

令和4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

紙巻たばこ用加熱装置から発生する有害化学物質の分析

分担研究者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院
分担研究者 高橋 秀人 国立保健医療科学院
分担研究者 中田 光紀 国際医療福祉大学
研究協力者 須藤 江里子 明治薬科大学

研究要旨

現在、日本では紙巻たばこ用加熱装置が販売されており、その装置を使用し喫煙した場合に有害化学物質の曝露量が開示されていない状況である。本研究では国内で販売されている紙巻たばこ用加熱装置を購入し、紙巻たばこで吸煙した条件で発生する主流煙に含まれるタール・ニコチン・一酸化炭素・TSNAsの分析を行った。紙巻たばこ加熱装置は、装置使用法が2種類存在している。1つは紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプと紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプに分かれている。それぞれの装置10製品について評価を行った。その結果は、ニコチン量が1 mg/cig、発生し、主流煙CO量 (mg/cig) は0.012-5.83となった。さらにたばこ特異的ニトロソアミン量 (ng/cig) は16.8-11021となった。本研究から同じ紙巻たばこ銘柄を各製品で分析した結果は、製品ごとに発生量が異なることが確認された。この結果から紙巻たばこ用加熱装置と紙巻たばこ銘柄の組合せによって、有害化学物質の曝露量は大きく変動することに留意し使用する必要がある。

A. 研究目的

改正健康増進法が2020年4月から本施行され、飲食店などの喫煙室の要件に変化が出てきた。特に加熱式たばこ専用室が設けられ、この喫煙室は経過措置ではあるが飲食が可能となっている。2014年に販売開始されたIQOS以降、加熱式たばこの普及が進んできている。最近、紙巻たばこ喫煙者に向けて加熱式たばこ専用室で使うことが可能な「紙巻たばこ専用の加熱装置」の販売が行われるようになった。この加熱装置は、1本の紙巻たばこを分割して使用する。そのため1本の紙巻たばこで3回喫煙可能になるため、経済的メリットを紹介している。この紙巻たばこ加熱装置から発生する主流煙の有害化学物質の含有量に関しては販売会社からも情報が無い状況である。そこで本研究では、これまでに我々行なって

きた加熱式たばこ製品から発生する主流煙の有害化学物質分析法を応用し、「紙巻たばこ加熱装置」から発生する主流煙成分の分析を目的とした。今回注目した成分はタール、ニコチン、一酸化炭素、たばこ特異的ニトロソアミン (TSNA) の4つである。タールはたばこ主流煙から発生する粒子成分である。タールには、たばこ特異的ニトロソアミンなどの発がん性物質が多く含有されている。ニコチンは強い依存性がある。一酸化炭素は血液の酸素運搬能力を低下させ、血管の動脈硬化を促進する。TSNAはたばこに含まれるアルカロイドがニトロソ化することによって生成される発がん物質である。この中の4-(Methylnitrosoamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK)、N'-nitrosonornicotine (NNN)、N'-nitrosoanatabine (NAT)、N'-nitrosoanabutine (NAB)

の4成分を対象として分析した。

B. 研究方法

1. 分析対象加熱式たばこ

紙巻たばこ加熱装置は、装置使用法が2種類存在している。1つは紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプ(Aタイプ)と紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプ(Bタイプ)に分かれている。使用した紙巻きたばこ用加熱装置は、紙巻きたばこを直接挿入する製品(Aタイプ)であるVP Style、HIMASU、YOWO、THERMALOU、たばこ葉を充填する製品(Bタイプ)のFy Hit eco-S、Herbva 5G、weeGio T8、FENiX+、FENiX MINI PRO、C VAPOR 4.0の計10製品を使用した。なお、試料は主流煙捕集前48時間から10日間、温度 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 3\%$ で恒温・恒湿化を行った。この各たばこ銘柄に対応する加熱装置をブランド毎に5台ずつ購入した。各主流煙の捕集は、1台あたり1サンプルとし、5台による捕集・分析結果を平均値とした。

