ジェットエンジンオイル・燃料と成田国際空港滑走路近傍で捕集した粒径別粒子（粒径 10 nm—10 μm）の元素組成

齊藤勝美[1,2]、伏見暁洋[2]、藤谷雄二[2]、

森野 悠[2]、早乙女拓海[3]、竹川暢之[4]、世良耕一郎[5]

[1]イサラ研究所
028-7302　岩手県八幡平市松尾寄木第 1 地割 500 番 82

[2]（国）国立環境研究所
305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2

[3]（株）環境計画研究所
183-0023　東京都府中市宮町 2-15-13

[4]首都大学東京
192-0397　東京都八王子市南大沢 1-1

[5]岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0603　岩手県滝沢市留が森 348-58

1　はじめに

航空機由来の超微小粒子状物質における特徴を元素組成の面から捉えることを目的として、ジェットエンジンのオイルと燃料、成田国際空港滑走路近傍で捕集した粒径 10 nm～10 μm の粒子を対象に大気 PIXE と PIXE を用いて元素分析をした。

2　方法

2.1　ジェットエンジンオイルと燃料

分析対象としたエンジンオイルは、多くの航空機に用いられている MOBIL JET Oil II と MOBIL JET Oil 254 とした。燃料は一般的に用いられている JET A-1 とした。エンジンオイルと燃料の元素分析は、日本アイソトープ協会仁科サイクロトロンセンター（NMCC）の大気 PIXE 装置（図 1）で行った。大気 PIXE 装置は、通常の PIXE 装置とは異なりプロトンビームを大気中に取り出して試料に照射することができるため、液体試料や植物を無処理で元素分析をすることができる。エンジンオイルと燃料の照射試料は、バッキングフィルムを貼り付けたターゲットフレームに試料を数μL 滴下して作成した。照射試料に照射して発生する特性X線を低エネルギー用と高エネルギー用の 2 台の Si (Li)検出器で同時に測定してスペクトルを得た。検出

された元素のピーク面積を解析するには解析プログラム“SAPIX”[1]、ピーク面積から定量値を求めるには Sc を内標準とする内標準法[2]を用いた。2000 wt-ppm Sc の標準物質はオイルベースなので、Sc の他にオイル由来の元素が含まれている。そのため、Sc 標準物質を添加しない試料を測定し、次に試料 0.5mL に Sc 標準試料 1mL を加えた測定試料、Sc 標準試料を測定した。エンジンオイルと燃料の元素定量値は、Sc 標準試料を加えた測定試料の測定値から Sc 標準物質の測定値を差引いて求めた。

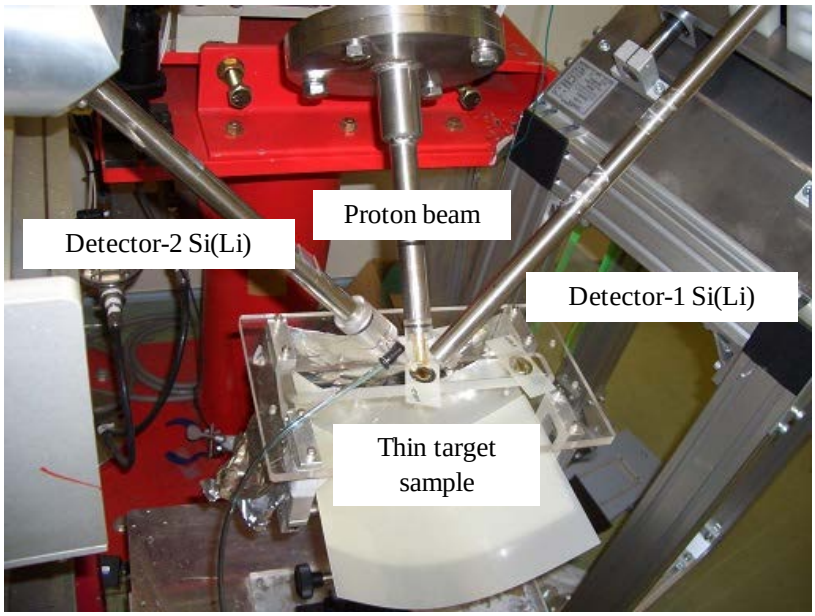


図 1　NMCC の大気 PIXE 装置

2.2　低圧多段分級インパクターで捕集した粒子試料

2018 年 2 月に成田国際空港 A 滑走路の近く (図 2) において、低圧多段分級インパクター (NanoMoudi II、MSP) を用いて粒径 10 nm～10 μm の大気粒子を粒径別に捕集した。粒子試料の捕集は、航空機が離陸・着陸する 7:00－22:00 の時間帯のみ 4 日間又は 2 日間連続の計 3 回（2 月 9 日～13 日、13 日～17 日、19 日～20 日）とバックグラウンド試料として航空機の離陸・着陸がない 0:00－6:00 の時間帯のみを 5 日間連続で 1 回（2 月 22 日～26 日）行った。試料捕集地点の西側（直線距離 100～500m 程度のエリア）には建設用土砂の運搬拠点があり、日曜日と荒天時を除く 23 時～4 時半頃に重機や大型トラックが稼働していた。そのため、これらの稼働に伴うディーゼル排気等がバックグラウンド試料に影響を及ぼした可能性がある。

粒子試料の捕集には、ポリカーボネィートフィルタ（孔径 0.2μm、47mmΦ)、バックアップフィルタには PTFE フィルタ（TFH-47、堀場製作所）又は石英繊維フィルタを用いた。粒子試料の元素分析は、ポリカーボネィートフィルタに捕集した試料を対象に NMCC の PIXE 装置（図 3）で行った。PIXE 分析の照射試料は、捕集試料の一部をマイラー製のターゲットフレームに貼り付けて作成した。PIXE 分析では、スモールサイズのサイクロトロンからの 2.9MeV のプロトンビーム (5 mmΦ) を真空チャンバー内で照射試料に照射し、これにより発生した特性X線を低エネルギー用と高エネルギー用の 2 台の Si (Li)検出器で同時に測定してスペクトルを得た。検出された元素のピーク面積を解析するには解析プログラム“SAPIX”[1]、ピーク面積から定量値を求めるには External-Standard 法[3]を用いた。

