

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：22701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22810025

研究課題名（和文） 精密コロナ放電を用いた新規化学イオン化質量分析法の開発と実大気計測への展開

研究課題名（英文） Development of atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry using accurate corona discharges and its application to field measurements

研究代表者 関本 奏子

関本 奏子（SEKIMOTO KANAKO）

横浜市立大学・生命ナノシステム科学研究科・助教

研究者番号：40583399

研究成果の概要（和文）：試料を壊すことなく高感度・リアルタイム測定が可能な「化学イオン化質量分析法」は、実大気観測手法として広く利用されている。しかし、試薬イオンの生成制御や酸性の有機・無機化合物の測定に適した化学イオン化法の確立には至っていない。本研究では、電子の運動エネルギーを変化させることで様々な正負イオン種の制御生成が可能である。「精密コロナ放電」を利用し、酸性化合物のイオン化に適した負の試薬イオン源を開発した。本研究成果は、ディーゼル車排ガスに含まれる未知のニトロ有機化合物の同定および定量に大きく貢献できると期待される。

研究成果の概要（英文）：Chemical ionization (CI) mass spectrometry allows high-sensitive and real-time analysis of volatile organic compounds without decomposition, which are widely used under field measurements. A subject of current CI techniques is not to find reactant ions for ionization of acidic (in)organic compounds. In this study, I have established an ion source leading to the regular formation of reactant ions suitable for the ionization of acidic organic compounds having nitro and amino groups, using an accurate corona discharge system. The results obtained would contribute toward the identification and quantitative analysis of unknown nitro organic compounds in diesel vehicle exhausts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	1,210,000	363,000	1,573,000
平成23年度	960,000	288,000	1,248,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,170,000	651,000	2,821,000

研究分野：質量分析学，大気化学，静電気学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：コロナ放電，質量分析，化学イオン化法，負イオン，試薬イオン，第一水和殻，マジック数

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 実大気観測における化学イオン化質量分析法の問題点

研究代表者は本研究開始当初，(独) 国立環境研究所にて，地球環境研究総合研究費プ

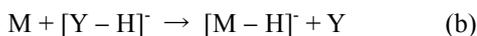
ロジェクト「PTR-TOFMS を用いたディーゼル車排ガス中ニトロ有機化合物のリアルタイム計測」に参画していた。ディーゼルエンジンは，熱効率が高く温室効果気体である二酸化炭素  $\text{CO}_2$  の排出量が少ないという特徴を持つ一方，ニトロ有機化合物  $\text{RNO}_2$  やカル

ボン酸 RCOOH 等の有機酸, 硝酸 HNO<sub>3</sub> や二酸化硫黄 SO<sub>2</sub> 等の無機酸を多く排出する。これらは大気汚染や健康被害をもたらすため, 近年, ディーゼル車排ガス低減技術, すなわち, 燃焼技術や後処理技術の開発, 燃料・潤滑油性状の改善が盛んに行われている。しかし, エンジンの稼働状況や運転状況に依存して, 排ガス低減装置から新たに予期せぬ RNO<sub>2</sub> が放出されるとの懸念が広まっており, それら RNO<sub>2</sub> の同定およびリアルタイム測定が必要とされている (V.H. Norbert *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 3773-3779 (2008)).

揮発性有機化合物 (VOC) の高感度・リアルタイム測定の可能な手法として, 化学イオン化質量分析法 (CIMS) が挙げられる。Lindinger らが開発した CIMS, すなわちプロトン移動反応イオン化-質量分析法 (PTR-MS) は, 現在の最も実用的な大気観測手法として大気化学研究に関わる野外観測および室内実験に頻繁に利用され, 市販化もされている。本手法では, ホローカソード放電 (平板-平板電極放電) によって生成する H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> を試薬イオンとし, H<sub>2</sub>O よりも高いプロトン親和力を持つ揮発性有機化合物 (VOC) を H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> とのプロトン移動反応 (a) により, プロトン化分子 [VOC+H]<sup>+</sup> として検出する。