2. たばこ主流煙の化学物質の分析

たばこ主流煙の捕集

たばこ主流煙の捕集方法は、自動喫煙装置(LM4E、Borgwaldt KC GmbH)を用いてHCl法を行った。HCl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(1、2)に準拠して行った。すべての喫煙法の1回あたりの吸煙回数は12とした。たばこは、ISO 3402(3)に従って捕集前に恒温恒湿化を行い、たばこ主流煙中の総粒子状物質(total particle matter; TPM)はCambridge filter pad (CFP、 $\phi 44$ mm、Borgwaldt KC GmbH)で捕集した。HCl法では1枚につき、たばこ3本分の主流煙を捕集し、1試料とした。たばこ銘柄ごとに5試料調製し、それぞれ測定に供した。

主流煙の分析

ニコチン、一酸化炭素の分析

捕集後のCFPは、2-プロパノール(20 mL)を添加し、室温で20 minの振とう抽出を行った。2-プロパノール抽出液中のニコチン濃度はISO 10315(4)に準じて、ガスクロマトグラフ水素炎イオン化検出器(GC/FID)により分析を行った。COは、ISO 8454(5)に準じて、非分散型赤外線分析計(Non-dispersive infrared; NDIR、IR200、横河電機製)を用いて分析した

水分分析

水分は、WHO TobLabNet SOP10に基づいて行った(6)。主流煙を捕集したCFPをイソキノリンが添加された2-プロパノールによって水分を抽出し、ガスクロマトグラフ熱伝導度型検出器(GC/TCD)で分析を行った。

タール算出法

タールは、WHO TobLabNet SOP10に基づいて分析を行った。タールの定量方法を以下に示す。粗タールは、粒子成分を捕集した全ての重量である。この粗タール量から、同時に捕集されたニコチンおよび水分量を差し引いた値がタール量として、紙巻たばこ外箱に表示されている。

タール量 = 粗タール量 - (ニコチン量 + 水分量)

TSNAs

4成分のTSNA(*N'*-nitrosonornicotine (NNN)、4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK)、*N'*-nitrosoanatabine (NAT)、*N'*-nitrosoanabasine (NAB))は、WHO TobLabNet SOP3の分析を採用し(7)、CFPを振とう抽出後、得られた抽出液を固相抽出後に高速液体クロマトグラフ/タンデム型質量分析計(LC/MS/MS)に供した。

C. 結果及び考察

1. 主流煙タール・ニコチン・一酸化炭素

直接加熱する装置 (A タイプ) 4 製品の主流煙ニコチン量 (mg/cig) は 0.37-1.53 となり、紙巻たばこのたばこ葉のみを加熱する装置 (B タイプ) 5 製品のニコチン量は 0.57-1.78 であった (Fig. 2)。紙巻たばこを HCl 法で捕集した結果は 2 mg/cig 程度となっており、紙巻たばこ加熱装置の分析結果はその値よりも低値であるものの、紙巻きたばこ挿入型、充填型共に 1.0mg/stick を上回っている加熱装置が 10 製品中 7 製品もあった。これらの結果から喫煙者は、紙巻たばこ加熱装置を使用しても十分なニコチン量を摂取していると考えられた。

次に水分量は、直接加熱する装置 (A タイプ) 4 製品の主流煙水分量 (mg/cig) は 13.1-32.4 となり、紙巻たばこのたばこ葉のみを加熱する装置 (B タイプ) 5 製品の水分量は 2.33-9.61 であった。水分量の傾向としては、喫煙時に紙巻たばこを 1 本使用する A タイプの方が高くなっていた。また、紙巻たばこを燃焼して使用した場合と比較すると加熱装置を使用した方が高くなっていた。

