

都内の六フッ化硫黄の濃度傾向について

小峯 美奈子* 早福 正孝** 辰市 祐久 古明地 哲人 岩崎 好陽
(*非常勤研究員 **現環境局環境改善部)

要 旨

'99から'02年度の4年間、都内における六フッ化硫黄(SF₆)濃度を連続測定した。その結果、年平均値は'99年が13.1pptであった。'01年は前年から約11%増加し14.6pptであったが、その後SF₆濃度は低下傾向となり、'02年は13.4pptであった。これはSF₆を使用している電気機器等及び、半導体製造等の事業者による削減対策が行われたため、SF₆の漏洩が減少したことにより、大気濃度が低下したものと思われる。

WMOのデータによれば、ハワイ・マウナロアの'01年のSF₆年平均値は4.8pptであった。'01年の環研濃度はマウナロアの約3倍の値で、これは都内で使用されているSF₆の排出が影響していると考えられる。

キーワード : 六フッ化硫黄、SF₆、温室効果ガス、漏電防止ガス

Study on the Trend of Sulfur Hexafluoride Concentration in Tokyo.

Minako Komine*, Masataka Soufuku**, Sukehisa Tatsuichi,
Tetsuhito Komeiji, Yoshiharu Iwasaki

*Associate researcher **Environmental Improvement Division

Summary

Sulfur Hexafluoride (SF₆) concentration was observed continuously in '99 to '02 fiscal year in Tokyo. The annual average value in '99 year was 13.1ppt. SF₆ in '01 year is 14.6ppt, and this value increased from the previous year by about 11%. SF₆ concentration became decrement tendency and '02 year was 13.4ppt. Industries, such as electric apparatus and semiconductor manufactures probably performed the measure against reduction of SF₆. It is supposed that descent of SF₆ leakage influence on decrement of atmospheric SF₆ concentration.

According to the data of WMO, the annual average value of SF₆ in '01 in Mauna Loa was 4.8ppt. The concentration in Tokyo for '01 year was about 3 times higher than Mauna Loa, and this is considered that discharge of SF₆ has influenced.

Keyword : sulfur hexafluoride, SF₆, greenhouse effect gas, electric insulating gas

1 はじめに

1997年の地球温暖化京都会議（COP3）において、削減対象物質に指定された六フッ化硫黄（SF₆）は、二酸化炭素比地球温暖化係数（GWP）が約16,300～23,900倍¹⁾とフロン類、メタン、亜酸化窒素等の中でも最も強力な温室効果ガスである。また、大気中での寿命は約3,200年で他の物質よりはるかに長い²⁾。SF₆は常温で無色、無臭の気体で、不燃性であり、電気絶縁性、消弧性に優れ、化学的に安定性のある物質である。これらの特性から、わが国では昭和40年ごろからSF₆を封入した電気開閉器が製造され、現在では主にガス絶縁開閉装置やガス絶縁変圧器等の漏電防止ガスとして電力用機器等に使用されている³⁾。また、他の用途としては、半導体製造工程におけるエッチングガス、アルミニウムやマグネシウム精錬工程または合金鋳造時の被覆ガス、ネオジウムやラウドスピーカー製造、医療用粒子加速剤、運動靴の靴底やタイヤの膨張ガス、複層ガラス（防音ガラス）や、大気・海洋拡散調査のトレーサーガスなど広範囲に使用されている^{4),5)}。

わが国ではSF₆は主に電力の安定供給に不可欠な絶縁媒体として用いられているが、現在、代替ガスは開発されておらず、今後も保有量は増加すると考えられている^{5),6)}。