図 2　大気粒子の捕集地点

図 3　NMCC の PIXE 装置

3　結果と考察

3.1　ジェットエンジンオイルと燃料

大気 PIXE 分析によって得られたジェットエンジンオイルの MOBIL JET Oil II 及び MOBIL JET Oil 254 と燃料の JET A-1 のスペクトルを図 4 に示す。図 4 をみると、大気中に存在する Ar 以外では、P のピークが MOBIL JET Oil II と MOBIL JET Oil 254 から明瞭に確認された。JET A-1 のスペクトルからはピークは確認されなかった。

Sc 標準物質を内標準とした定量結果は表 1 のとおり、定量された元素は P、S、Fe の 3 元素であった。MOBIL JET Oil II と MOBIL JET Oil 254 で明瞭なピークとして確認された P の値は 2,500 wt-ppm、1,400 wt-ppm と高濃度であった。S の値は MOBIL JET Oil II が 80 wt-ppm であったが、MOBIL JET Oil 254 では定量下限値以下と、オイルの種類によって異なっている。JET A-1 は P、S、Fe とも定量下限値以下であった。

表 1　エンジンオイルと燃料の元素分析結果

Element	Engine oil (wt-ppm)		Fuel (wt-ppm)
	JET Oil Ⅱ	JET Oil 254	JET A-1
P	2500±400	1400±300	<10
S	80±10	<10	<10
Fe	2.5±0.5	0.5±0.2	<0.5

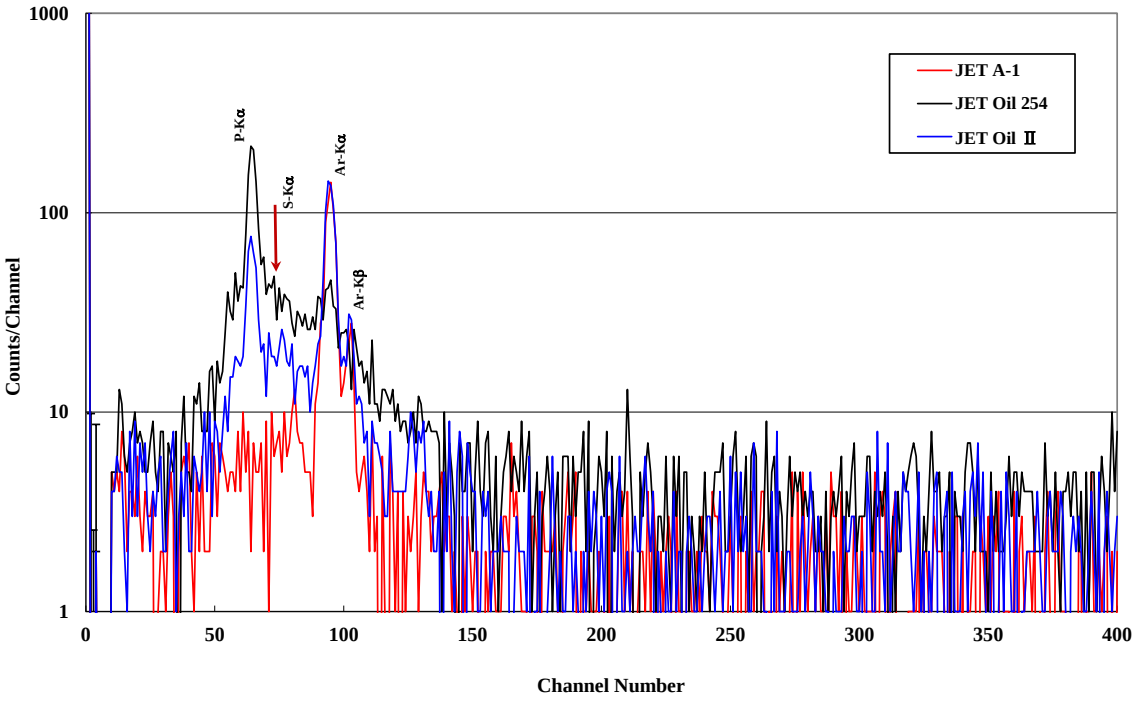


図 4　大気 PIXE 分析によるエンジンオイルと燃料のスペクトル

3.2　低圧多段分級インパクターで捕集した粒子試料

航空機離陸・着陸時間帯の 3 試料とバックグラウンド試料の PIXE 分析結果を、表 2～表 5 に示す。航空機離陸・着陸時間帯の試料からは、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Br、Rb、Sr、Hg 及び Pb の 26 元素が定量された。バックグラウンド試料からは Rb を除く 25 元素が定量された。

図 5 に粒径別の粒子質量濃度、図 6 には粒径別の粒子質量に占める定量元素合計値の割合を示した。図 5 の粒子質量濃度は、いずれの試料とも微小粒子の粒径 0.32—0.56 μm、粗大粒子の粒径 5.60—10.0 μm にピークがある他、超微小粒子状物質（UFP : 10—100 nm）側にもピークがみられる。図 6 の粒子質量に占める定量元素合計値の割合では、航空機離陸・着陸時間帯の試料は粒子径が大きくなるに伴って割合が徐々に増加し、粗大粒子の 5.60—10.0 μm で急激に割合が高くなっている。バックグラウンド試料は、UFP の 10—18 nm において航空機離陸・着陸時間帯の試料よりも割合が高く，それ以外は航空機離陸・着陸時間帯の試料と同様の傾向にある。

