

VOC 排出削減効果の 定量的評価に関する調査 報告書

令和 2 年 3 月

一般社団法人産業環境管理協会

◆◆◆ 目 次 ◆◆◆

1	調査の目的	1
2	調査の概要	1
	2-1. 実施体制	1
	2-2. 実施内容(指標の試算)	2
	(1) 提案する指標	2
	(2) 計算実施ケース	3
	(3) 指標計算に係る考察	4
	2-3. 実施内容(事例調査)	7
	2-4. 調査スケジュール	7
	2-5. 検討会の設置	8
	2-6. 産構審小委員会における成果の発表	9
3	調査結果(定量評価)	10
	3-1. 定量評価を検討する目的	10
	3-2. 定量評価に用いる評価指標	10
	3-3. オゾン低減効率指標の試算	12
	(1) 計算に用いるシミュレーションモデルーADMER-PRO	12
	(2) 計算ケースと計算条件	13
	(3) 排出量設定	16
	(4) 予備検討	25
	(5) オゾン低減効率指標の算出結果	28
	3-4. 考察	33
	(1) オゾン集団暴露量低減効率の業種間変動要因の推定	33
	(2) 関連研究との比較による算出指標値の妥当性検討	35
	(3) 指標値の変動性解析	38
	(4) NOx 同時削減シナリオの検討	45
	3-5. オゾン低減効率指標の導出・解析結果のまとめと今後の課題	47
4	調査結果(広報資料の作成)	49
	4-1. VOC の定義、光化学オキシダントの有害性情報、排出削減の経緯・成果・現状	49
	(1) VOC の定義	49
	(2) 光化学オキシダントの有害性情報	49
	(3) VOC 排出削減の経緯・成果・現状	51
	4-2. ヒアリング調査に基づく事例調査	52
	(1) 調査方法	52

(2)	対策事例.....	54
(3)	事例に関するまとめ.....	54
4-3.	その他の主要な取組情報、有効な既存の事例情報・支援情報等.....	86
(1)	環境省「揮発性有機化合物(VOC)対策」.....	86
(2)	経済省の「揮発性有機化合物(VOC)排出抑制に向けた取組」.....	86
(3)	東京都の「揮発性有機化合物(VOC)対策」.....	87
(4)	その他の自治体における VOC 関連情報.....	88
(5)	国や自治体におけるその他の参考情報.....	88
(6)	自主的取組の支援団体.....	90
5	まとめ.....	91
5-1.	指標の検討.....	91
(1)	本年度における指標の検討結果.....	91
(2)	本年度の検討結果を見る上での注意点.....	91
(3)	今後の方向性と課題.....	91
5-2.	事例調査.....	91

1 調査の目的

平成 18 年 4 月に大気汚染防止法(昭和 43 年法律第 97 号)が改正され、揮発性有機化合物(VOC)について、法規制と産業界(事業者・業務団体等)による自主的取組の 2 つの手法を併用した排出削減施策(ベストミックス)により、平成 22 年度における VOC 排出量は、当初の目標(平成 22(2010)年度までに平成 12(2000)年度比で 3 割程度削減)を超える 45%の排出削減を達成した。

平成 23 年度以降も、VOC 自主的取組の参加業界団体等が自ら「目指すべき方向性と方策」を設定し、少なくとも平成 22 年度比で悪化しないよう VOC 排出抑制のための自主的取組を継続している。直近の平成 30 年度実績では、平成 22 年度に比べて約 25%削減するなど、更なる VOC 排出削減に貢献している。

一方で、光化学オキシダント注意報等の発令延べ日数の減少傾向や、新指標に基づく長期的な改善傾向が示唆されるなど、自主的取組は大気環境の改善にも一定の効果があつたものと推測されるが、我が国大気環境中の光化学オキシダント(Ox)濃度の環境基準達成状況は極めて低い水準で推移しており、前駆物質の一つとされている VOC の排出削減の効果が定量的に把握できない状況である。

このような状況のなか、引き続き自主的取組は継続することとされており、産業界の負担軽減にも留意しながら進める必要がある。産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会(第 7 回、平成 31 年 3 月 19 日開催)においても、「VOC 排出抑制の効果を定量的に把握するための科学的知見の更なる充実等を行うべき」との指摘があり、自主的取組の効果を「指標」として定量的に把握することは、今後のより効果的かつ効率的な VOC 排出削減対策の検討に資すると考えられる。

このため、自主的取組の効果を定量的に把握するための「指標」を提案し、産業界におけるこれまでの VOC 排出削減効果を過去及び近年について試算し、将来の我が国大気環境の保全と産業界の負担の在り方、経済との両立を図るための方策等を検討して行く上で必要な評価手法を検討した。

また、効果的かつ効率的な VOC 排出削減対策を推進するため、産業界や民生部門における VOC 排出削減に係る取組事例を収集し、その実態を調査した。さらに、得られた情報を取りまとめて広報資料とし、取組の普及啓発を行った。

2 調査の概要

2-1. 実施体制

本調査は(一社)産業環境管理協会(人材育成・出版センター)が請け負い、指標の検討を行う上で必要なシミュレーション計算については(国研)産業技術総合研究所安全科学研究部門(担当者:環境暴露モデリンググループ 井上和也主任研究員)に外注して実施した。

事業実施体制を図 2-1 に示す。

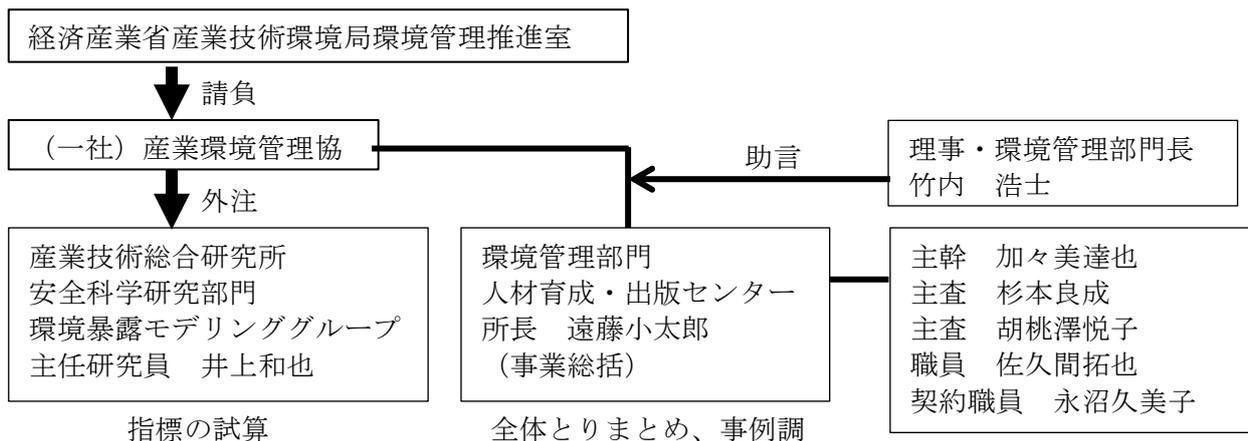


図 2-1 事業実施体制

2-2. 実施内容（指標の試算）

(1) 提案する指標

VOC 排出削減の効果の定量的指標として、以下の2つの指標を定義し、指標値を試算して評価を試みた。この2つをまとめて「オゾン低減効率指標」と呼ぶこととする。なお、本検討業務は、VOC 削減の効果をどのような手法で評価することが適当かを検討することも含んでいる。

指標案 1: オゾン集団暴露量低減効率

定義:
$$\frac{\text{VOC 対策により低減されたオゾン集団暴露量}(\text{ppb} \cdot \text{人})}{\text{対策により削減された VOC 排出削減量}(\text{トン})}$$

意味: 計算を行った時期、地方について、VOC 削減 1 トンあたり、その地方に住む全人口について暴露濃度を低減した総和の度合いを表す指標。地表付近の計算セル内のオゾン低減濃度 (ppb) に、その計算セル内の人口 (人) を乗じ、地方全体の計算セルについて積算したのが分子のオゾン集団暴露量低減量で、これをその地方の VOC 排出削減量で割ったものがオゾン集団暴露量低減効率となる。

例: 地表付近の計算セル内のオゾン低減量が 1.0ppb (計算値)、関東地方の人口が 4,261 万人、関東地方の VOC 排出削減量 71,648 トン (2005 年→2010 年の削減量) とし、オゾン低減濃度、人口密度、VOC 削減量の分布がすべて関東地方内で均一と仮定した場合、オゾン集団暴露量低減効率 (2005 年、関東地方) は 594ppb・人/トンと計算される。

指標案 2: オゾン存在量低減効率

定義:
$$\frac{\text{VOC 対策により低減されたオゾン濃度}(\text{ppb} \cdot \text{km}^2)}{\text{対策により削減された VOC 排出削減量}(\text{トン})}$$

意味: 計算を行った時期、地方について、VOC 削減 1 トンあたり、その地方のオゾン濃度を低減した総和の度合いを表す指標。地表付近の計算セル内のオゾン低減濃度 (ppb) に、その計算セルの面積 (25km² (5km×5km)) を乗じ、地方全体の計算セルについて積算したものが分子のオゾン存在量低減量で、これをその地方の VOC 排出削減量で割ったものがオゾン存在量低減効率となる。

例: 地表付近の計算セル内のオゾン低減量が 1.0ppb (計算値)、関東地方の面積が 32,420km²、関東地方の VOC 削減量 71,648 トン (2005 年→2010 年の削減量) でオゾン低減濃度が関東地方内で均一と仮定した場合、オゾン存在量低減効率 (2005 年、関東地方) は 0.44 ppb・km²/トンと計算される。

オゾン濃度の低減量が同じでも、人口が多い地域ほど、オゾン集団暴露量低減量は大きくなるため、人健康リスクの低減により一層寄与した、と評価される。

(2) 計算実施ケース

計算に用いたシミュレーションモデルは、産総研が開発した ADMER-PRO である。過去の VOC 排出削減による効果を検証するため、大気汚染防止法改正後の 3 割目標を設定した初期の取組期間について、また、その後の近年の VOC 排出削減の効果を検証・比較するため、2015 年を起点とした計算を行った。表 2-1 のように、対象時期 2×対象地方 3×対象業種 8×気象パターン 1 の 48 ケースについて計算を実施し、それぞれの計算ケースで 2 つの指標を試算した。

8 業種としているのは、事業期間を通じての計算時間の制約によるもので、上位 8 業種合計でいずれの計算対象時期も VOC インベントリ全体の 67%程度を占めている。なお、本調査で 8 業種を個別に計算しているのは、取扱物質の光化学反応性の違い(=MIR の違い)と、立地条件の違いによって、VOC 削減がオゾン低減に寄与する効率が異なると考えられるためであり、業種そのものの対策の優劣等を比較する意図ではない。

表 2-1 計算を実施したケース

項目	計算条件	備考
a. 計算対象時期 (排出量データ)	①初期の取組実施期間(削減前:2005 年→削減後:2010 年) ②近年の期間(削減前:2015→削減後:10%削減)(詳細計算は 2016 年ベース)	オゾン集団暴露量低減効率、オゾン存在量低減効率の変化を比較
b. 対象地方	3 地方=関東、近畿、東北	中部は近畿に類似と見なす
c. 対象業種	8 業種程度	環境省 VOC インベントリの上位 8 業種
d. 気象パターン、平均化時間	夏季(7,8 月)のオゾンが高濃度になった典型的な気象パターン、日中の 8 時間値(10-18 時)で評価	

過去の時期を 2005 年ベースでの計算としたのは、ADMER-PRO に内蔵されている排出量データを利用できることが大きな理由である。2015 年ベースの計算は、最初は VOC も NOx も 2005 年の 6 割(測定平均値の比)と設定して簡易計算を行った。別途、VOC や NOx の排出量を、統計データを用いて計算セルに配分するデータプロセッシング作業を行い(3-3 章(3))、これを用いて詳細計算を行って比較した(ただし、詳細配分データを作成した対象は 2016 年度である)(3-4 章(3)①)。

VOC や NOx、オゾンについて、排出量の設定や初期条件の詳細は 3-2 章(2)で後述する(表 3-3)。

指標計算の具体的な手順を図 2-2 に示す。固定発生源(計算対象業種)の VOC 排出量のみを変更し、それによる対策前後のオゾンの濃度差を計算セルごとに計算し、これに面積を掛けて積算し、地方の VOC 排出削減量で割ればオゾン存在量低減効率が求められる。面積でなく人口分布を掛けて積算し、地方の VOC 排出削減量で割ればオゾン集団暴露量低減効率が求められる。

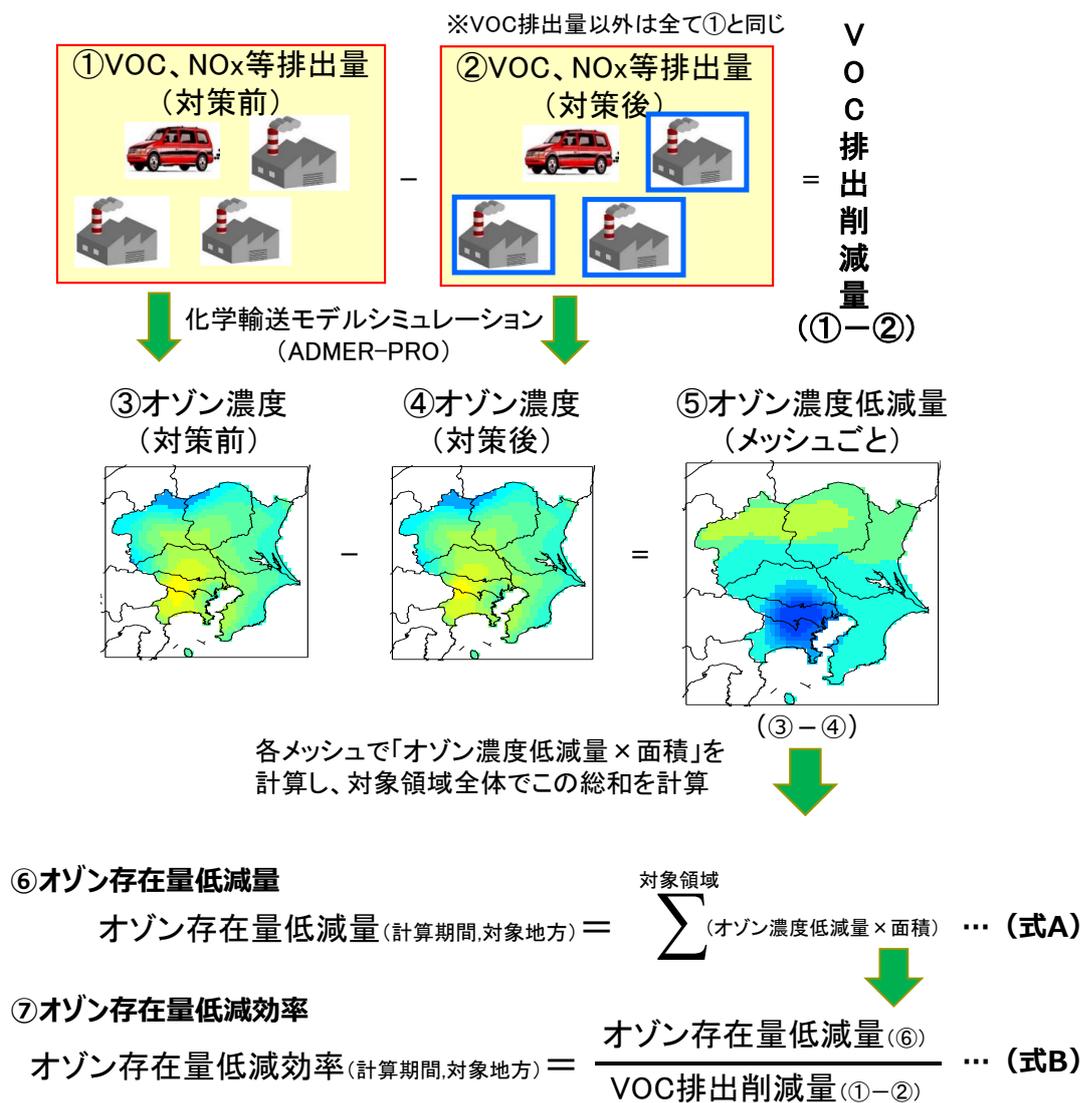


図 2-2 指標の算出手順

詳しい計算条件は 3-3 章(2)にて示すが、この計算では固定発生源の VOC のみを削減し、植物起源 VOC や NO_x 排出量は、VOC 対策の前後で一定と置く仮定を置いていることに注意が必要である。実際には自動車 NO_x 対策や、ボイラーの燃料転換などによる NO_x 対策も同時に行われているため、VOC/NO_x 比が変化し、レジーム理論に基づくオゾン低減への効果も変わる可能性がある。なお、NO_x 同時削減を行った場合に指標がどのように変化するかを考察(3-4 章(4))で検討しているが、今後より詳細な検討が必要である。

(3) 指標計算に係る考察

① オゾン低減効率等の業種間変動要因の検討

既往の研究によって(例えば Sillman, 1999)、VOC と NO_x の組成比によって、オゾンの生成速度が変わることが知られている。これを模式的に図 2-3 に示す。

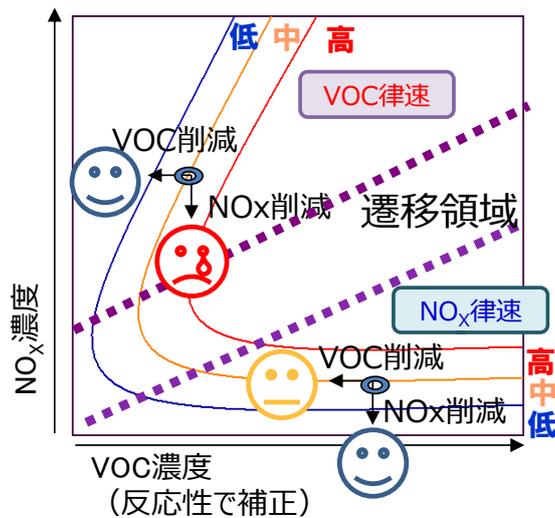


図 2-3 VOC と NOx 濃度の相関関係(オゾン生成量(濃度)の等値線図)

出所:産業環境対策小委員会(第6回)資料 2-2 のp.4

VOC/NOx 比が低い領域、すなわち図 2-3 の左上の VOC 律速の領域では VOC 削減を図るとオゾン濃度が下がり、NOx 削減を図るとオゾン濃度が上がる。逆に VOC/NOx 比が高い領域、すなわち図 2-3 の右下の NOx 律速の領域では VOC 削減を図るとオゾン濃度が殆ど変化しない又は若干上がり、NOx 削減を図るとオゾン濃度が下がる。これらの中間領域を遷移領域という。この関係をオゾンの感度レジームという。簡単に言えば、VOC と NOx のうち、少ない方が律速となる。