東京都では1999年度から4年間、都内のSF₆濃度の連続測定を行い、若干ではあるが都心域の経年的なデータが得られたので報告する。

2 測定方法等

(1) 測定地点：東京都環境科学研究所屋上（以下「環研」とする。江東区新砂、採取高度 約33m）当研究所は準工業地域に相当する環境にある。

(2) 測定期間：1999年4月～2003年3月

(3) 測定方法：測定は30分周期の連続自動採取式 ECD（⁶³Ni）- GC 法で行った。

カラムは PORAPAK Q(80/100mesh)充填の 3mm × 2m のステンレス製である。恒温槽温度は58℃、検出器温度は302℃、キャリアーガスは N₂、300ml/min である。大気サンプルを300ml の計量管に採取後、電子冷却濃縮（0℃）し、その後120℃に加熱してカラムに導入した⁷⁾。

(4) 測定値の処理方法：データは30分値2個の平均値を1時間値として処理した。マウナロアの年平均値は

WMO データの月平均値から（GC-MS 法、週1回の測定）日変化データは WMO データの1時間値（GC-MS 法、毎時間の測定）を使用した⁸⁾。波照間のデータは試料採取月が2月、5月、8月、11月の年4回の測定を実施しており、この測定結果を用いた⁹⁾。

3 結果と考察

(1) 年変化

'99年4月～'03年3月までの SF₆の環研の年平均値を表1に示す。環研の'99年は'99年4月～12月の平均値である。また、'03年はデータ量が3ヵ月と少ないので暫定値としている。WMO はハワイのマウナロア他数ヵ所で SF₆を測定している⁸⁾。このデータ（'95年2月～'03年3月まで）を使用してマウナロアの年平均値を参考として載せた。また、国立環境研究所の地球環境研究センターと日本環境衛生センターが沖縄県波照間島で測定している SF₆データも暫定値のため今後変更される可能性があり、また、環研の観測数よりも少ないので参考値として載せた⁹⁾。

表1 アウナロア、波照間と環研の SF₆の年平均値^{8),9)}

年	単位：ppt		
	環研 (東京)	マウナロア (ハワイ)	波照間 (沖縄)
'95		3.5	
'96		3.8	3.9
'97		4.0	4.3
'98		4.2	4.5
'99	13.1	4.4	4.7
'00	13.2	4.6	4.9
'01	14.6	4.8	5.2
'02	13.4	5.0	5.4
'03	(11.6)	(5.2)	(5.6)

注：（ ）は各地点のデータ数が通常の1/4以下なので参考値
環研'99年は1999年4月～12月の平均値

環研の'99年の年平均値は13.1pptであった。'01年は前年から約11%増加し14.6pptであったが、'01年からは SF₆濃度は低下傾向となり、'02年は13.4pptであった。'01年のマウナロアの年平均値は4.8pptであった。年平均値の最高値である'01年の環研のSF₆濃度はマウナロアの約3倍の値となった。マウナロアは毎年濃度の増加傾向がみられ、'01年は'95年より約37%の増加となった。波照間のデータを各年でそれぞれ平均した値もマウナロアと同様に増加傾向にある。環研の月平均値とマウナロアの月平均値を経年的に並べたものが図1である。マウ

ナロアは'95年に比べ、明らかに増加傾向にある。'03年3月のマウナロアの月平均値は5.23pptで、'95年3月の3.42pptより約53%の増加となった。また、環研の'00、'01年は20ppt近くの値になる月があったが、'02年は約18pptとなった12月以外は11~14ppt程度であった。

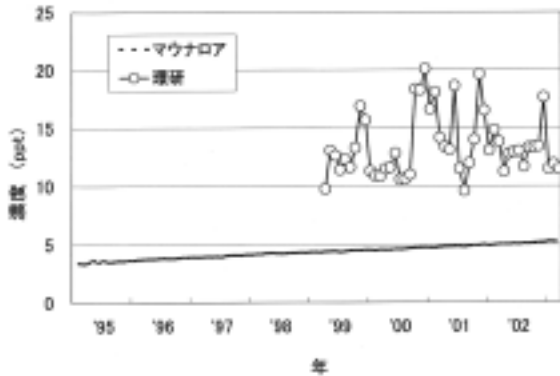


図1 環研とマウナロアのSF₆濃度の観測値(月平均値)⁸⁾

国内のSF₆や代替フロン等の排出抑制対策は、'98年6月に関係事業者団体により策定された自主行動計画等に基づき推進されている。'02年3月に国において新たに決定した「地球温暖化対策推進大綱」においても、自主行動計画は今後の対策の中心的役割を成すものとして位置付けされている¹⁰⁾。これらの自主行動計画に基づく製造メーカーや電力業界など産業界による主要排出源の漏洩対策が進んだことにより排出量が減少してきていると考えられる。国内と都内の排出量については後半に述べる。