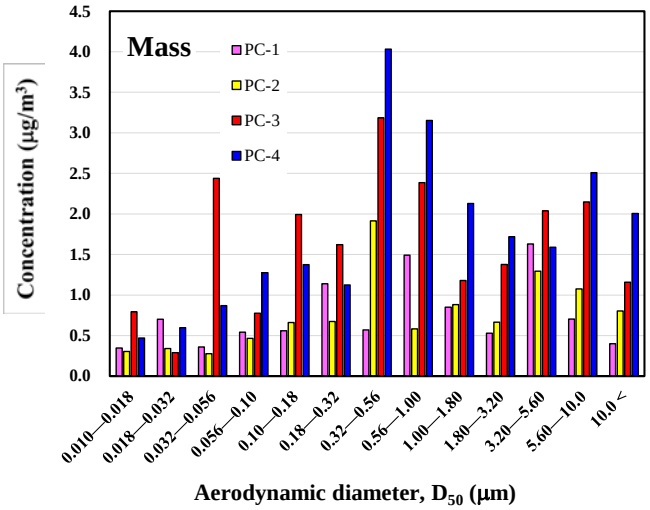


図 5　粒径別の粒子質量濃度

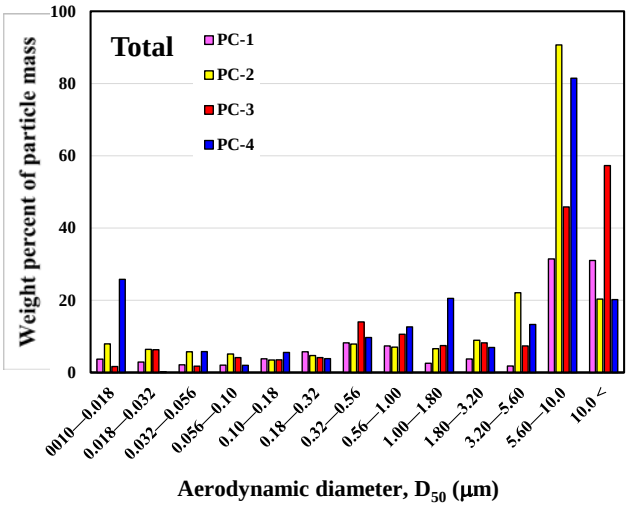
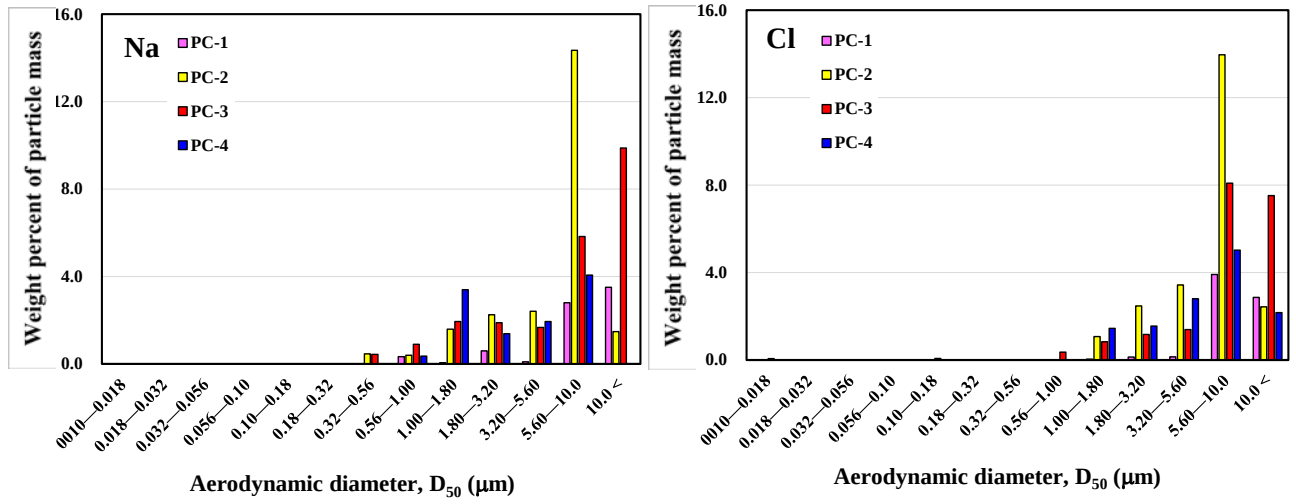


図 6　粒径別の粒子質量に占める定量元素合計値の割合

粒径別の粒子質量に占める元素割合の粒径分布をみると、元素によって粒径分布が異なり幾つかのパターンに分類される。粒径分布のパターンとしては、1) 粗大粒子側に大きなピークを持つ Na、Cl 及び Mg（図 7）、2) 粗大粒子側に大きなピークを持つ他に UFP にも濃度がみられる Ca と Fe（図 8）、3) Ca と Fe よりも UFP の濃度が高い Si と Mg（図 9）、4) UFP、微小粒子、粗大粒子にピークを持つ S、K、Zn、Pb（図 10）であった。この他、バックグラウンド試料における UFP の 10—18 nm を除くと微小粒子に濃度が高い P（図 11）、UFP、微小粒子に濃度が高い Ni（図 12）、粗大粒子の濃度が高い Cu（図 13）、バックグラウンド試料における UFP の 10—18 nm を除くと Fe と同様の粒径分布を示す Al である。



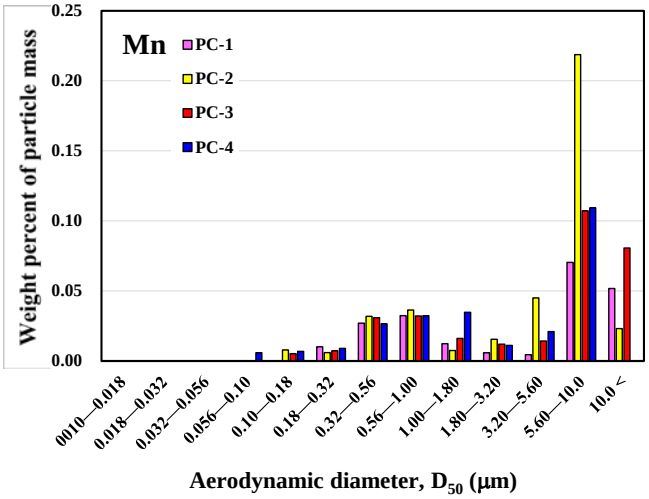


図 7　粒径別の粒子質量に占める Na、Cl、Mn の割合（粗大粒子の大きなピークを持つ粒径分布パターン）　PC-1 は 2 月 9 日～13 日、PC-2 は 2 月 13 日～17 日、PC-3 は 2 月 19 日～20 日に捕集した航空機離陸・着陸時間帯の試料、PC-4 はバックグラウンド試料

