

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00590

研究課題名（和文）レーザー蒸発型エアロゾル質量分析計を用いたブラックカーボンの新規データ活用法開発

研究課題名（英文）Development of new data utilization method of mass spectra of black carbon using laser-vaporization aerosol mass spectrometer

研究代表者

藤谷 雄二（Fujitani, Yuji）

国立研究開発法人国立環境研究所・環境リスク・健康研究センター・主任研究員

研究者番号：20391154

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：ブラックカーボン（BC）は人の健康影響、気候影響にとって重要な物質である。大気中のBCの発生源の寄与を評価し、対策をしていく必要がある。本課題では、12種のBC粒子および環境中において、BCの質量スペクトルを測定し、大気中BCの発生源寄与推定手法を確立した。中位炭素の割合を使いグラファイト構造か、アモルファス構造かが推定できることが示唆された。さらに他の成分も含めて統計的な手法を併用することが定量的な寄与評価に有効であることが示された。BCの発生源評価をより正確に行うためには、さらに様々な発生源のBC質量スペクトルを累積していくことが必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブラックカーボン（BC）は人の健康影響、気候影響にとって重要な物質である。自動車由来のBCは排ガス規制の強化により、大気環境中において減少しつつあり、今後は、その他の発生源の寄与も評価し、対策をしていく必要がある。一方で、工業ナノ材料のカーボンナノチューブ（CNT）は、吸入した際の健康影響が懸念されるため、CNTと他のBCとを識別する必要があるが、そのための手法開発が急務となっていた。本提案課題では、BC質量スペクトルを利用した統計的な手法により大気中BCの発生源寄与推定手法を確立した。この手法によりBCの寄与評価を行えば、排出源対策を打ったり、CNTの曝露評価が可能となる。

研究成果の概要（英文）：Black carbon (BC) is an important substance for health and climate effects. It is necessary to evaluate the contribution of the source of BC in the atmosphere and take countermeasures. In this study, we have established a method for estimating the source contribution of BC in the atmosphere by measuring the mass spectrum of BC in 12 kinds of BC particles and in the environment. It was suggested that the fraction of mid carbon could be estimated as graphite structure or amorphous structure. Furthermore, it was shown that the combined use of statistical methods including other components is effective for quantitative contribution of source of BC. For more accurate BC source evaluation, it is necessary to accumulate BC mass spectra of various sources.

研究分野：環境エアロゾル

キーワード：ブラックカーボン質量スペクトル 発生源寄与 ブラックカーボン カーボンナノチューブ エアロゾル質量分析計 エアロゾル 中位炭素

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ブラックカーボン (BC) あるいは元素状炭素は大気エアロゾルの中で主要な成分である。両者は光の吸収を利用して測定するか、熱分離法で測定するかの違いで名称が異なるが、光吸収性かつ難燃性の特性を持つスス粒子を別々の手法で測定するに過ぎないため、ここでは BC と表現する。

BC は人の健康影響に直接の影響を与える、あるいはその間接的な指標¹⁾として重要な成分だけでなく、太陽放射を吸収するため、気候影響評価²⁾にとっても重要な物質である。寿命が数日～数週間と短い短寿命気候汚染物質の最たる例である。国内におけるこれまでの突出した BC の発生源としてはディーゼル車である。ただし排ガス規制の強化により、環境中における BC に対するディーゼル車の影響は減少しつつある。本課題代表者が長期間測定しているデータ³⁾によれば、川崎市の幹線道路沿いでの PM2.5 に含まれる BC 濃度 (PM2.5 に占める割合) は、2005 年からの 10 年間で 80% 低減した。一方で、燃費が従来ガソリン車よりも良い直噴ガソリン車が出ている。エンジンベンチ上の試験により、これまでの従来ガソリン車ではほとんど排出が確認されていない BC を多量に排出することが確認されている⁴⁾ことから、環境中への BC の排出が懸念されている。このように BC の発生源の状況は変わりつつあり、これまではディーゼル排気の規制を行えば、環境中の BC 濃度が下がってきたが、ディーゼル粒子がさらに低減されていき、その効果が頭打ちになると考えられる今後は、その他の発生源寄与も評価し、対策をしていく必要がある。これまで、BC の発生源寄与と推定を行った例としては、有機物の指標物質とともに自動車等の寄与と推定を行った例⁵⁾や BC の波長別の光の吸収を利用して、野焼きの寄与と推定をした例⁶⁾がある。