一方、オゾン生成の反応メカニズムは図 2-4 のようなイメージである。

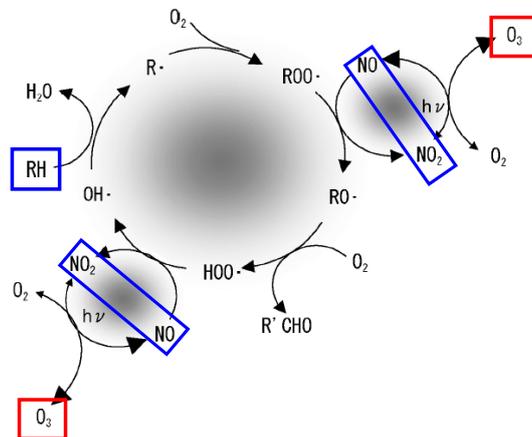


図 2-4 オゾンの生成機構の模式図

出所:産業環境対策小委員会(第6回)資料 2-2 のp.3(原出典:板野泰之,2006.都市大気における光化学オキシダント問題の新展開,生活衛生,50, pp.115-122.より作成)

また、VOC をはじめとする炭化水素が介在する場合としない場合では、反応式はそれぞれ以下のようになる。

(通常の反応)



(炭化水素が介在する反応)



反応式より、VOC が存在しない条件下では、NO_x から遊離した酸素原子が酸素分子を酸化してオゾンが生成する(②)が、一方で NO がオゾンと反応して酸化される反応によってオゾンは消費され(③)、平衡を保っている。ここに VOC などの炭化水素が介在すると、③の反応に使われるべき NO が④と⑤の反応で消費されてしまい、結果としてオゾンが大気中に蓄積してしまう。

図 2-4 を参照すれば、オゾンの生成と消費の連鎖反応系の中に NO_x が関与するところと、VOC が関与するところがあり、VOC と NO_x の少ない方が不足するために反応全体を支配することがイメージできる。

VOC の発生源は、工場等の固定発生源だけではなく、森林等からの自然発生源もある。このため、一般的に、森林が多い郊外部では人為発生 VOC を削減しても、大気中に自然由来 VOC が存在するため、VOC/NO_x 比が高くなり、従って NO_x 律速になりやすい。逆に都市部では自然発生源が少ないため、VOC/NO_x 比が高くなり、従って VOC 律速になりやすい傾向がある。

以上を踏まえ、発生源業種における VOC の組成を表すパラメータと、排出削減を図る場所を表すパラメータを定義して計算し、オゾン集団暴露量低減効率と、これらパラメータとの相関を求め、業種別の取扱物質の光化学反応性の違いによる影響と、立地特性の影響のいずれが効率の業種間変動要因であるのかを検討した。

パラメータ a. 各業種の VOC 組成(各化学種の組に固有なオゾン生成能)を表すパラメータ=MIR*¹の総和

*1: Maximum Incremental Reactivity: 最大増加反応性、VOC を単位量増加させたときのオゾンの増加量

パラメータ b. 各業種の排出削減場所(場所ごとのオゾン生成能)を表すパラメータ=以下 c と d の積和

c: 過去に産総研で計算された 20km メッシュごとのオゾン感度分布推定結果(井上, 2019※)

d: 各業種における排出削減量分布

※Inoue, K. et al. (2019). Modeling study on the spatial variation of the sensitivity of photochemical ozone concentrations and population exposure to VOC emission reductions in Japan. Air Qual. Atmos. Hlth., 12, 1035–1047.

② その他の考察

本調査におけるシミュレーションの計算精度の検証や、計算条件を一部変更するなどして、前項以外にもいくつかの考察を行った。これらの実施項目は、主に後述の検討会での議論に基づいて実施している。前項も含め、考察実施項目の一覧を表 2-2 に示す。詳細は 3-4 章に示す。

表 2-2 考察実施項目

大項目	中項目	目的
(1) オゾン集団暴露量低減効率の業種間変動要因の推定		業種による効率指標の変動が、光化学反応性(MIR)に拠るのか、業種の立地特性に拠るのかを検討する(3-4章(1))。
(2) 関連研究との比較による算出指標値の妥当性検討	① 衛星データ解析によるオゾン生成レジーム診断結果との整合性	関東、近畿、東北の3地方の地理的、経年的変化を他研究と比較する(3-4章(2)①)。
	② 環境省のオキシダント調査検討会による推定結果との定性的な比較	ADMER-PRO ではない別のモデル計算での類似検討例との比較(3-4章(2)②)
(3) 指標値の変動性解析	① 詳細推計インベントリを用いた場合の指標値算出結果	2016 版の計算セルごとの排出量データを統計値からプロセッシングを行って生成し、簡易計算結果との相違を検証する(3-4章(3)①)。
	② 他の気象パターンにおける指標値算出結果	夏期の典型的気象場だけでなく、風速場が異なる別の気象条件で指標値が変化するかとうかの検討(3-4章(3)②)
	③ 1 時間値に対する指標値算出結果	オゾン濃度を 8 時間平均値で行った本計算に対し、1 時間で計算した場合の指標値の比較(3-4章(3)③)
(4) NOx 同時削減シナリオの検討		本計算における「VOC のみ削減」の計算条件に対して、「NOx のみ削減」、「VOC と NOx 同時削減」の条件で計算し、比較及び指標の独立性(加算性)を検討する(3-4章(4))。

2-3. 実施内容 (事例調査)

効果的かつ効率的な VOC 排出削減対策を推進するため、産業界や民生部門における VOC 排出削減に係る取組事例を収集し、その実態を調査した。さらに、得られた情報を取りまとめて広報資料とし、取組の普及啓発を行った。

具体的には、主要な業界団体に一次ヒアリングを行い、取り上げる事例を 10 項目程度選定した。更に詳細をヒアリングするために、一次ヒアリング先から団体・企業を紹介いただき、二次ヒアリングを行った。詳細は 4 章に示す。4 章の事例調査結果のうち、まえがき、参考資料の部分を簡素化して広報資料とし、公表向けの電子版を作成した。

2-4. 調査スケジュール

調査スケジュールを表 2-3 に示す。

計算計画の検討に資するため、第 1 回検討会までに予備的な計算を行い、指標の計算プロセスや結果をイメージできるようにした。第 1 回検討会後に 48 ケースの本計算を行い、第 2 回検討会に結果を供した。当初、産構審小委員会*については、令和 2 年 3 月の開催を想定していたが、2 月の開催となったため、検討会

の実施内容を前倒し、12月開催の第2回で産構審小委員会向けの発表資料案についても検討した。

2016版の排出量データの作成(統計値に基づく計算セルへの配分)が令和2年2月初旬に完了したため、このデータによる近年の16ケース(関東、近畿地方×8業種)を計算し直し、簡易計算の結果と比較した。

事例調査については、9月以降順次、業界団体にアポイントを取り、適宜一時ヒアリングを行い、必要に応じて二次ヒアリングを行った。随時事例資料をまとめ、ヒアリング先への内容確認、出典・引用に関する許諾確認を行い、報告書(4章)および広報資料を作成した。なお、指標計算の結果に基づいてVOC削減対策によるオゾン低減効果の高い業種や対策技術を割り出して事例追加ヒアリング先を引き出すことは出来なかった。

※産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会

表 2-3 調査スケジュール

	8月	10月	12月	2020.1月	3月
(1) 指標の試算(予備計算)	→				
① 指標試算に必要な情報収集・準備(注1)				→	
② 仮計算、判断材料を示す資料作成	→				
③ 本計算実施(注2)		→			
④ 再計算、追加計算、検証等(注3)			→		
⑤ 指標計算の公表資料作成(注4)				→	
⑥ 指標計算の報告書案作成				→	→
(2) 検討会の開催	①9/10		②12/5	産構審 2/19	③3/6
(3) 事例ヒアリング	→			→	
(4) 事例調査結果、広報資料作成(注5)				→	→
(5) 調査報告書の作成				→	→

(注1) 詳細計算用の2016年度ベース排出量のデータプロセッシングを含む

(注2) 2015年ベースの24ケースを簡易計算により実施

(注3) 2016年度ベース排出量データに基づく詳細計算を含む

(注4) 2/19開催の産構審小委員会(第8回)向けの発表資料作成

(注5) ヒアリング先の団体、企業等における確認作業を含む

2-5. 検討会の設置

指標計算に係る内容を検討するため、表 2-4 のように、大気化学、モデリング、インベントリ等を専門とする専門家5名と、産業界の2名からなる検討会を設置し、検討を行った。指標計算の計画、指標の在り方、精度検証など多くの有用なご意見・ご議論をいただき、当初計画以外の考察項目などを実施することができた。検討会の開催実績を表 2-5 に示す。

表 2-4 検討会委員(五十音順、敬称略)

氏名	所属	役職
◎梶井 克純	京都大学大学院 地球環境学堂および人間・環境学研究科	教授
金谷 有剛	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球表層システム研究センター	センター長代理
亀屋 隆志	横浜国立大学大学院 環境情報研究院	教授
須貝 英生	一般社団法人 日本塗料工業会	常務理事
茶谷 聡	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター 大気環境モデリング研究室	主任研究員
奈良 恒雄	一般社団法人 日本化学工業協会 VOC 検討 SWG	主査
森川 多津子	一般財団法人 日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部	主任研究員

◎は委員長

表 2-5 検討会開催実績

回数	主目的	準備事項・検討内容	検討会後の対応
1 回目 令和元年 9月10日(火)	<ul style="list-style-type: none"> 評価指標案の提示 指標試算の計算条件の決定 	<ul style="list-style-type: none"> 指標の試算の調査計画の提示 予備的な検討結果 	<ul style="list-style-type: none"> 指標の追加等 計算計画の調整 指標計算の実施
2 回目 令和元年 12月5日(木)	<ul style="list-style-type: none"> 指標計算の暫定結果の提示 追加計算のケース検討(条件の変更、追加等) 産構審小委員会向けの公表資料の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 指標計算の本計算の結果の提示 指標計算結果の産構審小委員会発表向け資料案 一部考察の結果提示 	<ul style="list-style-type: none"> 考察事項の実施 追加計算の実施 産構審小委員会向けの発表資料(公表)完成
3 回目 令和2年 3月6日(金)	<ul style="list-style-type: none"> 報告書案の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 産構審小委員会発表の件(報告) 第2回検討会以降の追加計算、考察事項の結果の提示 報告書案の提示 	<ul style="list-style-type: none"> 報告書の最終修正

2-6. 産構審小委員会における成果の発表

VOC 自主的取組の成果をレビューしている産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会の第8回(令和2年2月19日)において、本業務のシミュレーションによる VOC 排出削減の評価手法の検討について、成果の一部を発表した。配布資料の URL は以下のとおりである。発表資料は資料 2-2 である。

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/008.html

3 調査結果（定量評価）

3-1. 定量評価を検討する目的

平成18年4月の大気汚染防止法改正により、法規制と産業界（事業者・業務団体等）による自主的取組のベストミックスにより VOC の排出削減対策が実施され、近年では平成12年度比の約半分まで VOC 排出量が削減されている。

今後も引き続き VOC 排出抑制が求められる中、自主的取組参加企業等の負担軽減にも留意し、効率的に実施していく必要がある。このためには VOC 排出削減により、どの程度の効率でオゾン汚染が低減するのかを定量的に評価する必要がある。そこで、過去及び将来の VOC 排出削減によるオゾン汚染の低減効率を定量的に評価及び予測するための「オゾン低減効率指標」を試算した。

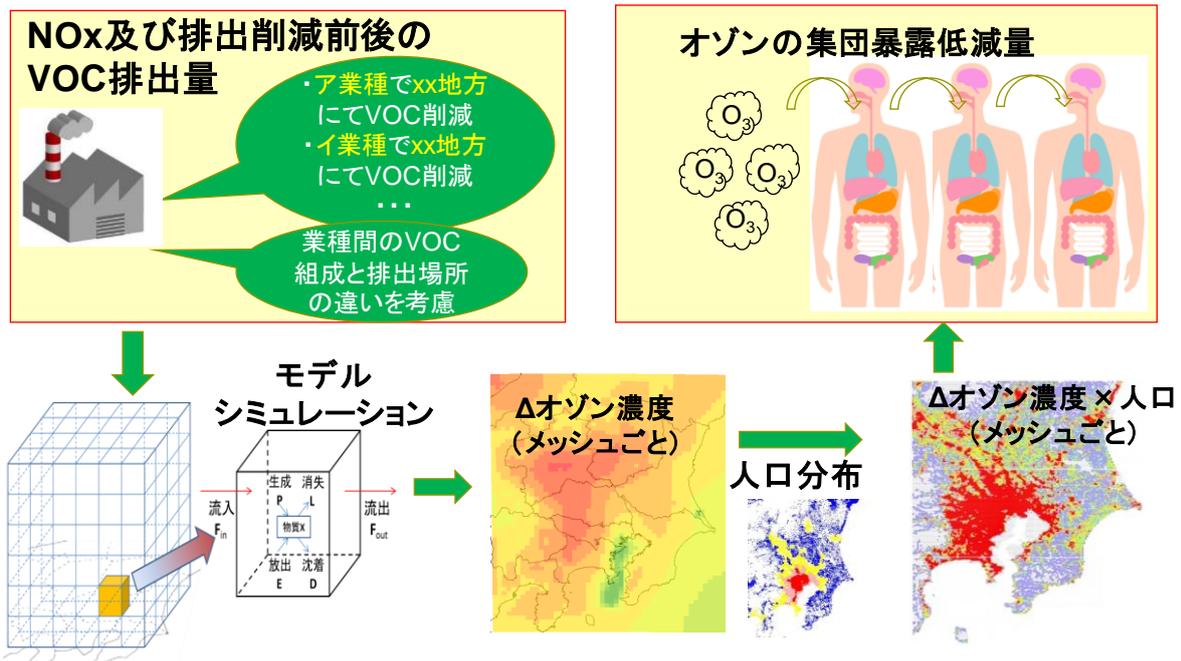
3-2. 定量評価に用いるオゾン低減効率指標

定量的評価に用いるオゾン低減効率指標は表 3-1 に挙げたとおりである。いずれの指標も単位 VOC 排出削減量あたりで、オゾン濃度に関する指標がどの程度低減するのかを示しており、VOC 排出削減のオゾン低減に及ぼす効率を表す指標となっている。

表 3-1 定量評価に用いるオゾン低減効率指標

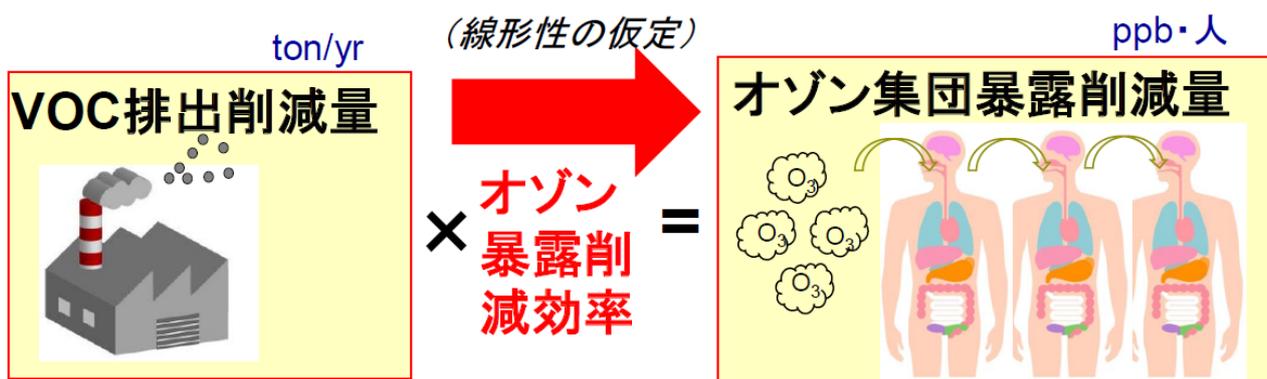
指標の種類	指標の定義	指標の意味
指標①＝オゾン集団暴露量低減効率 ppb・人／ton	VOC 削減による計算区域（メッシュ）ごとのオゾン濃度低減量に計算メッシュ内の人口を掛けて対象領域全体で足し合わせた値（集団暴露量低減量）を対象領域内の VOC 削減量で割った値	VOC を年間 1ton 削減した場合に対象領域内のオゾン集団暴露量がどれだけ低減するかの効率を示す指標（単位 VOC 排出削減量当たりのヒト健康影響の低減効率を診るのに適した指標と言える）
指標②＝オゾン存在量低減効率 ppb・km ² ／ton	VOC 削減による計算メッシュごとの（地表）オゾン濃度低減量に計算メッシュの面積を掛けて対象領域全体で足し合わせた値を対象領域内の VOC 削減量で割った値	VOC を年間 1ton 削減した場合に対象領域内の（地表）オゾン存在量がどれだけ低減するかの効率を示す指標（単位 VOC 排出削減量当たりの地表オゾン存在量の低減効率を診るのに適した指標と言える）

オゾン集団暴露量低減効率の算出イメージを図 3-1 に示す。図中の右下において「Δオゾン濃度」との積をとる変数を人口でなくメッシュの面積とすれば、オゾン存在量低減効率の推定イメージに置き換わる。オゾン集団暴露量低減効率をひとたび算出しておけば、VOC 排出削減量のみから、簡易な算術式で健康リスク（被害人数等）や便益まで推計できるという大きな利点がある（図 3-2）。なお、このような効率性の指標を算出する意義があるのは、排出削減量とオゾン濃度低減量の間に関係がなりたつ場合であるが、これについては 3-3 章（4）②で確認する。



- モデルシミュレーションを行い、業種ごと、地方ごと、年代ごとに下式で算出
- オゾン集団暴露量低減効率 = オゾンの集団暴露低減量 (ppb・人) / VOCの年間排出削減量 (ton)

