

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 7 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01866

研究課題名(和文)実時間分析法による植物起源二次有機エアロゾルの生成・変質過程の解明

研究課題名(英文)Study of formation and aging processes of biogenic secondary organic aerosol using real-time analysis method

研究代表者

佐藤 圭 (Sato, Kei)

国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・室長

研究者番号：10282815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：気候や健康に影響を及ぼす大気中の二次有機エアロゾル(SOA)の生成機構を研究するため、陽子移動反応質量分析計と自作の加熱脱着装置を組み合わせることによって、エアロゾル粒子中に存在する有機化合物のオンライン分析を行う装置を開発した。単一組成粒子の測定によってカルボキシル基、ヒドロキシ基およびカルボニル基を持つ有機化合物のフラグメント化に関する規則性を調べた。チャンバーで生成したSOA粒子中のオキソカルボン酸およびジカルボン酸濃度の変化を調べた。また、生成したSOA中には高度に酸化した分子や二量体も検出された。さらに、大気エアロゾルを観測して粒子中のジカルボン酸を検出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界では質量分析計を活用したオンライン大気粒子分析装置が新たな研究手段として注目を集めている。本研究は陽子移動反応質量分析計の改良によってオンライン大気粒子分析装置の開発を試みたものである。有機化合物のフラグメント化の規則性や粒子生成実験や大気観測から見出された課題は技術的に有意義な情報である。SOAのオンライン計測によりオフライン分析と似た有機化合物が検出されたことは、従来のオフライン分析に基づく知識の定性的な有効性を示しており学術的意義がある。さらに本研究でSOA中に二量体を検出した成果は、モデル研究者と共同で進めている大気微小粒子状物質予測モデルの高精度化にも貢献した。

研究成果の概要(英文)：To investigate formation mechanisms of atmospheric secondary organic aerosol (SOA) affecting climate and human health, we developed an online instrument for the analysis of organic compounds present in aerosol particles by a combination of a home-made thermal desorption instrument and a proton transfer reaction-mass spectrometer. We studied fragmentation patterns of organic compounds with carboxyl, hydroxy, and carbonyl groups by measurements of single component aerosol particles. Then, we generated SOA particles using a smog chamber to monitor temporal changes of oxocarboxylic acid and dicarboxylic acids present in particles. We also detected highly oxygenated molecules and dimers in generated SOA particles. Furthermore, we observed atmospheric particles to detect dicarboxylic acids existing in particles.

研究分野：大気化学

 キーワード：大気汚染 微小粒子状物質 揮発性有機化合物 光化学オキシダント 二次有機エアロゾル スモッグ
 チャンバー 陽子移動反応 質量分析計

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

大気中の二次有機エアロゾル (SOA) は微小粒子状物質の主要成分であり、大気に放出された揮発性有機化合物 (VOC) の酸化によって生成する。SOA 粒子は、気候および健康に影響を及ぼすことが懸念される。大気中の二次有機エアロゾル (SOA) の濃度予測において、特定の VOC から生成する SOA の収率を積み上げるだけでは実際の観測を過小評価する傾向があり、排出源から離れるほどこの傾向が顕著となる。SOA 生成ののち粒子内で起こる重合や酸化などの粒子の変質過程が、SOA 濃度の予測に重要な役割を果たすことが分かってきた。SOA 中の分子の重合や酸化に関する研究は、オフライン化学分析によって行われてきた。しかし、従来のオフライン化学分析から得られる結果には人為的影響の可能性がある。初期生成物の理解やその変質を動的に理解するためには、分子レベルのオンライン化学分析装置の開発と、それを活用した変質過程の解明が必要であった。

2. 研究の目的

- (1) 本研究では生物起源揮発性有機物のテルペン類およびそのモデル化合物のチャンバー実験によって SOA を生成し、新たに開発された加熱脱着陽子移動反応質量分析計 (TD-PTR-MS) を用いて SOA 中の有機物を実時間分析する。
- (2) 大気エアロゾルの観測も行い、大気有機エアロゾル中の有機物の検出を試みる。
- (3) 先行研究で開発中の重合および酸化を考慮した SOA モデルへ本研究課題の実験などの結果を提供することにより、PM2.5 濃度の予測精度向上につなげる。