一方で、意図的に生産される工業ナノ材料があるが、その一種であるカーボンナノチューブ (CNT) は、BC で構成されている物質⁷⁾である。CNT は電子製品等の工業製品の性能や製造コストを飛躍的に向上させる一方で、その形態から、吸入した場合にはアスベスト様ながんを誘発する健康影響が指摘されている⁸⁾。CNT の曝露量を評価する上で、製造過程における労働環境や、あるいは使用中や製品廃棄後の大気環境中へ流出した際には CNT と大気エアロゾル由来の BC を識別する必要があるが、そのための手法開発が急務⁹⁾となっている。

BC は、その重要性から古くから測定されている成分であり、様々なメーカーから測定装置が製品化されている。熱分離法により定量する方法 (SUNSET あるいは DRI Carbon analyzer など) や、光吸収の強度から測定する方法 (エサロメータ、MAAP、PSAP、COSMOS など) がある¹⁰⁾。また、レーザー誘起白熱法により BC から放出される白熱光強度を測定する方法 (SP2 など) がある。近年さらに新しい原理で BC を測定する装置が市販された。レーザー誘起白熱法により BC を蒸発させたのちに、電子衝撃法でイオン化し、高分解能型飛行時間型質量分析計で質量分析を行う Soot Particle-Aerosol mass Spectrometer (SP-AMS) である¹¹⁾。レーザーを併用することにより、従来の AMS の弱点であった不揮発性粒子も含めた測定が可能になった。この装置は BC の質量スペクトルが計測可能である。BC 質量スペクトルは発生源の寄与と推定をする為の新たな指標となりうるが、BC の質量スペクトルを利用した発生源寄与と推定法は確立されていない。また、SP-AMS を大気エアロゾルに含まれる BC と CNT の識別に用いることで、これまでになりにリアルタイムかつ高感度の CNT 検出法として期待されるが、その検出法に応用した例はない。

2. 研究の目的

本提案課題では、各種の BC 発生源および環境中において、SP-AMS で BC の質量スペクトルを測定し、大気中 BC の発生源寄与と推定手法を確立する。また、工業ナノ材料の一つである、カーボンナノチューブ (CNT) の吸入による健康影響が懸念されている。SP-AMS は、これまでになりにリアルタイムかつ高感度の CNT 検出法として期待されるが、大気エアロゾルに含まれる BC と CNT の識別するための手法を確立する。

3. 研究の方法

測定・解析対象として、(1)ディーゼル車排気粒子 (DEP)、(2)ガソリン車排気粒子 (GDIP)、(3)グラファイト炭素粒子、(4)多層カーボンナノチューブ (MWCNT)、(5)カーボンブラック、(6)環境粒子、(7)その他の燃焼発生源とした。(1)および(2)は国立環境研究所にある、エンジンダイナモ施設およびシャーシダイナモ施設を利用して、複数の車種、複数のエンジンの運転条件を対象とした。(3)はアルゴン雰囲気下のグラファイト電極間で放電し、その衝撃で炭素粒子を発生させた (FGF-1000, PALAS)、(4)MWCNT は製造現場における労働環境での曝露や、将来の大気中への拡散が懸念されている物質である。本研究代表者が開発した気相中のカーボンナノチューブ粒子の発生法¹²⁾で飛散させた。(5)は SP-AMS のイオン化効率のキャリブレーションのために用いる物質として、メーカーが推奨している。純水にカーボンブラックを懸濁させ、アトマイザーにより発生させた。(6)は一般環境に準じる国立環境研究所敷地内で野焼きが盛んに行われた時期のフィールドデータ (2015 年 10 月) を用い、発生源寄与と推定の解析対象とした。(7)はプロパンガスの不完全燃焼を利用したスス粒子発生装置 (CAST, Matter engineering) から排出させた粒子、重油燃焼固定発生源排気粒子、稲わらおよび木材燃焼排気粒子、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を扱う作業現場での測定を行った。

各対象の測定時には、SP-AMS の他に、エサロメータ、ダストトラック、SMPS、CPC により、それぞれ Equivalent BC、PM2.5 等、個数粒径分布、総個数濃度も計測した。さらにエアロゾル