各年の前年からの増加率の推移を表2に示す。環研は'01年の10.6%から大幅に減少している。一方、マウナロア、波照間については年ごとに濃度は増加しているが、増加率ではマウナロアは'96年をピークにして次第に緩慢になってきており、波照間も同様な傾向が見られるので全球的に増加率は低下傾向になっていくと思われる。

表2 マウナロア、波照間と環研のSF₆の増加率^{8), 9)}

単位：%/年

年	環研 (東京)	マウナロア (ハワイ)	波照間 (沖縄)
'96		8.6	
'97		5.3	10.3
'98		5.0	4.7
'99		4.8	4.4
'00	0.8	4.5	4.3
'01	10.6	4.3	6.1
'02	-8.2	4.2	3.8

(2) 月変化

都内の4年間の平均的月別変化を図2に示す。10月から12月にかけて濃度が高くなっている。これは一般の大気汚染物質と同様に大気が安定した場合に高濃度になりやすいことを示している。

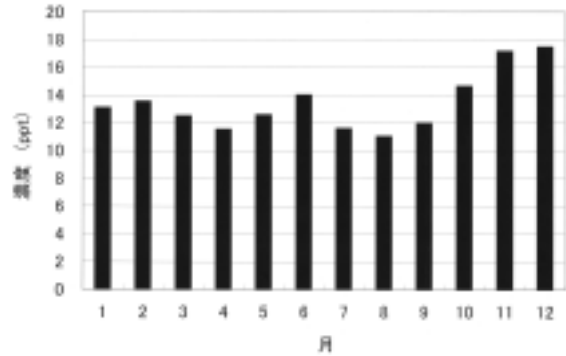


図2 環研のSF₆の月変化

(3) 日変化

環研とマウナロアのSF₆の日変化パターンを図3に示す。環研は12~15pptの間を上下した濃度変化になっており、日中の1山型ではなく、朝夕の2山型のパターンのようにも見えるが、変化が小さい。18時をピークにそれ以降濃度が低くなっている。マウナロアは環研と比較すると大きな変化はなく、4.8ppt前後でほぼ一定であった。

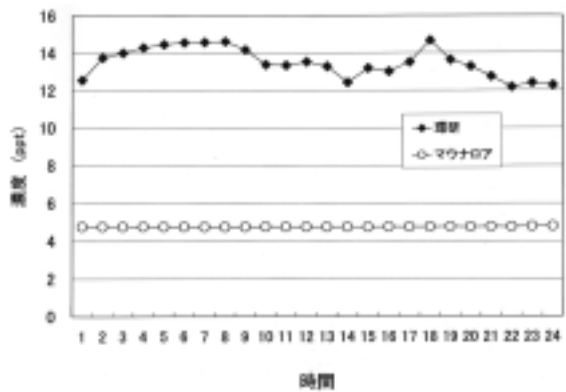


図3 環研とマウナロアのSF₆の日変化('99-'03年)⁸⁾

社会的影響が少ないと考えられる盆と正月の日変化パターンを図4、5に示した。'99~'02年度の各盆(8/14~16)と盆前(8/10~12)、正月(1/1~3)と正月前(12/25~27)の4年分を平均した値を夏季、冬季として表した。盆及び正月は社会活動の低下を受け、年間の日変化(図3)に比べ、濃度が平均で2割から4割