タール量は、直接加熱する装置 (A タイプ) 4 製品の主流煙タール量 (mg/cig) は 6.16-18.7 となり、紙巻たばこのたばこ葉のみを加熱する装置 (B タイプ) 5 製品のタール量は 3.36-7.36 であった (Fig. 1)。タール量の傾向としては、加熱装置を使用した条件では、たばこ葉の燃焼が伴わないためタール量は少なくなる傾向にあった。

一酸化炭素 (CO) 量は、直接加熱する装置 (A タイプ) 4 製品の主流煙 CO 量 (mg/cig) は 0.03-5.83 となり、紙巻たばこのたばこ葉のみを加熱する装置 (B タイプ) 5 製品の CO 量は 0.012-0.25 となった (Fig. 3)。紙巻たばこ用加熱装置の CO 発生の傾向は、低値出会った紙巻たばこ用加熱装置は加熱式たばこに近い結果となった。一方で高値となった加熱装置においては、加熱温度が加熱式たばこよりも高いことが影響していると考えられた。

2. たばこ特異的ニトロソアミン類 (TSNAs)

主流煙 TSNAs 量は、直接加熱する装置 (A タイプ) 4 製品の主流煙 TSNAs 量 (mg/cig) は 16.3-1021 となり、紙巻たばこのたばこ葉のみを加熱する装置 (B タイプ) 5 製品の TSNAs 量は 68.0-916 であった (Fig. 4)。TSNAs の分析結果は、これまで我々が報告してきた加熱式たばこ TSNA 量よりも数倍高い結果となった。主流煙 TSNAs 量は、たばこ葉に含まれている TSNAs が主流煙に移行するため、たばこ葉の TSNAs 量が高い紙巻たばこを使用すると今回の結果が生じる。しかし、たばこ葉の TSNAs 量を銘柄ごとに公開する法律になっていないために、喫煙者が知ることは困難である。

本研究結果からニコチンは紙巻きたばこ挿入型、充填型共に 1.0 mg/stick を上回っている加熱装置が 10 製品中 7 製品確認された。これらの結果から喫煙者は、紙巻たばこ加熱装置を使用しても十分なニコチン量を摂取していると考えられる。タール量は挿入型が充填型に比べて値が高く、たばこ葉の 1 回分の使用量に関係すると考えられる。ガス成分である一酸化炭素は紙巻きたばこが 30.5 mg/本、加熱装置の中では THERMALOUC が 5.15mg/本と他の加熱装置と比較して高値であった。これは加熱温度が影響しており、THERMALOUC は加熱温度が高い設定になっていることが考えられる。次に TSNA は THERMALOUC や FENIX MINI PRO の分析値が紙巻きたばこより数値が上回っていた。以上の結果から、紙巻たばこ用加熱装置も人体への影響があると考えられる。また、同じたばこ銘柄を使用しているにもかかわらず、加熱装置ごとに成分の発生量が異なった。

D. 結論

現在、日本では紙巻たばこ用加熱装置が販売されており、その装置を使用し喫煙した場合に有害化学物質の曝露量が開示されていない状況である。本研究では国内で販売されている紙巻たばこ

用加熱装置を購入し、紙巻たばこで吸煙した条件で発生する主流煙に含まれるタール・ニコチン・一酸化炭素・TSNAsの分析を行ったところ、ニコチン量は1mg/cig.発生し、その他の有害化学物質も発生していた。本研究から同じ紙巻たばこ銘柄を各製品で分析した結果は、製品ごとに発生量が異なることが確認された。この結果から紙巻たばこ用加熱装置と紙巻たばこ銘柄の組合せによって、有害化学物質の曝露量は大きく変動することに留意し使用する必要がある。

E 参考文献

- (1) Health Canada Test Method T-115. Determination of the tar, water, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.
- (2) WHO. Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 01). Geneva, World Health Organization, 2012.
- (3) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.
- (4) ISO 10315. International Organization for Standardization. Determination of nicotine in smoke condensates-gas chromatographic method, second ed. 2000.
- (5) ISO 8454. Cigarettes -- Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke -- NDIR method. 2007.
- (6) WHO. Standard operating procedure for determination of nicotine and carbon monoxide in mainstream cigarette smoke under intense smoking conditions. WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 10). Geneva, World Health Organization, 2016.
- (7) WHO. Standard operating procedure for

determination of tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke under ISO and intense smoking conditions: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 03). Geneva, World Health Organization, 2014.