しかしニトロ有機化合物等の酸性化合物のプロトン親和力は低いいため, 反応 (a) による正イオン化は起こりにくい。一方, 低いプロトン親和力および高い電子親和力を考慮すると, 負イオンになりやすいと考えられる。すなわち, プロトン親和力の比較的高い, あるいは電子親和力の低い負の試薬イオン [Y-H]<sup>-</sup>, Y<sup>-</sup> とのプロトン移動反応 (b) および電子移動反応 (c) によって, 負イオン [M-H]<sup>-</sup> として効率良くイオン化されると推測される。



しかし現段階では, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 以外の試薬イオン (特に負イオン) を安定に生成させるイオン源は確立されていない。

## (2) 精密コロナ放電の確立

研究代表者は本研究開始以前まで, 大気圧下での直流コロナ放電 (針-平板電極放電) の基礎研究を行ってきた。ここでは, 自作の大気圧コロナ放電デバイスと質量分析計を組み合わせた実験, および電界分布の理論計算を行い, 以下の事象を明らかにした。

- 1) 放電内でのイオン発展 (イオン生成に関与する一連のイオン分子反応) は, ニードル先端で加速される電子の運動エネルギーによって支配される。

- 2) 放電内で起こるイオン発展は電気力線に沿って進行する。

- 3) 1,2) の結果は任意の電極配置で成り立つ。

さらに, 電子の運動エネルギーを 0~120 eV の間で自在に制御調整することが可能な実験系を構築し, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>, HO<sub>x</sub><sup>-</sup>, NO<sub>x</sub><sup>-</sup>, CO<sub>x</sub><sup>-</sup> 等の様々な大気成分由来の正負イオン種 X<sup>+</sup>, Y<sup>-</sup> に対して, 各々の最適放電条件を見出すことに初めて成功した。電子の運動エネルギーによって様々な正負イオン種の生成制御が可能な「精密コロナ放電」を確立したことにより, 本放電システムを H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 以外の試薬イオンを安定に生成させるイオン源として応用することで, (1) で挙げた問題点を克服し得るという着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では, 研究代表者のこれまでの研究で確立した精密コロナ放電を用い, ディーゼル車排ガス中のニトロ有機化合物の高感度・リアルタイム測定を可能とする新たな大気観測用 CIMS の構築を最終目標とし, 以下の基礎的な研究項目を遂行した。

- (1) PTR-MS を用いたディーゼル車排ガス中のニトロ有機化合物のリアルタイム測定
- (2) 精密コロナ放電を用いた新規化学イオン化質量分析法の開発
- (3) 大気反応イオンと酸性有機化合物の反応に関する基礎研究

(1) は予備実験として, 既存の PTR-MS を用いて, ディーゼル車から実際に排出されるニトロ有機化合物を同定し, それらの運転条件依存性を調査することを目的とした。(2) では, 精密コロナ放電によって生成する各種大気イオン X<sup>+</sup>, Y<sup>-</sup> を既知の化学的性質を持つ有機化合物と反応させ, 試料のイオン化のメカニズムを把握し, (3) において, 大気イオンを用いた酸性有機化合物の正負イオン化効率に対する評価を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

- (1) PTR-MS を用いたディーゼル車排ガス中のニトロ有機化合物のリアルタイム測定

本研究は, 交通安全環境研究所のシャシーダイナモメータを用いて行った。車両には, 平成 15 年 (新短期) 規制に適合している酸化触媒を搭載したディーゼル車を用いた。本車両をシャシーダイナモメータに設置し, 定常走行 (60 km h<sup>-1</sup>) および JE05 走行モードの試験運転を行った。排ガスは希釈トンネルに

導入され、平均 56 倍に希釈された。希釈後の排ガスに含まれる VOC を、PTR-MS (Ionicon Analytik GmbH, Innsbruck, Austria) を用いて測定した。

