

■巻頭インタビュー・水素・メタン発酵プロセスによる生ごみ等の廃棄物処理	2
「将来の3R進展で、生ごみエネルギー化の問題解決策と期待」 ～新しいごみ分別収集システム構築が鍵、焼却施設と併設活用へ～ 東北大学大学院工学研究科・李 玉友教授に聞く	
■ニュースの眼・2011年度のエコスラグ有効利用—その変化と見通し—	11
「ごみスラグ生産量、震災と節電対策の影響で76万トンに」 ～ガス化溶融施設が増加、焼却施設の全国平均上回る発電性能示す～	
■寄稿・防災拠点の中心施設としての清掃工場その後	24
～安定再生可能エネルギー電源としての新たな工夫を～	
■資料・25年度環境省海外事業支援7件一覧	31
■Topics on Waste Management	32
北九州エコエナジー・2013年度末で事業撤退/プランテック・長崎県より熱回収施設整備運営事業受注/東芝・清掃工場向けCO ₂ 分離回収活用システム納入/平塚市・大磯町・二宮町の新設生ごみ施設「利点なし」の報告書/荏原環境プ・船橋市北部から整備運営事業受注/プランテック・インドのごみ焼却発電技術のFS採択/日造・大規模改修工事・運営維持管理業務受注/荏原環境プ・小山広域保健衛生組合より整備運営事業/重工環境・化学エンジ・東南ア市場開拓向けシンガポール拠点開設	
■連載・Front Line ㊟	36
「焼却炉基幹改良は、大手メーカー6社がほぼ独占」 ～いっそう強固になる大手の牙城～	
■トピックス・環境計画センター通常総会での講演から	
・「廃プラ圧縮時における化学物質の発生と浄化対策（光触媒＋活性炭）事例」	38
・「BDF製造時の副生グリセリンの脱窒工程への有効利用」	40
・「再生可能エネルギーFIT制度を活用した廃棄物処理施設の事例紹介」	41
・「FIT制度におけるごみ発電・RDF発電の収入の比較について」	43
・「広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業について」	45
・「除染廃棄物の減容化・安定化の一つの方策について」	48
・「科学者倫理と技術者倫理の諸課題」	51
■産廃施設訪問・㈱フジコー白井事業所・再資源化センター	53
「バイオマスガス化発電と乾式メタン発電による新エネルギー創造」 ～未利用バイオマス資源を利活用し、電気製造販売事業の開拓目指す～	
■Topics on Biomass	64
タクマ・㈱ウッドワン向けバイオマス発電設備受注/タクマ・真庭バイオマス発電向けバイオマス発電受注/川崎重工・稲わらからバイオエタノール製造技術確立/神鋼環境ソリューション・バイオマス生産性のある微細藻類培養に成功/長岡市・生ごみバイオガス発電センターが運転開始/日立造船・ベトナムのメタン発酵・コジェネ受託/昭和シェル石油・次世代バイオマス発電所の建設決定	
■特別寄稿・「廃プラリサイクルのリサイクルと環境汚染問題について(IV)」	67
～廃プラスチック施設に準用される諸基準について～ 大気汚染防止法の適用と規制濃度の換算について(1)	
■資料・新廃棄物処理施設整備計画の概要（平成25年5月31日閣議決定）	74
■お知らせ・環境省が「第4回省エネ・照明デザインアワード」公募	75
■【訂正】	35

廃プラスチックのリサイクルと環境汚染問題について(Ⅳ)

～廃プラリサイクル施設に準用される諸基準について～ 大気汚染防止法の適用と規制濃度の換算について

技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー
第一種放射線取扱主任者、甲種危険物取扱者等

環境計画センター 専任理事 ^{かぎや}鍵谷 ^{つかさ}司

廃プラスチック（以下、廃プラと略す）リサイクル施設では、化学物質を使用しないので、化学物質に関する規制基準は制定されていない。むしろ、臭気が強ことがあるので、臭気対策として排気の臭気成分を活性炭で吸着処理する方法が主流になっている。住宅地帯から離れている場合には、とくに処理せずに排気されていると思われる。

