

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：32641

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870595

研究課題名(和文) プラズマへ導入された大気粉塵のイオン化率の改善

研究課題名(英文) Acceleration of vaporization, atomization, and ionization efficiencies in inductively coupled plasma by merging laser-ablated particles with hydrochloric acid gas

研究代表者

中澤 隆 (Nakazawa, Takashi)

中央大学・理工学部・助教

研究者番号：10709687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：プラズマ内でのアブレート粒子のイオン化までの過程を改善させるために、粒子導入経路の途中で塩化水素ガスを混合し、アブレート粒子と共にプラズマへ導入した。200℃に設定した赤外加熱管中で2mol/L塩化水素ガスとアブレート粒子を混合させると、超純水をアブレート粒子と混合した場合と比較して元素によらず全体的に平均32%のアブレート粒子濃度の増加が得られた。塩酸によるアブレート粒子表面の腐食及び酸化物から塩化物への形態変化が観察された。本研究では、アブレート粒子への塩化水素ガス混合によって、アブレート粒子の気化、原子化、イオン化過程が促進されることを見出した。

研究成果の概要(英文)：To accelerate vaporization, atomization, and ionization efficiencies in laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, we merged HCl gas with laser-ablated particles before introduction into the plasma, to convert their surface constituents from oxides to lower-melting chlorides. When particles were merged with HCl gas generated from HCl solution at 200℃, the measured concentrations of elements in the particles were 132% higher on average than the concentrations in particles merged with ultrapure water. Particle corrosion and oxide conversion to chlorides were confirmed by scanning electron microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy, respectively. This experimental results suggests that vaporization, atomization, and ionization of the ablated particles in the ICP improved when HCl gas was merged with the ablated particles.

研究分野：分析化学

キーワード：レーザーアブレーション 誘導結合プラズマ質量分析 赤外加熱管 酸化物粒子 塩化物粒子 融点  
沸点

### 1. 研究開始当初の背景

大気粉塵を誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) へ直接導入し、大気粉塵に含まれる元素をリアルタイムでモニタリングできるようになってきた。しかし、ICP-MS へ導入された大気粉塵濃度を、ニトロセルロースフィルター上に捕集された大気粉塵濃度で割ることで、回収率を求めたところ、酸化物の融点及び沸点の高い元素において低い回収率が得られた。ここでは、ICP-MS へ直接導入された大気粉塵の気化・原子化・イオン化までの過程が不完全であったため、フィルター捕集された大気粉塵濃度よりも ICP-MS へ直接導入された大気粉塵濃度が低くなったと考えられる。それゆえ、プラズマ内へ直接導入された大気粉塵のイオン化率の向上を図る必要がある。

### 2. 研究の目的

ICP-MS の大気試料導入系の開発を行うことを目的とした。大気粉塵中の元素の多くは酸化物として存在していると考えられる。一方、酸化物と塩化物の融点を比較すると、塩化物の方が低い融点を持つ。よって、プラズマへ導入される大気粉塵の化学状態を酸化物から塩化物に換えることができれば、プラズマ内での大気粉塵の気化・原子化・イオン化の過程が促進され、イオン化率の向上が見込まれる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 装置

試料は空気雰囲気下で波長 213 nm の Nd:YAG レーザー (UP213, ESI) を用いてアブレートした。ブランクにはクリーンベンチ (class 100) の空気を用いた。LA 部において発生したアブレート粒子はインパクトターに  $1.0 \text{ L min}^{-1}$  で通し、粒径  $1.0 \mu\text{m}$  以下のアブレート粒子にカットした。インパクトターの出口で経路を分岐させ、サンプルの一部を、ミニポンプを用いて流量  $0.25 \text{ L min}^{-1}$  で Gas Exchange Device (GED; J-Science Lab Co.) に導入し、空気を Ar に置換した。残りのサンプルはマスフローコントローラーを接続したダイヤフラムポンプを用いて流量  $0.75 \text{ L min}^{-1}$  で孔径  $0.025 \mu\text{m}$  のニトロセルロースフィルタ上に 1 時間捕集した。GED を通過したサンプルは 赤外加熱管に導入し HCl ガスと混合した。HCl ガスはマントルヒーターを用いて塩酸溶液を気化させることで赤外加熱管に導入した。赤外加熱管を通過した試料は ICP-MS (7500ce, Agilent Technologies) に直接導入した。定量を行う際は、検量線溶液を脱溶媒装置と連結させた超音波ネブライザー (U6000AT+, CETAC) から ICP-MS へ導入した。使用した超音波ネブライザーの導入効率には元素に依存せず一定である 1)。