## (2) 精密コロナ放電を用いた新規化学イオン化質量分析法の開発

## (3) 大気反応イオンと酸性有機化合物の反応に関する基礎研究

本研究では、質量分析計のオリフィスに対するニードル電極の角度  $\theta$  およびコロナ直流電圧  $V$  を可変 ( $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ,  $-1.5 \leq V \leq -5.0 \text{ kV}$ ) とする「精密コロナ放電イオン源」を構築し、TSQ7000 三連四重極型質量分析計 (Thermo Fisher Scientific, San Jose, CA) に接続した。コロナニードルには、昆虫採集用の針 (微針, 志賀昆蟲普及社, 東京) を使用した。本ニードル先端輪郭は放物面として近似され、その先端曲率半径は約  $1 \mu\text{m}$  であった。放電実験は全て、実験室大気雰囲気中 (室温  $25^\circ\text{C}$ , 相対湿度 50-70 %) で行った。本研究で使用した有機化合物は、和光純薬工業株式会社 (大阪), 東京化成工業株式会社 (東京), およびシグマアルドリッチジャパン (東京) から購入した。

## 4. 研究成果

### (1) PTR-MS を用いたディーゼル車排ガス中のニトロ有機化合物のリアルタイム測定

定常走行時に得られた排ガスのマススペクトルを図 1a に示す。排ガスを構成する VOC は主に、アルデヒドまたはケトン (図 1a の  $\square$ ), アルケン ( $\bullet$ ), カルボン酸類 ( $\blacktriangle$ ), ジエン

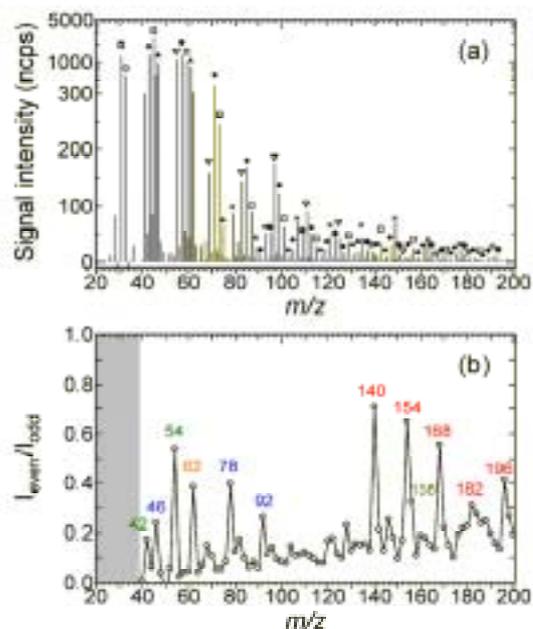


図1. (a) 定常走行時 ( $60 \text{ km h}^{-1}$ ) に得られたディーゼル車排ガスのマススペクトル。  
(b) イオン強度比  $I(M_{at\ m/z\ 2m}) / I(M_{at\ m/z\ 2m-1})$

( $\nabla$ ), 芳香族 ( $\times$ ) であった。隣り合う偶奇  $m/z$  値のイオンシグナルの強度比  $I(M_{at\ m/z\ 2m}) / I(M_{at\ m/z\ 2m-1})$  をプロットすることで、窒素原子を含む有機化合物に由来する偶数  $m/z$  値 ( $m/z\ 42, 54, 62, 78, 92, 140, 140+14n$  ( $0 \leq n \leq 4$ ), 156) のイオンシグナルを見出した (図 1b)。これらはそれぞれ、アセトニトリル、アクリロニトリル、ニトロメタン、硝酸メチル、硝酸エチル、ニトロフェノール、ニトロフェノールのアルキル基置換体、ニトロカテコールおよびその異性体のプロトン化分子として帰属された。

