いことから、現時点の科学的知見は、加熱式たばこの能動喫煙・受動喫煙による将来的な健康影響が未解明な点も多く、更なる科学的根拠の蓄積が必要とされている。特に、加熱式たばこは、たばこ葉に香料等が添加されており、喫煙時に加熱されることによって紙巻たばこと異なる匂いが発生することが知られている。つまり、紙巻きたばこのたばこ煙には含まれない未知物質が存在することが考えられる。

そこで本研究では、市販されている多様な製品を対象に GC-MS の Scan 分析を用いて、加熱式たばこの主流煙・たばこ葉中の未知物質の推定を行った。さらに、生成要因や経路を明らかにするため、推定された物質の生成機構の検討を行った。

B. 研究方法

1. たばこ試料

加熱式たばこは、3 製品 6 銘柄で、glo hyper pro は KENT TRUE TOBACCO，neo Tropical Swirl, IQOS ILUMA は TEREA REGULA, TEREA SUNPEARL, Ploom X ADVANCED は CAMEL MENTHOL PURPLE, MEVIUS DEEP REGULAR を使用した。

2. 加熱式たばこ主流煙の化学物質の分析

<u>加熱式たばこ主流煙の捕集</u>

たばこ主流煙の捕集法は、自動喫煙装置（LM4E, Borgwaldt KC GmbH）を用いて HCI 法を行った。HCI 法は、(一服につき 2 秒間で 55 mL 吸引、30

秒毎 に一服させ、通気孔は全封鎖状態)は Health Canada Intense protocol T-115 に準拠して行った。すべての喫煙法は 1 本あたりの吸煙を 12 回とした。たばこ主流煙中の粒子成分は、アルミ製のホルダー内にガラス繊維フィルターを設置し捕集した。

加熱式たばこ主流煙およびたばこ葉の成分分析

主流煙を捕集したフィルターを遠沈管に入れ、30 mL のジクロロメタンを加え、15 分間超音波抽出を行った。溶媒を取り替えながら同じ操作を 3 回行い、抽出液をまとめた後、濃縮し、溶媒をイソオクタン 1 mL とした。たばこ葉はたばこスティック 1 本分から 5 mg 採取し、同様の前処理法でサンプルを作成した。これらのサンプルを GC-MS の Scan モードで分析した。物質の推定には NIST、AIST などのマススペクトルライブラリを用いた。

C. 結果及び考察

加熱式たばこ主流煙およびたばこ葉の成分分析

加熱式たばこ 6 銘柄の主流煙について、GC-MS の Scan 分析で推定された物質は、たばこ葉由来の物質、着香目的添加物、材料品添加物、熱分解生成物に大別された（図１）。Nicotine は保持時間（RT）23 min に飽和したピークで認められ、スペクトルは既報のデータと一致した。全銘柄の主流煙およびたばこ葉で推定された Palmitic acid および 9-Eicosyne、Tocopherol は、植物成分に一般的に含まれる物質であり、たばこ葉由来の物質として分類した。

添加物としては、全ての銘柄において主流煙・たばこ葉の双方から、Menthone および Menthol が RT 18–19 min に推定された。また、TEREA SUNPEARL から Anethole、neo Tropical Swirl から cineole、 Ethyl vanillin やラクトン系の化合物が主流煙から推定された。これらの物質は、その特性から香料として添加されていると考えられる。TEREA SUNPEARL や neo Tropical Swirl から検出された香料成分は、いずれもたばこ葉からは検出されなかった。両銘柄がカプセル搭載スティックであることから、当該香料はカプセルに添加されており、加熱時に主流煙へ移行したことが示唆された。

材料品添加物としては、全銘柄において、たばこ葉から 1,3-Di-*tert*-butylbenzene（RT 20.2 min）、2,4-Di-*tert*-butylphenol（RT 27.0 min）が検出された。さらに、Ploom X の両銘柄においては、主流煙中からも 2,4-Di-*tert*-butylphenol が検出された。加えて、本研究で主流煙中に検出された Citrate 類 2 物質は可塑剤として含有していることが報告されている[1][2]。これはたばこスティックの材料品に使われている原料が、加熱により主流煙中に移行したためであると考えられる。