F. 研究発表

1.学会発表

1. 稲葉洋平、若井美樹、内山茂久、戸次加奈江、牛山明. たばこ主流煙の多環芳香族炭化水素類の捕集および分析法の確立と国内販売銘柄への適用. 第82回分析化学討論会(茨城、水戸) 2022.5.14-15. 同 pdf 要旨集 P2137.
2. 稲葉洋平、内山茂久、戸次加奈江、杉田和俊、鳥羽 陽、牛山明. 加熱式たばこ製品の主流煙に含まれる多環芳香族炭化水素類の捕集及び分析法の確立. 第30回環境化学討論会(富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p540-541.
3. 杉田和俊、小林 寛、稲葉洋平. 加熱式タバコの水銀含有量. 第30回環境化学討論会(富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p557-558.
4. 齋藤みのり、清水萌花、内山茂久、櫻田尚樹、稲葉洋平、牛山明、小倉裕直. 加熱式タバコ主流煙の化学物質発生量に及ぼす加熱温度の影響. 第30回環境化学討論会(富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p464-465.
5. 稲葉洋平、須藤江里子、戸次加奈江、内山茂久、牛山明. 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙に含まれる有害化学物質. フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー. 2022.8.30-31. (熊本). 同講演抄録集. p.295.

6. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 2020年から販売された加熱式たばこの成分分析と初期型加熱式たばこの比較. 第81回日本公衆衛生学会総会. 2022.10.7-9. (甲府) 同講演抄録集. p322.
7. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 電子たばこの連続使用によって発生する主流エアロゾルの一酸化炭素、フェノール類の分析. 第59回全国衛生化学技術協議会年会. 2022.10.31-11.1. (川崎). 同協議会講演集. p.214-215.
8. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ副流煙の捕集・分析法の確立 2022年室内環境学会学術大会. 2022.12.1-2. (東京) 同講演要旨集. P142-143.
9. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 「シンポジウム 2 「加熱式タバコの最新のエビデンス」」加熱式タバコ、電子タバコの成分分析 第32回日本禁煙推進医師歯科医師連盟学術総会. 2023.2.26. (北九州) 同抄録集. P40.
10. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 新型の加熱式たばこ主流エアロゾルに含まれる有害化学物質の分析 第93回日本衛生学会学術総会. 2023.3.2-4. (東京) 同講演集 S213.
11. 稲葉洋平, 須藤江里子, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 紙巻たばこ主流煙に含まれるアクリルアミド分析法の確立と国内販売銘柄の実態調査 日本薬学会第143年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.
12. 吉岡響, 吉田さくら, 安孫子ユミ, 戸次加奈江, 稲葉洋平, 鳥羽陽. 加熱式たばこ製品の主流煙に含まれる多環芳香族炭化水素キノン類の定量とたばこスティックの比較 日本薬学会第143年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.
13. 広田航太郎, 山口大雅, 小宮雅美, 稲葉洋平, 加藤孝一, 戸塚ゆ加里. 加熱式タバコの遺伝毒性評価 日本薬学会第143年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.
14. 佐藤光平, 澤麻里恵, 小池伸, 中舘和彦, 服部研之, 稲葉洋平, 牛山明, 小笠原裕樹. 加熱式たばこの主流煙暴露によるマウス肺におけるストレス応答の解析 日本薬学会第143年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.
- G. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