図 3-1 オゾン集団暴露量低減効率の算出イメージ



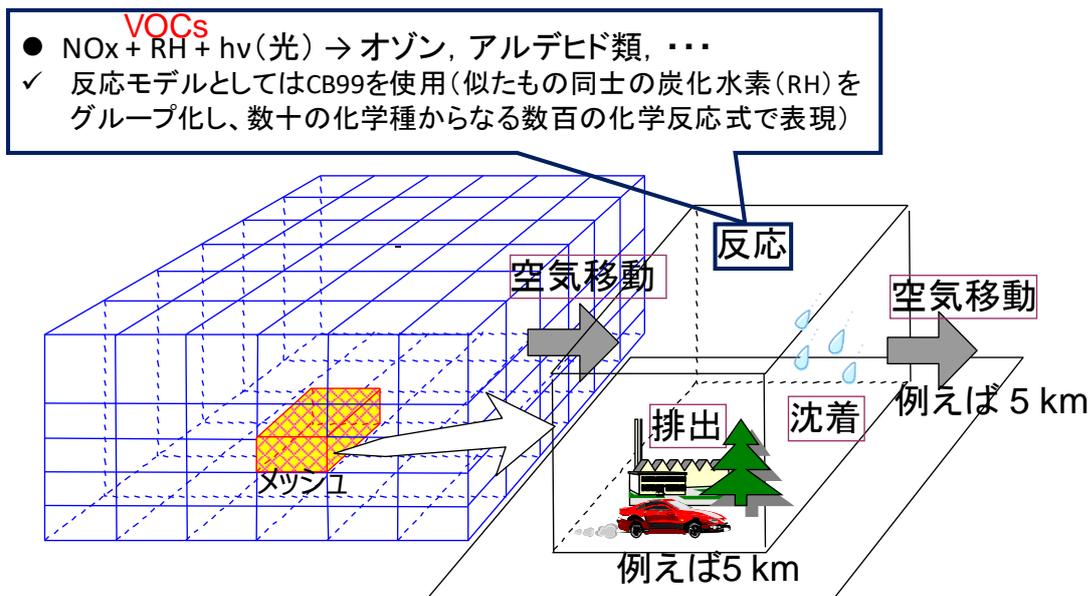
- ひとたび、各業種のVOC排出削減について「オゾン集団暴露量低減効率」を導出しておけば、その対策による集団暴露量低減量を排出削減量より簡単に推定できる
- さらに、濃度・健康影響関係の係数(1/ppb)、健康影響の金銭化係数(円/人)を掛けるだけで、健康影響(人)、便益(円)までも簡単に推定できる

図 3-2 オゾン集団暴露量低減効率算出の利点

3-3. オゾン低減効率指標の試算

(1) 計算に用いるシミュレーションモデル—ADMER-PRO

シミュレーションに使用した大気化学輸送モデル (ADMER-PRO ; 井上&東野, 2015) の概要を図 3-3 に示す。図 3-3 の箇条書きで示した通り、ADMER-PRO には排出量データ (全国における 3 次メッシュ (約 1×1 km²) 単位の 2005 年度排出量) が内蔵されている、気象パターン類型化機能が備わっており、ある期間 (例えば夏季) の代表日といった情報も提供される、など、シミュレーションを行うにあたって必要なデータや便利な機能が実装されているのが特徴である。



- 化学物質諸過程の計算に必要な気象場も同時に計算し、各メッシュの時々刻々の値を計算に反映
- 排出量等のデータを内蔵し、これ一つで排出削減効果を推定可能
- 気象パターン類型化機能(吉門ら, 2006a)が搭載されており、指定期間の典型気象パターンや各気象パターンの代表日を選出することが可能

図 3-3 シミュレーションに供するモデル (ADMER-PRO; 井上&東野, 2015)

(2) 計算ケースと計算条件

計算ケースの一覧を表 3-2 に、計算条件を表 3-3 に示す。表 3-2 に示す通り、3 地方 (関東、近畿、東北)、2 期間 (初期、近年)、8 つの業種、1 つの気象パターンについて、各指標を算出するためのシミュレーションを行っている。ここで、関東地方は 1 都 7 県 (茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)、近畿地方は 2 府 4 県 (滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県)、東北地方は 4 県 (岩手県、宮城県、秋田県、山形県) を対象としている。対象気象パターンは、夏季に高濃度オゾンが頻発する気象パターンとして、吉門ら (2006b) を参考に、「日射量大、地衡風弱」を選定した。実際の評価対象日は、ADMER-PRO の気象パターン類型化機能により当該気象パターンの代表日として対象地方別に選定した。その結果、評価対象日は、関東: 2005 年 8 月 5 日、近畿: 2005 年 7 月 20 日、東北: 2005 年 7 月 15 日がそれぞれ選定された。なお、実際の計算では助走期間 (spin-up period) を設けるため、評価対象日の 51 時間前から実施している。また、いずれの地方を対象とした計算においても、評価対象領域を詳細な空間解像度 ($5 \times 5 \text{ km}^2$) でカバーする小領域グリッドと、より大きい領域をより粗い空間解像度 ($20 \times 20 \text{ km}^2$) でカバーする大領域グリッドの入れ子構造を採用しているが (評価対象領域を関東とする場合のグリッド構造を図 3-4 に示す)、指標値の算出に用いるのは小領域グリッドの結果である。初期・境界条件についてはすべての計算ケースで同一とし、オゾン濃度は気象庁が実施している上空のオゾン濃度の高度分布データから配分、その他物質濃度はゼロと設定としている。上述の通り、対象領域より広い領域 (ほぼ本州全域) とのネスティング (入れ子格子) 計算を行うこと、また、計算対象日の 51 時間前から助走計算を行うことにより、初期・境界条件の影響は十分低減されていると考える。その他の計算条件は基本的に井上&東野 (2015) と同一である。8 つの対象業種は 2005 年度環境省 VOC インベントリの排出量上位 8 業種を選定した。

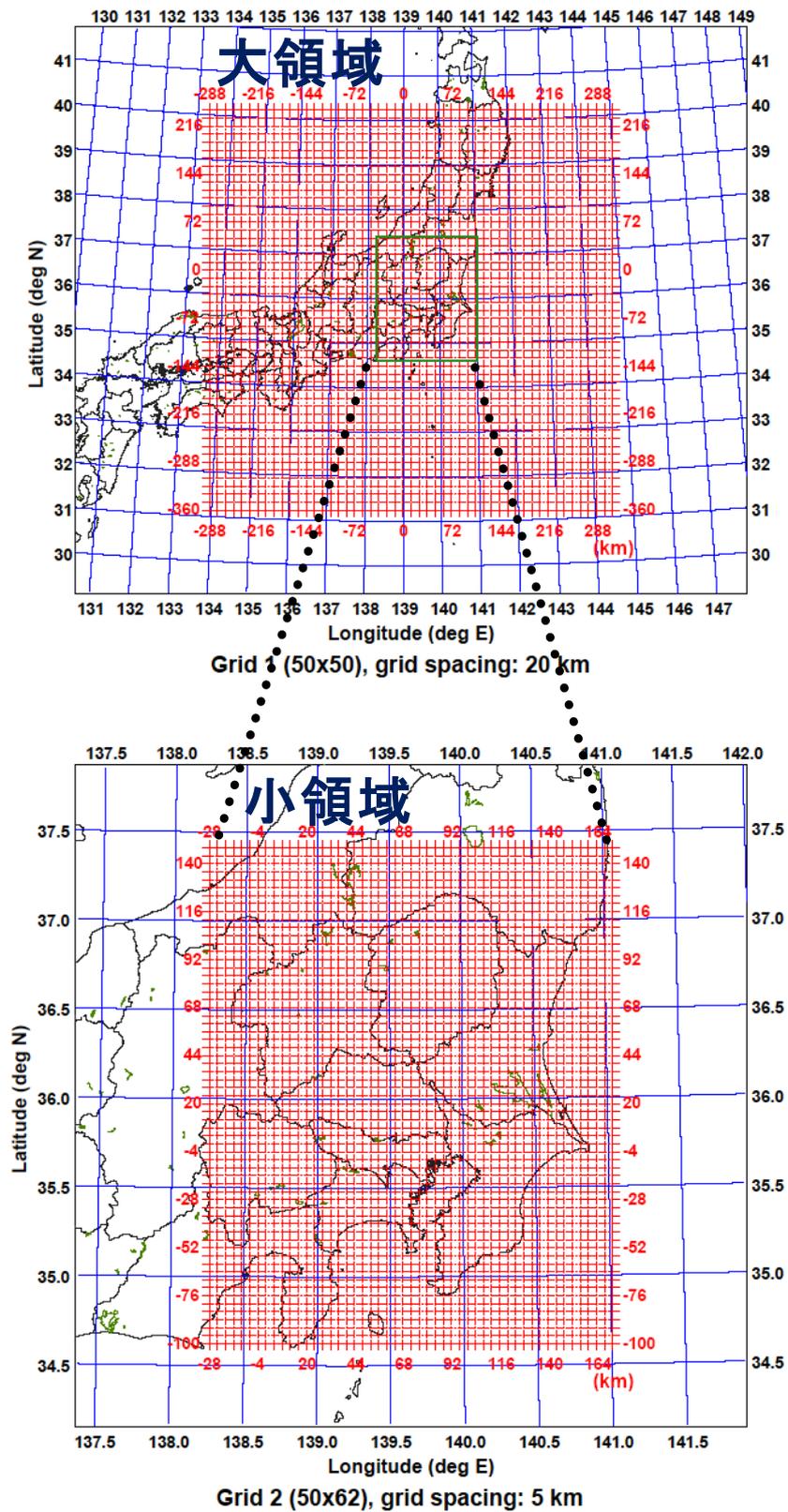


図 3-4 計算対象領域を関東とする場合のグリッド構造の例（評価対象領域を関東とする場合）

表 3-2 計算ケース一覧

1. VOC 対策の期間 (排出量データ)	2 ケース ①初期の取組対象期間 (排出量:2005 年ベース→2010 年) ②3 割目標年度以降近年の期間 (排出量:2015 年ベース[簡易推計版※]→10%削減)
2. 対象業種	8 業種(2005 年度 VOC 排出インベントリ(環境省)の上位 8 業種)
3. 対象地方	3 地方(関東、近畿、東北)
4. 気象パターン、 平均化時間	1 パターン(夏季に高濃度オゾンが頻発する気象パターン(気圧傾度弱、日射量大)の 2005 年における代表日)、オゾン濃度は昼間の 8 時間(10-18 時)値として計算

※近年のベースケース排出量インベントリとしては、簡易推計版の他に詳細推計版も準備した((3)項参照)。
詳細推計版インベントリは別途実施する指標値の変動性解析に利用している(3-4 章(3)①)

表 3-3 主な計算条件

1. VOC 排出量	固定発生源・移動発生源		
	①対策初期	削減前 (2005 年度)	ADMER-PRO 内蔵の排出量データ使用
		削減後 (2010 年度)	対象業種の VOC 排出量のみ 2010 年度の 2005 年度に対する VOC インベントリの比率を乗じて削減。
	②近年	削減前 (2015 年度)	2005 年度ベース排出量の 60 パーセントとした (≒実測値の比)
削減後		対象業種の VOC 排出量のみ 2015 年度の 90 パーセントに削減。	
植物起源 BEIS2(注 1)による予測値を日本の植生に補正して使用(①②及び削減前後において全て同じ値を入力) (注 1)BEIS2:Biogenic Emissions Inventory System ver.2 の略。米国 EPA の植物排出量推計モデル。			
2. NO _x 排出量	固定発生源・移動発生源		
	①対策初期	ADMER-PRO 内蔵の排出量データ使用	
	②近年	2005 年度ベース排出量の 60 パーセントとした(≒実測値の比)	
(注 2)VOC の削減前と削減後は NO _x 排出量は同じとした			
3. 初期条件、境界条件	オゾン濃度:気象庁が実施している上空のオゾン濃度の高度分布データから配分 その他物質濃度:ゼロ設定 (注 3)対象領域より広い領域(ほぼ本州全域)とのネスティング(入れ子格子)計算を行うこと、また、計算対象日の 51 時間前から助走計算を行うことにより、初期・境界条件の影響を低減		

(3) 排出量設定

最初にベースケース（VOC 排出削減前）における人為起源排出量の設定について記述する。

初期の取組期間に対するベースケース排出量データとしては、ADMER-PRO の内蔵データ（井上&東野, 2016）をそのまま使用した。ADMER-PRO の内蔵データ（2005 年度の全国を対象とした 3 次メッシュ単位のデータ）では、固定蒸発 VOC 発生源については各業種、各メッシュからの VOC 排出量は、「揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ（平成 20 年度排出量）」（平成 22 年 3 月、環境省 水・大気環境局大気環境課）の業種別全国値より、平成 18 年度「事業所・企業統計」の従業者数データを用いて配分することにより推定されている。なお、各業種から排出される VOC の組成は、「揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ（平成 20 年度排出量）」（平成 22 年 3 月、環境省 水・大気環境局大気環境課）の業種別 VOC 成分別全国値に基づいて設定されている。

近年のベースケース排出量としては、簡易推計版と詳細推計版の 2 種類を準備した。指標算出にあたっては基本的には簡易推計版を利用しているが、3-4 章で実施する指標値の変動性解析には詳細推計版も利用している。簡易推計版、詳細推計版それぞれの推計方法概略を表 3-4 に示した。簡易推計版では、2005 年度（ADMER-PRO 内蔵）インベントリを、地表実測値データを用いて、全国一律に VOC、NO_x ごとに年次補正しているのに対し（VOC、NO_x とも 2005 年度の値に対して 0.6 倍）、詳細推計版では、固定蒸発 VOC 発生源については 2016 年の実績値を利用し、その他の発生源については各種統計データや排出係数データ等を用いて発生源ごとに年次補正を行っている。詳細推計版における固定蒸発 VOC 発生源排出量の空間配分方法を図 3-5 に、空間配分の際に用いたデータを表 3-5 に、それぞれ示した。なお、簡易推計版、詳細推計版のいずれにおいても各業種から排出される VOC の組成については ADMER-PRO 内蔵データ（2005 年度対象）から変更していない。

植物起源の VOC 排出量については全インベントリとも同一の値に設定しており、BEIS2（Biogenic Emissions Inventory System ver.2）による予測値を日本の植生に補正して使用した（井上ら, 2010）。

表 3-4 簡易推計版インベントリと詳細推計版排出量インベントリの推計方法概略

- 簡易推計版(2015 年度)
 - 2005 年度インベントリを地表実測値データを用いて、全国一律に VOC、NO_x ごとに年次補正する（VOC、NO_xとも 2005 年度の値に対して 0.6 倍）
- 詳細推計版(2016 年度)
 - 固定蒸発 VOC 発生源:環境省 VOC 排出インベントリの発生源品目別・業種別全国排出量(2016 年度)をメッシュ配分
 - その他の発生源(移動発生源、民生分野など): 2005 年度インベントリを各種統計データや排出係数データ等を用いて発生源ごとに年次補正。メッシュ配分も入手可能な直近の統計データに基づく。

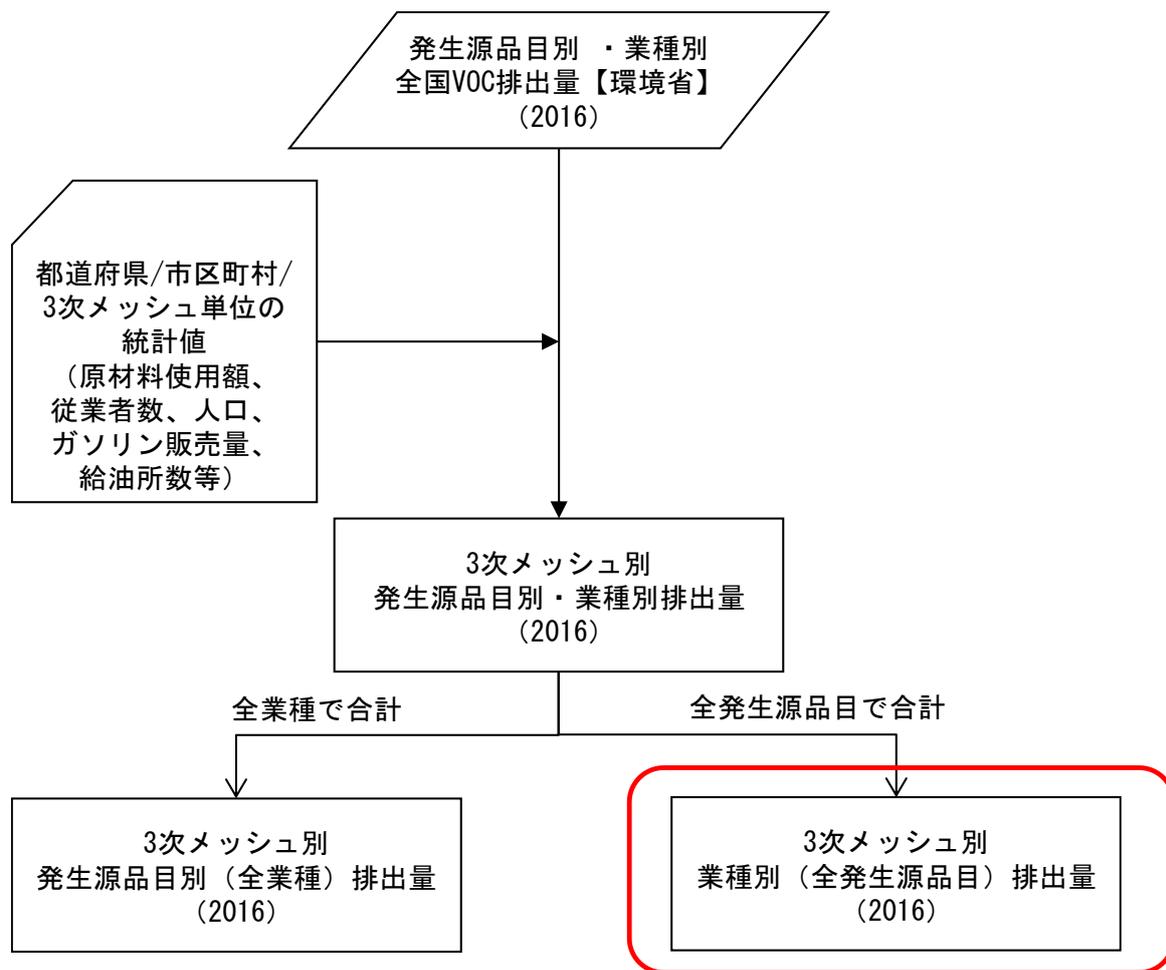


図 3-5 固定蒸発 VOC 発生源排出量の空間配分方法

※赤線で囲まれた「3次メッシュ別業種別（全発生源品目）排出量（2016）」を、各業種、各メッシュからの VOC 排出量として採用している。

表 3-5 固定蒸発 VOC 発生源の各発生源排出量の空間配分に用いる統計値

○101 化学品
全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）
市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）
※化学工業、パルプ・紙・紙加工品製造業
○102 食料品等（発酵）
・酒類の製造
全国→都道府県： アルコール製成数量（国税庁「酒税行政関係情報」平成 22 年度）
都道府県→市区町村： 飲料・たばこ・飼料製造業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）
市区町村→メッシュ： 飲料・たばこ・飼料製造業の従業者数
(平成 26 年経済センサス基礎調査)