Ploom X ADVANCED の両銘柄の主流煙とたばこ葉において、RT 28.4 min に特徴的なピークが認められた。ライブラリ検索の結果、このピークは *N*-propylbenzamide に類似したマススペクトルを示した（図 2）。また、同銘柄において RT 45.5 min 付近に類似したスペクトルを有するピークが複数存在した。neo Tropical Swirl のたばこ葉におけるクロマトグラムでは、RT 26.2 min に特徴的なピークが認められ、*N*,*N*-Diethylbenzamide のスペクトル（図 3）および RT と一致した。紙巻きたばこおよび加熱式たばこ中にベンズアミド骨格を持つ物質の検出例は Benzamide のみと限られているが[3]、本研究では、*N*-Propylbenzamide、*N*,*N*-Diethylbenzamide のような、部分構造にベンズアミドを有する物質が加熱式たばこの主流煙およびたばこ葉中に存在することが示唆された。より網羅的な物質推定のため、分離能の高い GC×GC-TOFMS や精密質量測定に対応した GC-Orbitrap-MS による分析を行う予定である。また、これらの結果は、Ploom X ADVANCED の加熱条件に起因して、たばこ葉に添加される成分が主流煙へ移行していることが示唆された。製品の加熱条件の違いにより、主流煙へ移行する物質が異なることが示され、製品間における物質組成の比較も行う予定

である。

加熱式たばこ主流煙における生成機構の検討

全製品の主流煙において、Myosmine（RT 24.9 min）および Cotinine（RT 31.5 min）の Nicotine 誘導体が推定された。紙巻きたばこにおける既往研究では、これらの物質が 300℃以上の加熱条件下で Nicotine の熱分解により生成することが報告されている[4]。本研究においても同様に加熱式たばこ主流煙から当該物質が確認され、加熱過程における Nicotine の分解が示唆された。また、全製品の主流煙において、furan 骨格を有する物質が Furfural（RT 7.3 min）、3-Furaldehyde（RT 7.4 min）、Furfuryl alcohol（RT 8.2 min）と推定された。MEVIUS DEEP REGULAR の主流煙では RT 17.7 min に Pyrone 骨格を有する 3,5-Dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydropyran-4-one が推定された。これらの酸素含有複素環化合物は、たばこ葉からは検出されなかったことから、生成要因は加熱過程にあると考えられる。既往研究によれば、Furfural は 25–600℃の加熱条件下で Cellulose、Hemicellulose など多糖類成分の熱分解によって生成し[4]、3,5-Dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydropyran-4-one はアミノ糖から 300℃以下の加熱条件下で熱分解を受け生成することが報告されている[4]。たばこ葉にはアミノ糖類が含まれ[5]、加熱式たばこの葉には結合剤として Cellulose などの多糖類が添加されていることが報告されている[6]。したがって、当該物質は、多糖類およびアミノ糖が加熱時に熱分解して生成したものであることが示唆された。今回、検討を行った Furfural や Pyranone と同様に、他の物質も加熱過程によって生成することが考えられる。今後は、加熱過程において生成する未知物質について検討する予定である。

D. 結論

加熱式たばこ主流煙中の成分について定性分析を行ったところ、特定の加熱式たばこ主流煙中にのみ検出されたピークがあり、これまでに報告事例がないと考えられる未知成分が検出された。同様にたばこ葉中の成分の推定も行い、加熱過程において生成する未知物質の検出要因について今後詳細に検討する。

D. 参考文献

[1] JT ウェブサイト　材料品添加物リスト (参照:2026/5/1

[2] Mina W *et al.*, Chem. Res. Toxicol. 34(10), 2216–2226, (2021)

[3] Schumacher, J.N., *et al.*, Journal of Agricultural and Food Chemistry,. 25(2), 310-320, (1977)

[4] Baker, R.R., Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 11, 555-573, (1987)

[5] Schmeltz, I. and D. Hoffmann, 77(3), 295-311, (1977)