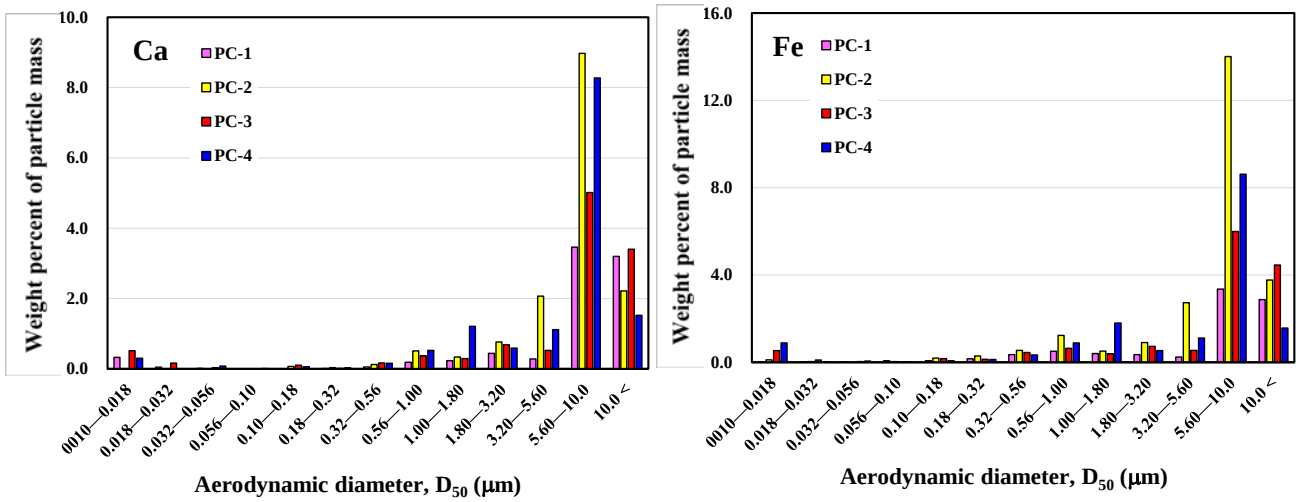


図 8　粒径別の粒子質量に占める Ca と Fe の割合（粗大粒子の大きなピークを持つ他に UFP にも濃度がみられる粒径分布パターンⅠ）　PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

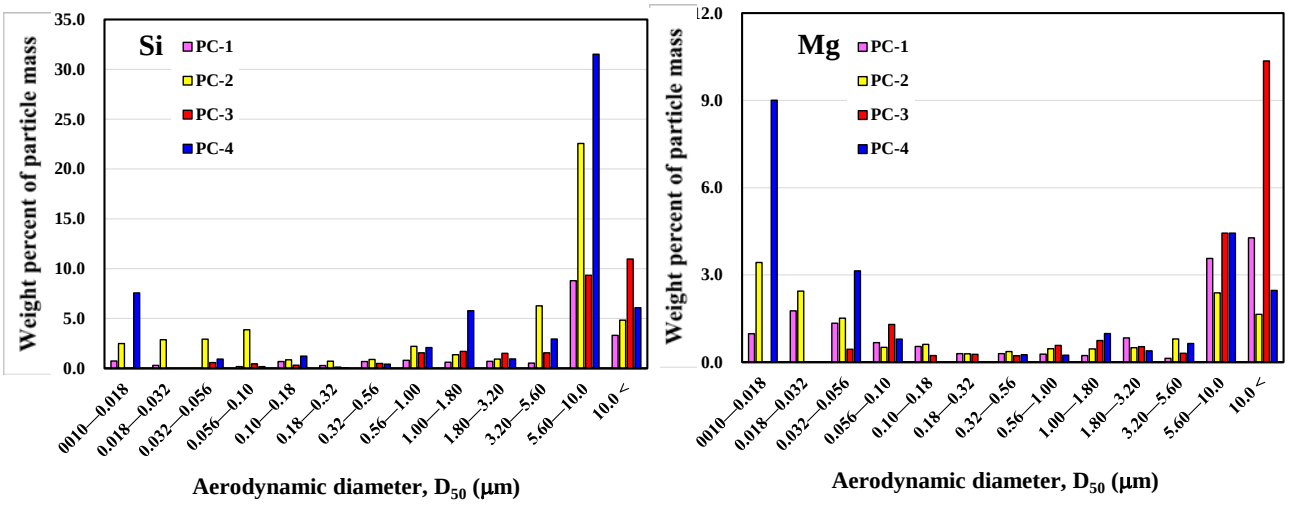


図 9　粒径別の粒子質量に占める Si と Mg の割合（粗大粒子の大きなピークを持つ他に UFP にも濃度がみられる粒径分布パターンⅡ）　PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