を石英フィルター（2500QAT-UP、PaII）上に捕集した。その後、炭素成分（有機炭素、元素炭素）をサーマルオプティカル・リフレクタンス法の IMPROVE 法で分析した。SP-AMS のデータの解析には High Resolution ToF-AMS Analysis Toolkit v1.16 を用いた。環境測定および CFRP 作業現場データについては、高分解能質量スペクトルで得られた SP-AMS データの有機エアロゾル（OA）、BC、および炭素質量スペクトル C_n^+ を対象とし、それらの起源を考察するために因子分析の一種である Positive Matrix Factorization（PMF）解析を行った。解析には PMF Evaluation Tool（ver. 2.08D）¹³）を用いた。

4. 研究成果

図 1 に測定対象について、炭素質量スペクトル C_n^+ を示す。これは SP-AMS のレーザーを使用した際に得られるシグナルであり、 C_1^+ から C_{35}^+ の範囲のシグナルを足し合わせて各 C_n^+ のシグナルを規格化して表したものである。質量スペクトルの炭素原子数 C_n^+ は、3 つの基本カテゴリ（低炭素（lowC）： C_1^+ から C_5^+ 、中位炭素（midC）： C_6^+ から C_{29}^+ ）およびフラレン： C_{30}^+ あるいは C_{60}^{2+} から C_{166}^+ ）に分類できる¹¹）。本研究では C_{66}^+ までを測定対象としたが、一部のデータが C_{35}^+ までの測定であったため、 C_{35}^+ までの解析結果を示す。全体的には C_1^+ から C_5^+ の lowC でシグナルが強く、特に C_1^+ と C_3^+ のシグナルが強いことが分かる。炭素数 6 以上では急激にシグナル強度が弱くなり、対象によって差が出てくる。湿潤稲わら燃焼粒子が最もシグナルが大きく、MWCNT が最も小さい結果となった。また対象によっては、単調に感度が低下せずに、炭素数 15 付近で盛り上がるようなものもあった。このように対象によって C_n^+ の分布が異なることが明らかになった。また、自動車排気ではエンジンが異なったり、走行速度が異なったりした場合にもデータを取得したが、条件の差は他の粒子種の差よりもおおむね小さく、本研究で実施した中では粒子種を代表しているものと考えられる。

最近の研究で、レーザー照射による MidC およびフラレンカーボンの存在は、レーザーに照射される前の炭素の微細構造を表わしており、不完全なスス粒子に多く存在することが明らかにされた¹⁴）。したがって、MidC の割合をみることにより、測定対象がグラファイト構造か、アモルファス構造かが推定でき、ひいては生成時の火災温度が示唆されることになる。グラファイトの結果を基準にみると、それよりも大きなものは稲わら燃焼粒子、CFRP 粒子である。稲わら燃焼粒子は火災温度が 300 程度であり、湿潤の稲わらはさらに温度が下がるため、未成熟なすす粒子が生成されやすいと考えられる。また、CFRP 粒子は、ポリアクリロニトリル系炭素繊維であり高温処理をして不純物が除かれているため、不完全炭素とは考えにくい。図 1 中で炭素数 30 付近で急激にシグナルが低下しているように、フラレンカーボン領域では存在量が少なくなることから、別の理由で midC が多かったと考えられる。また、石油系の燃焼で生成する粒子では midC の割合が最大で 3% ほどと小さく、900 以上で起こる HACA メカニズム等で生じたスス生成が卓越しグラファイト炭素を生じたものと考えられる。

本研究課題の目的である、MWCNT と環境粒子の識別であるが、MidC 領域で MWCNT が最も低いシグナルとなったため、この領域のシグナルに着目すれば識別が可能であることが示唆される。ただし実際の空気中には他の粒子と混合して存在していると考えられるため、定量的に分離するためには、以下に示す PMF 解析を併用することが有効であると考えられる。