廃プラ取扱施設周辺において住民の健康被害が発生した事例は、平成8年頃に社会問題になった「杉並病」が典型である。最近では、平成18年頃に大阪府寝屋川市のリサイクル施設周辺で問題になった健康被害がある。裁判資料を精査すると、基準値がない、従業員に健康被害が起こっていない、類似の廃プラ施設では問題ないあるいは杉並のような不燃ごみの中継施設とは違う、裁判では健康被害の原因は否定されているなど、十分に対応しないうちに被害は隣接する自治体にまで拡大し、千人を超えていると報道されており、深刻である。

化学物質による健康被害であることはほぼ間違いなさそうであるが、典型的な症状である湿疹、涙目、頭痛などは他の原因でも起こりうる。廃プラ施設から排出される化学物質はごく微量で、かつ大きく変動することから間欠的に測定しても原因を究明することは極めて難しい。しかし、このような施設が稼働した直後から被害が拡大していることは事実

である。いわば状況証拠ではあるが、原因の一つの可能性があることを真摯に受け止めて事業者は住民と一体となって取り組むべきであろう。

杉並区での議論や寝屋川の裁判資料を精査すると、事業者並びに裁判官のレベルでは必ずしも高度で専門性の高い事象を正しく判断できたとは思えない。また、このために専門委員による検討も行われているが、廃プラを取り扱った経験のない学識者や専門家が短期間で検討しても、原因を究明することは難しく、結果的に適切な対策が講じることも難しい。また、実験結果を実稼働施設に適用するためには、変動要因が数多く存在するので、稼働後の実測による確認並びに予測を超えた場合の対応を明記しておくべきであろう。

今回は、誌面の都合上、廃プラリサイクル施設には法制度上の規制基準がないので、一般的に大気汚染防止法を準用しているが法の目的を考慮すると極めて不適切であり、問題である。あわせて各種規制には様々な単位が使用されていることから単位を揃えるために換算方法について解説する。

(1) 廃プラリサイクル施設における化学物質に関する基準について

廃プラ取扱い施設は化学物質を取扱い施設ではないので、法規制は制度化されていない。このため、様々な施設に適用される大気汚染

防止法、労働衛生法、室内濃度指針や環境基準などで対象となる化学物質に関する規制や基準値が参考にされて目標値として採用されている。廃プラリサイクル施設では、化学物質を取り扱わないが、廃プラ処理の過程で200種類以上に及ぶ有害な化学物質が微量ながら発生する。とくに、健康障害の要因となりそのような化学物質の種類及び発生濃度を選択すると数項目に絞ることができる。また、評価するためには参考となる基準値が必要である。

これまでの実測データや被害状況より、ベンゼン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、VOCに注目しているが、とくに理解の難しいVOCを取り上げて解説する。化学物質については下記の基準が定められているが、ここでは①の大気汚染防止法を取り上げる。

- ①発生源：大気汚染防止法、悪臭防止法
- ②大気：大気環境基準（基準、指針値）
- ③室内：室内空気指針（厚労省）、日本住宅性能表示基準・評価方法基準（国土交通省）、学校衛生の基準（文部科学省）
- ④作業：作業環境評価基準、職域における屋内空気（ホルムアルデヒド）

【各種基準の目的と準用の問題点】

廃プラリサイクル施設では、化学物質を使用していないので、当然、規制対象施設には該当しない。しかしながら、微量ながら臭気並びに化学物質が発生する。このため、なんらかの基準を定める必要があり、この基準を遵守するために対策が講じることになる。緩い基準であれば主たる発生源においてのみ活性炭吸着を設置し、厳しい基準あるいは目標を設定すれば、発生源及び作業環境にも対策が必要になる。準用あるいは目標とする基準には上記の①～④に示した法律や指針値があるので、これらが参考になる。

しかしながら、これらはそれぞれ目的があり、かつ暴露時間数の設定等が異なるので、単純に準用することは問題である。以下に、一般に用いられている大気汚染防止法を準用

した場合の問題点について解説する。

(2) 大気汚染防止法とその準用の問題；

2.1) 概要；

環境基本法において人の健康を保護し生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として「環境基準」が設定されており、この環境基準を達成することを目標に、大気汚染防止法に基づいて排出規制が行われる。その目的は、「大気汚染に関して国民の健康を保護するとともに、生活環境を保全すること」であり、図－1に示す体系でばい煙、粉じん、有害大気汚染物質、揮発性有機化合物、自動車排ガスの排出規制からなる。つまり、規制対象物質、規制対象となる施設及び作業、規制の仕組み、有害大気汚染物質対策の推進、常時監視等から構成されている。