ほど減少している。盆前では18時に大きなピークが見られた。これは'99年8/10の18時に234.4ppt、'99年8/11の18時に320.9ppt という高濃度データによるもので、グラフ上に表現できなかった。'99年度以外では18時に高くなるというパターンは見られず、15、16時にピークがみられた。また、正月前では7、8時、18時にピークが見られた。両グラフともに7、8時と18時頃に大きなピークが見られた。図3の日変化でも小さいが18時にピークがみられた。気象要因として同期間中の風向、風速をみた。風向は夏季がS系、冬季はN系の風が多かった。これは盆前、正月前も同様な風向であり、風向による差はみられなかった。風速は夏季が2～6m/sの変動があったのに対し、冬季は3～4m/sで夏季よりも変動が少なく、大気が比較的安定したため、冬季のSF₆濃度が高くなったのではないと思われる。正月前は年間の日変化(図3)に比べ濃度が高く、ばらつきも多かった。これは環研が準工業地域で排出源の影響を受けたものと推測されるが、N系の風が弱く、比較的大気の安定したことと、年間の中でも年末という社会活動が活発な期間であるということが考えられる。

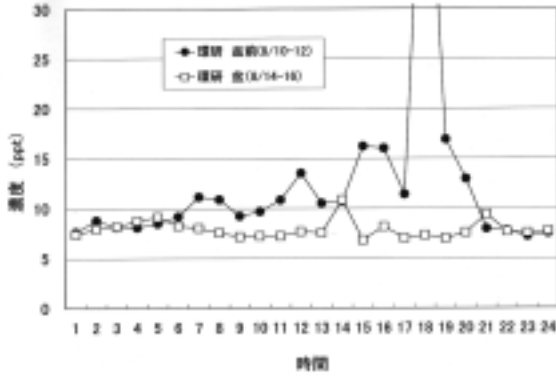


図4 '99-'02年度のSF₆の日変化パターン(夏季)

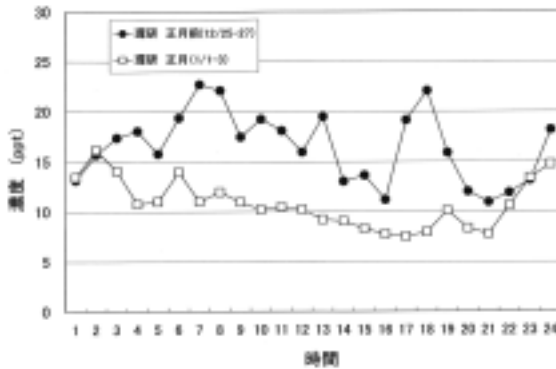


図5 '99-'02年度のSF₆の日変化パターン(冬季)

(4) 高濃度現象の要因

全データの頻度分布と累積度数分布を年度別に図6に示す。対数正規分布的な分布を示しており、5ppt以上10ppt未満の値が最も多く、各年とも57～64%と60%前後の出現率であった。また、50ppt以上の濃度が4年間で760例あり、これは全体の約2.3%であった。特に'00年度は253例と最多で、次いで'01年度の217例の出現が多かった。各年間最高値は'99年度が385.0ppt、'00年度が246.2ppt、'01年度が312.1ppt、'02年度が294.3pptであった。これは各年平均値のおよそ20～30倍の値である。

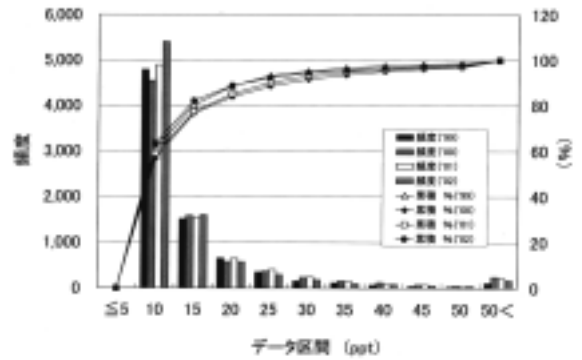


図6 環研のSF₆の頻度分布('99-'02年度)