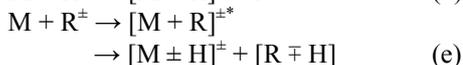
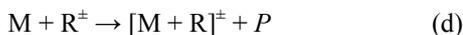
次いで、JE05 走行モードを用いて、排ガス中の代表的なニトロ有機化合物、すなわちニトロメタン ( $\text{CH}_3\text{NO}_2$ ) とニトロフェノール ( $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})(\text{NO}_2)$ ) の排出濃度と運転条件の関係を調査した。ニトロメタンの濃度変化はエンジン回転数および駆動力の変化と同期しており、この結果は、燃料の燃焼に伴うニトロメタンの生成を示唆していた。一方、ニトロフェノールの濃度変化はどの運転条件にも依存していなかった。これにより、ニトロフェノールは車両に搭載されている固有の後処理装置内で生成すると推定された。本研究を通じて、ディーゼル車排ガスに含まれるニトロ有機化合物の生成過程に関する更なる追究、およびそれらを生成させない、または除去する後処理技術の開発の必要性が再認識された。本研究成果は、「5. 主な発表論文等」の学会発表 4, 11, 12 に相当する。

### (2) 精密コロナ放電を用いた新規化学イオン化質量分析法の開発

精密コロナ放電イオン源を用いると、大気成分 ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  など) をそのまま利用して、オリフィスに対するニードル角度  $\theta$  とコロナ電圧  $V$  による電子の運動エネルギーの精密調整 ( $0 \sim 120 \text{ eV}$ ) のみで、様々な正負の大気イオン  $\text{X}^+$  ( $:\text{H}_3\text{O}^+, \text{NH}_4^+$ ),  $\text{Y}^-$  ( $:\text{O}_2^-, \text{HO}_2^-, \text{NO}_2^-, \text{CO}_2^-$  等) の生成制御が可能となった。コロナ放電内のイオン生成 (化学的性質) と電子の運動エネルギー (物理的性質) の関係を包括的にまとめた発表論文 (「5. 主な発表論文等」の雑誌論文 2, 6 および学会発表 1, 2, 3, 7) は、プラズマ科学の新たな応用を生み出す基礎研究として認められ、国際雑誌の特集号への掲載および受賞の対象となった。

本研究では、コロナ放電内で生成する各種大気イオン  $\text{X}^+$ ,  $\text{Y}^-$  は、様々な物理化学的性質を有する有機化合物をイオン化する「反応イオン」として作用することを見出した。例として、図 2 に電子の運動エネルギーが低い場合に得られるフェニルアラニン ( $\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_2)\text{C}(\text{NH}_2)(\text{COOH})$ : 塩基性のアミノ基および酸性のカルボキシル基を有する芳香族化合物) の正負イオンマススペクトルを示す。図 2 に見られるように、フェニルアラ

ニンMは様々な大気イオン  $H_3O^+$ ,  $Y^-$  ( $HO^-$ ,  $O_2^-$ ,  $HCOO^-$ ,  $CH_3COO^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $COO^-(COOH)$ ) と反応し、付加体イオン  $[M + H_3O]^+$ ,  $[M + Y]^-$  や (脱)プロトン化分子  $[M \pm H]^\pm$  としてイオン化された。これらのイオンはそれぞれ、三体衝突による付加反応 (d) および付加反応に続くプロトン移動反応 (e) によって生成すると考えられる。