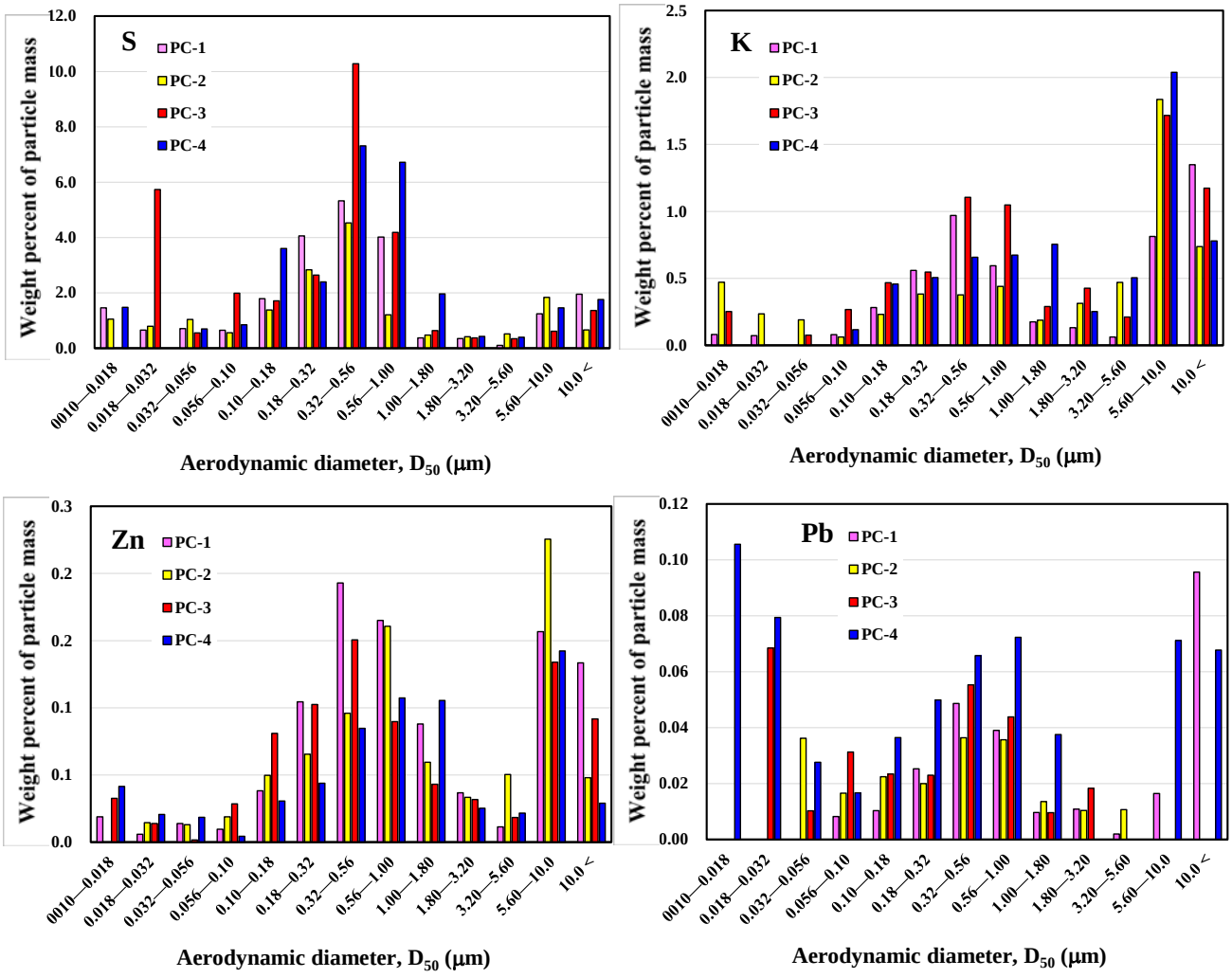


図 10　粒径別の粒子質量に占める S、K、Zn、Pb の割合（UFP、微小粒子、粗大粒子にピークを持つ粒径分布パターン）　PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