#### (2) 測定試料

サンプルとして、多くの元素が酸化物とし

て加えられている NIST 610 ガラス標準物質 (National Institute of Standards and Technologies, Gaithersburg, MD) を用いた。アブレートされたガラス粒子の化学形態を変化させるために、塩化水素ガスを用いた。塩化水素ガスは、希釈した塩酸 (30% 高純度試薬, Tama chemicals. Co., Japan) を  $120^\circ\text{C}$  のマントルヒーター内に設置させたフラスコにネブライザー (AR30-07-PFA2, ESI, Oregon, USA) を使って  $2 \text{ mL min}^{-1}$  で導入した。そして、発生した塩化水素ガスを赤外加熱管に導入した。検量線溶液には多元素混合標準溶液を用いた。内標準には Rh 標準溶液を用いた。また、ネブライザーの導入効率を算出するために  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  標準ガスを Metal Standard Gas Generator から導入した。USN の導入効率は実験を行うごとに求めた。導入効率は 2~3% であった。酸分解では  $\text{HNO}_3$ , HF,  $\text{H}_2\text{O}_2$  を用いた。すべての溶液の調製、希釈には超純水を用いた。

#### (3) 測定

本実験では塩酸の濃度及び赤外加熱管の温度に依存した定量値の変化を求めた。まず、マントルヒーターから超純水を導入した場合と、2 M, 4 M 及び 6 M の塩酸を導入した場合でアブレート粒子の定量値の比較を行った。この際、赤外加熱管の温度は  $200^\circ\text{C}$  に設定した。また、マントルヒーターから導入する溶液を 2M HCl に固定し、赤外加熱管の温度を  $200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$  及び  $400^\circ\text{C}$  に変化させた場合におけるアブレート粒子の分析値の比較を行った。

アブレート粒子の ICP への導入と同時にフィルタ上で捕集されたアブレート粒子は HF 3 mL,  $\text{HNO}_3$  6 mL,  $\text{H}_2\text{O}_2$  1 mL を加え、マイクロ波分解装置 (Ethos One, Milestone, Italy) を用いて分解を行った。その後、 $230^\circ\text{C}$  に設定したホットプレート上で試料を 70 分間加熱し、HF の除去を行った。最終的に超純水で試料が 10 mL になるように定容した後に、ICP-MS で測定を行った。

粒子に水を混合させた場合と塩酸を混合させた粒子の表面形状を比較するために、SEM 観察を行った。 $\text{NIST 610}$  をアブレートし、超純水もしくは 2M 塩酸とアブレート粒子を  $400^\circ\text{C}$  の赤外加熱管で混合させた試料それぞれを 40 分間、孔径  $0.025 \mu\text{m}$  のフィルタに捕集した。粒子表面を SEM (S-4300, Hitachi High Technologies) を用いて観察を行った。フィルタの表面は Pt/Pd 合金の蒸着を施した。

粒子に塩酸を混合した際の組成の変化を確認するため、粒子表面を XPS (Axis-HSi 165, Kratos/Shimadzu Corp.) を用いて分析した。超純水もしくは 2M 塩酸を  $400^\circ\text{C}$  の赤外加熱管で混合させ、孔径  $0.025 \mu\text{m}$  フィルタ上にアブレート粒子を 2 時間捕集し、その後測定に供した。Si と Cl の結合状態が確認できるスペクトルを得るために、Si 2p に