・パンの製造

全国→都道府県： パン類生産量（平成 21 年米麦加工食品生産動態等統計調査年報）
都道府県→市区町村： 食料品製造業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）
市区町村→メッシュ： 食料品製造業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○103 コークス

全国→市区町村： 鉄鋼業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）
市区町村→メッシュ： 鉄鋼業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○104 天然ガス

全国→都道府県： 天然ガス生産量（平成 24 年資源・エネルギー統計年報）
都道府県→メッシュ： 鉱業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○201 燃料（蒸発ガス）[原油基地・油槽所・製油所等]、203 原油（蒸発ガス）

全国→メッシュ： 製油所と油槽所の 3 次メッシュ別排出量（平成 17 年度）※
※「固定蒸発起源 NMVOC 排出量等の推計業務」（平成 20 年度）で推計

○201 燃料（蒸発ガス）[給油所]

全国→都道府県： ガソリン販売量（統計でみる都道府県のすがた 2018）
都道府県→メッシュ： 3 次メッシュ内の給油所数※（国土数値情報：2016 年燃料給油所データ）
※給油所の緯度・経度より算出

○311 塗料

・建築工事業

全国→都道府県： 着工建築物床面積（平成 28 年度建築着工統計調査）
都道府県→メッシュ： 建物用地面積（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・土木工事業

全国→都道府県： 土木工事費（平成 28 年度建設総合統計）
都道府県→メッシュ： 建物用地面積＋道路面積
（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・舗装工事業

全国→都道府県： 道路改良、舗装新設、舗装補修の合計量（平成 28 年度道路統計年報）
都道府県→市区町村： 道路実延長（統計でみる市区町村のすがた 2016）
市区町村→メッシュ： 道路面積（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・家庭

全国→メッシュ： 世帯数（平成 27 年国勢調査）

・上記以外の業種（製造業等）

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）
市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）
※金属製品製造業、輸送用機械器具製造業、自動車整備業等

○312 印刷インキ

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※印刷・同関連業、木材・木製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業等

○313 接着剤、333 塗膜剥離剤（リムーバー）、334 製造機器類洗浄用シンナー

・建築工事業

全国→市区町村： 着工建築物床面積（平成 28 年度建築着工統計調査）

市区町村→メッシュ： 建物用地面積（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・土木工事業

全国→都道府県： 着工ベースの土木工事費（平成 28 年度建設総合統計）

都道府県→メッシュ： 建物用地面積＋道路面積

（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・舗装工事業

全国→都道府県： 道路改良、舗装新設、舗装補修の合計量（平成 28 年度道路統計年報）

都道府県→市区町村： 道路実延長（統計でみる市区町村のすがた 2016）

市区町村→メッシュ： 道路面積（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・家庭

全国→メッシュ： 世帯数（平成 27 年国勢調査）

・上記以外の業種（製造業等）

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※繊維工業、木材・木製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業等

○314 粘着剤・剥離剤

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※パルプ・紙・紙加工品製造業、プラスチック製品製造業

○315 ラミネート用接着剤

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※印刷・同関連業、プラスチック製品製造業

○316 農薬・殺虫剤等、423 くん蒸剤

・農業

全国→市区町村： 耕地面積（平成 28 年農林水産関係市町村別統計）

市区町村→メッシュ： 「田」＋「その他農用地」面積

（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

・倉庫業、その他の事業サービス業

全国→メッシュ： その他の事業サービス業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

・家庭 ※「316 農薬・殺虫剤等」のみ

全国→メッシュ： 世帯数（平成 27 年国勢調査）

○317 漁網防汚剤

全国→都道府県： 漁獲量（平成 28 年漁業・養殖業生産統計）

都道府県→メッシュ： 漁業の従業者数（平成 22 年国勢調査）

○322 ゴム溶剤

全国→市区町村： ゴム製品製造業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： ゴム製品製造業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○323 コンバーティング溶剤

全国→市区町村： 繊維工業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 繊維工業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○324 コーティング溶剤、325 合成皮革溶剤、421 プラスチック発泡剤

全国→市区町村： プラスチック製品製造業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： プラスチック製品製造業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○326 アスファルト溶剤

全国→都道府県： 道路改良、舗装新設、舗装補修の合計量（平成 28 年度道路統計年報）

都道府県→市区町村： 道路実延長（統計でみる市区町村のすがた 2016）

市区町村→メッシュ： 道路面積（国土数値情報：2014 年度土地利用 3 次メッシュデータ）

○327 光沢加工剤

全国→市区町村： 印刷・同関連業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 印刷・同関連業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○328 マーキング剤

全国→市区町村： 鉄鋼業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 鉄鋼業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○331 工業用洗浄剤

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※プラスチック製品製造業、金属製品製造業、輸送用機械器具製造業等

○332 ドライクリーニング溶剤

全国→都道府県→メッシュ： 洗濯・理容・美容・浴場業の従業者数

(平成 26 年経済センサス基礎調査)

○335 表面処理剤（フラックス等）

全国→市区町村： 電気機械器具製造業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 電気機械器具製造業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○341 試薬

・製造業

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※食料品製造業、電気機械器具製造業等

・製造業以外の業種（倉庫業、学校教育、学術・開発研究機関、その他の事業サービス業）

全国→メッシュ： 該当業種の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○411 原油（蒸発ガス）[原材使用]

全国→メッシュ： 製油所 の 3 次メッシュ別排出量(平成 17 年度)※

※「固定蒸発起源 NMVOC 排出量等の推計業務」（平成 20 年度）で推計

○422 滅菌・殺菌・消毒剤

・製造業

全国→市区町村： 該当業種※の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 該当業種※の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

※繊維工業、化学工業、精密機械器具製造業等

・製造業以外の業種（学校教育、学術・開発研究機関、その他の事業サービス業等）

全国→メッシュ： 該当業種の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

○424 湿し水

全国→市区町村： 印刷・同関連業の原材料使用額（平成 25 年工業統計調査）

市区町村→メッシュ： 印刷・同関連業の従業者数（平成 26 年経済センサス基礎調査）

2005 年度、2015 年度簡易推計、2016 年度詳細推計について、全国における人為起源 NO_x、VOC の排出総量推定値を図 3-6 に示した。図 3-6 によると、NO_x、VOC 排出量とも、簡易推計と詳細推計でほぼ同レベルと推定されていることがわかる。

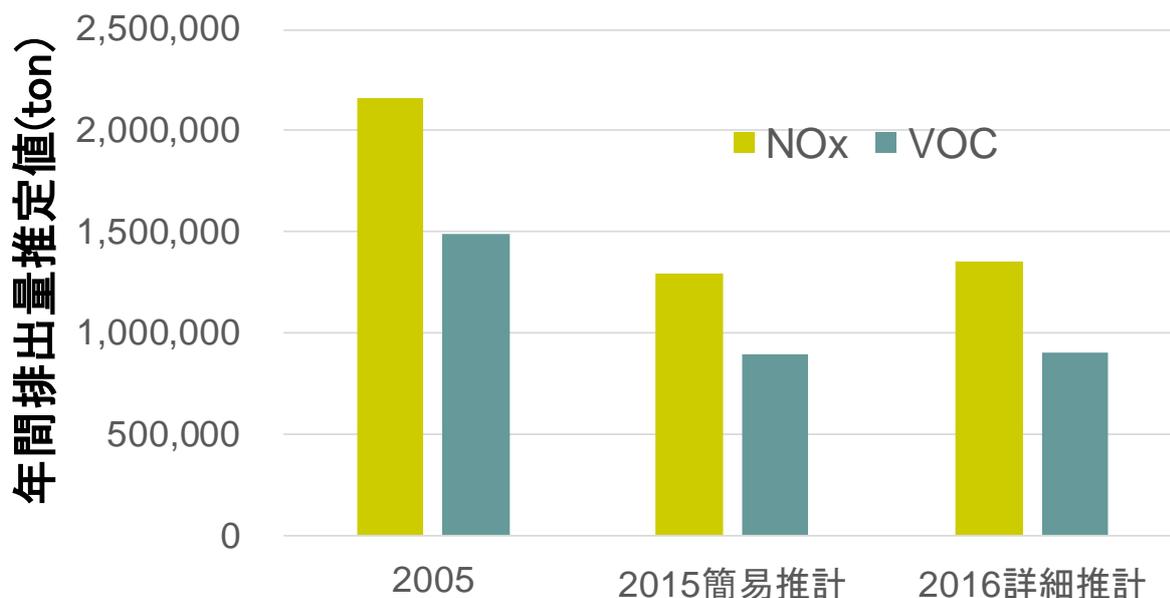


図 3-6 2005 年度、2015 年度簡略推計、2016 年度詳細推計インベントリにおける人為起源の NOx、VOC 排出全国総量推定値

次に VOC 排出削減後の排出量設定について記述する。

初期の取組期間については、排出削減後の各業種からの VOC 排出量は、ベースケースの排出量に業種ごとの 2010 年度/2005 年度比をかけて算出した。ここで、各年度の排出量としては「揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリについて」(平成 31 年 3 月、揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ検討会) の値を用いた。近年の期間については、排出削減後の排出量は各業種について一律ベースケース排出量の 90% (削減率 10%) とした。なお、初期の取組期間における排出削減量は上記の通り各業種における実績値に基づいて設定しているが、(4) 項で確認する通り、業種ごとの排出削減量とオゾン濃度低減量の間には概ね線形関係が成り立つので、最終的な指標値は、排出削減量を各業種とも一律 10% と設定して計算したとしても変わらない。

表 3-6 には、初期取組期間および近年の取組期間に対する、対象地方ごと、業種ごとの VOC 排出量と排出削減率設定についてまとめた。また、図 3-7、図 3-8 には、それぞれ、関東地方と近畿地方における、業種 1 と業種 7 の VOC 排出削減量設定値の空間分布を 2015 年度簡易推計、2016 年度詳細推計の双方について比較して示した。なお、2015 年簡易推計では排出量を表 3-4 の方法で推定していることから、2005 年データの各メッシュへの配分率は 2015 年簡易推計と同一である。図 3-7、図 3-8 によると、詳細推計版では簡易推計版で見られる大都市 (東京都区内や大阪市内) への集中傾向が抑えられていることがわかる。これは、2005 年および 2015 年簡易推計のデータは、どの業種についても全国値から業種別従業者数データにより直接 3 次メッシュに配分しているのに対し、詳細推計版では表 3-5 の通り、全国→市区町村レベルの配分には別の指標を用いているからと考えられる。詳細推計版と簡易推計版を用いた場合の指標値算出結果の差異については、3-4 章で議論する。

表 3-6 業種ごとのベースケースにおける年間 VOC 排出量 (ton) と排出削減率の設定

	業種 1	業種 2	業種 3	業種 4	業種 5	業種 6	業種 7	業種 8
2005 年度 (関東)	22,005	19,737	38,435	22,452	31,098	39,546	27,605	36,059
2005 年度 (近畿)	14,138	13,826	15,823	8,329	18,176	12,139	14,307	18,240
2005 年度 (東北)	2,233	1,878	2,764	1,693	1,198	3,361	7,056	6,295
初期排出削減率 (2005 年度ベース に対する比率)	0.53	0.36	0.45	0.22	0.39	0.29	0.19	0.05
2015 年度簡易推 計 (関東)	13,203	11,842	23,061	13,471	18,659	23,728	16,563	21,635
2015 年度簡易推 計 (近畿)	8,483	8,296	9,494	4,997	10,905	7,283	8,584	10,944
2015 年度簡易推 計 (東北)	1,340	1,127	1,658	1,016	719	2,017	4,234	3,777
近年排出削減率 (2015 年ベース に対する比率)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2016 年度詳細推 計 (関東) (※)	6,982	8,827	14,243	11,856	12,712	18,037	32,290	46,649
2016 年度詳細推 計 (近畿) (※)	4,847	7,279	6,832	4,903	6,536	5,811	13,546	16,887
近年排出削減率 (2016 年ベース に対する比率) (※)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

※2016 年詳細推計ベースの計算は別途実施する指標値の変動性解析のために行う(3-4 章(3))

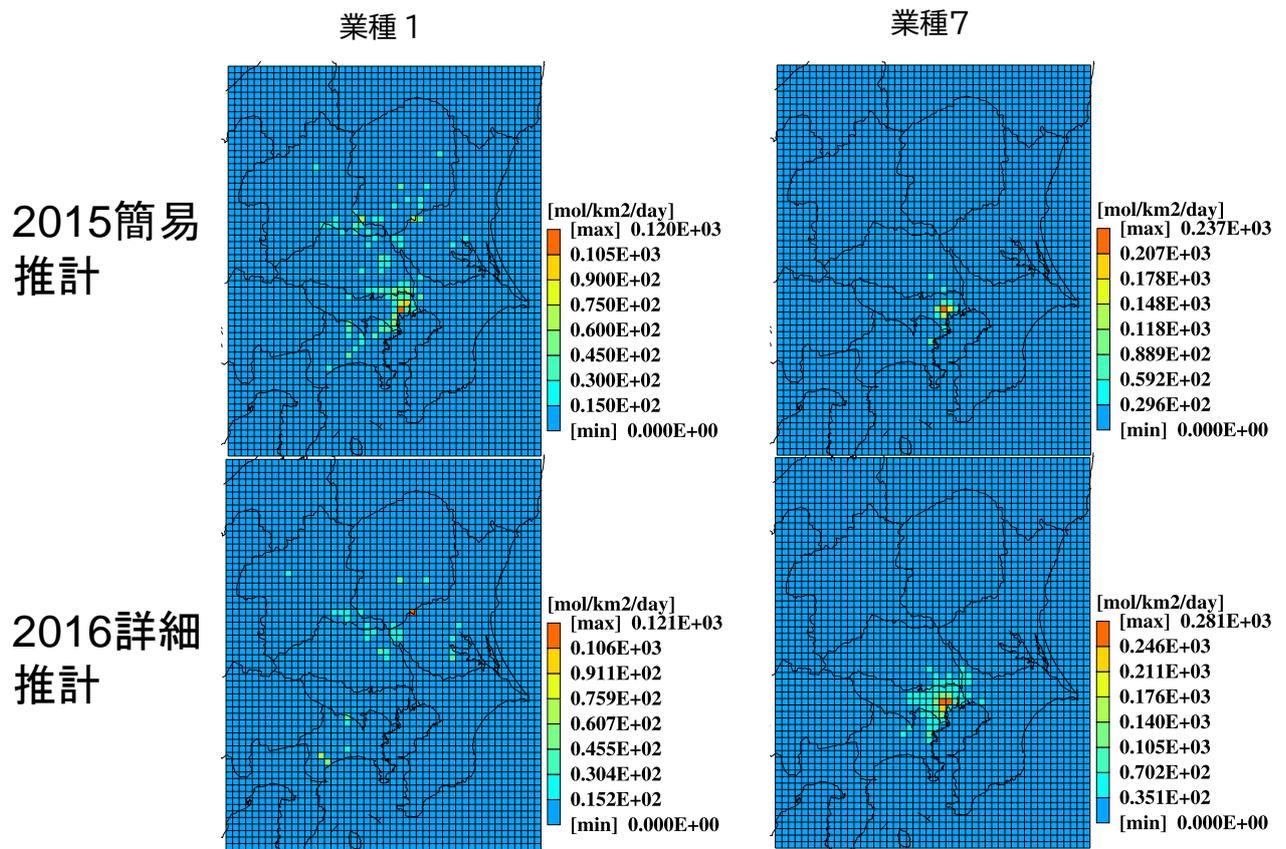


図 3-7 VOC 排出削減量設定値の地理分布例 (関東)

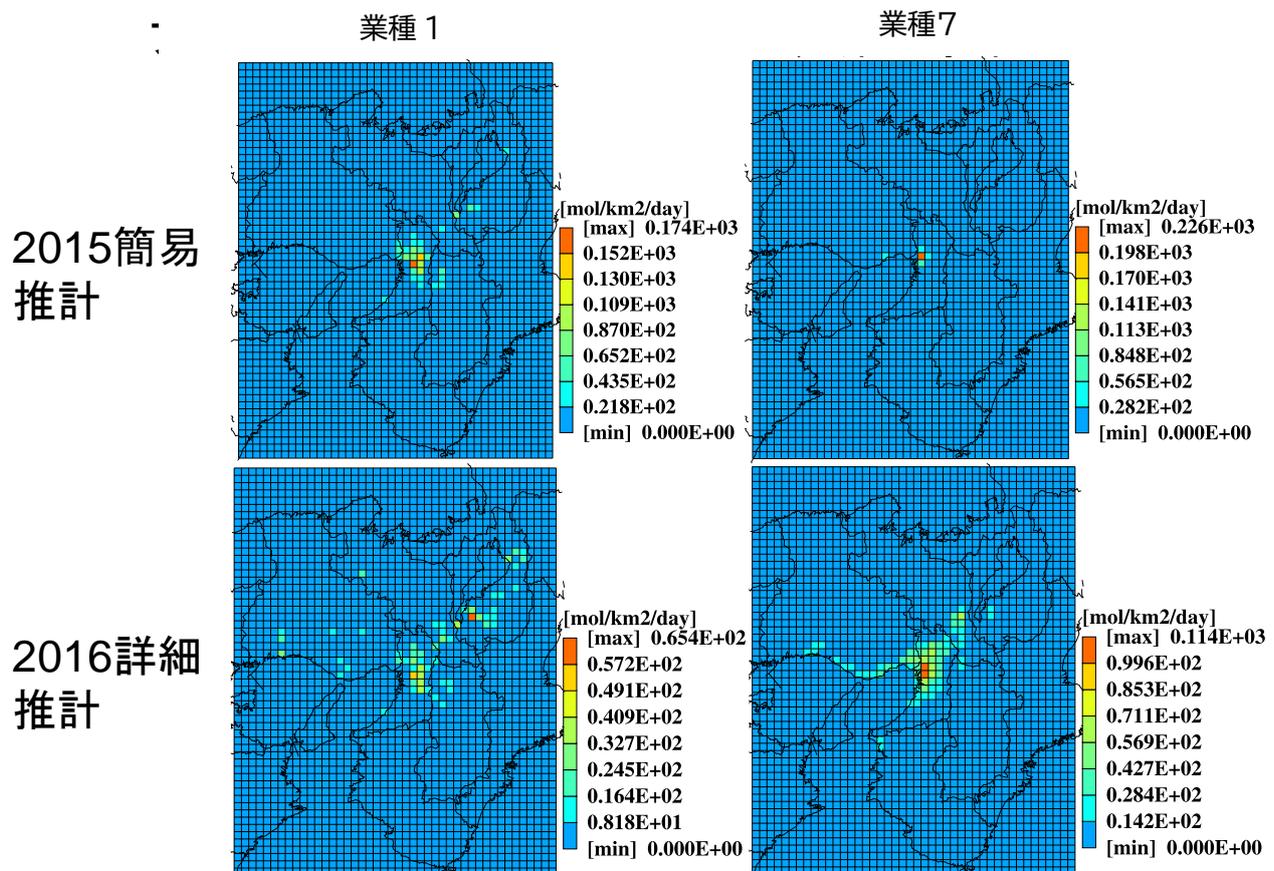


図 3-8 VOC 排出削減量設定値の地理分布例 (近畿)