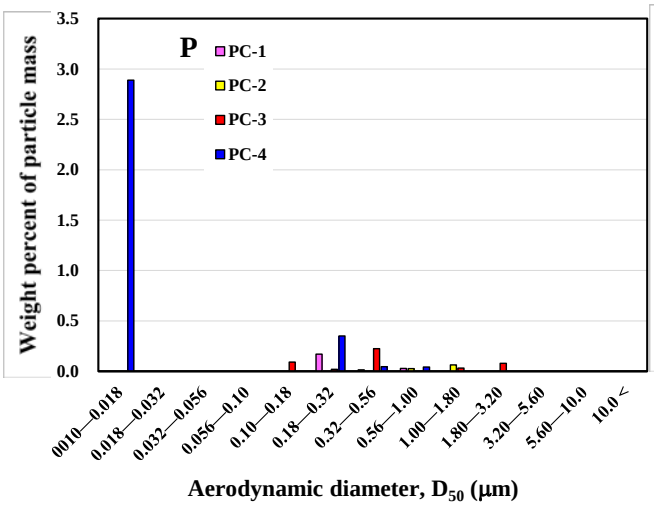


図 11　粒径別の粒子質量に占める P の割合
PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

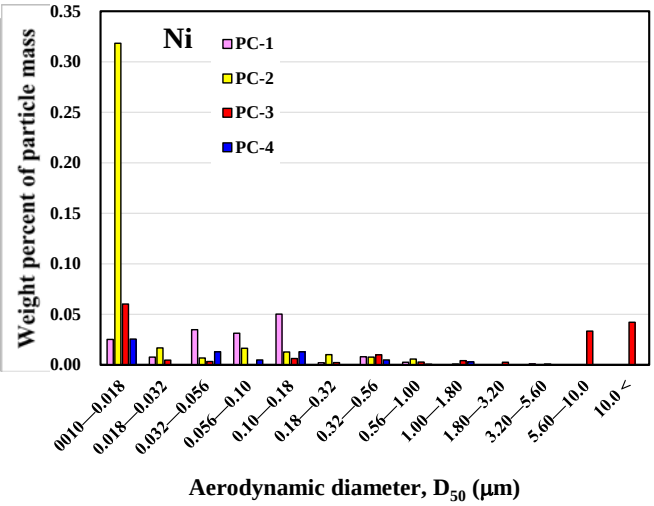


図 12　粒径別の粒子質量に占める Ni の割合
PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

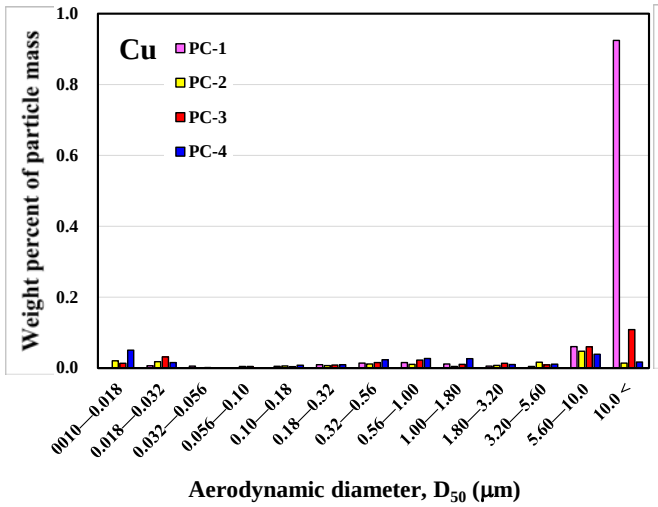


図 13　粒径別の粒子質量に占める Cu の割合
PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

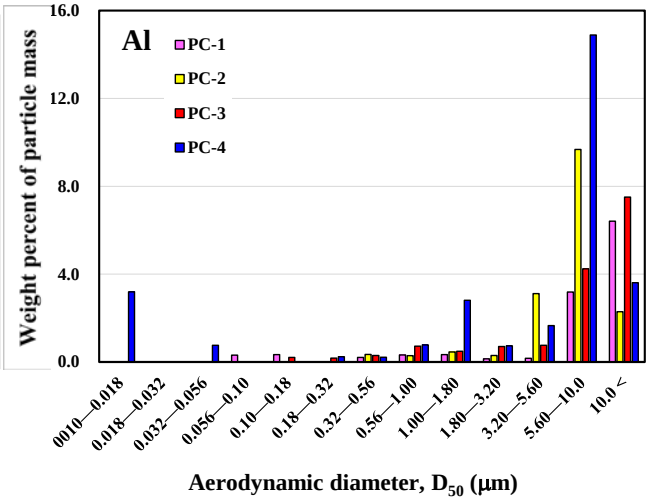


図 14　粒径別の粒子質量に占める Al の割合
PC-1～PC-4 は図 7 と同じ

表 2　航空機離陸・着陸時間帯における捕集試料の元素分析結果（ng/m^3）
（捕集期間：2018 年 2 月 9 日～13 日）

	Stage No. 13	Stage No. 12	Stage No. 11	Stage No. 10	Stage No. 9	Stage No. 8	Stage No. 7	Stage No. 6	Stage No. 5	Stage No. 4	Stage No. 3	Stage No. 2	Stage No. 1
	10-18 nm	18-32 nm	32-56 nm	56-100 nm	100-180 nm	180-320 nm	320-560 nm	560 nm-1 μm	1-1.8 μm	1.8-3.2 μm	3.2-5.6 μm	5.6-10 μm	10< μm
Na	ND*[1]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.98	0.45	3.13	1.50	19.6	14.0
Mg	3.38	12.3	4.82	3.64	3.01	3.31	1.66	4.09	1.91	4.43	2.16	25.0	17.1
Al	ND	ND	ND	1.70	1.86	ND	1.19	4.69	2.84	0.76	2.76	22.4	25.6
Si	2.54	2.11	<LOQ	0.96	3.75	3.20	3.90	12.0	5.12	3.71	8.50	61.8	13.2
P	ND	ND	ND	ND	ND	1.95	0.08	0.43	ND	ND	ND	ND	ND
S	5.04	4.59	2.55	3.50	10.0	46.3	30.4	59.9	3.14	1.86	1.71	8.75	7.80
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.31	0.70	2.35	27.5	11.4
K	0.28	0.51	ND	0.43	1.58	6.38	5.53	8.88	1.49	0.70	1.02	5.71	5.40
Ca	1.13	0.38	0.05	<LOQ	<LOQ	0.15	0.32	2.84	2.00	2.35	4.68	24.3	12.8
Ti	<LOQ*[1]	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.03	<LOQ	0.11	<LOQ	<LOQ
V	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	0.04	ND	0.04	ND	ND
Cr	<LOQ	0.04	<LOQ	<LOQ	0.02	0.08	0.02	0.08	0.03	0.02	<LOQ	<LOQ	0.13
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	0.11	0.15	0.48	0.11	0.03	0.07	0.49	0.21
Fe	0.09	0.05	0.03	0.39	0.39	1.81	2.01	7.49	3.41	1.87	3.92	23.5	11.5
Co	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	0.09	0.05	0.13	0.17	0.28	0.02	0.05	0.04	<LOQ	<LOQ	0.02	<LOQ	<LOQ
Cu	ND	0.04	0.02	ND	0.03	0.11	0.08	0.23	0.10	0.03	0.07	0.42	3.70
Zn	0.06	0.04	0.05	0.05	0.21	1.19	1.10	2.46	0.75	0.19	0.18	1.10	0.53
Ga	0.04	ND	0.02	ND	0.02	ND	ND	ND	0.01	0.01	ND	ND	0.09
As	ND	ND	ND	0.01	ND	0.02	ND	ND	0.01	ND	ND	0.07	ND
Se	ND	0.05	ND	0.01	ND	0.02	0.03	0.07	ND	ND	ND	ND	ND
Br	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.01	0.35	0.16	0.39	<LOQ	<LOQ	0.01	<LOQ	<LOQ
Rb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	ND
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	0.04	ND	0.04	0.02	0.02	ND	ND	0.20
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.04	0.10	ND
Pb	ND	ND	ND	0.04	0.06	0.29	0.28	0.58	0.08	0.06	0.03	0.12	0.38

*1: Not detectable. *2: Below limit of quantification.