について測定を行った。ピーク分離には Igor (市販ソフトウェア) を用いた。

#### (4) 回収率の算出

リアルタイムで直接測定した試料の測定値をフィルタ捕集後に酸分解したサンプルの測定値で割り、パーセンテージで表した数値を回収率とした。回収率は以下の式①を用いて計算した

$$\text{回収率 (\%)} = (\text{Cd} / \text{Cf}) \times 100 \quad \text{①}$$

Cdはアブレート粒子を直接ICPMSで測定することによって得られた定量値( $\text{ng L}^{-1}$ )、Cfはアブレート粒子をフィルタ捕集し、その後酸分解を施した後に得られた定量値( $\text{ng L}^{-1}$ )である。リアルタイム測定ではアブレート粒子が直接測定される。一方フィルタ測定では酸分解によってアブレート粒子がすべて液体に分解されている。酸分解試料はICP中で完全にイオン化しているとする、式(1)は、ICP-MSに直接導入されたアブレート粒子のプラズマ内でのイオン化の度合いを示す。

### 4. 研究成果

#### (1) 塩酸濃度に依存した増加率の変化

200°Cの赤外加熱管に、超純水、2M、4M及び6M塩酸溶液を気化して導入し、アブレートされた粒子と混合した際に得られた増加率を算出した。増加率は、超純水、2M、4M、6M塩酸溶液を赤外加熱管に導入し、その際に得られたアブレート粒子のそれぞれの定量値を超純水導入時の定量値で割ることで求めた。超純水を混合した場合と2M塩酸を混合させた場合を比較すると、2M塩酸の増加率がすべての元素で高くなった。全測定元素の増加率の平均は132%である。4M塩酸、6M塩酸と濃度を濃くすると増加率は114%、104%となった。塩酸の濃度を2M塩酸よりも濃くすると増加率が抑えられる理由についてはロードエフェクト<sup>3)</sup>が原因であると考えられる。大量のHClガスがプラズマに導入されることによって、HClガスのイオン化にプラズマ中のエネルギーが消費され、目的元素のイオン化までの過程が不完全になったと考えられる。2M塩酸を加えた際、測定したすべての元素について一様に増加率が上昇したことから、塩酸によるアブレート粒子へ元素依存性は少ないと考えられる。最も高い増加率が得られたことから赤外加熱管へ導入するHClの最適濃度条件は2Mに決定した。

#### (2) 赤外加熱管の温度に依存した増加率の変化

増加率は、赤外加熱管に導入する塩酸濃度を2Mに固定し、赤外加熱管の温度を200°C、300°C、400°Cと変化させた時に得られた各測定元素の定量値を赤外加熱管の温度200°Cの定量値で割ることで求めた。酸化物の融点の高い、59Co、90Zr、232Thについて高い感度が得られるように温度を変える毎にサン

プリングデプスに関してチューニングを行った。最適サンプリングデプスは200°Cでは9.4mm、300°Cでは9.1mm、400°Cでは8.9mmであった。赤外加熱管の温度を上げるとサンプリングデプスの最適値が小さくなる理由は、プラズマ内でのイオンの拡散が生じたためと考えられる<sup>4)</sup>。赤外加熱管の温度を200°C、300°C、400°Cと変え、導入する塩酸の濃度を2Mに固定した時の測定元素の増加率を算出した。Pbを除くすべての測定元素が赤外加熱管の温度が高くなるほど、増加率が上昇する傾向を示した。全元素で平均して、300°Cで115%、400°Cで135%の増加率の上昇傾向が見られた。この結果から、赤外加熱管内において、アブレート粒子とHClガスに加えられる熱量が増加することで、アブレート粒子中の酸化物の一部が塩化物に置き換わる反応及び腐食による形状の変化が促進されたと考えられる。よって、赤外加熱管の最適温度条件は400°Cに決定した。

#### (3) SEM像の観察

400°Cに設定した赤外加熱管にアブレート粒子とともに超純水もしくは2M HClガスを導入した際に得られたアブレート粒子表面のSEM像の観察結果をFig. 1a, 1bに示す。超純水を混合させたアブレート粒子の表面は滑らかであった(Fig. 1a)。2M HClガスを混合させたアブレート粒子の表面は凸凹とした形状になっている(Fig. 1b)。このことから、2M HClガスをアブレート粒子と混合させると、アブレート粒子の表面が酸により腐食する。その結果、表面が荒くなり、アブレート粒子の表面積が増加した。HClガスとアブレート粒子を混合させることによって、プラズマ内でエネルギーを受け取るアブレート粒子の表面積が増加し、アブレート粒子のプラズマ内での気化、原子化、イオン化が促進されたと考えられる。また、腐食により粒子の表面が壊れやすくなり、表面特性として脆弱性が増加したこともイオン化までの過程を促進する1つの要因と考えることができる。2M塩酸導入時の元素に依存しない増加率の上昇はこの腐食が1つの原因である。