3. 研究の方法

(1) TD-PTR-MS 本研究では、エアロゾル粒子中の有機成分を気化するための加熱脱着 (TD) 装置とガス状の有機物を分析するための陽子移動反応質量分析計 (PTR-MS, 型番 PTR-Qi-TOF, Ionicon 社製) を組み合わせたオンライン有機エアロゾル化学成分分析装置を用いて、単一組成有機エアロゾルの分析を行った (Fig. 1)。

エアロゾル粒子をガス化するため、自家製の TD 装置を用いた。TD 装置は加熱配管 (長さ 50 cm、外径 1/2 インチ) およびフィルタホルダによって構成され、加熱配管とフィルタホルダは別々に温度制御が可能であった。加熱配管には PFA または銅を用い、残留粒子をカットするためにテフロンフィルタをフィルタホルダに装填した。配管内の流量は 0.14~0.30 lpm、加熱配管およびフィルタホルダの温度は 25~120°C に設定した。25°C、0.30 lpm における加熱部での滞留時間は 16 s であった。

ガス化された有機物は PTR-MS で分析された。PTR-MS は、ガス状の有機物分子を陽子化して質量分析する装置である。陽子移動反応では、エアロゾル質量分析計に採用されている電子イオン化に比べ有機物分子のフラグメント化が起こりにくいため、分析物の分子量の情報を得やすいという特徴がある。さらに本研究の PTR-MS は四重極インターフェースおよび飛行時間型質量分析計の採用により、1 min 積算での最大感度は 0.75 ppt であり、最大質量分解能は 10,400 である。PTR-MS を用いて 10 s の間隔でガス状有機物の質量スペクトルを測定した。

(2) 粒子発生装置 有機エアロゾル組成を TD-PTR-MS で測定して得られる質量スペクトルの情報を得るため、単一組成有機エアロゾルの測定を行った。単一組成有機エアロゾ

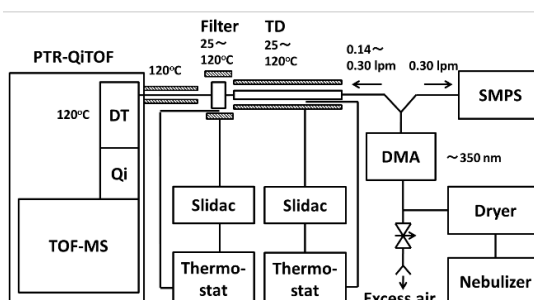


Fig. 1 Experimental setup (Sato *et al*, 2019).



Fig. 2 NIES 6-m³ photochemical smog chamber.

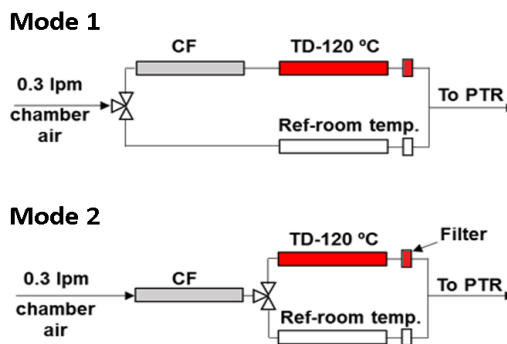


Fig. 3 Setups of carbon filter denuder (CF).