このうち、工場・事業場に対する規制の仕組みは規制基準、排出基準、事前届出・改善命令等から成る。

①規制基準；

ア) 煤煙発生施設：配収基準（排出口におけるばい煙濃度等の基準）

イ) 揮発性有機化合物排出施設（排出口におけるVOC濃度の基準）

ウ) 一般粉じん発生施設：施設の構造・使用管理基準

エ) 特定粉じん発生施設：工場等の敷地境界における濃度基準

オ) 特定粉じん排出等作業：作業基準

②排出基準の種類

ばい煙発生施設に対しては全国一律基準、上乗せ基準、特別排出基準、総量規制基準がある。

③事前届け出・改善命令

- ・規制対象となる施設の設置、または作業をしようとする者は、事前に都道府県知事に届出。届出受理から一定期間内に、知事は計画変更命令が可能。

- ・知事は、施設等の構造改善、一時停止命令、遅々入り検査、報告徴収の実施が可能。

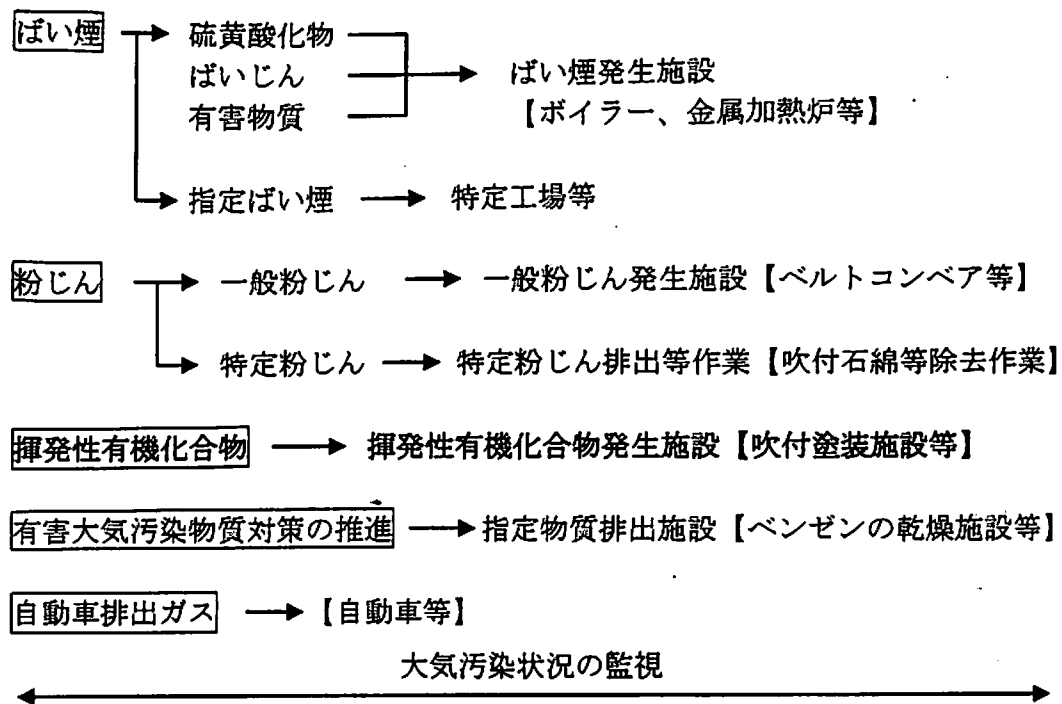


図-1 大気汚染防止法の概要

④VOC排出抑制に関する施策の指針

- VOC排出規制と事業者の自主的取り組みとを適切に組み合わせ（ベストミックス）で、効果的な排出抑制を図る。また、有害大気汚染物質対策の推進は次の通りである。
- 有害大気汚染物質（継続的に摂取される場合には人の健康を損うおそれのある物質）について、事業者の責務（排出）の抑制等）、国の責務（科学的知見の充実等）、地方公共団体の責務（大気汚染状況の調査等）を規定
- 指定物質（ベンゼン等）及び指定物質排出施設を定め、指定物質抑制基準を設定。
- 知事は、指定物質排出施設設置者に対する勧告、報告徴収の実施が可能

2.2) VOC規制について

この法律で規制対象とする揮発性有機化合物（VOC：volatile organic compounds）とは、大気中に排出され、または飛散した時に気体である有機化合物（オキシダント生成の原因となる物質）をいい、揮発性有機化合物が包括的に定義されており、この定義に含ま