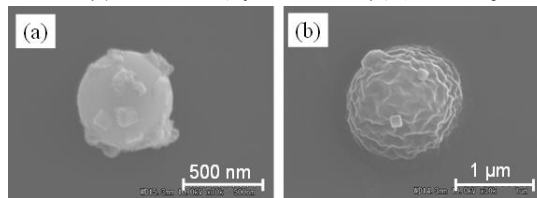


Fig. 1 超純水混合時のアブレート粒子(a)および塩酸混合時のアブレート粒子(b)

#### (4) XPSの結果

Fig. 2aに400°Cの赤外加熱管において水蒸気とアブレート粒子を混合した際に、フィルター上に得られた粒子のSi 2pのXPS測定結果を示す。Fig. 2a中に黒線で示されたXPSスペクトルのフィッティングカーブをピーク分離すると、1つのピークのみ得られた

(Fig. 2a, 青線)。

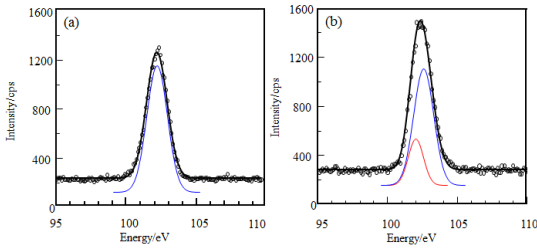


Fig. 2 (a) 水蒸気と混合したアブレート粒子のXPSスペクトル (b) 塩酸ガスと混合したアブレート粒子のXPSスペクトル

ピークトップは 102.7 eV である。SiO<sub>2</sub> のピークはデータベース 5) によると、103.1~103.4 eV に観測されるが、検出されたピークは低いエネルギー側で観測された。SiO<sub>2</sub> と Na<sub>2</sub>O が混合したガラスをXPSで測定した場合の SiO<sub>2</sub> のピークは、低エネルギー側にシフトする。また、SiO<sub>2</sub> 69%と Na<sub>2</sub>O 30%の混合物の場合は 0.8 eV ほど SiO<sub>2</sub> 結晶と比較して低エネルギー側にピークが観測されると報告されている 5)。従って、Fig. 2a の青線のピークは、SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O 混合物の SiO<sub>2</sub> の XPS ピークと良い一致を示している。よって、102.7 eV 付近の青線で示したピークは、SiO<sub>2</sub> 由来のものであると帰属した。

Fig. 2b に 400°C の赤外加熱管において 2M 塩酸とアブレート粒子を混合させ、フィルター上に得られた粒子表面の Si 2p の XPS 測定結果を示す。Fig. 2b 中に黒線で示された XPS スペクトルのフィッティングカーブをピーク分離すると、2 つのピークに分離された (Fig. 2b, 赤線、青線)。Fig. 2b 中に青線で示されたピークは SiO<sub>2</sub> 由来のものである。Fig. 2b 中の赤線のピークは、SiO<sub>2</sub> 由来のピークから 1.0 eV ほど低いエネルギー側に検出された。SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O と SiCl<sub>2</sub> の XPS ピークのエネルギー差は 1.0 eV 程度であることから 5)、赤線のピークは SiCl<sub>2</sub> の化学種のシフトと良い一致を示す。400°C の赤外加熱管内で 2M 塩酸とアブレート粒子を混合した試料から、SiCl<sub>2</sub> の XPS ピークが得られた。よって、2M 塩酸をアブレート粒子と混合することで、アブレート粒子の酸化物の一部が塩化物へと置き換わる反応が起こっていることが判明した。Fig. 3b の SiO<sub>2</sub> と SiCl<sub>2</sub> のピーク面積比は SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : 0.24 であった。