ル（移動度粒径 350 nm）は、水溶性有機物（テレフタルジアルデヒド、アジピン酸、フタル酸、cis-ピノン酸および meso-エリスリトール）の水溶液を噴霧・乾燥・分級することにより得られた（Fig. 1）。

(3) 光化学スモッグチャンバー SOA 組成の時間変化を TD-PTR-MS で測定するため、SOA を光化学スモッグチャンバー内で発生させた（Fig. 2）。チャンバーはステンレス製で真空排気可能である。チャンバーの内容積は 6 m³ であり、内表面は FEP で被覆されている。チャンバーの周囲に温度調節用の熱媒体油を循環させることによって温度制御が可能である。本研究の実験中は 25±1°C に制御された。白金触媒塔と吸着塔からなる空気精製器を用いて外気の精製を行い実験に用いた。相対湿度は 1% 以下であった。

チャンバー内でアルケン類とオゾンとを反応させて SOA を生成した。SOA のサイズ分布を SMPS（TSI 社製）で測定した。オゾンは酸素の無声放電によって発生させた。SOA の前駆物質として、まず試験的に植物から大気に放出されるモノテルペン類のモデル分子であるシクロヘキセンを用いた。そして次に、実際に植物から放出される α-および β-ピネンを前駆物質に用いて実験を行った。

SOA の測定においては、TD の前段にカーボンフィルタデニューダ（CF, Sunset 社製）を設置して、ガス状有機成分をあらかじめ除去した（CF-TD-PTR-MS）（Fig. 3）。TD および後段のフィルターの温度は 120°C に設定された。ガス成分の寄与を調べるために、室温に設定した参照ラインを経由させる測定（Ref-PTR-MS）を行った。ここで参照ラインは温度が室温である以外は TD と同じ材料で作成された。CF-TD-PTR-MS と Ref-PTR-MS の測定を 10 min ごとに交互に行った（Mode 1）。さらに、CF でガス成分が十分に除去されているか調べるため、Ref 前段に CF を挿入する場合（CF-Ref-PTR-MS）についても調べた（Mode 2）。

(4) 野外観測 2018 年 8 月 17～31 日に京都大学吉田南キャンパスにおいて、TD-PTR-MS を用いた測定を行った。野外観測では CF を用いず、TD-PTR-MS と Ref-PTR-MS による測定を 10 min ごとに交互に行った。

4. 研究成果

(1) 単一組成粒子の測定 TD 装置の加熱配管に銅管を用いるよりも PFA 管を用いた方がより高い信号が測定された。PFA 管を用いた場合、加熱によって生成する半揮発性有機物の配管表面でのロスが銅管を用いた場合に比べて抑制されると考えられる。従って、本研究の測定は主に PFA 管を用いて行った。

TD-PTR-QiTOF を用いて測定された単一組成有機エアロゾルの質量スペクトルの一例として、テレフタルジアルデヒド粒子の結果を示す（Fig. 4）。精製空気を測定した場合の質量スペクトルをバックグラウンドとして引き算した結果である。テレフタルジアルデヒドは、分子量が 134 で

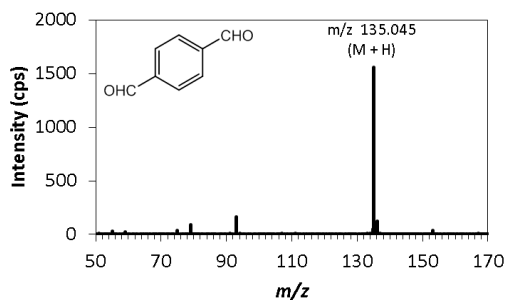


Fig. 4 Mass spectrum measured for terephthalaldehyde particles (Sato *et al.*, 2019).

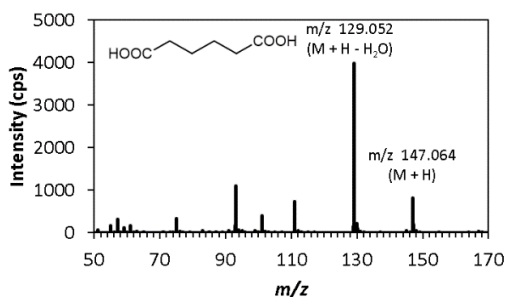


Fig. 5 Mass spectrum measured for adipic acid particles (Sato *et al.*, 2019).