(4) 予備検討

① モデルの現況再現性確認

本業務で使用するシミュレーションモデル ADMER-PRO の現況再現性については、それが良好であることをすでに確認しているが (井上ら, 2010; 井上&東野, 2015)、本業務で評価対象とする気象パターンにおける現況再現性について改めて確認することとした。図 3-9、図 3-10 には、それぞれ、関東地方におけるオゾン濃度と二酸化窒素濃度の実測値と計算値の比較結果、図 3-11、図 3-12 には、それぞれ、近畿地方におけるオゾン濃度と二酸化窒素濃度の実測値と計算値の比較結果を示した。各図には風系の実測値と計算値の比較結果も記している。図 3-9、図 3-10 より、実測値で見られる関東地方における広域海風 (南東の風) が計算値でも概ね再現されており、実測のオゾン濃度や二酸化窒素濃度の地理分布も概ね計算値で再現されていることがわかる。また、図 3-11、図 3-12 より、実測値で見られる大阪湾付近の海風が計算値でも再現されており、実測のオゾン濃度や二酸化窒素濃度の地理分布も概ね計算値で再現されていることがわかる。

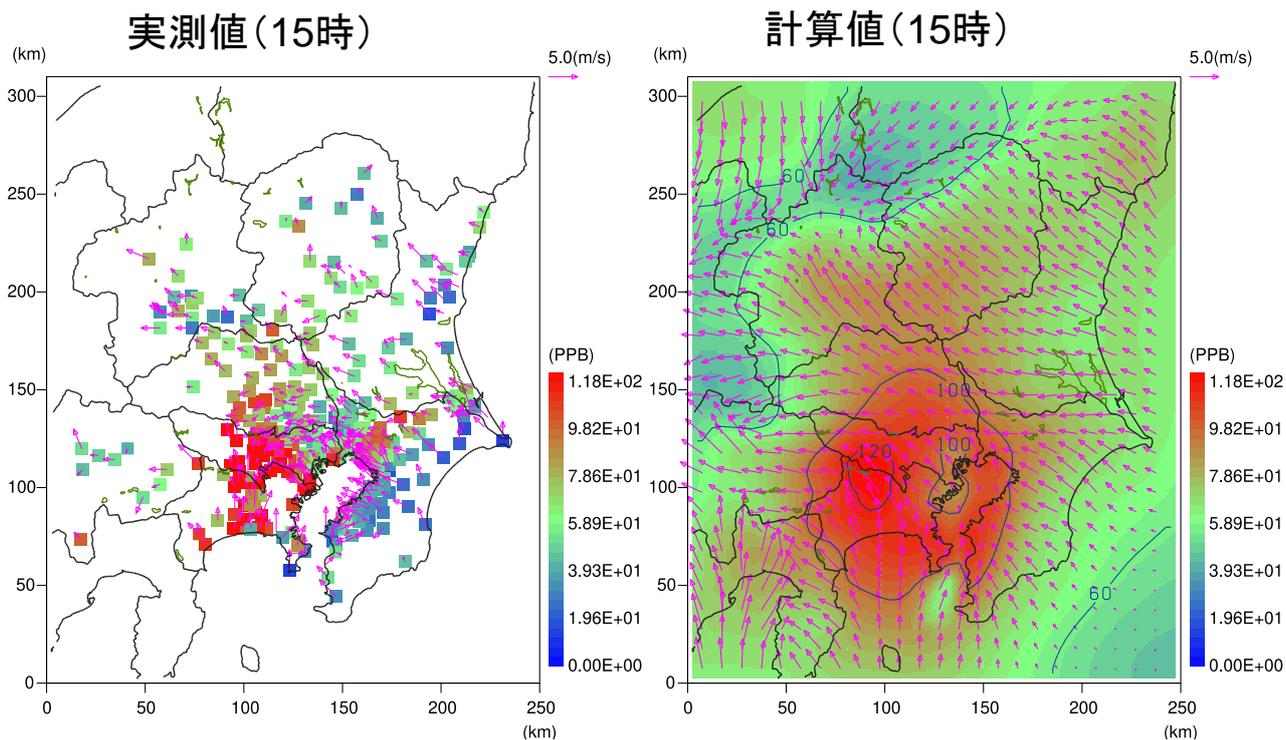


図 3-9 オゾン濃度と風系の実測値と計算値の比較（関東、2005年8月5日午後3時）

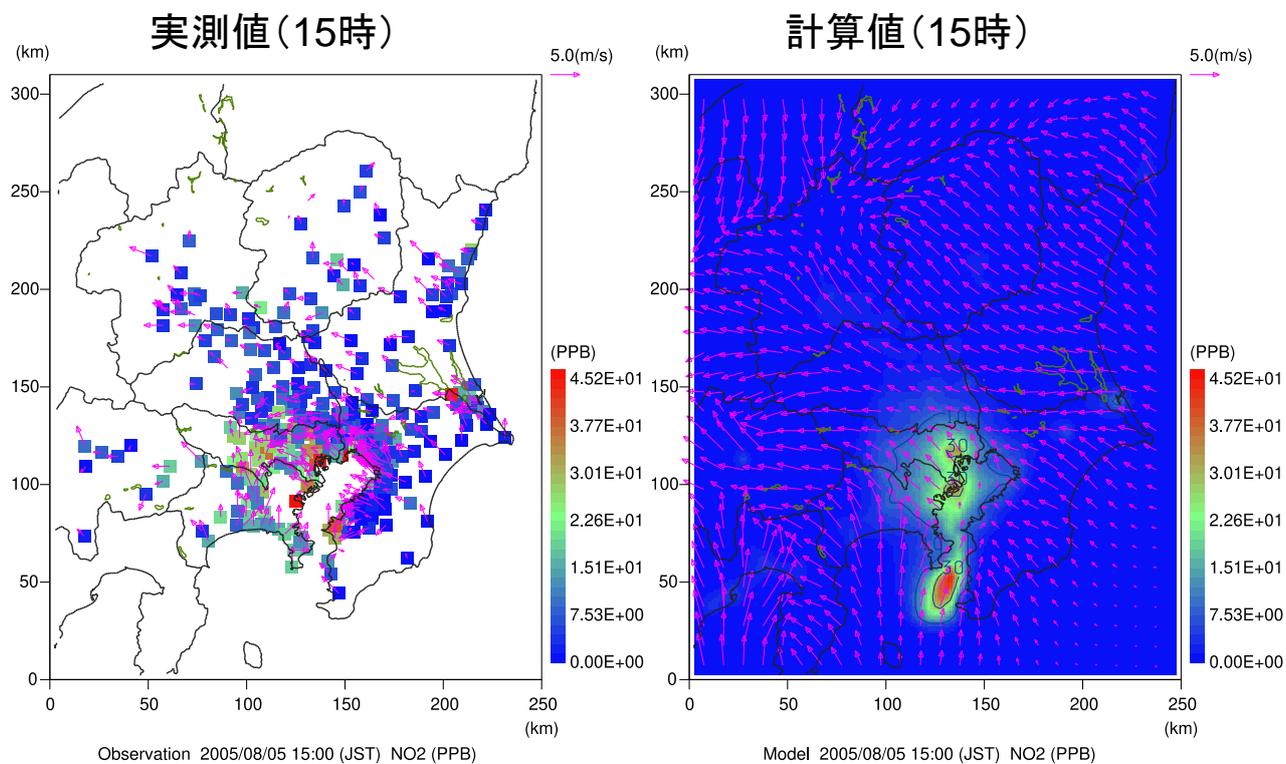


図 3-10 二酸化窒素濃度と風系の実測値と計算値の比較（関東、2005年8月5日午後3時）

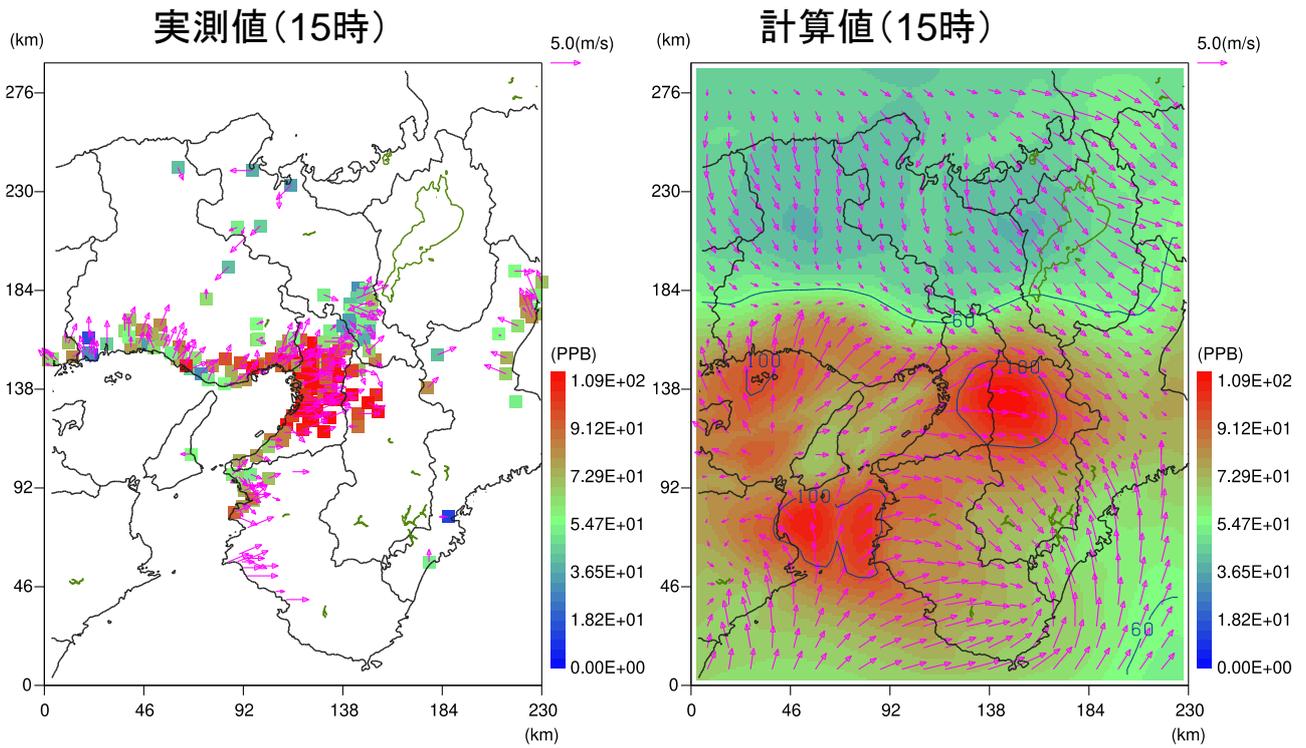


図 3-11 オゾン濃度と風系の実測値と計算値の比較（近畿、2005年7月20日午後3時）

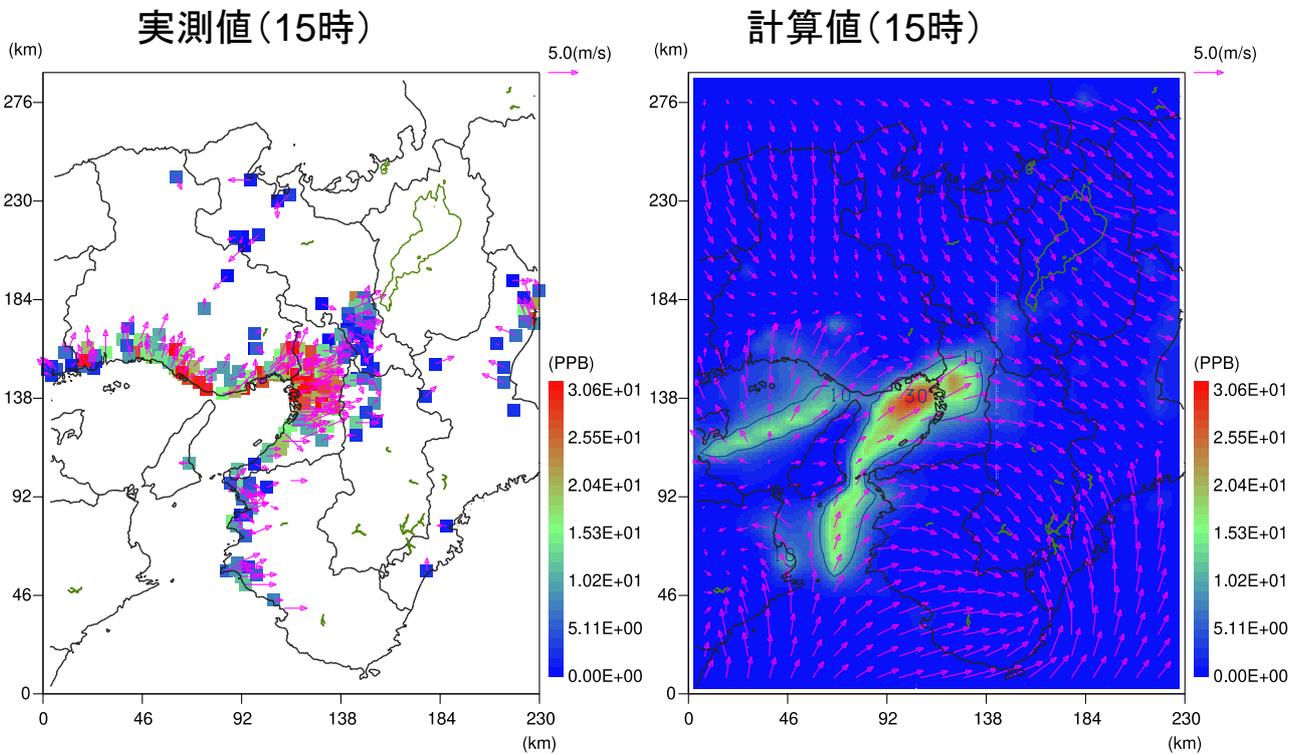


図 3-12 二酸化窒素濃度と風系の実測値と計算値の比較（近畿、2005年7月20日午後3時）

② VOC 排出削減量に対するオゾン濃度低減効果の線形性確認

3-2 章で示したように、本業務で算出するオゾン低減効率指標を意義あるものとするためには、VOC 排出削減量に対してオゾン濃度低減量が線形に応答することを確認しておく必要がある。その確認を行うため、表 3-2 の「初期の取組対象期間（排出量：2005 年ベース→2010 年）」について、排出削減量設定を現実の業種ごとの削減率ではなく一律 10%に変更してシミュレーションを行い、オゾン濃度低減量の応答をみた。図 3-13 は、関東地方において、2 つの業種について、排出削減量設定ごとに、単位排出削減量（関東地方全体）あたりのオゾン濃度変化を示したものである。図 3-13 によると、その値や分布は 2 業種間では大きく異なる一方、それぞれの業種で削減量設定を変更してもほとんど変わらないことがわかる。これらの結果より、オゾン濃度低減に係る効率指標を算出することの意義と利点が裏付けられたと考える。

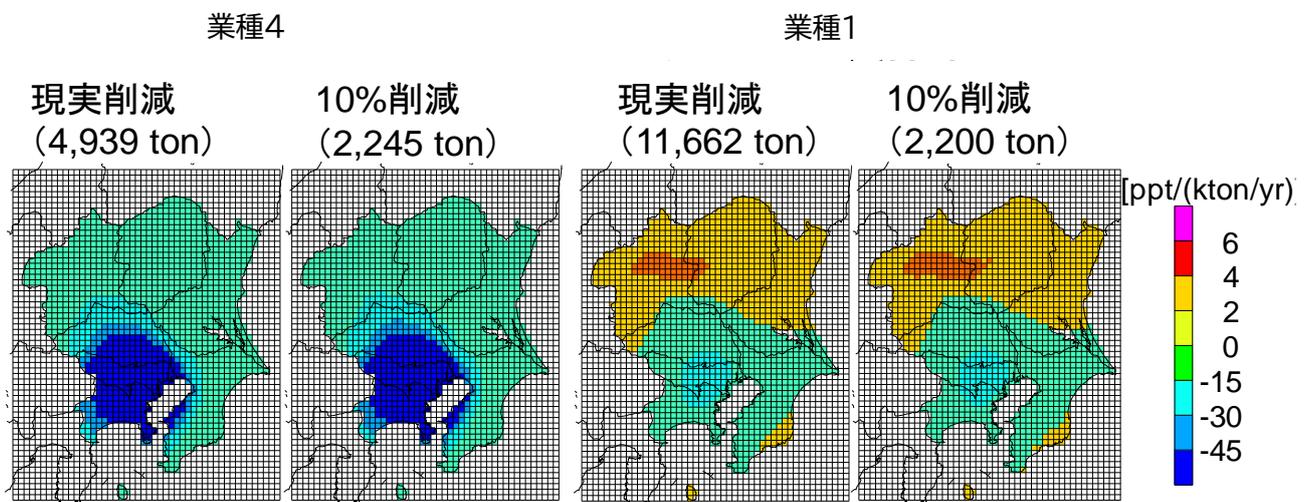


図 3-13 関東地方における排出削減量設定ごとの単位排出削減量あたりのオゾン濃度変化（2005 年ベース）

(5) オゾン低減効率指標の算出結果

図 3-14（縦軸スケールの拡大図は図 3-15）にオゾン集団暴露量低減効率、図 3-16（縦軸スケールの拡大図は図 3-17）に、オゾン存在量低減効率の算出結果を示す。