SiO<sub>2</sub> を 72% 含んでいる NIST 610 ガラス標準物質をハンマーとメノウ乳鉢で粉碎した粉末と、Si-Cl 結合を構造中に持つ、97% t-BuMe<sub>2</sub>SiCl を 1:1 で混合し、均一化したものを XPS で測定した。この混合物の Si 2p 測定結果を Fig. 2c に示す。Fig. 2c 中に黒線で示された XPS スペクトルのフィッティングカーブをピーク分離すると、2 つのピークに分離された (Fig. 2c, 青線、緑線)。Fig. 2c 中に青線で示されたピークは SiO<sub>2</sub> 由来のものである。Fig. 2c 中に緑線で示されたピークは Et<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub> (102.6 eV) 由来のもので帰属

された。SiO<sub>2</sub> と Et<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub> のピークの面積比は 1 : 0.66 となった。2M 塩酸を 400°C の赤外加熱管で混合した粒子の SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> を Fig. 2c の強度比から見積もった。Fig. 2c より SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : 1 で存在している標準混合物について強度比は SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : 0.66 であった。塩酸混合粒子に SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : x の割合で存在していたとする。Fig. 2b より塩酸混合試料について強度比は SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : 0.24 である。以上より、2M 塩酸を 400°C の赤外加熱管で混合した粒子の SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> の割合は SiO<sub>2</sub> : SiCl<sub>2</sub> = 1 : 0.35 となる。従って塩化物成分を全体で割ると  $0.35 \div (1.00 + 0.35) = 0.25$  より、粒子表面の約 25% が、酸化物から塩化物へ組成が変化したと考えられる。しかしながら、粒径 1 μm 以下の粒子に対し、今回は 10 nm ほどの表面部分について XPS 測定を行っているため、粒子の中心部分については組成が変化していないと考えている。

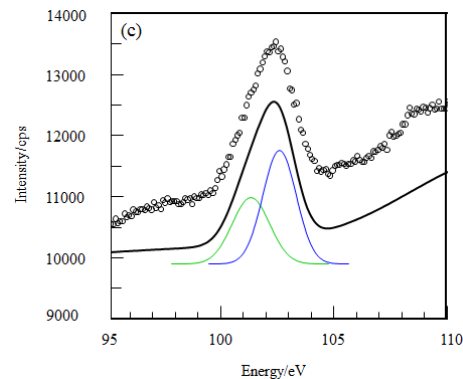


Fig. 2(c) NIST610 と Et<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub> を 1:1 で混合した試料の XPS スペクトル

#### (5) 最適条件における回収率

最適条件として塩酸濃度を 2M、赤外加熱管の温度を 400°C に設定し、求めた回収率を Fig. 3 に示す。

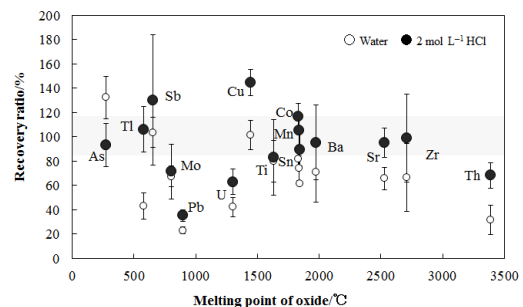


Fig. 3 サンプルングデプス 8.9mm におけるアブレート粒子の回収率

Fig. 3 から全ての測定元素について超純水を加えた場合に対して 2M 塩酸を加えた場合の方が回収率が上昇したことが分かる。全測定元素の回収率は 2M 塩酸を加えた時、超純水と比較して平均 23%、Sr, Zr, Th といった酸化物の融点の高い元素についてもそれぞれ 66% から 95%、66% から 99%、32% から 68% と回収率の増加が確認でき、回収率は 100% に近い値をとった。従って、2M 塩酸を経