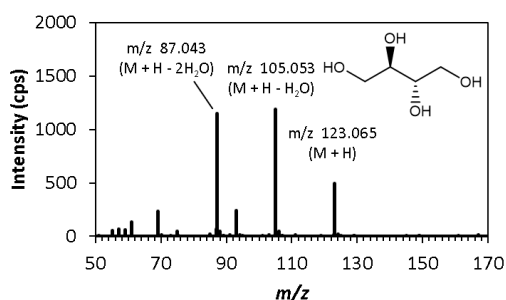


Fig. 6 Mass spectrum measured for *meso*-erythritol particles (Sato *et al.*, 2019).

ある。 m/z 135 の質量数に測定される陽子化分子 (MH^+) の信号が最も強かった。

カルボン酸類 (アジピン酸、フタル酸および *cis*-ピノン酸) の粒子を測定した場合、陽子化分子から一分子の水が脱水して得られるイオン ($[MH - H_2O]^+$) の信号が最大であった (Fig. 5)。また、アルコール類である *meso*-エリスリトール粒子についても同様な結果が得られた (Fig. 6)。カルボン酸類およびアルコール類に関しては、陽子化の際にフラグメント化の影響があることが明らかになった。

(2) SOA 粒子の測定 シクロヘキセンのオゾン分解実験で測定された生成物の質量スペクトルを Fig. 7 に示す。Fig. 7a は、Ref-PTR-MS 法 (Mode 1) により測定されたガス成分の質量スペクトルを示している。CF-Ref-PTR-MS 法 (Mode 2) により、ガス成分を CF で除去して測定を行った結果を Fig. 7b に示す。各気相生成物の信号は CF を用いない場合の 5% 未満に減少した。

CF-TD-PTR-MS 法 (Mode 2) により、粒子から蒸発した生成物を測定すると、 m/z 101.02、111.04、115.04 および 129.05 の質量数に主要な生成物の信号が現れた (Fig. 7c)。 m/z 101.02、111.04、115.04 および 129.05 の信号は、コハク酸由来の $[MH - H_2O]^+$ 、アジピン酸由来の $[MH - 2H_2O]^+$ 、グルタル酸由来の $[MH - H_2O]^+$ およびアジピン酸由来の $[MH -$

$H_2O]^+$ に帰属された。シクロヘキセン由来 SOA を測定したときの m/z 129.05 の信号強度は m/z 111.04 の信号強度よりも高かった。この関係はアジピン酸の単一組成粒子を分析した場合と同様であった。

CF で除去してガス成分を測定した場合 (CF-Ref-PTR-MS, Mode 2)、 m/z 115.04、129.05、147.06 の質量数には粒子成分を測定した場合 (CF-TD-PTR-MS) の 10% 以下の信号しか測定されなかった。CF で除去せずにガス成分を測定した場合 (Ref-PTR-MS, Mode 1)、 m/z 129.05 および 147.06 の質量数に信号はほとんど見られなかったが、 m/z 115.04 の質量数には粒子成分を測定した場合 (CF-TD-PTR-MS) の約 4.0 倍の信号が測定された。アジピン酸は主に粒子相に存在する一方、グルタル酸は粒子相の存在比よりも気相の存在比が高いことが示唆される。

粒子成分を測定した場合 (CF-TD-PTR-MS)、 m/z 113.06 および 131.03 の信号も検出された。これらの信号は、それぞれオキソヘキサン酸の $[MH - H_2O]^+$ および MH^+ に帰属された。

CF-TD-PTR-MS で測定された m/z 131.07、133.05 および 147.06 の信号および SOA の体積濃度の時間変化を示す (Fig. 8)。SOA 濃度は反応の開始から 25 min 後に最大濃度となり、6-オキソヘキサン酸に帰属される m/z 131.07 の信号強度も同様な時間変化を示した。他方グルタル酸に