ここで、 $R^\pm$  は正負の大気イオン、 $P$  は第三体 ( $N_2$ ,  $O_2$ ) を指す。

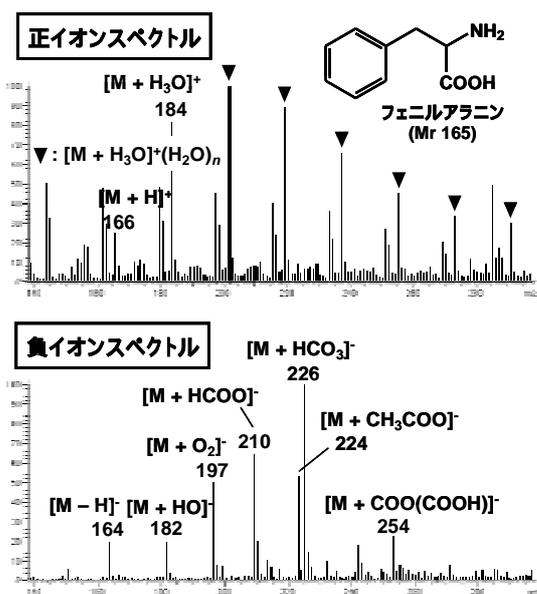


図2. 精密コロナ放電イオン化質量分析法によるフェニルアラニンの正負イオンマススペクトル

さらに、大気イオンと有機化合物の反応は、試料固有の物性 (例えば官能基) によって特異的に進行することが明らかになった。例えば、安息香酸 ( $C_6H_5COOH$ : カルボキシル基のみを有する芳香族化合物) は負の大気イオンである  $O_2^-$  と  $HCO_3^-$  のみと反応し負イオン化され (正イオン化されない), アニリン ( $C_6H_5NH_2$ : アミノ基のみを有する芳香族化合物) は  $H_3O^+$  のみと反応し、正イオン化される (負イオン化されない)。このように、試料の官能基に対してイオン化反応の選択性が存在することは、未知試料の官能基の構造を推定し得ることを意味する。有機化合物の特異的なイオン化を大気そのものの中で行うことが可能な本放電システムは、試料の分子量に加え構造情報をも取得できる大気観測システムの開発への応用が期待される。本研究成果は、「5. 主な発表論文等」の雑誌論文1に相当する。また、本放電システムおよび大気イオンを用いたイオン化法により、現在特許申請中である。

### (3) 大気反応イオンと酸性有機化合物の反応に関する基礎研究

本研究では、(1)の研究で観測されたニトロ有機化合物を含む酸性有機化合物と各種大気イオンを反応させ、酸性化合物の正負イオン化効率に対する評価を行った。図3に、2-ニトロフェノール ( $C_6H_4(OH)(NO_2)$ ) の正負イオンマススペクトルを示す。負イオン化においては、主に大気イオン  $O_2^-$  を介して脱プロトン化分子  $[M - H]^-$  が生成したが、正イオン化はされなかった。 $O_2^-$  による負イオン化が優位に進行する結果は、他の酸性有機化合物、すなわちカルボキシル基を有する芳香族・脂肪族化合物 (安息香酸, 3-フェニルプロピオン酸, 酢酸など) においても得られた。この結果より、酸性化合物は、正の大気イオン  $H_3O^+$  との親和性よりも負の大気イオン  $O_2^-$  との親和性が高く、負イオンとして効率良く検出されることが示唆された。すなわち、酸性有機化合物のイオン化に適した負の大気試薬イオン  $O_2^-$  の生成制御を可能とする精密コロナ放電は、ディーゼル車排ガス中のニトロ有機化合物の高感度・リアルタイム測定に適した新たな大気観測用化学イオン化法の試薬イオン源に利用できると期待される。

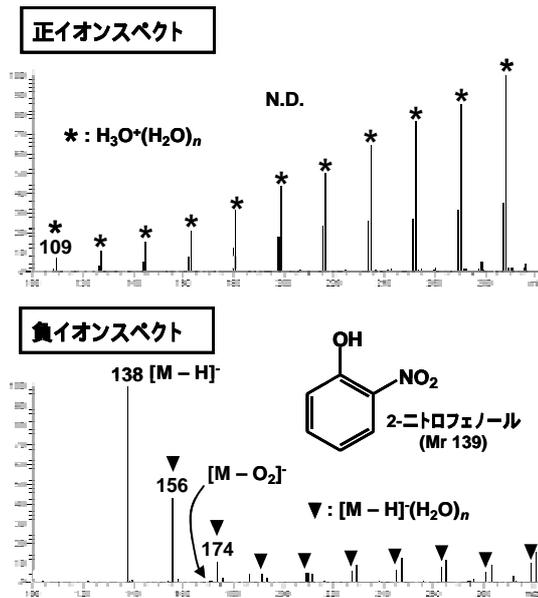


図3. 精密コロナ放電イオン化質量分析法による2-ニトロフェノールの正負イオンマススペクトル

### (4) 負の大気イオン水クラスターの生成機構に関する研究

(2) および (3) の研究の途上、これまでほとんど報告例のなかった様々な負の大気イオン水クラスター  $Y^-(H_2O)_n$  ( $Y = O_2, HO, CO_3, HCO_4, NO_2, NO_3, NO_3(HNO_3)$ ) のマススペクトルを取得し、各種負イオンの第一水和殻およびマジック数に関する新たな知見を