PMF 解析の例として、野焼きが盛んに行われた時期のフィールドデータに適用した例を示す。図 2 に解析した結果の時系列を示す。本研究では 5 つの因子に分けた場合の結果について考察した。バイオマス燃焼（BB）と関連する因子は室内実験で得られた稲わら燃焼の有機エアロゾル（OA）も含めた質量スペクトルとの類似性があり、また野焼きの指標物質であるレボグルコサンのフラグメントイオンである $C_2H_4O_2^+$ （ $m/z = 60.0211$ ）等の含有率が高く、そのイオンとの時間変化も相関が高かったことから BB と関連する因子（BBOA）と判断した。なお観測期間中のこの因子の BC への寄与は平均 15.6% であった。燃焼試験で得られた乾燥稲わら燃焼粒子の midC フラクシオン（ C_1^+ と C_{35}^+ に対する中位炭素の割合）は 0.21 であり、BB に関連する因子では 0.18 であった。BB と関連する因子の midC フラクシオンは PMF 因子の中で最も高い値であり、発生源データと最も近い値が得られたことから両方の結果が整合した。このように BC 以外の成分も同時に評価することにより、比較的低温燃焼で生じる稲わら燃焼由来の BC と自動車排気由来の高温で排出された BC を識別して BC の寄与評価が可能であることを示した。ただし一部のフィールドデータでは、BB と関連する因子の寄与が低い場合であっても midC フラクシオンが高い場合がみられたため、野焼き以外の低温の燃焼発生源の存在も示唆された。一方、CFRP 工場でも同様に BC 時系列データを PMF 解析して CFRP 摩耗粉の BC に対する寄与率を評価することが出来た。

以上のように、炭素質量スペクトルの違いを発生源寄与評価につなげる手法を確立することができたが、BC の発生源評価をより正確に行うためには、発生源の C_n^+ 質量スペクトルをさらに蓄積していくことが必要である。また CNT の識別、寄与評価においては CNT に含まれる成分も同時に測定し、PMF 解析のような統計的な手法を併用することにより、より精度よく識別することができると期待される。