高濃度の出現頻度を月別にみたのが図7である。秋から冬にかけて高濃度が出やすく、5、6月にも高濃度が出るパターンとなった。また、これを時間別にみたのが図8である。明け方から正午あたりでは高濃度が出る頻度は低く、夕方から夜、特に18時前後に高濃度が現れるパターンとなった。この要因については現在検討中である。高濃度を風向別にみたのが図9である。NNWが29%、Sが19%、Nが14%、SSWが12%と、N～NNW、S～SSWの2方向に多く高濃度が出るパターンとなった。環研の一般風向は南北の風系が多く、必然的にこの2方向の出現率が多くなってしまふ(図10)。東西の風系が少なければ東西に発生源があっても高濃度が出にくいと思われる。環研の南方約3kmには東京湾があり、S成分については湾岸の工業地域の影響を受けていると考えられる。また、N成分についてはSF₆は主に電気設備等の絶縁ガスとして使用されており、その扱いやすさ、利便性からコンパクトな大きさで施設内や、変電所などに点在しており、大工場や大規模な電力施設以外からも排出される可能性があると思われる。

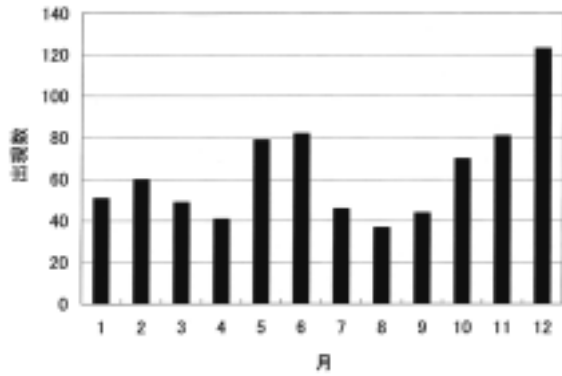


図7 環研のSF₆の月別高濃度出現数

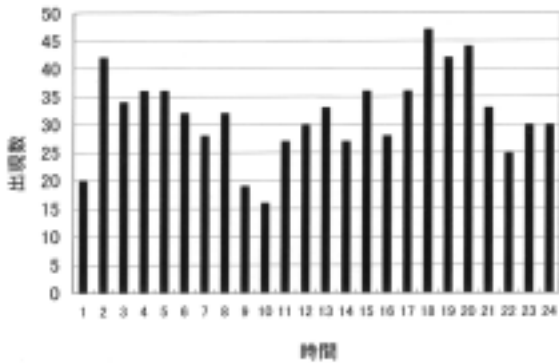


図8 環研のSF₆の時間別高濃度出現数

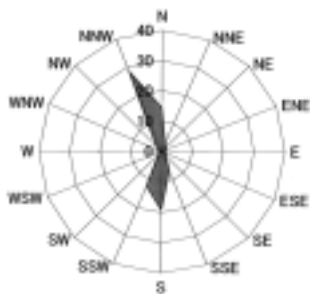


図9 環研のSF₆の高濃度出現割合と風向の関係(数字は%)

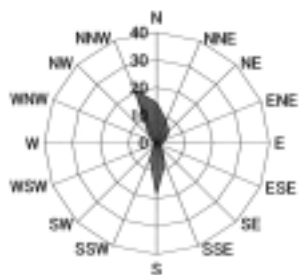


図10 環研の主風向('99-'00, '02年、数字は%)

(5) SF₆の大気中への排出状況

日本のSF₆の主な排出源は、SF₆製造時、半導体製造時、電気絶縁ガス使用機器の製造時と使用時、マグネシウム

鋳造時等がある^{11), 12)}。全国と都内のSF₆排出量の年変化を図11に示す^{12), 13)}。経済産業省が報告している'02年度(平成14年度)の温室効果ガス排出量の推移¹²⁾によると、全国においてSF₆は基準年度('95年度)が16.9Mt-CO₂eq(単位は二酸化炭素換算で百万トンの意。各温室効果ガスの排出量に地球温暖化係数GWPを乗じたもので、SF₆はGWPが23,900)で、'02年度は5.3Mt-CO₂eqと、基準年に比べると-68.6%も減少し、また、前年度('01年度)比では-7.0%減少している。これは電力設備等からの排出の減少が最も大きいとしている。