表 3　航空機離陸・着陸時間帯における捕集試料の元素分析結果（ng/m^3）
（捕集期間：2018 年 2 月 13 日～17 日）

	Stage No. 13	Stage No. 12	Stage No. 11	Stage No. 10	Stage No. 9	Stage No. 8	Stage No. 7	Stage No. 6	Stage No. 5	Stage No. 4	Stage No. 3	Stage No. 2	Stage No. 1
	10-18 nm	18-32 nm	32-56 nm	56-100 nm	100-180 nm	180-320 nm	320-560 nm	560 nm-1 μm	1-1.8 μm	1.8-3.2 μm	3.2-5.6 μm	5.6-10 μm	10< μm
Na	ND*[1]	ND	ND	ND	ND	ND	8.77	2.31	14.0	15.0	31.2	154	11.9
Mg	10.4	8.35	4.21	2.37	4.04	1.93	7.00	2.67	4.00	3.30	10.3	25.6	13.2
Al	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.58	1.67	4.04	1.97	40.3	104	18.4
Si	7.58	9.79	8.13	18.0	5.64	4.77	17.0	12.8	12.1	6.19	81.2	243	38.8
P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.16	0.57	ND	ND	ND	ND
S	3.21	2.70	2.90	2.60	9.18	19.1	86.8	7.02	4.20	2.76	6.72	19.7	5.30
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.43	16.4	44.5	150	19.5
K	1.44	0.80	0.53	0.29	1.54	2.58	7.23	2.57	1.67	2.09	6.10	19.7	5.93
Ca	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.48	0.26	2.41	2.98	2.98	5.11	26.8	96.4	17.8
Ti	<LOQ*[1]	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.01	<LOQ	<LOQ	0.12	0.02	0.13	1.47	3.16	1.20
V	ND	ND	ND	ND	0.11	0.05	0.21	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.02	<LOQ	0.04	0.11	0.08	0.08	0.05	0.36	1.70	0.36
Mn	ND	ND	ND	ND	0.05	0.04	0.61	0.21	0.07	0.10	0.58	2.35	0.19
Fe	0.34	0.11	<LOQ	0.16	1.25	1.96	10.4	7.19	4.54	6.01	35.3	151	30.3
Co	0.04	ND	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.71	ND
Ni	0.97	0.06	0.02	0.08	0.08	0.07	0.15	0.03	0.01	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cu	0.06	0.06	ND	0.02	0.04	0.05	0.22	0.06	0.04	0.05	0.21	0.51	0.11
Zn	ND	0.05	0.04	0.09	0.33	0.44	1.84	0.94	0.53	0.22	0.65	2.42	0.38
Ga	ND	ND	0.02	0.01	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Se	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Br	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.04	0.06	0.39	<LOQ	0.01	0.03	0.11	0.16	0.08
Rb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	0.22	ND
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.09	ND	0.04	0.06	0.10	0.53	ND
Hg	ND	ND	ND	ND	0.07	ND	ND	ND	ND	ND	0.21	ND	ND
Pb	ND	ND	0.10	0.08	0.15	0.13	0.70	0.21	0.12	0.07	0.14	ND	ND

*1: Not detectable. *2: Below limit of quantification.

表 4　航空機離陸・着陸時間帯における捕集試料の元素分析結果（ng/m^3）（捕集期間：2018 年 2 月 19 日～20 日）

	Stage No. 13 10-18 nm	Stage No. 12 18-32 nm	Stage No. 11 32-56 nm	Stage No. 10 56-100 nm	Stage No. 9 100-180 nm	Stage No. 8 180-320 nm	Stage No. 7 320-560 nm	Stage No. 6 560 nm-1 μm	Stage No. 5 1-1.8 μm	Stage No. 4 1.8-3.2 μm	Stage No. 3 3.2-5.6 μm	Stage No. 2 5.6-10 μm	Stage No. 1 10< μm
Na	ND*[1]	ND	ND	ND	ND	ND	13.9	21.3	22.9	25.9	34.0	125	115
Mg	ND	ND	10.8	10.1	4.48	4.34	7.11	13.7	8.75	7.35	6.26	95.2	120
Al	ND	ND	ND	ND	4.04	2.87	9.28	17.2	5.75	9.72	15.5	90.9	87.1
Si	<LOQ*[2]	<LOQ	14.0	3.51	6.20	1.96	15.4	37.0	19.9	20.7	31.7	200	127
P	ND	ND	ND	ND	1.83	0.34	7.19	ND	0.39	1.09	ND	ND	ND
S	<LOQ	16.5	13.5	15.5	34.1	42.9	327	99.8	7.55	5.18	6.97	13.1	15.8
Cl	0.48	ND	ND	ND	1.34	ND	ND	8.45	9.84	16.1	28.3	174	87.2
K	2.01	ND	1.86	2.09	9.32	8.89	35.2	25.0	3.43	5.89	4.31	36.8	13.6
Ca	4.10	0.47	0.94	<LOQ	2.14	0.26	5.51	8.90	3.48	9.47	10.7	108	39.5
Ti	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.75	0.56	<LOQ	0.43	0.29	3.74	<LOQ
V	0.58	0.33	0.20	0.18	0.19	0.49	0.60	ND	0.15	0.16	0.20	ND	3.15
Cr	0.87	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.05	<LOQ	<LOQ	0.12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Mn	ND	ND	ND	ND	0.10	0.12	0.98	0.77	0.19	0.16	0.29	2.30	0.94
Fe	4.27	0.29	0.83	0.15	3.31	2.15	14.2	15.3	4.65	10.1	11.1	128	51.7
Co	0.12	0.16	ND	ND	ND	ND	0.08	0.09	ND	0.04	ND	0.90	0.67
Ni	0.48	0.01	0.08	<LOQ	0.13	0.04	0.32	0.07	0.05	0.04	0.02	0.72	0.49
Cu	0.11	0.09	0.03	0.03	0.08	0.13	0.49	0.53	0.12	0.18	0.18	1.29	1.26
Zn	0.26	0.04	0.04	0.22	1.61	1.66	4.80	2.14	0.51	0.44	0.37	2.87	1.06
Ga	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.24	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Se	ND	ND	0.07	ND	ND	0.06	0.07	0.06	ND	ND	ND	ND	ND
Br	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.02	0.12	0.22	1.20	0.32	0.10	0.02	0.03	0.69	<LOQ
Rb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	ND	ND	ND
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.20	0.23	0.06	ND	0.08	ND	ND
Hg	ND	ND	ND	0.12	0.08	ND	ND	0.12	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	ND	0.20	0.25	0.24	0.47	0.37	1.76	1.05	0.11	0.25	ND	ND	ND

*1: Not detectable. *2: Below limit of quantification.