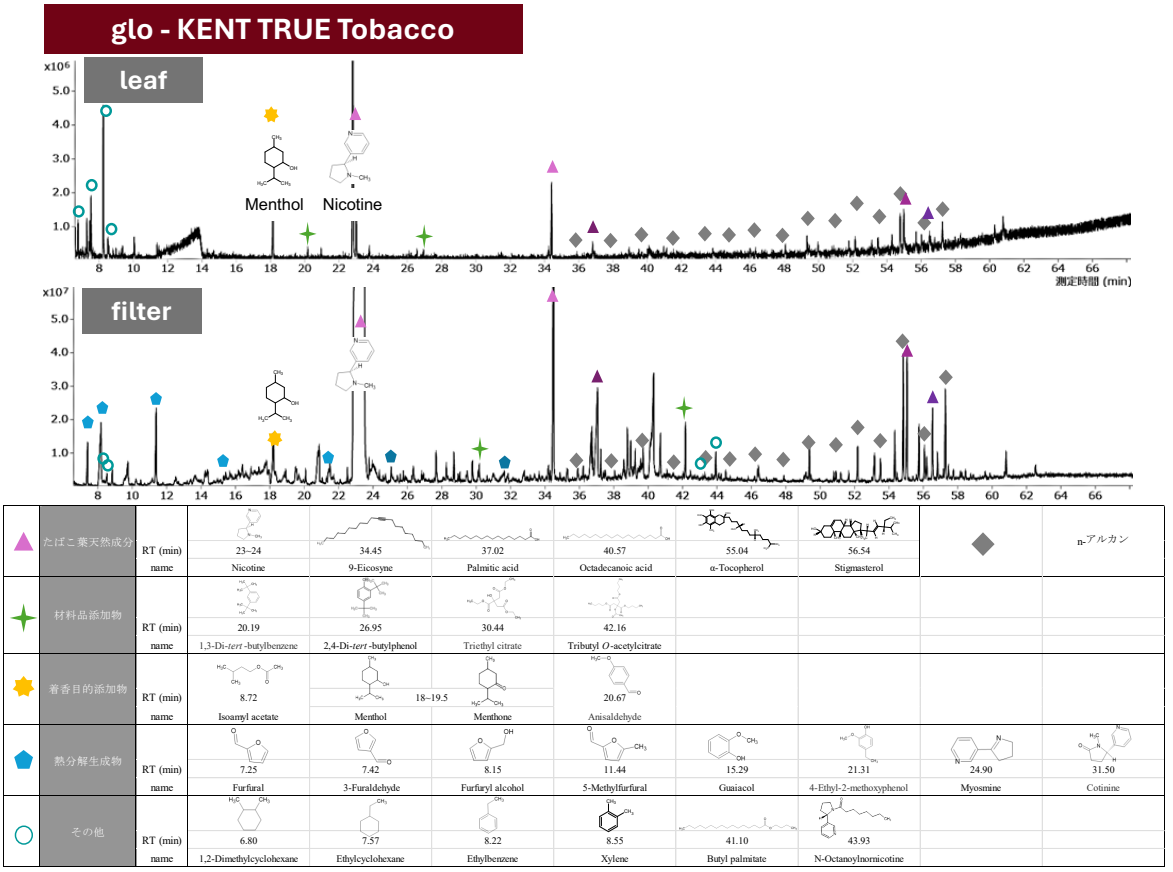
[6] JT ウェブサイト　たばこ添加物リスト (参照:2025/10/5)

F. 研究発表

1. 南村紬, 稲葉洋平, 三宅 祐一, 加熱式たばこ主流煙中の PAHs・ハロゲン化 PAHs の含有実態調査と未知成分推定, 第 33 回環境化学討論会, 山形. (2025 年 7 月)【優秀発表賞（Presentation Award）受賞】
2. 南村紬, 稲葉洋平, 三宅 祐一, 加熱式たばこ主流煙における未知物質の推定と生成機構の検討, 2025 年室内環境学会学術大会, 北九州. (2025 年 12 月)