得ることができた。特に、1960年代に予測されていた水酸化物イオン  $\text{HO}^-$  の第一水和殻  $\text{HO}^-(\text{H}_2\text{O})_3$  の直接証明に世界で初めて成功した(図4)。さらに、各種大気イオン水クラスター分布の温度依存性を調査することで、マススペクトルから推定された第一水和殻およびマジック数の正当性を証明した。本研究は、大気エアロゾルの生成機構の解明に貢献すると期待される。本研究成果は、「5. 主な発表論文等」の雑誌論文3,5および学会発表6,8に相当する。

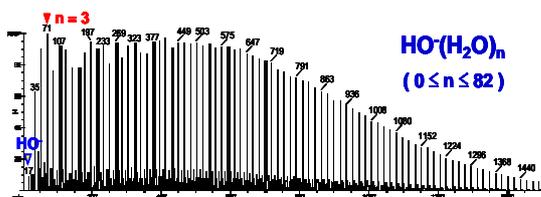


図4. 水酸化物イオン水クラスター  $\text{HO}(\text{H}_2\text{O})_n$  のマススペクトル

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件) 以下全て査読有り。

1. K. Sekimoto, M. Sakai and M. Takayama, Specific interaction between negative atmospheric ions and organic compounds in atmospheric pressure corona discharge ionization mass spectrometry, *Journal of The American Society for Mass Spectrometry*, Vol.23, pp.1109-1119 (2012). DOI: 10.1007/s13361-012-0363-5.
2. 関本 奏子, 高山 光男, 大気中コロナ放電によるイオンの生成と発展の研究, *エアロゾル研究*, Vol.26, pp.203-213 (2011). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/26/3/26\\_3\\_203/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/26/3/26_3_203/_pdf)
3. K. Sekimoto, K. Kikuchi and M. Takayama, Temperature dependence of magic number and first hydrated shell of various core water cluster ions  $\text{Y}(\text{H}_2\text{O})_n$  ( $\text{Y} = \text{O}_2, \text{HO}_x, \text{NO}_x, \text{CO}_x$ ) in atmospheric pressure corona discharge mass spectrometry, *International Journal of Mass Spectrometry*, Vol.306, pp.44-50 (2011). DOI: 10.1016/j.ijms.2011.06.007
4. A.S.D. Eller, K. Sekimoto, J.B. Gilman, W.C. Kuster, J.A. de Gouw, R.K. Monson, M. Graus, E. Crespo, C. Warneke and R. Fall, Volatile organic compound emissions from switchgrass cultivars used as biofuel crops, *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.3333-3337 (2011). DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.03.042
5. K. Sekimoto and M. Takayama, Observation

of different core water cluster ions  $\text{Y}(\text{H}_2\text{O})_n$  ( $\text{Y} = \text{O}_2, \text{HO}_x, \text{NO}_x, \text{CO}_x$ ) and magic number in atmospheric pressure negative corona discharge mass spectrometry, *Journal of Mass Spectrometry*, Vol.46, pp.589-599 (2011). DOI: 10.1002/jms.1870

6. K. Sekimoto and M. Takayama, Negative ion formation and evolution in atmospheric pressure corona discharges between point-to-plane electrodes with arbitrary needle angle, *European Physical Journal D (Topical issue; Microplasmas: Scientific Challenges and Technological Opportunities に掲載)*, Vol.60, pp.589-599 (2010). DOI: 10.1140/epjd/e2010-10449-7

[学会発表] (計12件)