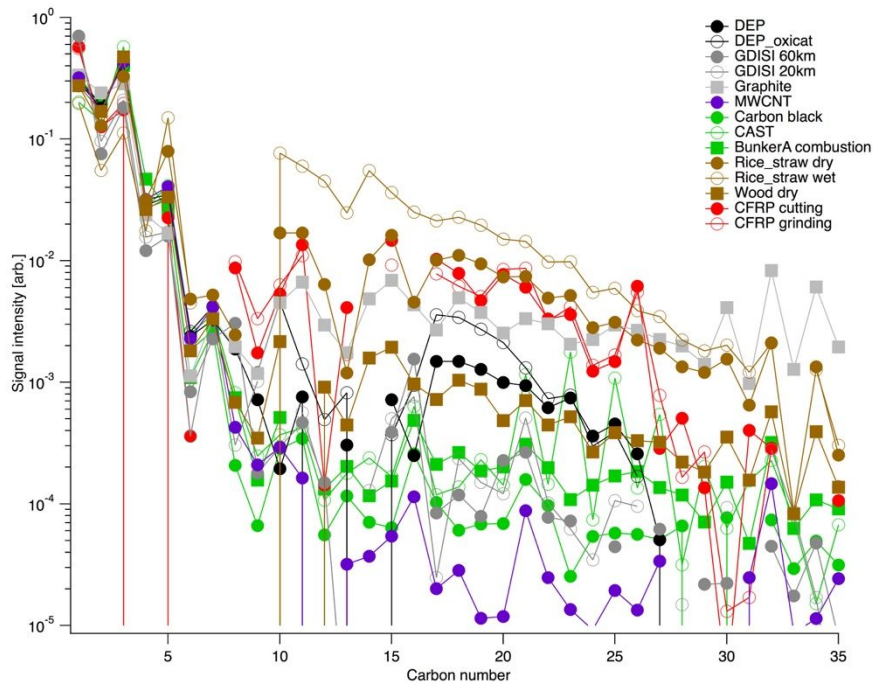


図1 様々な粒子の炭素質量スペクトル C_n^+

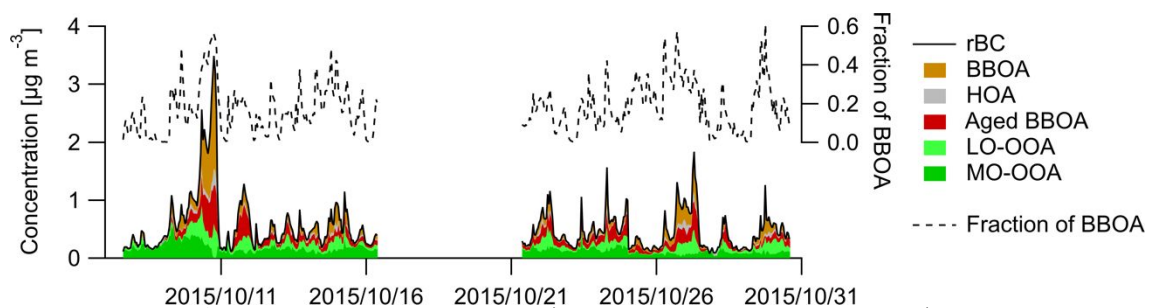


図2 野焼きが盛んな時期に行われたつくば市における大気観測結果およびPMF解析による発生源別の因子分解 (BBOA:野焼き燃焼粒子、HOA:自動車排気由来粒子、Aged BBOA:エージング野焼き燃焼粒子、LO-OOA:フレッシュな酸化粒子、MO-OOA:より酸化された酸化粒子)