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし



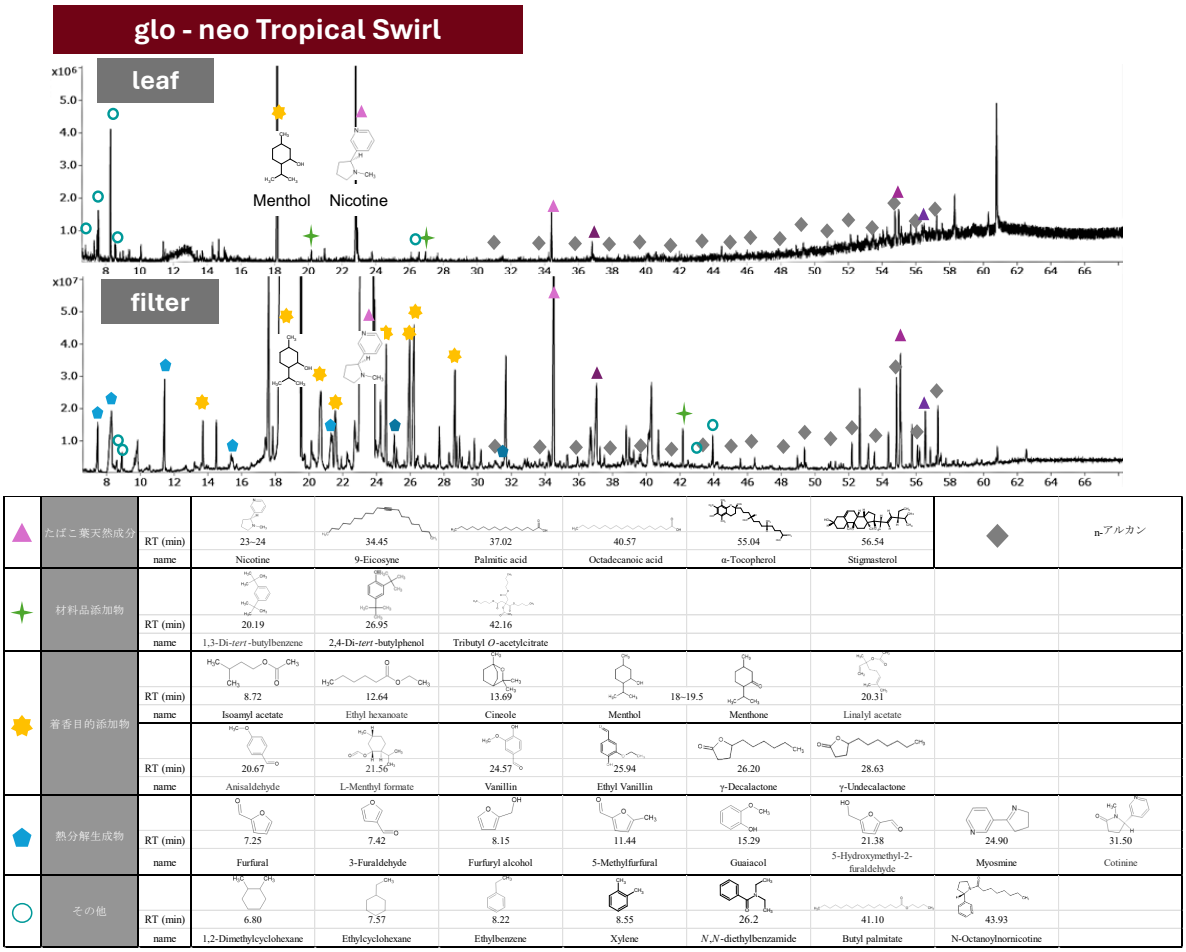
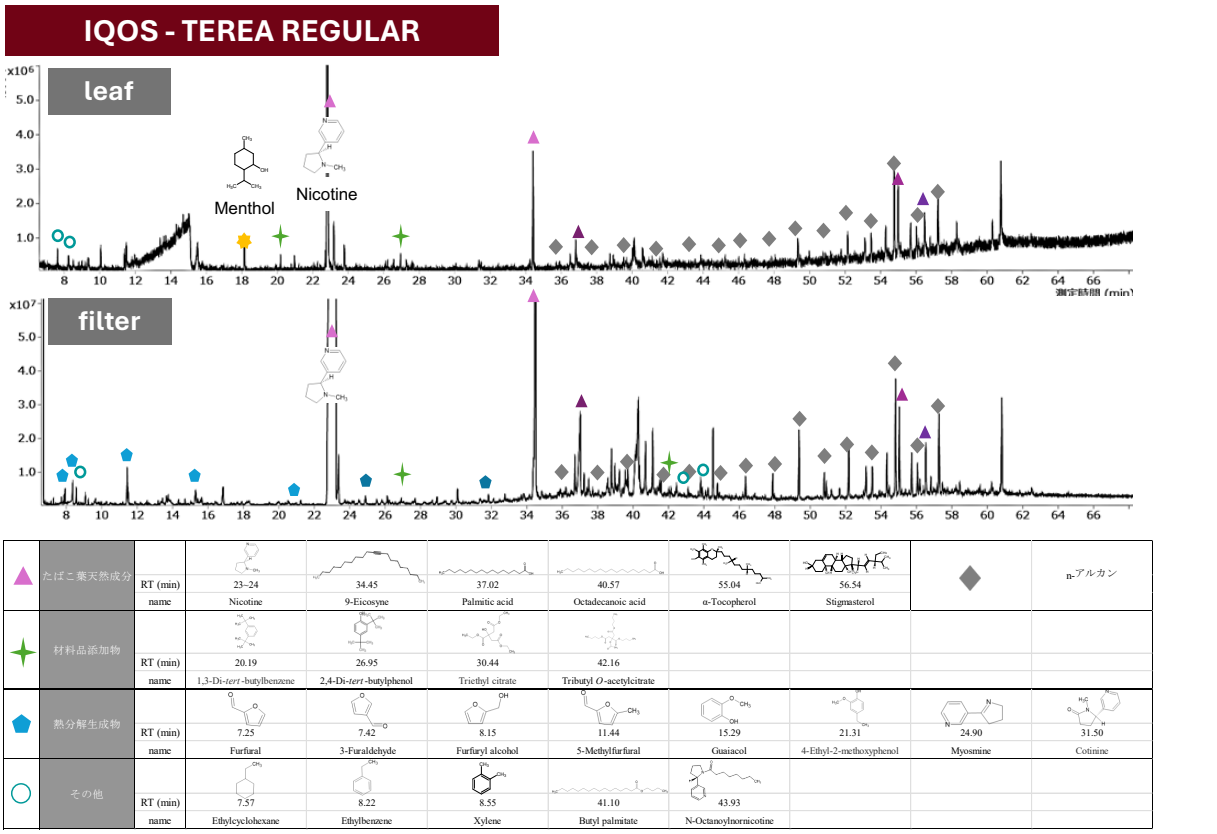