れるVOCが適切に測定できる方法が定められている。VOCを測定する分析計としては、個別の物質ごとに測定するのではなく、炭素数として包括的に測定できる「触媒酸化-非分散形赤外線分析計（NDIR）」及び「水素炎イオン化形分析計（FID）」が採用されている。

なお、この法律で規定するVOC規制の目的は、オキシダントの発生を防止することにあり、オキシダント生成の原因とならない非メタン系炭化水素^{注1)}等の物質は規制対象外である。除く物質としては、メタンや7種類のフロン類が指定されている。

規制対象施設としては、塗装、接着、印刷関係施設、化学製品製造関係施設、工業用洗浄施設、VOCの貯蔵タンクなど9種類の施設であり、その規制濃度は400～60,000ppmC^{注2)}である。多くの廃プラ取扱施設では、最低濃度である400ppmCを準用しているが、以下に400ppmCとは通常使用される単位に換算すると、どの程度に相当するかについて解説する。

注1) 非メタン系炭化水素：メタン以外の炭化水素（脂肪族飽和炭化水素、不飽和炭化水素、

芳香族炭化水素)の総称。光化学オキシダントの原因物質として古くから対策が進められてきた。NMHC (Non-Methane hydrocarbons) またはNMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) と記すこともある。

注2)「ppmC」とは、排出濃度を示す単位で、炭素換算の容量比百万分率である。

2.3) 大気汚染防止法の適用について；

大気汚染防止法において、ばい煙の規制基準は、全国一律基準の他に地域の大気環境を保全するうえで必要と判断された場合には、上乘せ基準、特別排出基準、総量規制基準などが定められる。

本来、この法律の目的は、健康の保護と生活環境の保全を目的に制定されている。とくに、光化学オキシダントによる健康被害が拡大したことからその原因の一つである揮発性有機化合物 (VOC) が規制対象であり、オキシダントの発生原因にならない非メタン系炭化水素やCO、CO₂は規制対象外としている。あくまでも光化学オキシダントの発生抑制が目的であり、人に対する健康への影響等に配慮したものではない。

つまり、周辺住民の健康被害が問題になっている廃プラリサイクル施設の排出基準等に準用することは全く目的外の適用であり、意味をなさない。リサイクル施設では、揮発性有機化合物を使用していない施設であることや、かつ数多くのVOC成分を含むが、排出濃度は極低濃度である。この基準は二次的な健康影響を考慮して決められたもので、非常に緩い基準である。これを準用すれば排気時の浄化対策などは全く必要はないし、健康の保護及び生活環境の保全の主旨に反しており、この規制値を準用することは適切ではないし、間違いであると言える。

(3) 規制濃度の単位の換算方法について

3.1) ppmCについて；

VOCは、炭素が結合した様々な有機化合物を含んでおり、直鎖状に結合した鎖状炭化水

素やベンゼン環に結合した芳香族炭化水素あるいは酸素が結合したものなど複雑で数も多い。これを化合物の種類ごとに濃度を表示しても臭気、健康影響等の効果が異なるので、判断することは難しい。が、いずれの化合物も共通点は骨格が炭素でできているので、炭素総量で示すことにより有機化合物の濃度の目安となりうる。つまり、「ppmC」とは、排出濃度を示す単位で、炭素換算の容量比百万分率で示した濃度である。あくまでも炭素の濃度であり、化学成分の濃度ではない。環境基準や毒性濃度の判断は、ppm (ml/m³) や $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で表されるので、ppmC濃度と直接比較することはできない。

VOCは有機物の総量を判断するために炭素総量で示したものである。その測定方法は、有機物は燃焼すると二酸化炭素になるので、これを測定して炭素換算のppmで示したものである。これを化学物質の体積濃度 (ppm；ml/m³) や重量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に換算するためには、化学物質の分子量が必要になる。VOCは包括的な物質を含んだものであり、個別の物質で評価することはできないが、VOC濃度が高くなると、すべての化学物質が高い濃度になることはないとしても、化学物質濃度が高くなることは確かである。大気汚染防止法では、規制濃度の単位をppmCで示しているので、仮にそのうちのもっとも厳しい規制値である400ppmCをベンゼンとトルエンに換算すると、どの程度の規制濃度になるかについて検討した。