路の途中でアブレート粒子に混合することで、酸化物の融点の高い元素に関してもアブレート粒子の気化、原子化、イオン化の過程が促進されたと考えられる。75As に関しては、40Ar35Cl の干渉が生じる。従って、75As に関してのみ、 $m/z=76, 77$  を同時に測定することで、干渉の補正<sup>6)</sup>を行い、回収率を算出している。Fig. 3 には 75As の干渉補正後の回収率を示している。2M 塩酸を加えた際の Sb は、他の元素と比較し回収率が高くなった。フィルタに捕集された粒子は、その後酸分解処理を施し、ICPMS で測定した。従って、フィルタ測定の前酸分解処理においてフッ化水素酸を、ホットプレートを用いて飛ばす際に、Sb の揮発が生じたことが考えられる。As, Sb に関しては、ホットプレートを用いて酸分解を行う際、揮発が生じることが知られている<sup>6)</sup>。よって Sb の回収率は 130% と高くなった。また、Mo, Pb, U の回収率はそれぞれ  $71 \pm 23\%$ ,  $35 \pm 5\%$ ,  $63 \pm 10\%$  と、回収率は 100% を下回った。測定元素の中で、Mo, Pb, U の元素は酸化物の融点の低いことから、プラズマ中でイオン化までの過程が促進された結果、サンプリングコーンの手前で拡散が起こったことが原因と考えられる。その他の元素については 2M 塩酸を混合した際の回収率は  $100\% \pm 10\%$  と良い一致を示した。低融点元素の拡散による影響を考慮し、さらにサンプリングデプスを 0.5 mm 近づけて測定を行い、回収率を算出した結果を、Fig. 4 に示す。

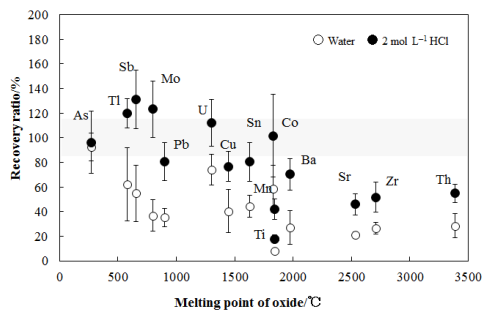


Fig. 4 サンプリングデプス 8.4mm におけるアブレート粒子の回収率

Fig. 4 から、サンプリングデプスを近づけることで、酸化物の融点の低い Mo, Pb, U について、Fig. 4 と比較してそれぞれ回収率は  $123 \pm 13\%$ ,  $81 \pm 7\%$ ,  $112 \pm 12\%$  と改善した。一方で、Mn, Ti, Ba, Sr, Zr, Th といった酸化物の融点の高い元素は、回収率が平均で 45% 減少した。これは酸化物として高融点の試料はサンプリングデプスを近づけたために、プラズマ内でのアブレート粒子の気化、原子化、イオン化が不完全であったことが原因と考えられる。

#### (6) 結論

レーザーアブレーションで生成されたアブレート粒子に、導入経路の途中で 2M 塩酸溶液を気化し、HCl ガスとして混合することで、超純水を混合した場合と比較して 32% の

増加率の向上が観察された。これは、粒子中の酸化物の一部が HCl ガスにより塩化物に変化したという組成の変化、及び酸による腐食によって粒子の表面積の増加または表面の特性変化という形状の変化といった 2 つの要因によるものだと考えられる。XPS の結果から、アブレーション粒子と 2M 塩酸を 400°C の赤外加熱管で混合した際、Si について粒子表面の 25% が酸化物から塩化物に変化したと考えられる。また、塩酸濃度が 4M, 6M の場合、ロードエフェクトが生じ、増加率は低下した。さらに、赤外加熱管の温度が高いほど、増加率が上昇し、加熱管の温度が 400°C の時、200°C に対して 35% 上昇することが分かった。赤外加熱管の温度については酸化物の融点に関係した元素依存性がある。酸化物の融点の低い As, Ti, Sb は赤外加熱管の温度上昇による増加率上昇が観察された。酸化物の融点が高く塩化物の融点との差が大きい Th に関しては粒子の組成の変化が熱で促進され、プラズマ中での気化促進による増加率の上昇が起きたと考えられる。

アブレート粒子に 2M 塩酸を 400°C の赤外加熱管で混合し、サンプリングデプスを 8.9 mm に設定し測定を行った際、全ての測定元素について、回収率は HCl ガスを粒子に混合させた場合では超純水を混合させた場合と比較して平均 23% 増加した。Sr, Zr, Th といった酸化物の融点の高い元素についてはそれぞれ 29%, 32%, 36% 増加した。酸化物の融点の低い元素についてはサンプリングコーンの手前で拡散が生じることで、回収率が低下した。しかし、サンプリングデプスを近づけることで、Mo, Pb, U についてそれぞれ回収率は 123%, 81%, 112% となり、回収率は改善された。このことから、本手法を用いることで、プラズマへ導入される  $1 \mu\text{m}$  以下の粒子が、プラズマ内で効率よく原子化、イオン化されるようになったと考えられる。本手法を用いる際、酸化物の融点の低い元素は拡散の影響を受けることに気を付ける必要がある。