図 1　各銘柄における加熱式たばこ主流煙 GC-MS クロマトグラム



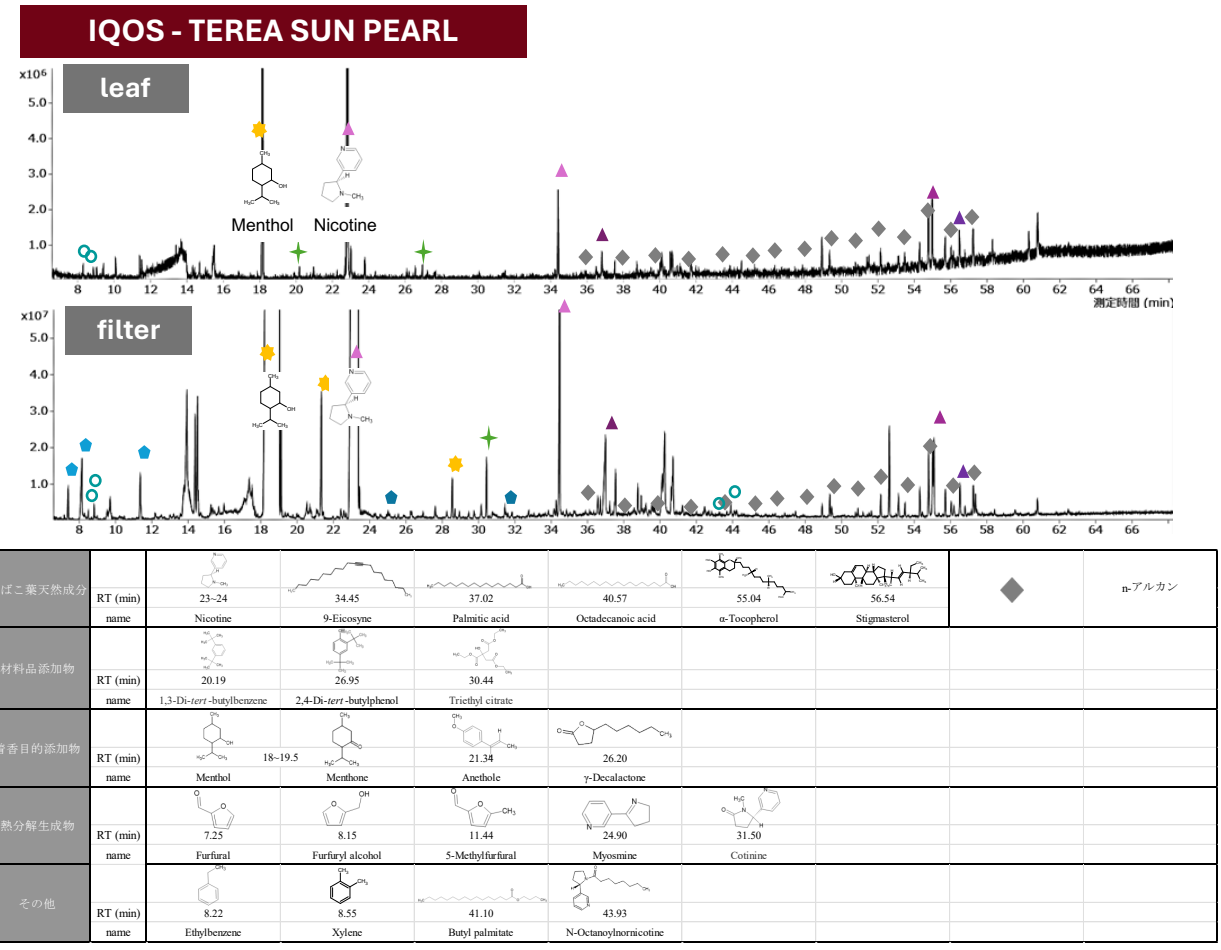