表 5　バックグラウンド試料の元素分析結果（ng/m^3）（捕集期間：2018 年 2 月 22 日～26 日）

	Stage No. 13 10-18 nm	Stage No. 12 18-32 nm	Stage No. 11 32-56 nm	Stage No. 10 56-100 nm	Stage No. 9 100-180 nm	Stage No. 8 180-320 nm	Stage No. 7 320-560 nm	Stage No. 6 560 nm-1 μm	Stage No. 5 1-1.8 μm	Stage No. 4 1.8-3.2 μm	Stage No. 3 3.2-5.6 μm	Stage No. 2 5.6-10 μm	Stage No. 1 10< μm
Na	ND*[1]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11.2	72.3	23.8	30.8	102	ND
Mg	42.2	ND	27.4	10.1	ND	ND	10.3	7.48	21.0	6.65	10.2	111	49.4
Al	15.0	ND	6.59	ND	ND	2.63	8.73	24.4	59.8	12.6	26.3	374	72.3
Si	35.4	<LOQ	8.12	2.28	16.7	0.26	16.6	65.8	123	16.2	46.7	791	122
P	13.5	ND	ND	ND	ND	3.94	1.85	1.33	ND	ND	ND	ND	ND
S	6.91	<LOQ	6.06	10.8	49.4	26.9	295	212	41.8	7.30	6.28	36.7	35.2
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30.8	26.7	44.6	126	43.5
K	ND	ND	ND	1.49	6.29	5.68	26.5	21.3	16.1	4.36	8.03	51.2	15.6
Ca	1.43	<LOQ	0.70	0.14	0.86	0.36	6.45	16.7	25.8	10.1	17.8	208	30.5
Ti	<LOQ*[2]	<LOQ	0.25	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.46	1.09	2.47	0.58	1.31	10.1	<LOQ
V	0.78	ND	0.17	0.20	0.33	0.28	0.33	ND	ND	0.21	0.25	2.16	1.09
Cr	0.05	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.16	0.08	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Mn	ND	ND	ND	0.07	0.09	0.10	1.07	1.02	0.74	0.19	0.33	2.75	ND
Fe	4.16	0.14	0.45	0.07	0.96	1.43	13.4	28.0	38.4	9.15	17.7	216	31.3
Co	0.21	ND	ND	ND	ND	ND	0.15	ND	ND	ND	ND	2.25	ND
Ni	0.12	<LOQ	0.11	0.06	0.18	ND	0.20	0.02	0.06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cu	0.24	0.09	ND	ND	0.11	0.11	0.95	0.85	0.56	0.17	0.17	0.97	0.34
Zn	0.19	0.12	0.16	0.05	0.42	0.49	3.41	3.39	2.25	0.43	0.34	3.57	0.58
Ga	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.10	ND	0.04	ND	0.72	0.20
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.32	0.33	ND	ND	ND	0.65	ND
Se	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	0.08	0.10	ND	ND	ND	ND	ND
Br	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.07	0.16	1.04	1.26	0.88	0.24	0.59	2.19	<LOQ
Rb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.22	0.20	ND	ND	ND	ND
Hg	ND	0.23	0.13	ND	0.21	ND	ND	ND	ND	0.17	ND	2.17	1.03
Pb	0.49	0.48	0.24	0.21	0.50	0.56	2.65	2.28	0.80	ND	ND	1.79	1.36

*1: Not detectable. *2: Below limit of quantification.

4 まとめ

1) ジェットエンジンオイルと燃料からは P、S、Fe の 3 元素が定量された。ジェットエンジンオイルでは 3 元素のうち P は高濃度であったが、S は MOBIL JET Oil II を除くと定量下限値以下、Fe は定量下限値に近い濃度であった。燃料は 3 元素とも定量下限値以下であった。
2) 航空機離陸・着陸時間帯の試料からは、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Br、Rb、Sr、Hg 及び Pb の 26 元素が定量された。バックグラウンド試料からは Rb を除く 25 元素が定量された。
3) 粒径別の粒子質量に占める元素割合の主な粒径分布は、粗大粒子側に大きなピークを持つタイプ、粗大粒子側に大きなピークを持つ他に UFP にも濃度がみられるタイプ、UFP、微小粒子、粗大粒子にピークを持つタイプであった。この他、UFP、微小粒子に濃度が高い粒径分布のタイプもみられた。

謝辞

本研究は、環境研究総合推進費「高感度分析技術に基づく空港周辺における超微小粒子状物質の動態解明」（課題番号：5-1709）の支援を受けて実施した。本研究を実施するに当たり、成田国際空港株式会社（NAA）と成田国際空港振興協会（NPF）に多大なご支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

1) K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Futatukawa, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara, “Bio-PIXE at the Takizawa facility (Bio-PIXE with a baby cyclotron)”, *Int J PIXE*, **2**, 325-330 (1992).
2) S. Futatukawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh and K. Sera, “Present status of NMCC and sample preparation method for bio-samples”, *Int J PIXE*, **3**, 319-328 (1993).
3) K. Sera, S. Futatsugawa and K. Saitoh, “Method of quantitative analysis making use of bromine in a Nuclepore filter”, *Int J PIXE*, **7**, 71-85 (1997).

Elemental composition of jet lubricating oil and fuel, and particles (particle size 10 nm—10 μm) collected near the Narita International Airport runway

K. Saitoh[1,2], A. Fushimi[2], F. Fujitani[2], Y. Morino[2],
T. Saotome[3], N. Takegawa[4] and K. Sera[5]

[1]Environmental Science Analysis and Research Laboratory
1-500-82 Matsuo-yosegi, Hachimantai 028-7302, Japan

[2]National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

[3]Research Institute for Environmental Strategies, Inc.
2-15-13 Miyamachi, Fuchu, Tokyo 183-0023, Japan

[4]Tokyo Metropolitan University
1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan

[5]Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

In order to shed light on elemental composition of ultrafine particles (UFP) form aircrafts, we analyzed jet lubricating oil, fuel, and particles collected near the Narita International Airport runway using in-air PIXE and conventional PIXE. Our results suggest that:

— From jet lubricating oil and fuel, three elements of P, S and Fe were determined. In the jet lubricating oil, P was high concentration. The three elements values in the fuel were below the quantification limit.

— From particle samples collected durig the aircraft landing and arrival time zone, we have found that 26 elements (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Hg and Pb) were identified. In the background sample, 25 elements except Rb were determined.

— The particle size distribution of the element per particle mass, three types ((1) type with large peak on the coarse particle side, (2) type with elements detection in UFP in addition to having a large peak in the coarse particle side, (3) type with peaks in UFP, fine particles and coarse particles) were observed. In addition, there were also types of particle size distribution with high concentration in UFP and fine particles.