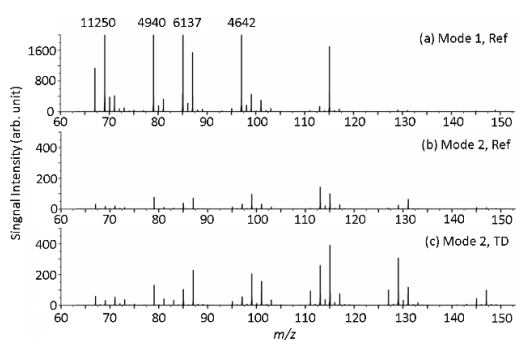


Fig. 7. Mass spectra measured for cyclohexene ozonolysis SOA.

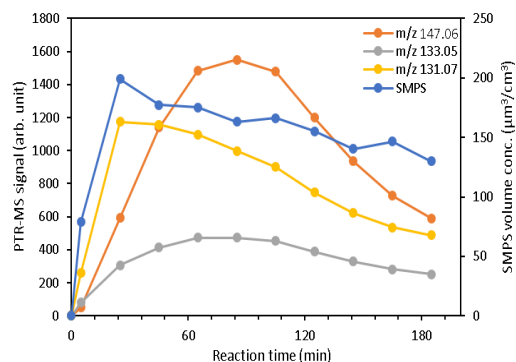


Fig. 8. Time series of SOA and signals of m/z 131.07, 133.05, and 147.06.

帰属される m/z 133.05 およびアジピン酸に帰属される m/z 147.06 の信号は 65–85 min 後に最大濃度となった。 m/z 131.07 の生成物はシクロヘキサンのオゾン分解で直接生成する一方、 m/z 133.05 および 147.06 の生成物は後続の過程によって生成することが示唆される。

微量な生成物として、 m/z 163.06、179.05、193.03 および 195.05 の信号が測定された。これらの信号は、それぞれ $C_6H_{11}O_5^+$ 、 $C_6H_{11}O_6^+$ 、 $C_6H_9O_7^+$ および $C_6H_{11}O_7^+$ などの高度に酸化された分子 (HOM) に帰属された。さらに、 m/z 201、213、229 および 241 に二量体によると考えられる信号が測定された。

シクロヘキセン由来の SOA を TD-PTR-MS によってオンライン分析して検出された有機化合物は、従来のオフライン分析に基づいて既に知られているジカルボン酸、オキソカルボン酸、および二量体などとはほぼ同じであった。本研究のオンライン分析ではこれらの結果は、従来のオフライン分析に基づく知識の定性的な有効性を示すものである。微量な生成物として HOM のようなオフラインで知られていない生成物も検出された。

α -および β -ピネンのオゾン分解で生成した SOA を、シクロヘキセンの場合と同様に測定した。ピネンのオゾン分解の生成物として良く知られるピン酸 (m/z 187.10)、ピノン酸 (m/z 185.12)、テルペニル酸 (m/z 173.10) の信号が検出された。また、陽子化した二量体あるいはそのフラグメントイオンの信号が、 m/z 273、285、309、313 及び 323 に検出された。 α -および β -ピネン由来の SOA をオンライン分析して検出された有機化合物も、従来のオフライン分析で知られるジカルボン酸、オキソカルボン酸、および二量体などの生成物と定性的にほぼ同じであった。

(3) **大気有機エアロゾルの測定** 2018 年 8 月に京都大学吉田南キャンパスで行った観測において、 m/z 101.02、115.04、119.03、133.05、129.06、147.06、149.02 および 167.03 の質量数に大気有機エアロゾル由来の信号が検出された。検出されたイオンはそれぞれ $C_4H_5O_3^+$ 、 $C_5H_7O_3^+$ 、 $C_4H_7O_4^+$ 、 $C_5H_9O_4^+$ 、 $C_6H_9O_3^+$ 、 $C_6H_{11}O_4^+$ 、 $C_8H_5O_3^+$ および $C_8H_7O_4^+$ に帰属された。 $C_5H_9O_4^+$ および $C_6H_9O_3^+$ は、アジピン酸からの $[MH - H_2O]^+$ および MH^+ イオンである可能性がある。ほかに $C_4H_5O_3^+$ および $C_4H_7O_4^+$ はコハク酸、 $C_5H_7O_3^+$ および $C_5H_9O_4^+$ はグルタル酸、 $C_8H_5O_3^+$ および $C_8H_7O_4^+$ はフタル酸の信号である可能性がある。