なお、ベンゼンは大気環境基準、トルエンは室内濃度指針においても規定されている。

3.2) VOCの単位換算方法 (ppmC⇒ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

大気汚染防止法ではVOC濃度をppmCで、室内濃度指針や環境基準では $\mu\text{g}/\text{m}^3$ やppmの単位で規定されている。VOC自体は固有の化学物質ではなく、複数の揮発性有機化合物の濃度を炭素数 (C) で示したものである。想定した化学物質濃度に換算するためには、そ

の物質の分子量が必要である。また、気体は気圧や温度により体積が変わるので、気圧や温度設定が必要である。焼却時の排ガスなどは温度が高いので膨張し、温度によりガス量が大きく変動するので、これを標準状態（1気圧、0℃）時に換算して規制濃度が決められている。ここでは、室内温度を25℃に設定して換算した。

炭化水素には、炭素と水素からなる様々な化学物質が対象であるので、重量濃度に換算することはできない。便宜的にトルエンやベンゼンとして換算すると次のようになる。

① VOC濃度をトルエンやベンゼンに換算する方法

○ VOC 400ppmCをトルエン体積濃度 (ppm) に換算する方法；

トルエンの分子式は $C_6H_5CH_3$ であり、炭素 (C) が7個からなるので、換算濃度は1/7に相当する。

$400\text{ppmC}/7C = 57.14\text{ppm}$ になる。

○ VOC 400ppmCをベンゼン体積濃度 (ppm) に換算する方法；

ベンゼンの分子式は C_6H_6 であり、炭素 (C) が6個からなるので、換算濃度は1/6に相当する。

$400\text{ppmC}/6C = 66.67\text{ppm}$ になる。

② VOC濃度 (ppm) をトルエン、ベンゼンの重量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に換算する方法

○ VOC 400ppmC を重量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に換算する方法；

一般的に体積を Nm^3 と表示された場合は標準状態（0℃、1気圧）を表すが、温度の規定がないので、仮に常温を25℃とすると、絶対温度で298K（273+25）であり、この温度における1モルは24.45ℓに相当する。

なお、原子量の和を化学式量と呼び、それにグラムをつけた質量に含まれる物質量を1 mol（モル）と定義している。1モルに含まれる分子の数は、分子の種類にかかわらず一定（約 6.02×10^{23} 個＝アボガドロ数）である。また、1モルの理想気体は、標準状態（1気

圧、0℃）では同じ体積（22.4ℓ）を占める。すべての気体の1モルは0℃、1気圧において22.4ℓである。1気圧で温度が高くなると膨張するので大きくなる。なお、化学計算では絶対温度（K：273℃）が用いられる。

・ 25℃における1モルの体積： $22.4 \times 298/273 = 24.45 \text{ ℓ}$

・ 体積濃度は57.14ppm (ml/m^3)

・ モル数 = $57.14\text{ml}/24.45 \times 10^{-3} = 2.337 \times 10^{-3}$ モル

・ トルエンの分子量： $C_6H_5CH_3 = C_7H_8 = 92$
∴ 400ppmCを重量換算すると 2.337×10^{-3} モル
 $\times 92 = 215 \times 10^{-3}\text{g}/\text{m}^3$ (25℃)
 $\approx 215,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

※ 1ppmCは、トルエン換算で0.143ppmに、537 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) に相当する。

つまり、化学物質の炭素数と分子量がわかれば簡単に濃度換算ができる。

[参考]

トルエンのヒトに対する神経行動機能及び生殖発生への影響に基づき、トルエンの室内濃度に関する指針値は $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.070ppm) と設定することが適当とされた。トルエンの発がん性は明確には確認されておらず、最小中毒濃度は $380,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、神経系行動障害などから規定された数値である。

また、ベンゼン (C_6H_6 ：78) に換算すると $212,700 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ (25℃) となる。ベンゼンの環境基準は $3 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ であり、一生暴露したと仮定すると10万人に一人が癌で死亡するリスクに基づいて規定した。

③ TVOC：室内濃度暫定値指針について

ところで、室内空気質の総揮発性有機化合物 (TVOC) 暫定目標値を $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。この数値は、国内家屋の室内VOC実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定した値であり、室内空気質の状態の目安として利用されることが期待される。TVOC暫定目標値は、毒性的知見から決定したものではなく、含まれる物質の全てに健康影響が懸念されるわけではない。また、個