参考文献

- 1) Baumgartner J., *et al.*: Proc Natl Acad Sci U S A, 111: 13229-34, 2014
- 2) Bond T. C., *et al.*: Aerosol Sci Technol, 40: 27-67, 2006
- 3) Fujitani Y., *et al.*: Atmospheric Environment: X, 5: 2020
- 4) Fushimi A., *et al.*: Atmospheric Environment, 124: 77-84, 2016
- 5) Kleeman M. J., *et al.*: Environ Sci Technol, 42: 235-242, 2008
- 6) Sandradewi J., *et al.*: Environ Sci Technol, 42: 3316-3323, 2008
- 7) Fujitani Y., *et al.*: Nano, 3: 245-249, 2008
- 8) Poland C. A., *et al.*: Nature Nanotechnology, 3: 423-428, 2008
- 9) Ono-Ogasawara M., *et al.*: Nanosafe 2012: International Conferences on Safe Production and Use of Nanomaterials, 429: 2013
- 10) Petzold A., *et al.*: Atmospheric Chemistry and Physics, 13: 8365-8379, 2013
- 11) Onasch T. B., *et al.*: Aerosol Sci Technol, 46: 804-817, 2012
- 12) Fujitani Y., *et al.*: Aerosol Sci Technol, 43: 881-890, 2009
- 13) Ulbrich I. M., *et al.*: Atmospheric Chemistry and Physics, 9: 2891-2918, 2009
- 14) Malmborg V. B., *et al.*: Carbon, 142: 535-546, 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fujitani Y., Fushimi A., Saitoh K., Sato K., Takami A., Kondo Y., Tanabe K., Kobayashi S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Mid carbon (C6+-C29+) in refractory black carbon aerosols is a potential tracer of open burning of rice straw: Insights from atmospheric observation and emission source studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fujitani Yuji, Takahashi Katsuyuki, Fushimi Akihiro, Hasegawa Shuichi, Kondo Yoshinori, Tanabe Kiyoshi, Kobayashi Shinji	4. 巻 5
2. 論文標題 Particle number emission factors from diesel trucks at a traffic intersection: Long-term trend and relation to particle mass-based emission regulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment: X	6. 最初と最後の頁 100055 ~ 100055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aeaoa.2019.100055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Morino Yu, Chatani Satoru, Tanabe Kiyoshi, Fujitani Yuji, Morikawa Tazuko, Takahashi Katsuyuki, Sato Kei, Sugata Seiji	4. 巻 52
2. 論文標題 Contributions of Condensable Particulate Matter to Atmospheric Organic Aerosol over Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 8456 ~ 8466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.8b01285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sato Kei, Fujitani Yuji, Inomata Satoshi, Morino Yu, Tanabe Kiyoshi, Ramasamy Sathiyamurthi, Hikida Toshihide, Shimono Akio, Takami Akinori, Fushimi Akihiro, Kondo Yoshinori, Imamura Takashi, Tanimoto Hiroshi, Sugata Seiji	4. 巻 18
2. 論文標題 Studying volatility from composition, dilution, and heating measurements of secondary organic aerosols formed during <i></i> </i>-pinene ozonolysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 5455 ~ 5466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-18-5455-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤谷 雄二, 疋田 利秀, 下野 彰夫	4. 巻 32
2. 論文標題 Soot Particle-AMSによるブラックカーボン測定の性能評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 20-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11203/jar.32.20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato, K., Y. Fujitani, S. Inomata, Y. Morino, K. Tanabe, S. Ramasamy, T. Hikida, A. Shimono, A. Takami, A. Fushimi, Y. Kondo, T. Imamura, H. Tanimoto and S. Sugata	4. 巻 18
2. 論文標題 Studying volatility from composition, dilution, and heating measurements of secondary organic aerosols formed during α -pinene ozonolysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 5455-5466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-18-5455-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 雲井純, 池上昭彦, 藤谷雄二, 森川浩太, 市原学, 矢野竹男, 市原佐保子
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの製造加工現場で発生する微小粒子<<微小粒子の走査型電子顕微鏡観察>>
3. 学会等名 第92回日本産業衛生学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujitani Y., Takahashi K., Fushimi A., Hasegawa S., Kondo Y., Tanabe K., Kobayashi S.
2. 発表標題 Long-term trend of emission factors of particle number from diesel vehicles: New approach deducing from monitoring data at a traffic intersection.
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujitani Y., Sato K., Tanabe K., Takahashi K., Hoshi J., Wang X., Chow J.C., Watson J.G.
2. 発表標題 Intermediate and Semi-volatile Organic Compound Emissions from Sludge Waste Combustion by Fuel Oil.
3. 学会等名 EUROPEAN AEROSOL CONFERENCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morino Y., Chatani S., Tanabe K., Fujitani Y., Morikawa T., Takahashi K., Sato K., Sugata S.
2. 発表標題 Simulation of Condensable Particulate Matter from stationary combustion sources.
3. 学会等名 European Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morino Y., Chatani S., Tanabe K., Fujitani Y., Morikawa T., Takahashi K., Sato K., Sugata S.
2. 発表標題 Condensable particulate matter emitted from stationary combustion sources.
3. 学会等名 International Aerosol Modeling Algorithms Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujitani Y., Fushimi A., Sato K., Saitoh K., Takami A.
2. 発表標題 Source Apportionment of Refractory Black Carbon in Aerosols during Period of The Harvest Season in Suburban Area in Japan.
3. 学会等名 15th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤谷雄二, 池上昭彦, 森川浩太, 雲井純, 矢野竹男, 市原学, 市原佐保子
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの製造加工現場におけるブラックカーボンの曝露調査とその由来の探索
3. 学会等名 第35回エアロゾル・科学技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋克行, 吉村有史, 加藤昌彦, 星純也, 藤谷雄二
2. 発表標題 A重油燃焼排気中凝縮性ガストの等温希釈法による揮発性分布の測定 その1 凝縮性ガストの測定
3. 学会等名 第59回大気環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星純也, めで島智恵子, 加藤みか, 高橋克行, 藤谷雄二
2. 発表標題 A重油燃焼排気中凝縮性ガストの等温希釈法による揮発性分布の測定その2 有機物の網羅的測定
3. 学会等名 第59回大気環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤谷雄二, 佐藤圭, 田邊潔, 高橋克行, 星純也
2. 発表標題 A重油燃焼排気中凝縮性ガストの等温希釈法による揮発性分布の測定その3 揮発性分布の導出
3. 学会等名 第59回大気環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤谷雄二, 伏見暁洋, 齊藤勝美, 佐藤圭, 高見昭憲
2. 発表標題 野焼き活動が盛んな時期のつくばにおけるブラックカーボンの発生源寄与評価
3. 学会等名 第59回大気環境学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujitani Y., Takahashi K., Fushimi A., Hasegawa S., Kondo Y., Tanabe K., Kobayashi S.
2. 発表標題 Over a Decade Long Trend of Concentrations of Ultrafine Particle and Carbonaceous Aerosols at a Traffic Intersection
3. 学会等名 Xth International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤谷 雄二, 池上昭彦, 森川浩太, 雲井純, 矢野竹男, 市原学, 市原佐保子
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの製造加工現場におけるブラックカーボンの曝露調査とその由来の探索
3. 学会等名 第34回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----