(4) **大気モデル計算への貢献** 本研究での SOA のオンライン分析から、SOA 中に二量体が存在することが確かめられた。実験結果に基づき、SOA 生成を説明する Volatility Basis-Set (VBS) モデルに、二量体の生成と分解および粒子内の分子拡散を取り入れた。この修正により、 α -ピネン由来 SOA の生成物揮発性分布や希釈応答の予測が改善されることが示された。本研究は、SOA 生成モデルの開発に一定の役割を果たした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 佐藤 圭, Ramasamy, S., 猪俣 敏, 森野 悠, 疋田利秀, 下野彰夫	4. 巻 34
2. 論文標題 加熱脱着-陽子移動反応-四重極インターフェース飛行時間質量分析計による有機エアロゾルのオンライン分析に向けて: 単一組成粒子を用いた応答評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 105-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.34.105	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 Sato, K., Fujitani, Y., Inomata, S., Morino, Y., Tanabe, K., Hikida, T., Shimono, A., Takami, A., Fushimi, A., Kondo, Y., Imamura, T., Tanimoto, H., Sugata, S.	4. 巻 19
2. 論文標題 A study of volatility by composition, dilution, and heating measurements of secondary organic aerosol from 1,3,5-trimethylbenzene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics Discussion	6. 最初と最後の頁 14901-14915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-2018-1291	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 Ramasamy, S., Nakayama, T., Imamura, T., Morino, Y., Kajii, Y., Sato, K.	4. 巻 219
2. 論文標題 Investigation of dark condition nitrate radical- and ozone-initiated aging of toluene secondary organic aerosol: Importance of nitrate radical reactions with phenolic products	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 117049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.atmosenv.2019.117049	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 佐藤 圭	4. 巻 580
2. 論文標題 有機物と大気中の粒子状物質 SPM からクラスターまで	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 現代化学	6. 最初と最後の頁 42-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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., Fujitani, Y., Inomata, S., Morino, Y., Tanabe, K., Ramasamy, S., Hikida, T., Shimono, A., Takami, A., Fushimi, A., Kondo, Y., Imamura, T., Tanimoto, H., Sugata, S.	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) https://doi.org/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 伏見暁洋、中山智喜、佐藤 圭、高橋克行	4. 巻 33
2. 論文標題 エアロゾルの炭素性成分分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 エアロゾル 研究	6. 最初と最後の頁 183-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.33.183	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 Shiraiwa, M., Ueda, K., Pozzer, A., Fushimi, A., Lucas, K., Kampf, C.J., Lammerl, G., Enami, S., Arangio, A.M., Frohlich, J., Fujitani, Y., Furuyama, A., Lakey, P.S.J., Lelieveld, J., Morino, Y., Poschl, U., Takahama, S., Takami, A., Tong, H., Weber, B., Yoshino, A., Sato, K.	4. 巻 51
2. 論文標題 Overviewing aerosol health effects from molecular level, cellular scales to global perspectives	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 13545013567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.7b04417	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 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 佐藤 圭, Ramasamy, S., 猪俣 敏, 森野 悠, 疋田利秀, 下野彰夫
2. 発表標題 加熱・脱着-陽子移動反-応四重極インターフェース質量分析計による有機エアロゾルのオンライン分析に向けて: 単一組成粒子を用いた応答評価
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術総合討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ramasamy, S., 猪俣 敏, 疋田利秀, 下野彰夫, 佐藤 圭
2. 発表標題 A thermal desorption-proton transfer reaction-quadrupole interface time-of-flight mass spectrometer for online analysis of organic aerosol: Application for aerosol from cyclohexene ozonolysis