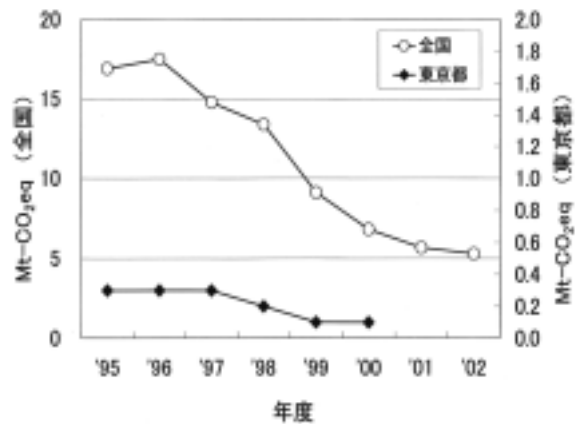


図11 全国と都内のSF₆排出量の推移^{12), 13)}

東京都も各温室効果ガスの用途別排出量を算出しており、図12にSF₆の用途別排出量の年変化グラフを示す¹³⁾。'00年度におけるSF₆の排出量は二酸化炭素換算で0.1Mt-CO₂eqとなり、基準年度('95年度)と比較すると-63%減少している。排出量は経年的に減少傾向で、特にドライエッチング等の半導体製造に関わる排出が減少している。'00年度における都内の排出量は、全国の排出量(6.8Mt-CO₂eq)の約1.5%を占めている。

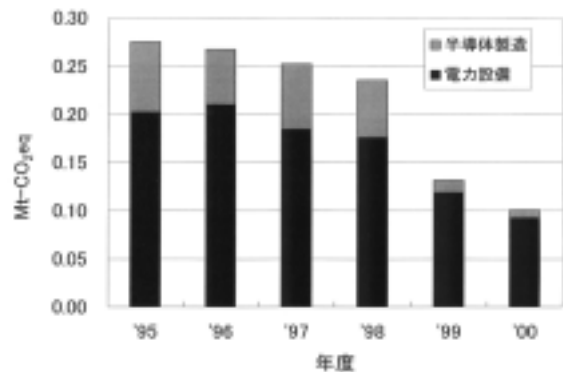


図12 都内のSF₆排出量の推移¹³⁾

'00年度の都内における SF₆排出量の使用別内訳を図13に示す¹³⁾。'00年度は電力設備が91%、半導体製造が9%と約9割が電力設備からの排出であることがわかる。排出構成比を95年度と比較すると「半導体製造」用途の割合が減少し、「電力設備」用途の割合が増加しており、都内の SF₆濃度は、電気絶縁機器等からの排出を大きく反映していると考えられる。

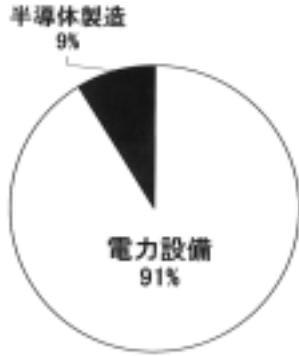


図13 都内の SF₆排出量内訳('00年度:0.1Mt-CO₂eq)¹³⁾

SF₆の使用量の8~9割を占める電力設備等からの排出も確実に減少しており、回収・再利用など、各業界の排出抑制の効果が現れたと思われる。全国の電気絶縁ガス使用機器に係る SF₆累計保有量を図14に示す¹¹⁾。SF₆は電力の安定供給に不可欠な絶縁体として用いられているが、現在代替ガスは開発されていない⁶⁾。今後も電力設備の SF₆の保有量は増加すると考えられる。一方、半導体製造に使用される SF₆は'00年をピークに減少傾向になってきているが、半導体製造等の中でも、液晶分野に使用される SF₆は、増加傾向にある¹¹⁾。また、マグネシウム鋳造時に使用される SF₆の使用量も増加している¹¹⁾。