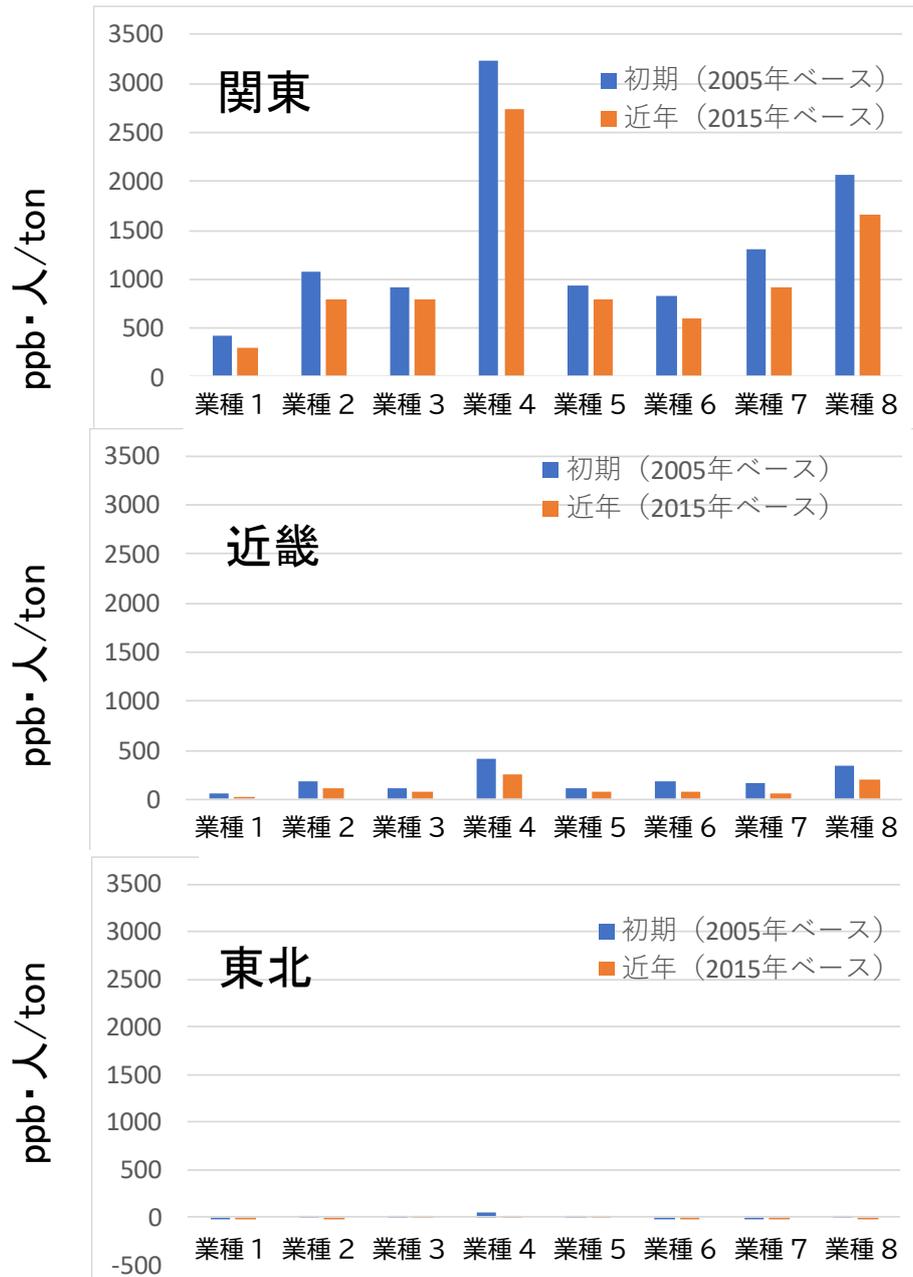


図 3-14 オゾン集団暴露量低減効率の算出結果

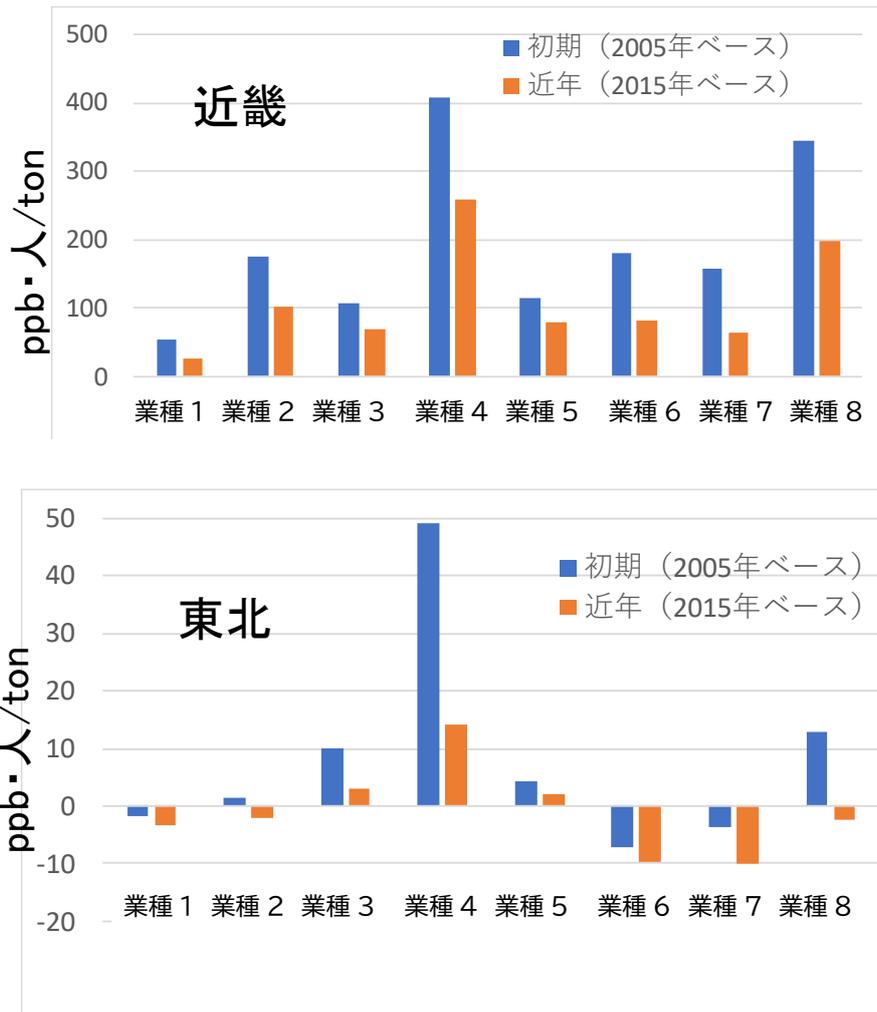


図 3-15 オゾン集団暴露量低減効率の算出結果
(近畿、東北の縦軸のスケール拡大図)

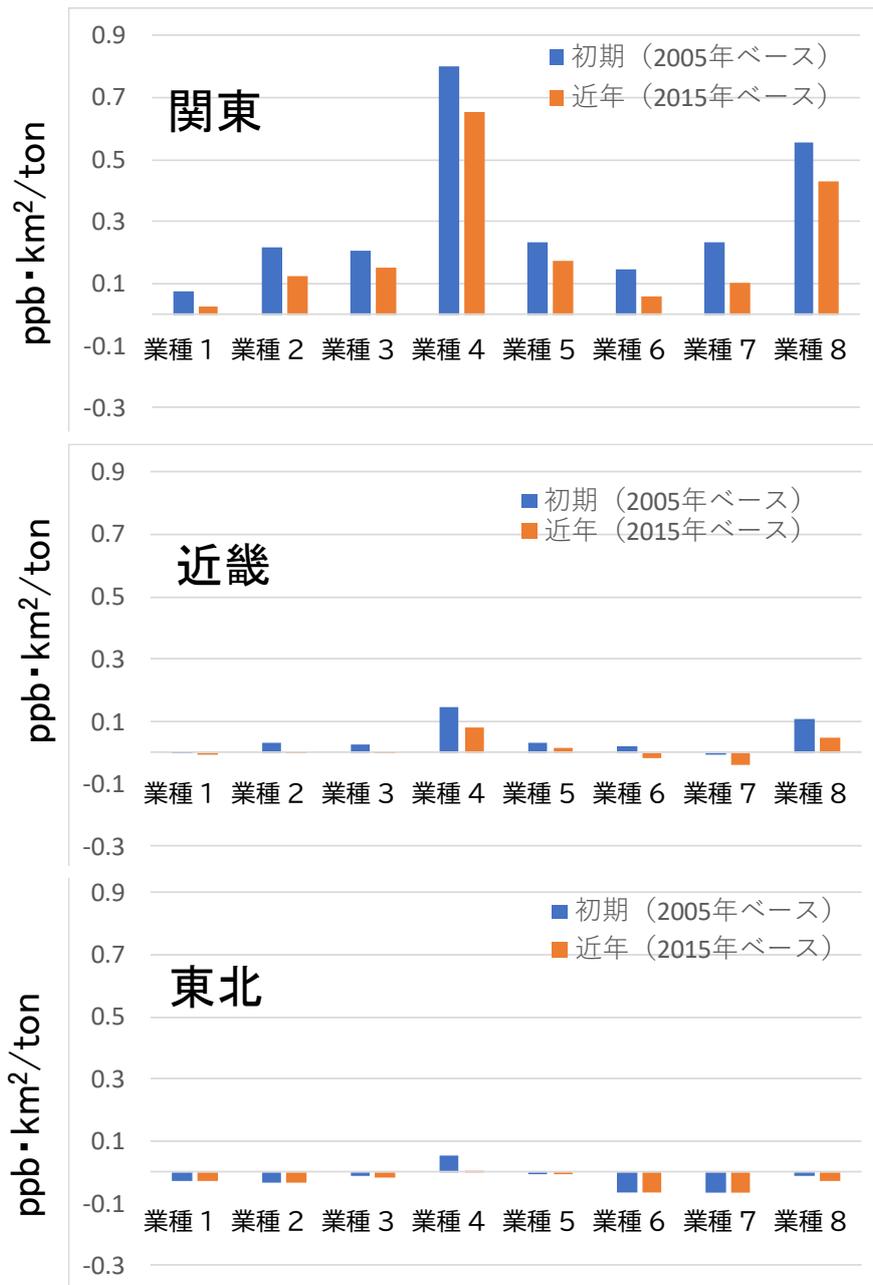


図 3-16 オゾン存在暴露量低減効率の算出結果

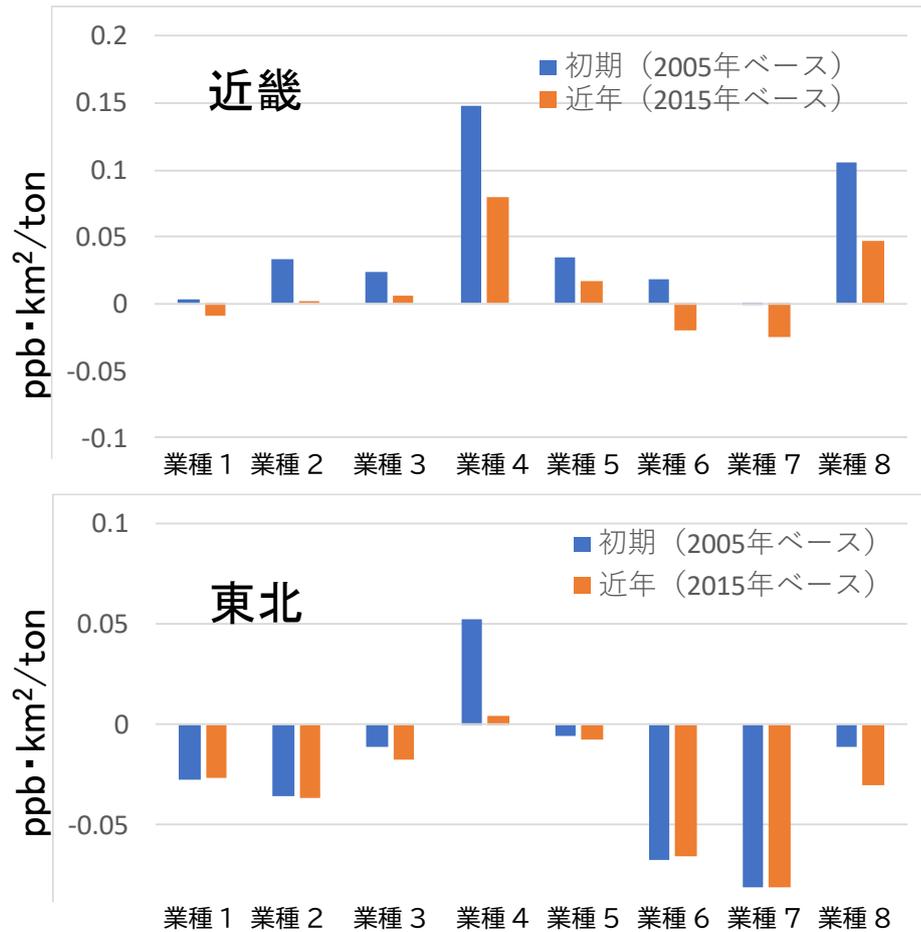


図 3-17 オゾン存在暴露量低減効率の算出結果
(近畿、東北の縦軸のスケール拡大図)

図 3-14、図 3-16 によると、いずれの指標でみても、その値は業種間で大きく異なることがわかる。このことから、たとえ同量の VOC 排出量を削減してもオゾンの集団暴露量や存在量を低減する効果は排出削減を行う業種により大きく異なることが示唆された。また、図 3-16 によると近畿地方や東北地方における業種ごとのオゾン存在量低減効率は正負も含め異なっており、排出削減を行う業種によっては、逆にオゾン存在量を増加させてしまう可能性もあることが示唆された。なお、オゾン集団暴露量低減効率とオゾン存在量低減効率の業種間の変動傾向は同様であることから、オゾン集団暴露量低減効率の業種間の変動要因は各業種の発生源風下において暴露される人口の分布に起因するというよりは、オゾン生成量自体が異なることに起因すると考えられる。

図 3-18 はオゾン集団暴露量低減効率とオゾン存在量低減効率について対象 8 業種の平均をとって、その地方間、年代間の変動を記したものである。図 3-18 によると、いずれの指標ともその値は地方間で大きく異なり、関東 > 近畿 > 東北の順で、東北の値は負値となっていること、また、近年(2015 年度ベース)は初期の取組期間(2005 年度ベース)に比べて、各指標の値が低下していることがわかる。このことから、同量の VOC 排出量を削減しても、オゾンの集団暴露量や存在量を低減する効果は、排出削減を行う地方によって全く異なり、東北では逆効果にさえなりうること、また、近年は VOC 排出量削減がオゾン集団暴露量やオゾン存在量の低減に効きにくくなっていることが示唆される。

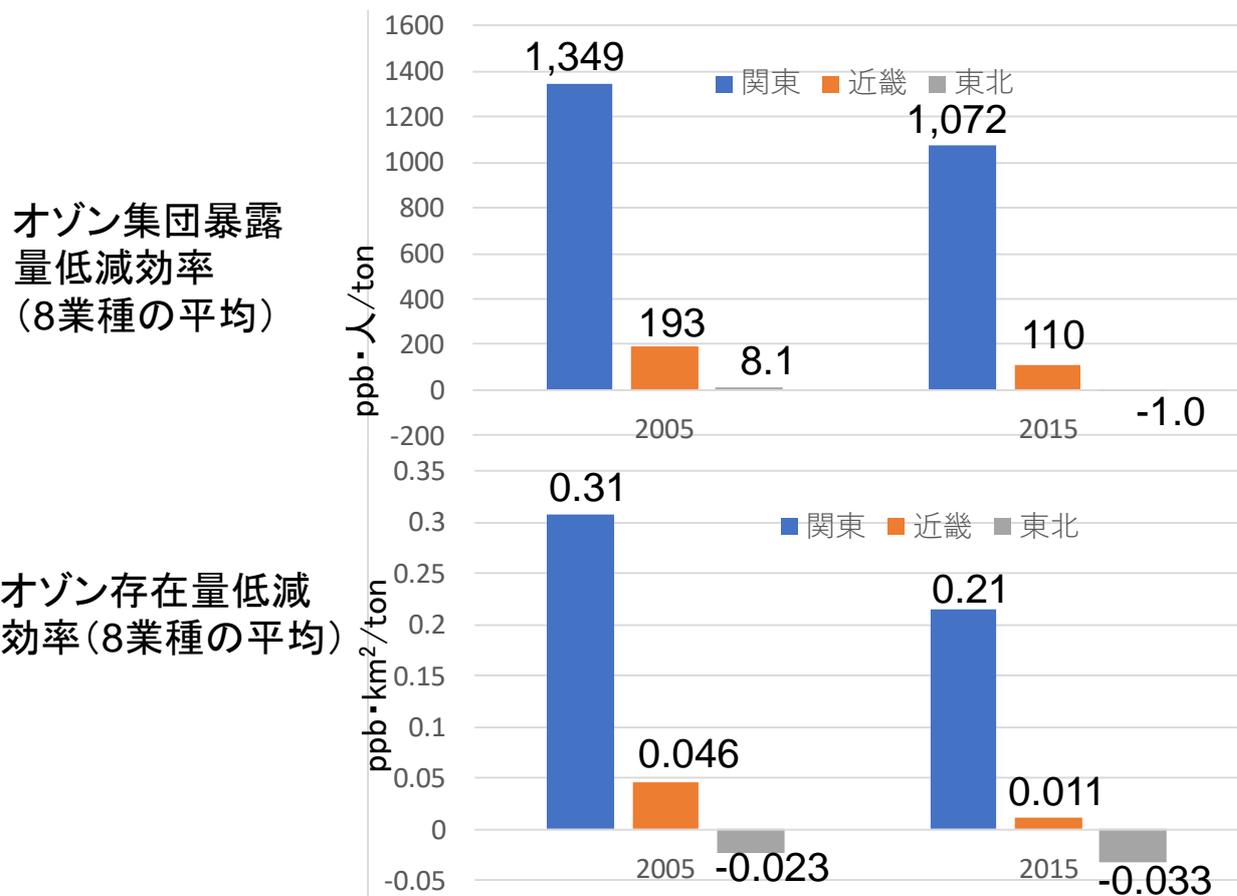


図 3-18 8 業種平均のオゾン集団暴露量低減効率とオゾン存在量低減効率の地方間・年代間比較

3-4. 考察

(1) オゾン集団暴露量低減効率の業種間変動要因の推定

3-3 章では、オゾン集団暴露量低減効率(オゾン存在量低減効率も)業種間で大きく異なることを明らかにした。では、この大きな業種間変動は何に起因するのであろうか。しばしば議論にあがるのは、1)業種により排出される VOC の組成が異なるためオゾン生成能が異なること、であるが、本業務では、排出される地方の違いによってもオゾン生成能が大きく異なることを示しており、その観点では、2)業種により排出場所の分布が異なること、も一つの要因として考えられる。そこで、従来から考えられている要因 1)、および、今回見いだされた要因 2)のそれぞれの重要性を把握するため、上記に関連する各パラメータとオゾン集団暴露量低減効率との間の相関分析を関東地方における結果について実施した。それぞれのパラメータの算出方法を以下に示す。

1)の要因に関するパラメータ(VOC 組成(反応性)に関するパラメータ(MIR))