#### (7) 参考文献

- 1) Y. Suzuki, H. Sato, S. Hikida, K. Nishiguchi and N. Furuta, *J. Anal. At. Spectrom.*, 2010, 25, 947-949.
- 2) D.R. Lide (Ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 86th ed., Taylor & Francis, 2005.
- 3) I. Kroslakova and D. Günther, *J. Anal. At. Spectrom.*, 2007, 22, 51-62.
- 4) Lui Kwok On Thomas, Ph. D. Thesis, The University of Hong Kong, 2011.
- 5) Alexander V. Naumkin, Anna Kraut-Vass, Stephen W. Gaarenstroom, and Cedric J. Powell, *NIST Standard Reference Database 20, Version 4.1*, <http://srdata.nist.gov/xps/>, 2012.
- 6) U.S. Environmental Protection Agency,

Test methods for evaluating solid wastes physical/chemical methods, Method 6020 Inductively coupled plasma-mass spectrometry, CLP-M Ver. 9, 1994.

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 3 件)

- ① R. Machida, T. Nakazawa and N. Furuta: "Temporal changes of size distribution of mass and relative intensity for ablated particles during laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry", J. Anal. At. Spectrom., 31(3), 809-814 (2016). 査読有
- ② R. Machida, T. Nakazawa, Y. Sakuraba, M. Fujiwara and N. Furuta: "Particle size-related elemental fractionation in laser ablation in liquid inductively coupled plasma mass spectrometry", J. Anal. At. Spectrom., 30(12), 2412-2419 (2015). 査読有
- ③ R. Machida, T. Nakazawa and N. Furuta: "Temporal changes of fractionation index caused by changes in the large size of ablated particles in laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry", Anal. Sci., 31(5), 345-355 (2015). 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① N. Furuta, R. Fukushi, T. Nakazawa: Real time monitoring of multi-elements concentration in airborne nano-particles (ANPs) by direct introduction into ICPMS; 2016 Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, 2016年1月 Tucson, USA.
- ② M. Fujiwara, Y. Sakuraba, R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta: Precise and accurate determination of Sn in NIST 610 glass standard by laser ablation in liquid with isotope dilution ICPMS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015年12月 Honolulu, Hawaii.
- ③ R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta: Temporal changes in the fractionation index explained by the changes of size distribution of ablated particles; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015年12月 Honolulu, Hawaii.
- ④ N. Furuta, R. Fukushi, T. Nakazawa: Real time monitoring of multi-elements concentration in airborne

nano-particles (ANPs) by direct introduction into ICPMS; 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015年12月 Honolulu, Hawaii.

- ⑤ 福士 亮平, 中澤 隆, 古田 直紀: ガス微粒子化装置 (GPD) を用いた Sb と As のガス状成分のリアルタイム分析; 日本分析化学会第 64 年会, 2015年9月 福岡.
- ⑥ 藤原 正英, 中澤 隆, 古田 直紀: 液中レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法によるガラス標準物質 NIST 610 中の Sn の精確な定量; 日本分析化学会第 64 年会, 2015年9月 福岡.
- ⑦ S. Izumo, K. Nishiguchi, R. Machida, T. Nakazawa, N. Furuta: Improvement of the ionization in ICP by merging HCl gas to laser ablated particles; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, 2015年2月 Munster, Germany.
- ⑧ T. Nakazawa, R. Fukushi, N. Furuta: Quantification of multi-elements in airborne particulate matter by real-time monitoring ICP-MS and their correlation with wind direction and velocity; 2015 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, 2015年2月 Munster, Germany.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://envsun.chem.chuo-u.ac.jp/index2.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中澤 隆 (NAKAZAWA, Takashi)

中央大学・理工学部応用化学科・助教

研究者番号: 10709687