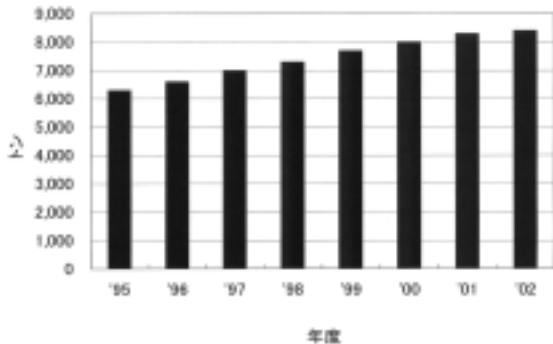


図14 電気絶縁ガス使用機器の SF₆累計保有ガス(全国)¹¹⁾

しかし、マグネシウム鋳造分野も新たに自主行動計画に加わり、単位排出量(1トン当たり溶解量に対する SF₆ガス使用量)を減らすなどの目標を計画している¹²⁾。SF₆は地球温暖化係数の高さや大気寿命の長さから、少量であってもその影響は長期で強力なものである。

4 まとめ

'99~'02年度の4年間にわたって都内 SF₆のモニタリングを行い、以下のことがわかった。

- (1) 環研の SF₆の年平均値は、'99年が13.1ppt であった。'01年は前年から約11%増加し14.6ppt であり、ハワイ・マウナロアで測定された'01年の濃度4.8ppt の約3倍であった。環研はマウナロアや波照間と異なり、'01年をピークにしてその後は低下傾向を示している。
- (2) 月変化は一般大気汚染物質と同様に大気が安定した秋から冬にかけて濃度が高くなり、日変化は明け方と夕方18時頃にピークがみられた。盆と正月の濃度パターンからみた社会的影響による日変化の差は、夏季は18時頃に高濃度が現れた年があり、冬季は特に明け方と夕方に社会影響による差がみられた。
- (3) 濃度は5以上10ppt 未満が最も多く、50ppt 以上の高濃度は全データの約2.3%であった。月別では5、6月と11、12月に高くなる傾向を示した。また、NとS系の風の場合に高濃度が多く現れることがわかった。
- (4) 環研の SF₆観測データは発生源の影響を受けるといふ特徴があり、排出削減対策の効果検証に有効であることから、今後も SF₆の継続的な大気濃度の監視が必要であると思われる。

謝辞

データ処理等、多大なお世話を戴いた経済産業省産業製造局各位に深い感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁編：地球温暖化の実態と見通し(IPCC 第二次報告書), pp.21 (平成8年)
- 2) 片岡修身：(2)代替フロンの現状, 環境技術, vol130, No2, pp.93-96 (2001)
- 3) 化学工業日報社：115の工業用ガス - 特殊材料ガス・高純度凡用ガス -, pp.93-94
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 オゾン層

- 保護対策産業協議会：諸外国におけるフロン対策最新動向に関する調査報告書，pp.38-41（平成7年3月）
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 オゾン層保護対策産業協議会：代替フロンの地球温暖化対策動向に関する調査報告書，pp.70-103（平成13年3月）
 - 6) 土屋良文：電気事業における環境行動計画，エネルギーレビュー，2001-6，pp.8-11
 - 7) 早福正孝ら：東京における六ふっ化硫黄の大気濃度，東京都環境科学研究所年報，pp.71-74（2000）
 - 8) WMO WDCGG ホームページ：
http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg_j.html
 - 9) 織田伸和ら：波照間ステーションにおける CFC、SF₆等のモニタリング，第42回大気環境学会年会公演要旨集，pp.289（2001）
 - 10) 環境省：新地球温暖化対策推進大綱，p.15-18，pp.44-46
 - 11) 経済産業省：第9回地球温暖化防止対策小委員会配布資料，資料3-3：排出量データ2000
 - 12) 経済産業省：2002年の代替フロン等3ガス排出抑制自主行動計画の進捗状況及び排出量について，（平成15年6月12日プレス発表）
 - 13) 東京都環境局：2000年度 都における温室効果ガス排出量総合調査より作成