各業種の排出 VOC 成分の比率に各 VOC 成分の MIR (Maximum Incremental Reactivity)ファクター(出典:CAMxUsersGuide_v4.40)を乗じ、全 VOC 成分について足し合わせた指標を算出し、VOC 組成に関するパラメータとした。

2)の要因に関するパラメータ(排出場所に関するパラメータ)

既存研究(Inoue et al., 2019)で推定された 20×20km メッシュごとのオゾン低減効率地理分布に各業種の該当メッシュにおける排出量の比率を乗じ、全メッシュについて足し合わせたもの算出した。図 3-19 に排出場所に関するパラメータの算出イメージを示す。オゾン低減効率地理分布は、図 3-17 の左図にあるように、関東地方を 20km メッシュに区分し、ある 20km メッシュで塗料組成の VOC を 1 トン削減した時、関東地方全体のオゾン濃度が何 ppt 下がるかを計算し、その分布を図示したものである。図では東京湾南部のピンクの領域(A点)で VOC を削減した場合が最も関東地方全体のオゾン低減に寄与し、北関東の青い領域(例えば B 点)では関東地方全体のオゾン低減への寄与が負であることを示している。本業務に適用する場合、業種や組成は異なるが、分布としてはほぼ同じと考え、この成果を用いて地理的パラメータを計算した。

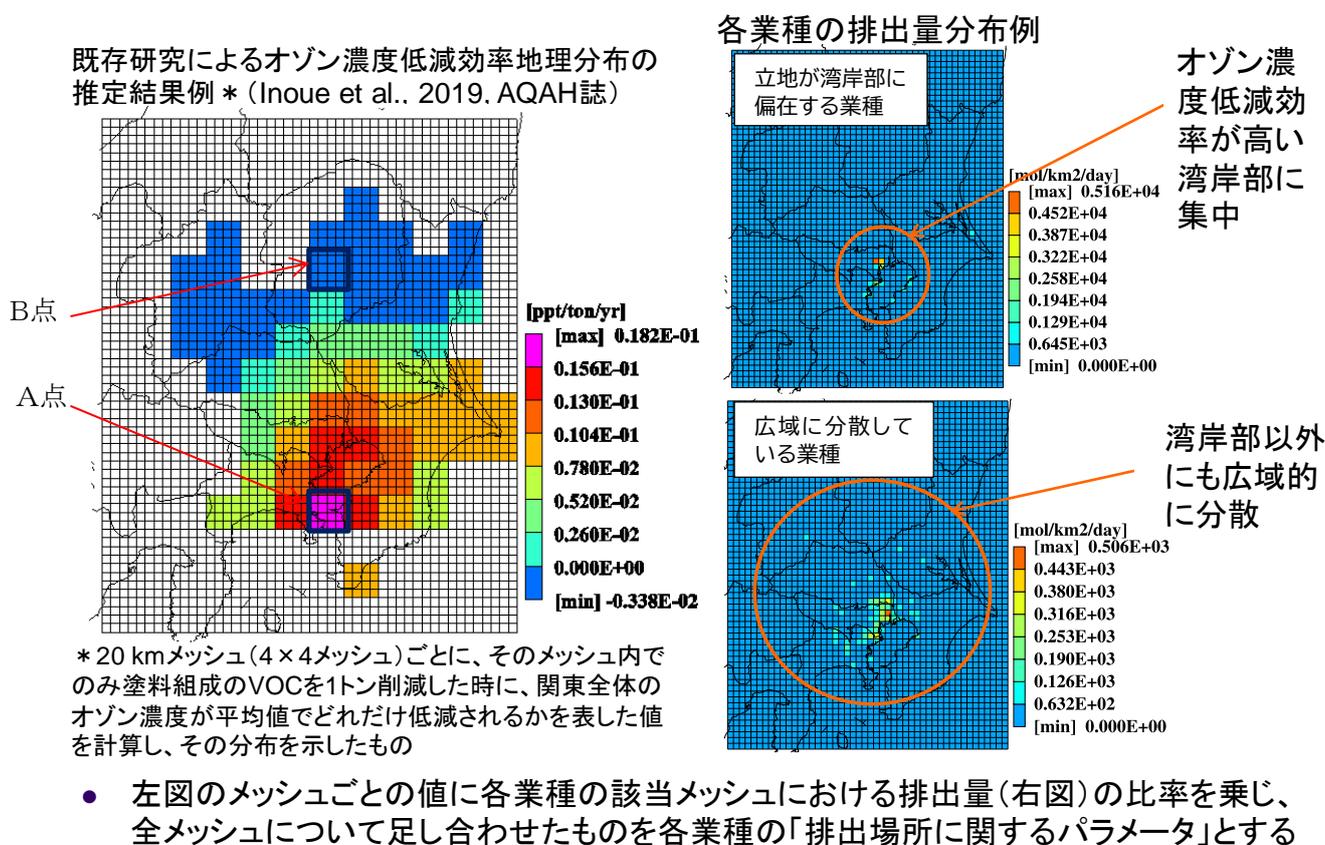


図 3-19 排出場所に関するパラメータの算出イメージ

これら二つのパラメータおよびそれらの積それぞれとオゾン集団暴露量低減効率間の相関分析を実施した結果を図 3-20 に示した。図 3-20 によると、MIR とオゾン集団暴露量低減効率、および、排出場所に関するパラメータとオゾン集団暴露量低減効率との決定係数は、それぞれ、0.61、0.47 であるが、両パラメータの積とオゾン集団暴露量低減効率との決定係数は 0.93 にまで上昇していることがわかる。このことから、業種間のオゾン集団暴露量低減効率の変動要因としては以前から議論されてきた MIR だけでなく、排出削減場所(立地)の影響も大きいことが示唆される。

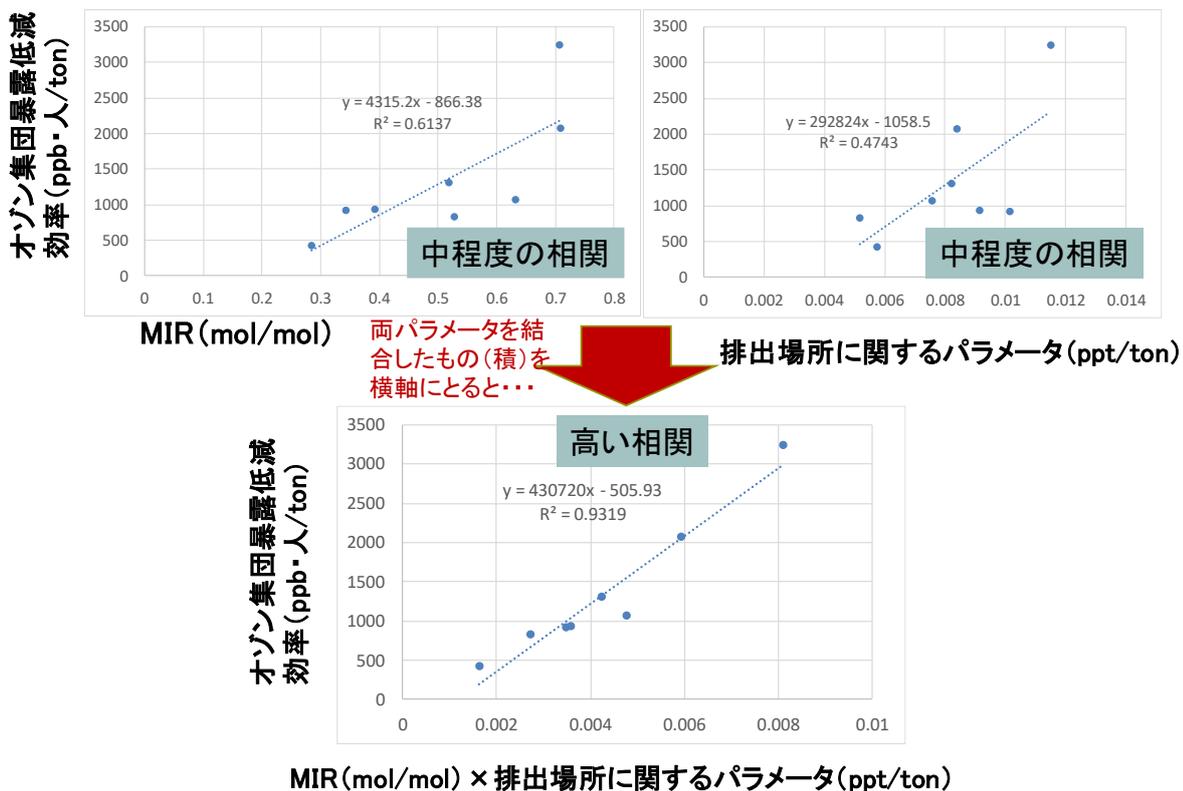


図 3-20 相関分析結果

(2) 関連研究との比較による算出指標値の妥当性検討

本業務で算出された指標値の地域的、経年的特性について、他の関連研究で得られている結果と定性的な比較を行うことにより、算出指標値の妥当性を検討した。

① 衛星データ解析によるオゾン生成レジーム診断結果との整合性

3-1 章で示したように、オゾンと前駆物質の関係は一般には非線形で、2 種の異なるオゾン生成レジームがあり、排出削減感度が 2 種のレジームによって大きく異なることが知られている。Inoue et al. (2019)は、オゾン生成レジームに呼応して値が変化する“光化学指標”である HCHO/NO₂ の対流圏カラム濃度比データを利用して 2005 年当時の日本における現実大気のおゾン生成レジームを診断している。本業務ではこのデータに近年のデータを加えて、日本におけるオゾン生成レジームの地域的、経年的変化を導出し、その解析結果をシミュレーションにより算出したオゾン存在量低減効率の地域的、経年的特性と定性的に比較する。

図 3-21 には、衛星データ(OMI)による診断されたオゾン生成レジームの地域的、経年的変化を示した。図 3-21 によると、オゾン生成レジームについて、シミュレーションによるオゾン存在量低減効率算出結果と衛星データは、次の 2 点において定性的に整合していることがわかる。

- 1) VOC-sensitive、Mixed のメッシュ比率(面積)が、関東 > 近畿 > 東北となっている。
- 2) VOC-sensitive、mixed のメッシュ比率(面積)は、近年、関東・近畿で減少傾向にある。

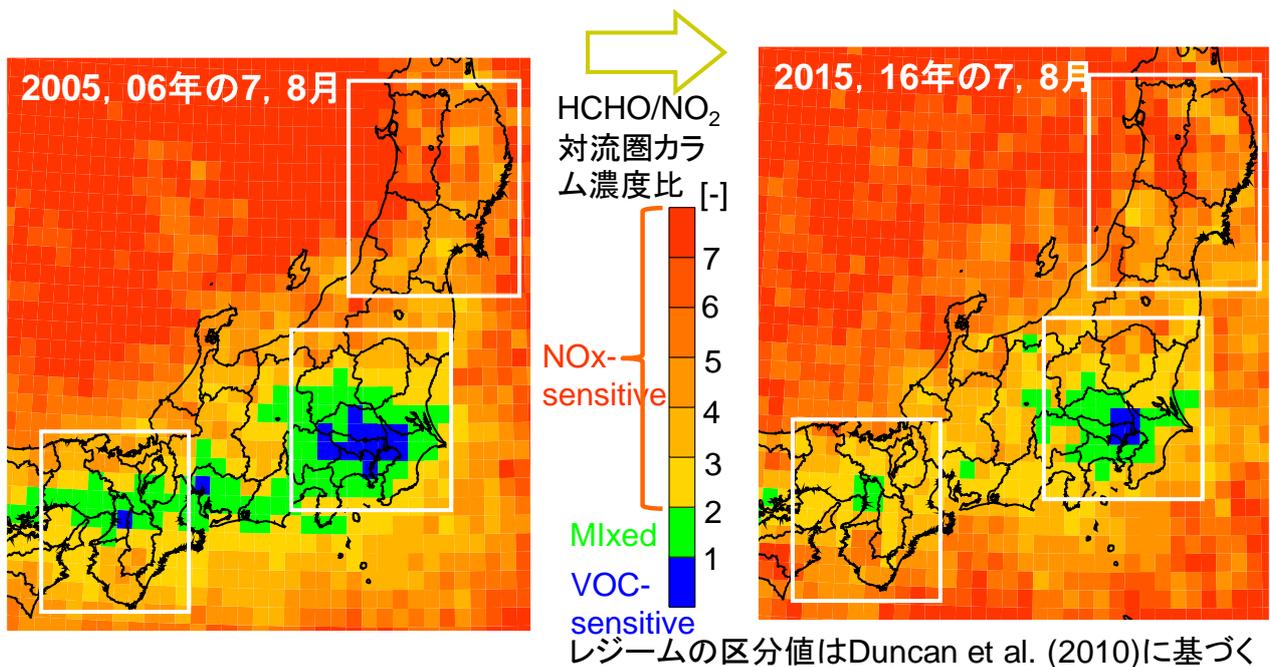


図 3-21 衛星データ (OMI) による診断されたオゾン生成レジームの地域的、経年的変化

② 環境省の光化学オキシダント調査検討会による推定結果との定性的な比較

環境省光化学オキシダント調査検討会報告書(平成 29 年 3 月)では、本業務で用いたのとは別のモデルを用いて、NO_x や VOC の排出削減による関東地方におけるオゾン濃度の低減効果が推定されている(図 3-22)。その結果、2008-2010 年を基準年として VOC 排出削減だけを実施した場合(図 3-22 上部青枠内)には、夏季のオゾン濃度は関東南部を中心に減少する一方、NO_x 削減だけを実施すれば(図 3-22 右赤枠内)、オゾン濃度は関東内陸部では減少、東京湾岸部では増加することなどが示されている。

これらの計算結果と本業務で使用したモデルのシミュレーション結果との定性的な整合性を検討するため、2015 年基準シナリオについて実施した固定蒸発 VOC 削減シナリオにおけるオゾン濃度変化推定結果に加え、同年を基準年として NO_x 削減シナリオ(自動車からの NO_x 排出量を 10 パーセント削減)におけるオゾン濃度低減効果を別途推定した結果を図 3-23 に示す。図 3-23 によると、本業務で使用したモデルによる推定結果でも上記の傾向がみられており、環境省光化学オキシダント調査検討会で得られた結果と定性的に整合していることがわかる。

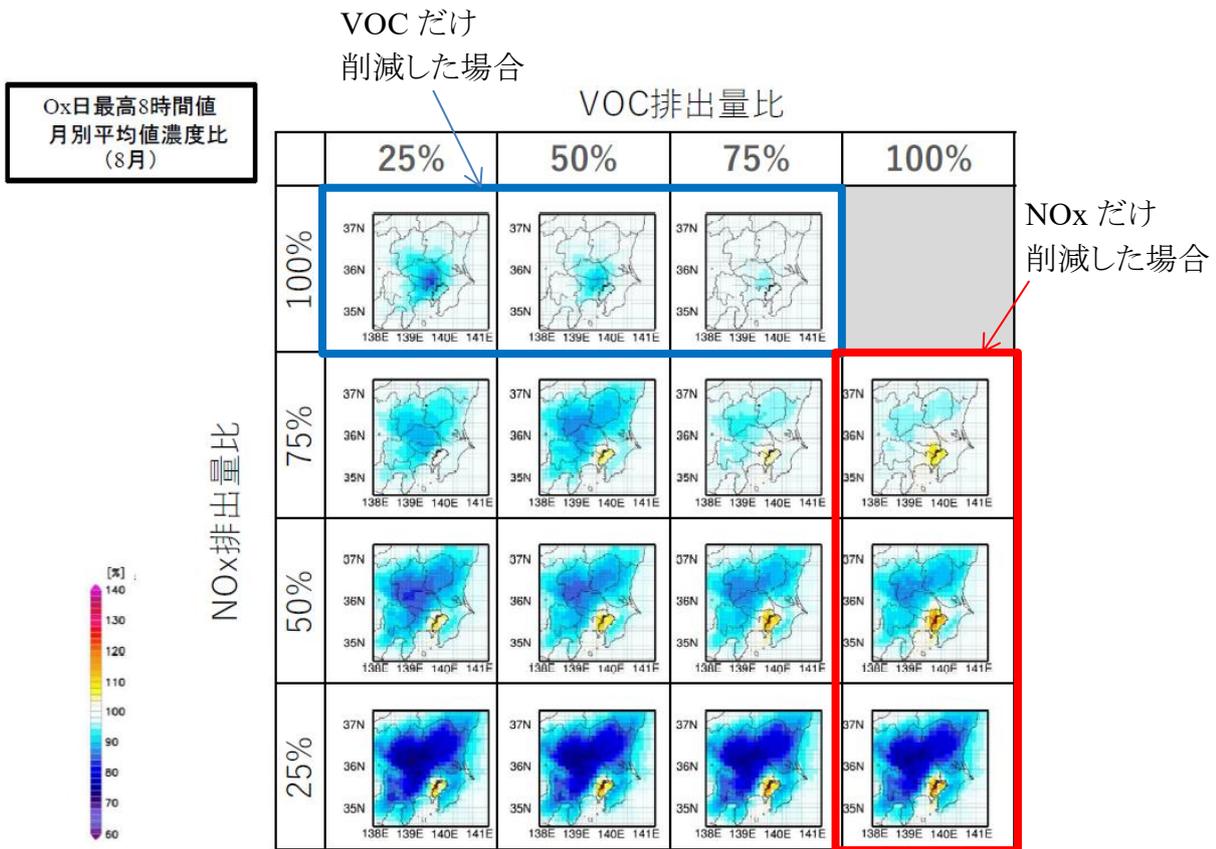
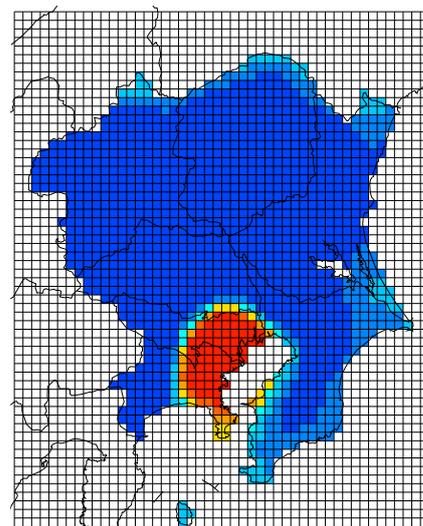
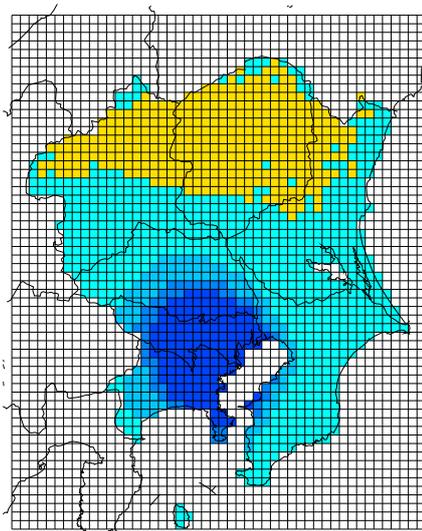