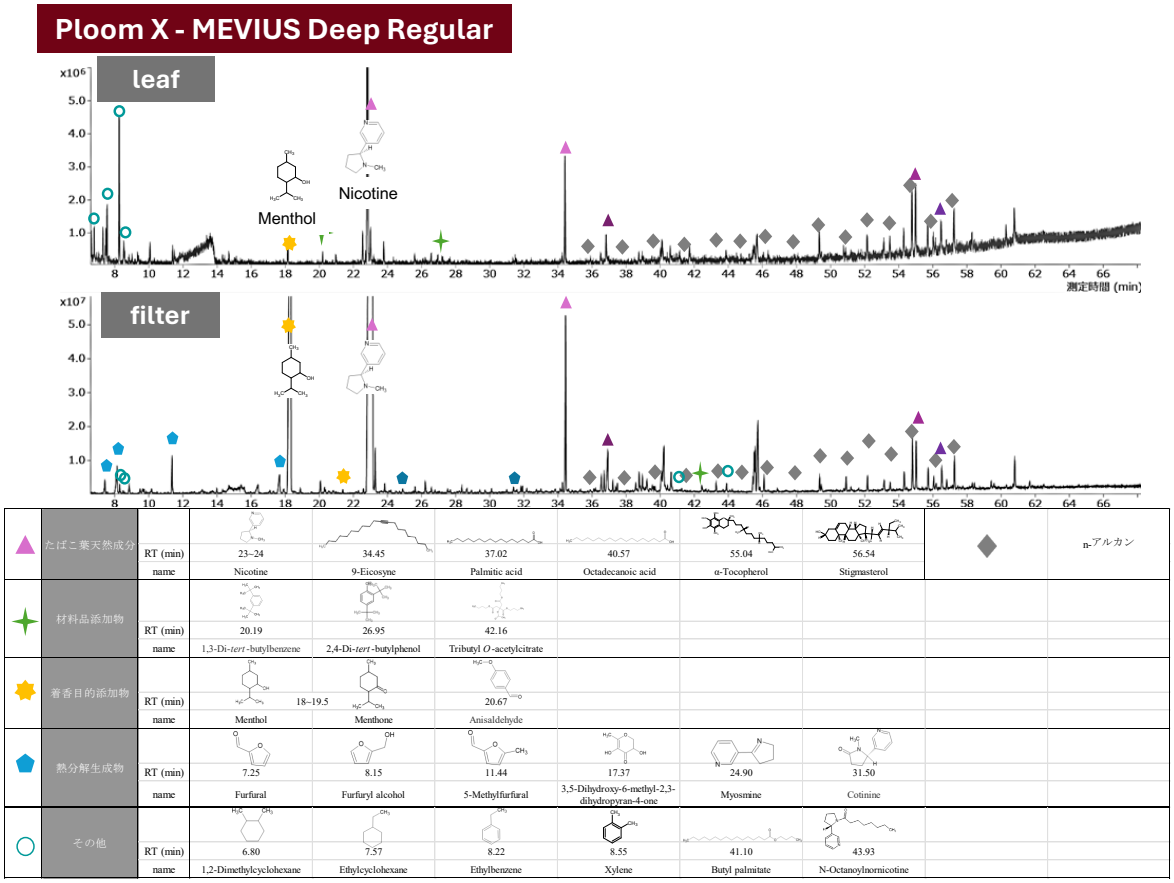