3. 学会等名 第36 回エアロゾル 科学・技術総合討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ramasamy, S., Inomata, S., Hikida, T., Shimono A., Sato, K.
2. 発表標題 Laboratory online analysis of organic aerosol using a thermal desorption-proton transfer reaction-mass spectrometer
3. 学会等名 第24 回大気化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森野 悠, 佐藤 圭, 田邊 潔, 猪俣 敏, 藤谷雄二
2. 発表標題 有機エアロゾル蒸発速度の数値モデリング
3. 学会等名 第24回大気化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 圭, Sathiyamurthi Ramasamy, 池盛文数, 伏見暁洋, 森野 悠
2. 発表標題 スモッグチャンバーによる人為起源二次有機エアロゾルマーカーク収率の評価
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会 特別集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 圭
2. 発表標題 有機エアロゾル化学組成に着目した反応プロセスおよび大気動態に関する研究
3. 学会等名 II 型共同研究グループミーティング(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato, K., Enami, S., Ramasamy, S., Inomata, S., Imamura, T.
2. 発表標題 Effects of Criegee intermediate scavengers on secondary organic aerosol formation from alpha-pinene ozonolysis
3. 学会等名 The 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Morino Y., Sato K., Jathar S., Tanabe K., Inomata S., Fujitani Y., Cappa C.
2. 発表標題 Modelling the Evaporative Behaviour of Secondary Organic Aerosol Formed from α -pinene
3. 学会等名 The 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato, K.
2. 発表標題 Formation of highly oxygenated molecules and dimers during α -pinene ozonolysis
3. 学会等名 2018 East Asia Forum on Particulate Air Pollution and Health, Seoul, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato, K.
2. 発表標題 Laboratory and field studies of oxidants existing in fine particles
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week 2018 (TGSW2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤圭, Ramasamy, S., 梶井克純
2. 発表標題 VOC酸化生成物の暗反応からの二次有機エアロゾル生成に関するチャンバー実験
3. 学会等名 第59回大気環境学会 特別集会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ramasamy, S., Nakayama, T., Imamura, T., Sato, K.
2. 発表標題 O3- and NO3-initiated aging of toluene secondary organic aerosol
3. 学会等名 36th Annual Conference of the American Association for Aerosol Researches (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sato, K.
2. 発表標題 Formation of highly oxygenated molecules and dimers during alpha-pinene ozonolysis
3. 学会等名 3rd International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sato, K.
2. 発表標題 LC/MS analysis of secondary organic aerosol in Beijing, summer, 2016
3. 学会等名 Sino-Japan Workshop on Er-Cheng-Bei Field Campaign (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐藤 圭	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 444
3. 書名 3-17 無期粒子の生成、in. 大気の辞典、 大気環境学会編	

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐藤 圭 SATO Kei 国立環境研究所 https://www.nies.go.jp/researchers/100110.html
--

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
研究協力者	下野 彰夫 (Shimono Akio)	株式会社汀線科学研究所・代表取締役	陽子移動反応質量分析計運用への協力

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	疋田 利秀 (Hikida Toshihide)	株式会社汀線科学研究所・研究開発主幹	陽子移動反応質量分析計運用への協力
連携研究者	梶井 克純 (Kajii Yoshizumi) (40211156)	京都大学・大学院人間・環境学研究科・総合人間学部・教授 (14301)	野外観測実施への協力
連携研究者	猪俣 敏 (Inomata Satoshi) (80270586)	国立研究開発法人国立環境研究所・環境計測 研究センター・室長 (82101)	加熱脱着装置開発への協力
連携研究者	森野 悠 (Morino Yu) (50462495)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・主任研究員 (82101)	研究結果のモデルへの活用
連携研究者	ラーマサーミ サティアムールティ (Ramasamy Sathiyamurthi) (90803833)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・特別研究員 (82101)	実験実施への協力