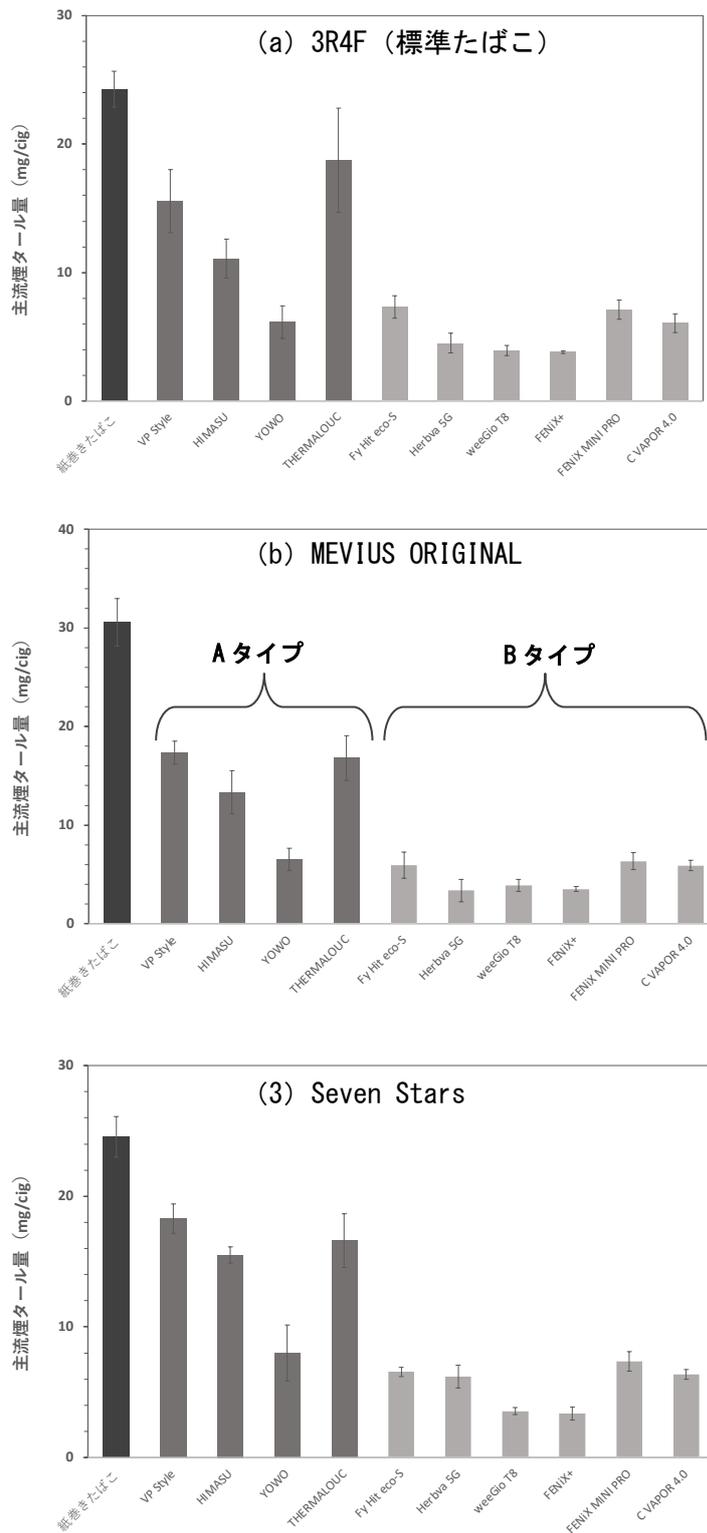


Fig.1 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙タール量
Aタイプ；紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプ
Bタイプ；紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプ

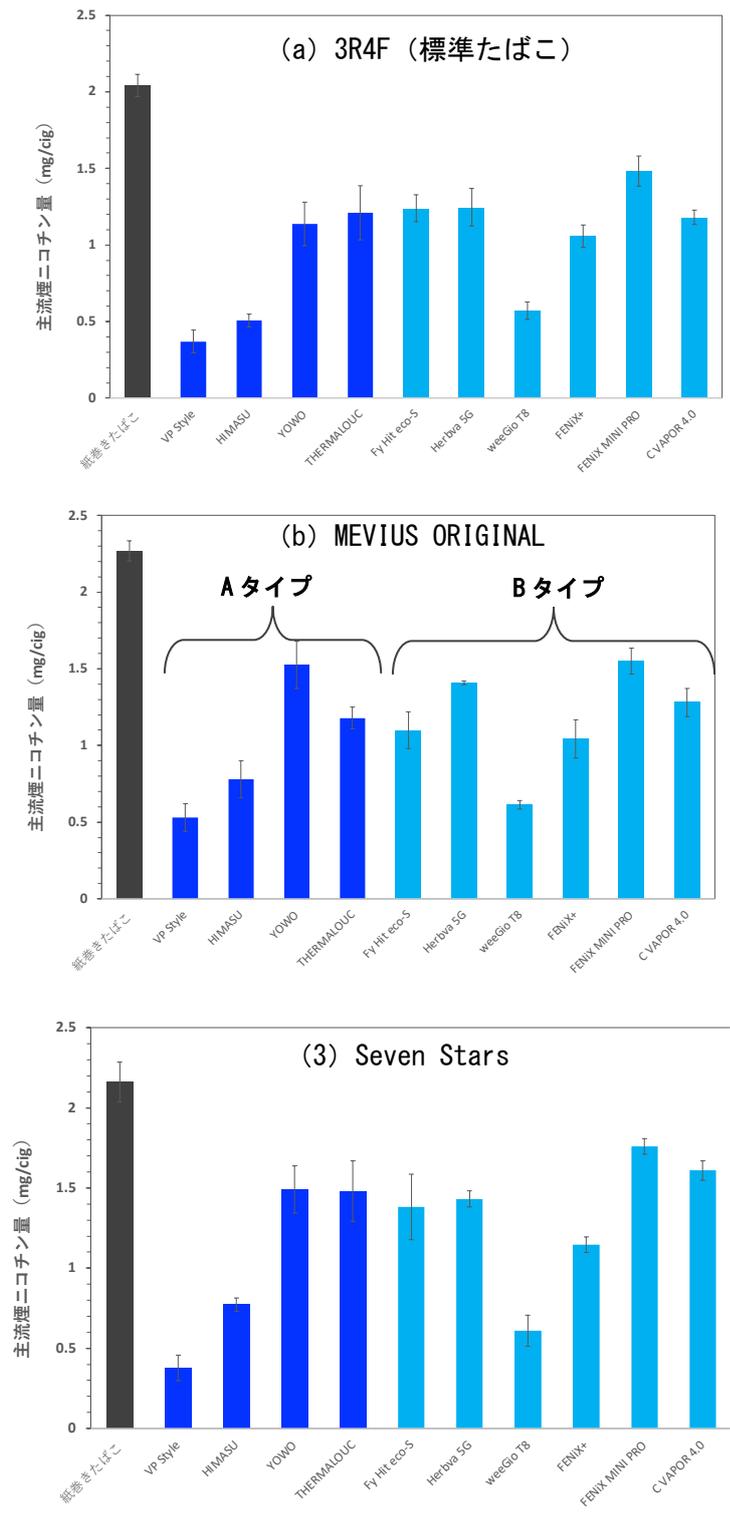


Fig.2 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙ニコチン量
 Aタイプ；紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプ
 Bタイプ；紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプ

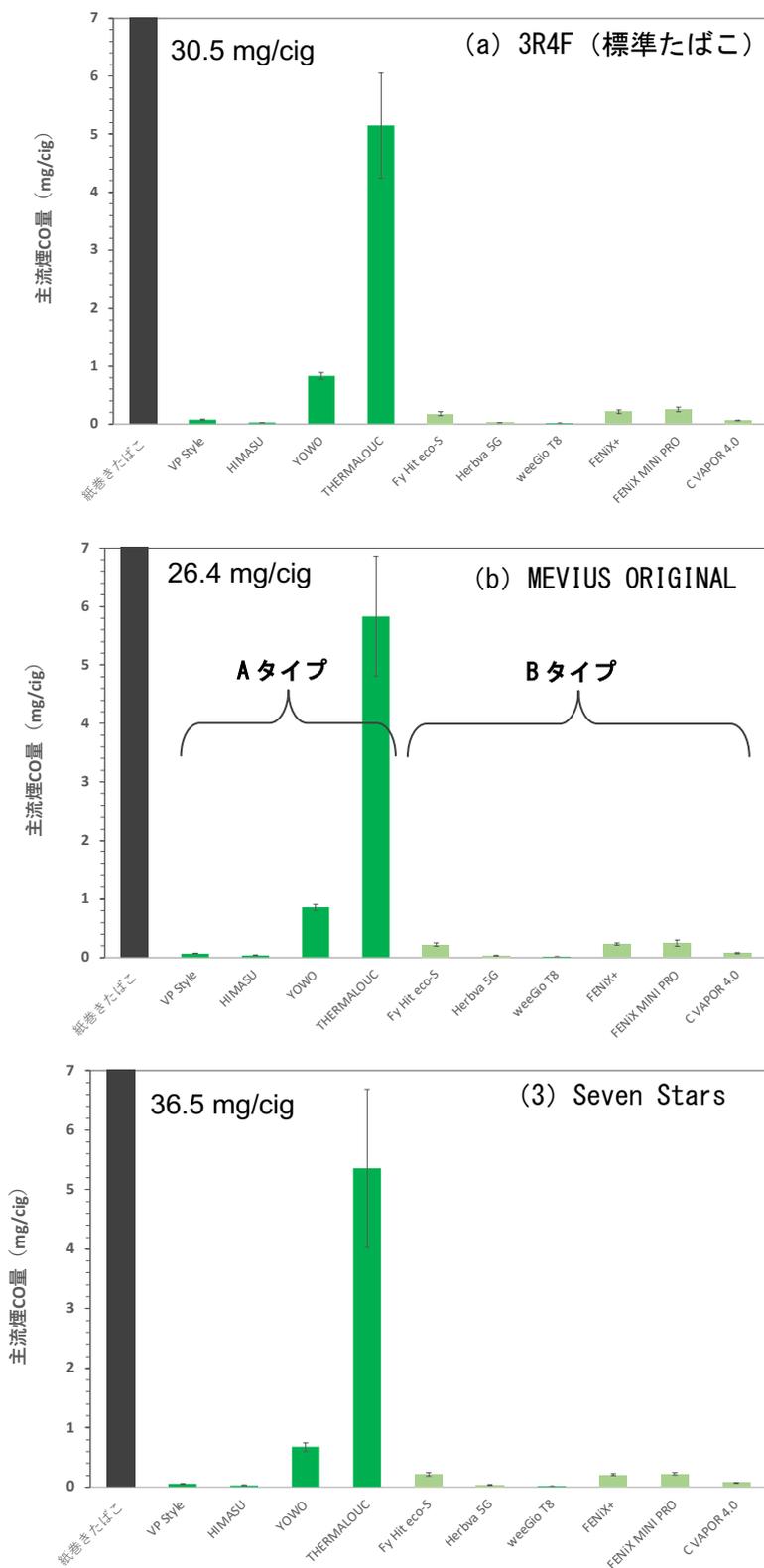


Fig.3 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙一酸化炭素量
 Aタイプ；紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプ
 Bタイプ；紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプ

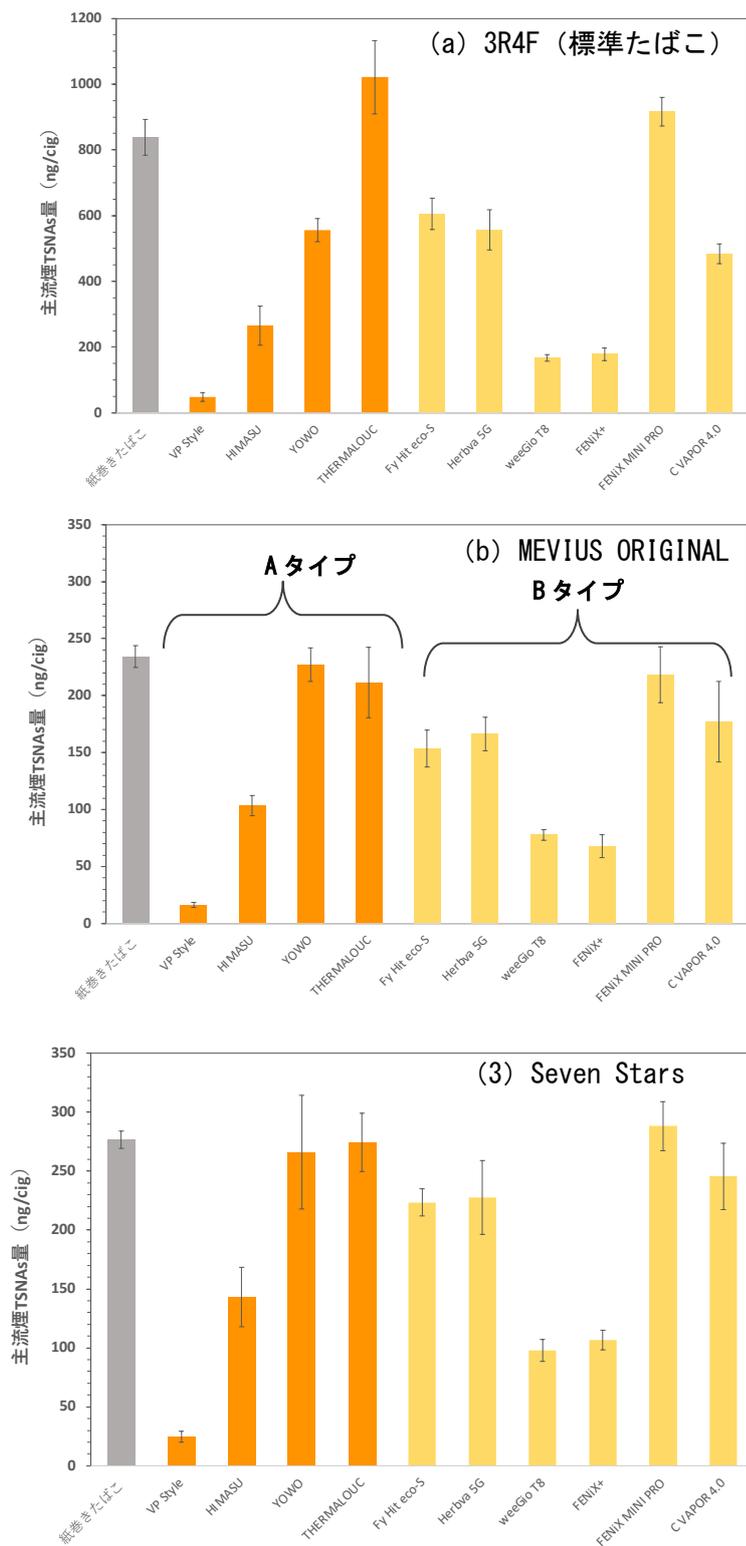


Fig.4 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙たばこ特異的ニトロソアミン量
 Aタイプ；紙巻たばこを直接装置に挿入し喫煙するタイプ
 Bタイプ；紙巻たばこからたばこ葉のみを充填するタイプ