図 1　各銘柄における加熱式たばこ主流煙 GC-MS クロマトグラム（続き）



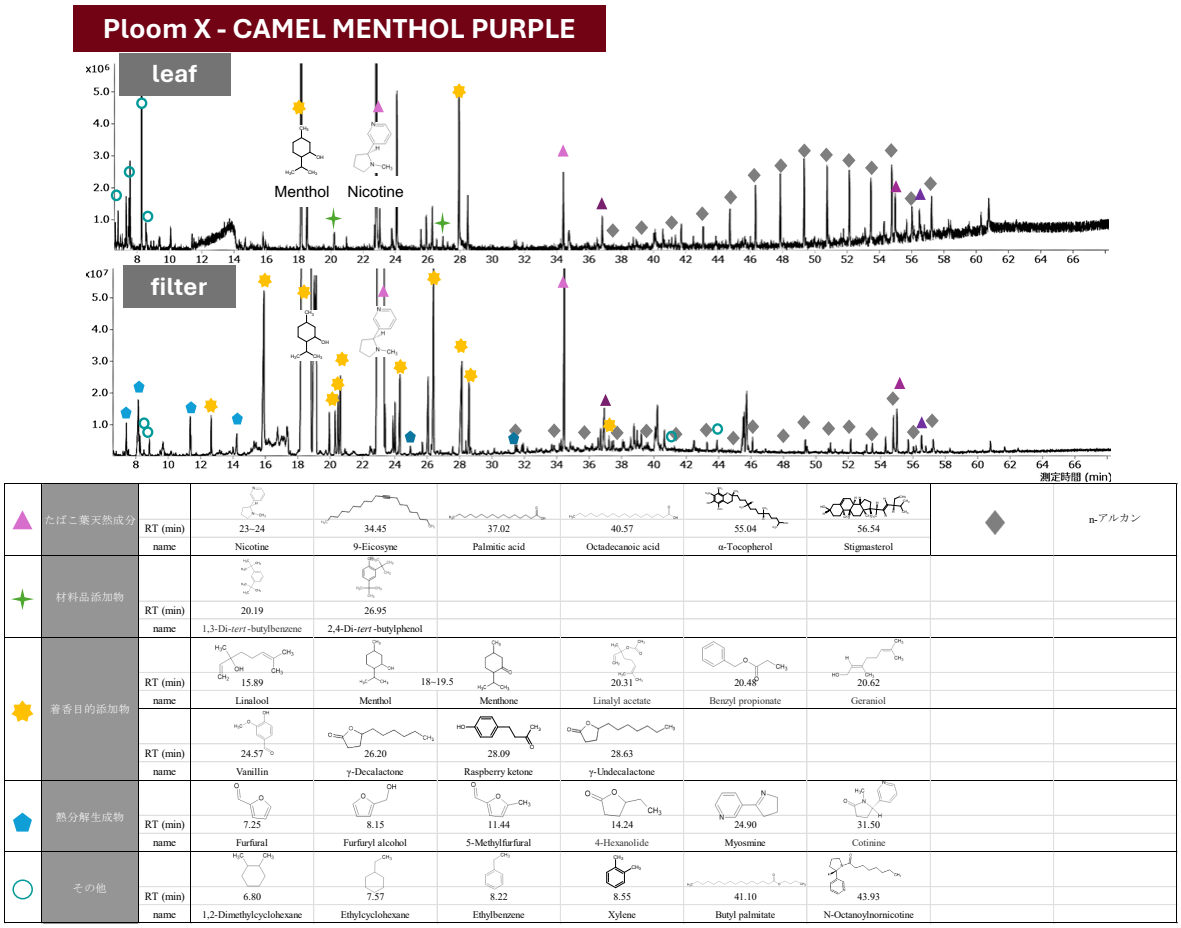


図 1　各銘柄における加熱式たばこ主流煙 GC-MS クロマトグラム（続き）

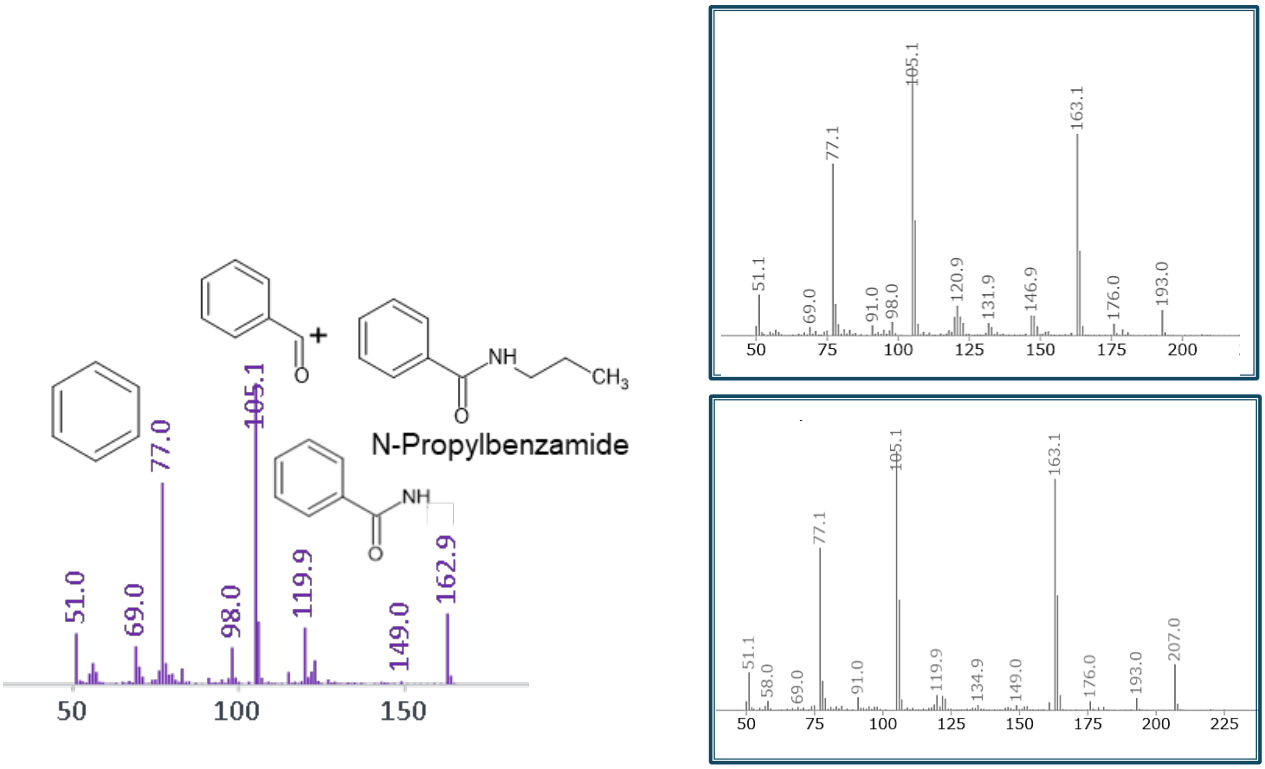


図 2　　*N*-Propylbenzamide の類似スペクトルおよび関連スペクトル（RT 45 min 付近）

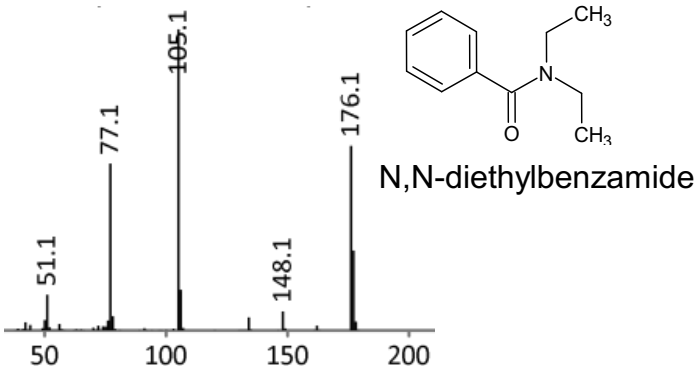


図 3　　*N,N*-Diethylbenzamide のマススペクトル