#### 【国際会議】

1. K. Sekimoto and M. Takayama, Negative ion evolution and formation in atmospheric pressure corona discharges between point-to-plane electrodes, The 30<sup>th</sup> International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Poster presentation (Belfast, Northern Ireland, August, 2011).
2. K. Sekimoto and M. Takayama, Ion formation and evolution in atmospheric pressure corona discharges with arbitrary point-to-plane electrode conditions, The 59<sup>th</sup> ASMS Conference on Mass Spectrometry, Poster presentation (Denver, CO, USA, June, 2011).
3. K. Sekimoto and M. Takayama, Negative ion formation and evolution in atmospheric pressure corona discharges between point-to-plane electrodes with arbitrary configurations, The 6<sup>th</sup> International Workshop on Microplasmas, Poster presentation (Paris, France, April, 2011).
4. K. Sekimoto, S. Inomata, H. Tanimoto, Y. Fujitani, H. Yamada, S. Hori, A. Shimono and T. Hikida, On-line measurements of gaseous nitro organic compounds in diesel vehicle exhaust by proton transfer reaction vehicle exhaust by proton transfer reaction mass spectrometry, 5<sup>th</sup> International PTR-MS Conference 2011, **Invited oral presentation** (Oberurgl, Austria, January, 2011).
5. M. Graus, A.S.D. Eller, J. Gilman, W.C. Kuster, J.A. de Gouw, R. Fall, Y. Qian, K. Sekimoto, R.K. Monson and C. Warneke, VOC emissions from the potential biofuel: Switchgrass, *American Geophysical Union Fall meeting 2010*, Poster presentation (San Francisco, CA, USA, December, 2010).
6. K. Sekimoto and M. Takayama, Observation of different core water cluster ions  $\text{Y}(\text{H}_2\text{O})_n$  ( $\text{Y} = \text{O}_2, \text{HO}_x, \text{NO}_x, \text{CO}_x$ ) and magic number

in atmospheric pressure negative corona discharge mass spectrometry, *American Geophysical Union Fall meeting 2010*, Poster presentation (San Francisco, CA, USA, December, 2010).

7. **K. Sekimoto** and M. Takayama, Negative ion formation and evolution in atmospheric pressure corona discharge, *第一回アジア・オセアニア質量分析会議／第58回質量分析総合討論会*, Oral presentation (茨城, May, 2010).
8. **K. Sekimoto** and M. Takayama, Water clusters with various different negative core ions using atmospheric pressure corona discharge mass spectrometry, *The 58<sup>th</sup> ASMS Conference on Mass Spectrometry*, Poster presentation (Salt Lake City, UT, May, USA, 2010).

#### 【国内学会】

9. **関本 奏子**, 高山 光男, 大気圧コロナ放電内の負イオン生成に対するニードル角度依存性, *第59回質量分析総合討論会*, 口頭発表 (ベストプレゼンテーション賞を受賞), (大阪, 2011, 9月).
10. **関本 奏子**, 高山 光男, 大気圧コロナ放電による負イオンの生成と発展, *2011年度静電気学会春季講演会*, 口頭発表 (エクセレントプレゼンテーション賞を受賞), (東京, 2011, 3月).
11. **関本 奏子**, 猪俣 敏, 谷本 浩志, 藤谷 雄二, 山田 裕之, 堀 重雄, 下野 彰夫, 疋田 利秀, Dependence of driving condition on emission factor of nitrated organic compounds in diesel vehicle exhaust, *第16回大気化学討論会*, ポスター発表 (東京, 2010, 11月).
12. **関本 奏子**, 猪俣 敏, 谷本 浩志, 藤谷 雄二, 山田 裕之, 堀 重雄, 下野 彰夫, 疋田 利秀, PTR-MSを用いたディーゼル車排ガス中のガス状ニトロ有機化合物のリアルタイム測定, *第16回大気化学討論会*, 口頭発表 (東京, 2010, 11月).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 大気圧コロナ放電イオン化システム及びイオン化方法

発明者: 高山 光男, **関本 奏子**

権利者: 公立大学法人横浜市立大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-174462

出願年月日: 2011年8月10日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.yokohama-cu.ac.jp/campuslife/110427.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

関本 奏子 (SEKIMOTO KANAKO)

横浜市立大学・生命ナノシステム科学研究科・助教

研究者番号: 40583399