別のVOC指針値とは独立に扱われなければならないとされている。

3.3) 大気汚染防止法のVOC排出基準(400ppmC)とVOC室内濃度暫定指針値400($\mu\text{g}/\text{m}^3$)について:

単位が違うので直接比較することができないので、同じ重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)に換算して表-1に示す。

換算方法: 400ppmは、400ml/ m^3 である。これを25℃におけるトルエンのモル濃度に変換し、炭素の分子量12gを乗じることにより重量濃度を算定することができる。

その結果、400ppmC=215,000($\mu\text{g}/\text{m}^3$)に相当する。数値は同じ400であるが、同じ単位に換算すると、排出基準値は室内濃度暫定指針値の538倍(215,000/400)に相当する。施設からこの濃度で排出されたとしても常時暴露されることではないが、高い濃度である。包括的な化学物質濃度を示すので、発がんリスクやその他の健康被害の発現については考察することはできない。

おわりに;

廃プラリサイクル施設に対して大気汚染防

止法で規制するVOCの濃度を準用することは、なんの対策も必要がないことの裏返しであり、全く意味がない。

この濃度で施設から排出されたとしたならば、地域の地形条件、排出条件(排気量、濃度、温度)、気象条件などを網羅した大気拡散計算を行い、平均的に暴露される濃度や最大濃度あるいは暴露時間を算定してから準用すべきであろう。

平均濃度のみの拡散計算は、安全性を強調するため「安全神話」を作り上げるようなものである。化学物質の影響は、最大濃度にどの程度暴露されるかにあり、地域の微気象を把握し、拡散しにくい逆転層の発生頻度、排ガスの吐出速度が小さいために起こりやすいダウンウオッシュなど、着地濃度が高濃度なる条件をきちんと把握しておくことが肝要である。

とくに、これまでに廃プラ取扱い施設における化学物質が社会問題になった東京都杉並や大阪府寝屋川の地形は盆地であり、逆転層が発生しやすく、拡散しにくい気象条件が多いと予想される。

また、廃プラリサイクル施設等は排気筒や換気筒から排気されるので、拡散地点が低い、

表-1 有害化学物質に係る各種基準

対象物質名	大気汚染防止法	労働衛生 許容濃度等	室内濃度指針 (換算値)	環境基本法 環境基準
ベンゼン	—	発がんリスク※ 10^{-3} : 1ppm (300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 10^{-4} : 0.1ppm (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	—	3($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (0.001ppm)
トルエン	—	50ppm (188mg/ m^3)	260 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (0.07ppm)	
VOC (暫定値)	400ppmC (215mg/ m^3)		400 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	

※廃プラリサイクル施設に対する法的規制は設定されていない。

※この表の濃度換算は、1気圧、25℃。

※発がんリスクとは、過剰発がん生涯リスクレベルに対応する評価値。

※400ppmCは、対象施設の最も低い規制値。重量濃度はトルエン換算値。

排気速度が遅い、温度が低いので、有効煙突高さが低いなど、ごみ焼却炉と比べて拡散が期待できない。つまり、排気された空気は高濃度のまま住宅地帯に到達する可能性が高いと考えて対応する必要がある。

①大気汚染防止法で定める VOC 濃度規制は、オキシダントの発生抑制を目的としており、揮発性有機化合物の取扱い施設等が規制対象である。

②規制対象施設の最も低い基準（400ppmC）を準用すると、トルエン換算で21.5万 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、廃プラリサイクル施設でこれを超える VOC の発生はほとんどない。つまり、何ら対策を講じる必要がない。なお、スプレーやガスボンベが混入して破損した場合にはありうる。

③自治体の施設で準用した場合、廃プラ再生施設などの民間企業がこの基準を準用しても自治体としては認めざるを得なくなる。

④この基準は、室内濃度指針（260）の800倍も高い濃度であり、排出された場合に十分に拡散しなければ、周辺住民に健康被害を引き起こす可能性は非常に高い。

このような拡散予測をせずに安易にオキシダント発生抑制を目的とした VOC 濃度を準用することは、大気汚染防止法の目的である「健康の保護と生活環境の保全」に著しく背くものであり、不適切である。少なくとも住民に対して科学的、合理的な説明責任があろう。

次回は、他の基準について制定の考え方や同じ単位に統一して数値の意味について解説する。