図 3-22 VOC、NO_x 削減による関東地方のオゾン濃度変化の推定結果(環境省)

出所:環境省光化学オキシダント調査検討会報告書 p.86(平成 29 年 3 月)

固定蒸発(対象8業種)
VOC10%削減

自動車NO_x10%削減



オゾン濃度(8時間値)の差分(ppb)

-0.3 -0.2 -0.1 0.0 +0.1 +0.2 +0.3



図 3-23 ADMER-PRO による VOC 削減および NO_x 削減によるオゾン濃度変化の推定結果 (2015 年ベース)

(3) 指標値の変動性解析

本節では、3-3 章で算出された各指標値が、計算条件等を変えることによりどの程度変動するのかを解析する。

① 詳細推計インベントリを用いた場合の指標値算出結果

3-3 章で示した各指標値は、近年の取組期間については、ベースケース排出量を「2015 年簡易推計版」として得られた結果である。本項では、「2015 年簡易推計版」の代わりに「2016 詳細推計版」(3-3 章(3)参照)をベースケース排出量とした場合のシミュレーションを、関東地方、近畿地方を対象として追加で実施し、どの程度各指標値の算出結果が異なるのかを解析した(1 時期(2005)×2 地方(関東、近畿)×8 業種×1 気象パターンで 16 ケースを計算)。その結果を図 3-24～図 3-27 に示す。図 3-24～図 3-27 によると、2016 詳細推計インベントリを用いた場合でも 2015 簡易推計インベントリを用いた場合とほぼ同様の数値が得られることがわかる。

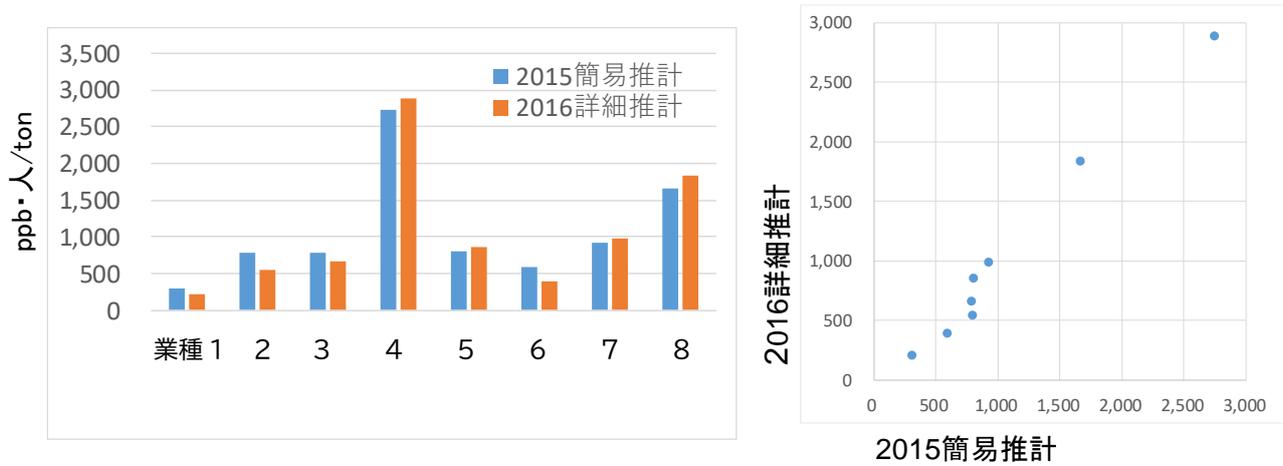


図 3-24 ベースケース排出量として 2015 簡易推計版を用いた場合と 2016 詳細推計版を用いた場合の指標算出結果の比較（オゾン集団暴露量低減効率、関東）

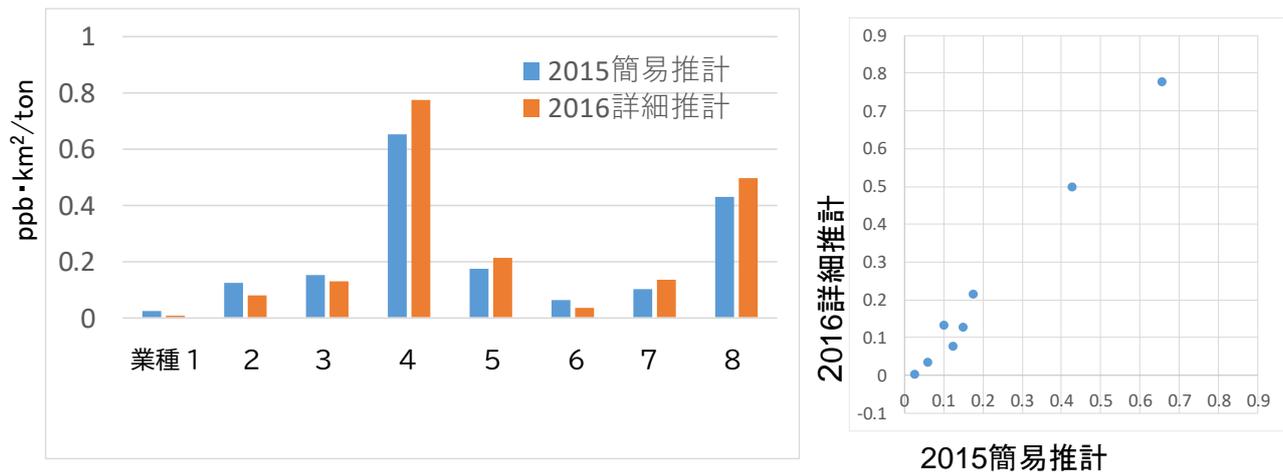


図 3-25 ベースケース排出量として 2015 簡易推計版を用いた場合と 2016 詳細推計版を用いた場合の指標算出結果の比較（オゾン存在量低減効率、関東）

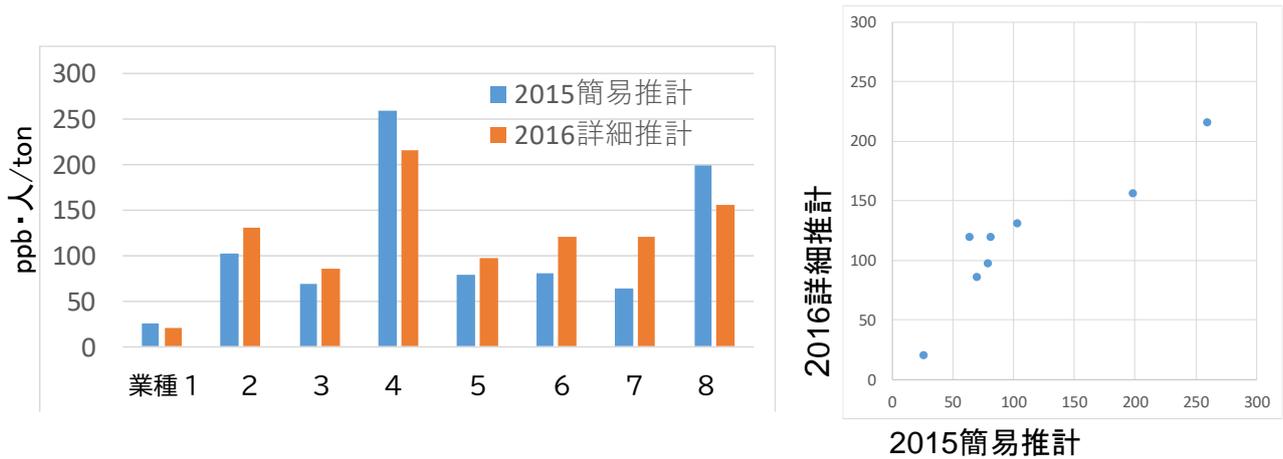


図 3-26 ベースケース排出量として 2015 簡易推計版を用いた場合と 2016 詳細推計版を用いた場合の指標算出結果の比較（オゾン集団暴露量低減効率、近畿）

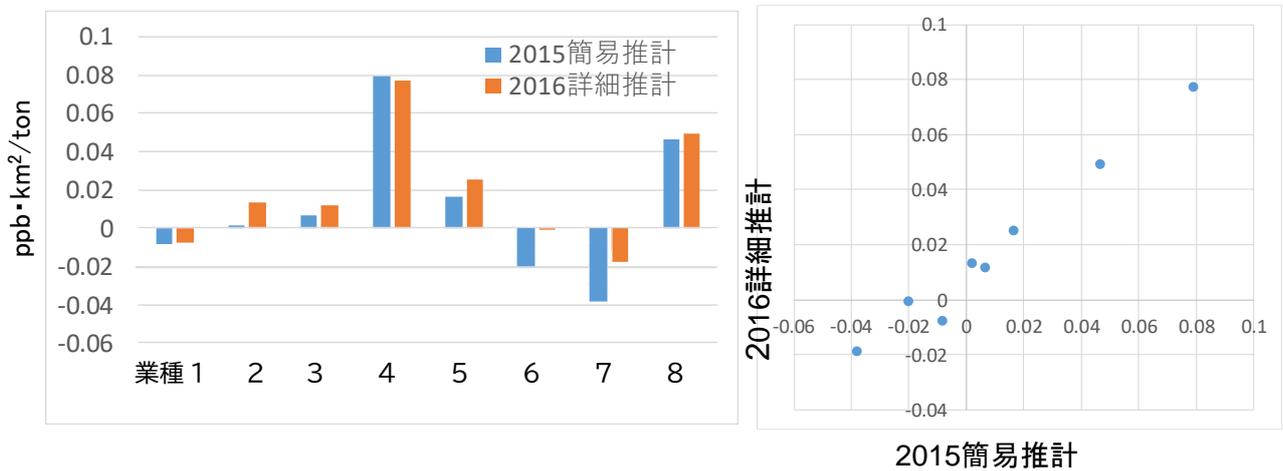


図 3-27 ベースケース排出量として 2015 簡易推計版を用いた場合と 2016 詳細推計版を用いた場合の指標算出結果の比較（オゾン存在量低減効率、近畿）

2005 年初期取組期間の計算と、2015 年簡易推計、2016 年詳細推計による計算の関係を図 3-28 に示す。

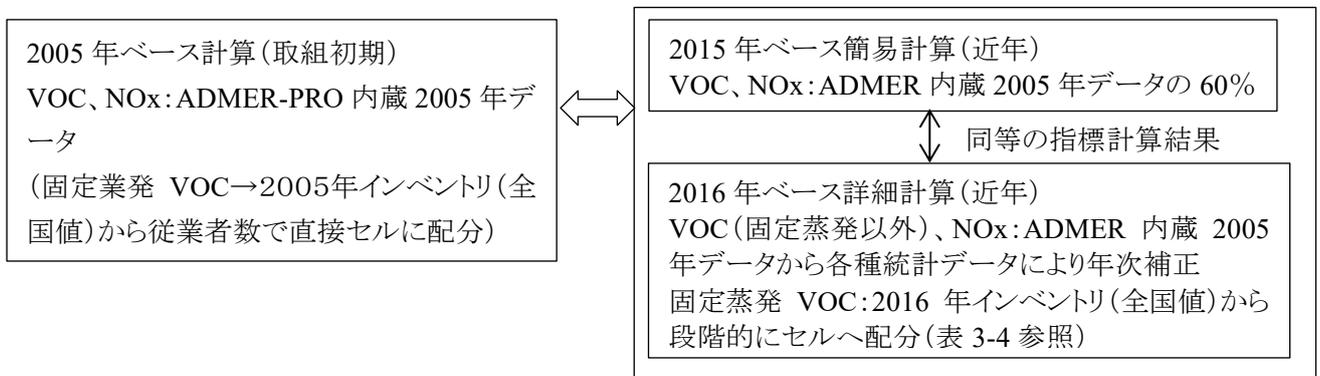


図 3-28 2015 簡易計算と 2016 詳細計算の位置づけ

2015年簡易推計に用いたVOCとNO_xの初期データは、2005年ベース計算におけるVOCとNO_xの値をそれぞれ60%としたものである。純粹にこの2つの値のみを変化させた影響を見ていると言える。これに対し、2016年詳細推計は、元の固定蒸発発生源VOCインベントリデータを新しいものに更新し、配分方法を変更し、他の発生源や物質の年次補正も各種統計データを用いて詳細に行っている。この点で2015年ベースの計算より実際に近い、精度の高いデータセットであると言える。この両者が同等の計算結果を示したことから、2015年簡易計算でも結果として近年のオゾン低減効率等を一定程度評価できていることになる。別の言い方をすれば、VOCとNO_xの初期値を40%変化させたことが指標の計算において支配的になっており、2016年詳細推計への精緻化による配分方法の変化やその他の排出量データの変化がそれほど大きく影響していないことを示している。

② 他の気象パターンにおける指標値算出結果

3-3章で示した各指標値は、対象気象パターンとして「日射量大、地衡風弱」を選択して算出された結果である。本項では、対象気象パターンを変更した場合のシミュレーションを、関東地方を対象として追加で実施し、どの程度各指標値の算出結果が異なるのかを解析した。追加で対象とした気象パターンは「日射量大、地衡風中(風向:南西)」であり、これは、日射量強、地衡風中の条件下で7、8月の出現頻度が最も高い気象パターンとして選択した。また、その気象パターンの代表日としては2005年7月21日を選定した。追加で対象とした気象パターンにおけるオゾン濃度と風速場の実測値と計算値を図3-29に示す。図3-29によると、追加で対象とした気象パターンでは地衡風の影響で強めの南西あるいは南寄りの風が吹き、オゾン濃度は北関東で高濃度となっており、3-3章で指標値を導出したときの対象気象パターンでの様相とは異なっている。図3-30は、追加で対象とした気象パターン、および、これまでの解析で対象としていた気象パターンにおけるVOC排出削減によるオゾン濃度変化(単位関東地方VOC削減量あたり)の地理分布を業種7を例として示したものである。図3-30によると、追加で対象とした気象パターンでは、これまでの対象気象パターンとは異なり、オゾン濃度の低減効果は北関東で高いことがわかる。図3-31、図3-32には、それぞれ、最終的に得られるオゾン集団暴露量低減効率、オゾン存在量低減効率について、これまでの対象気象パターンと追加の対象気象パターンにおける指標算出結果を比較して示した。図3-31によると、対象気象パターンにより業種ごとのオゾン集団暴露量低減効率の値は大きく異なることがわかる。また、図3-32によると、オゾン存在量低減効率の値は対象気象パターンを変えてもあまり変化しないことがわかる。

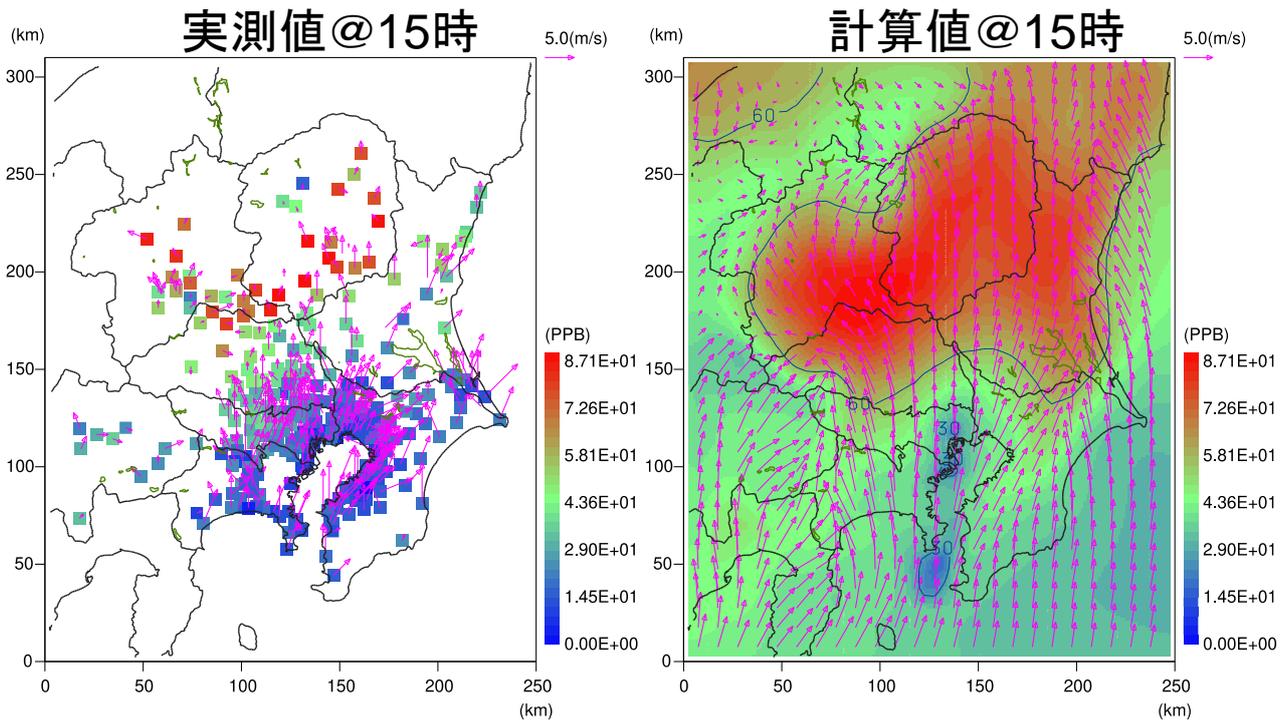
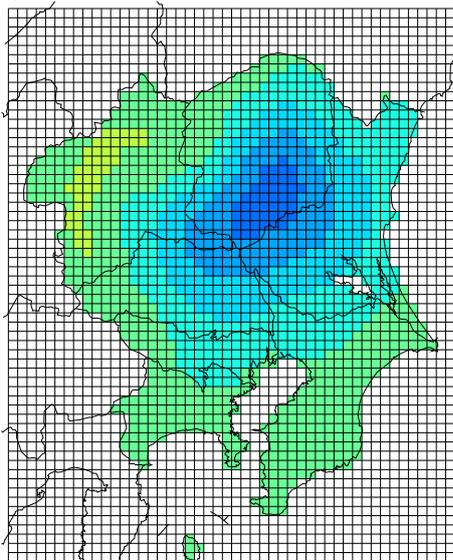


図 3-29 追加で対象とした気象パターン「日射量大、地衡風中（風光：南西）」（代表日 7 月 21 日）」における風系とベースケースのオゾン濃度

追加解析の対象気象パターン
日射量大・地衡風中（風向：南西）



これまでの対象気象パターン
日射量大・地衡風中（風向：南西）

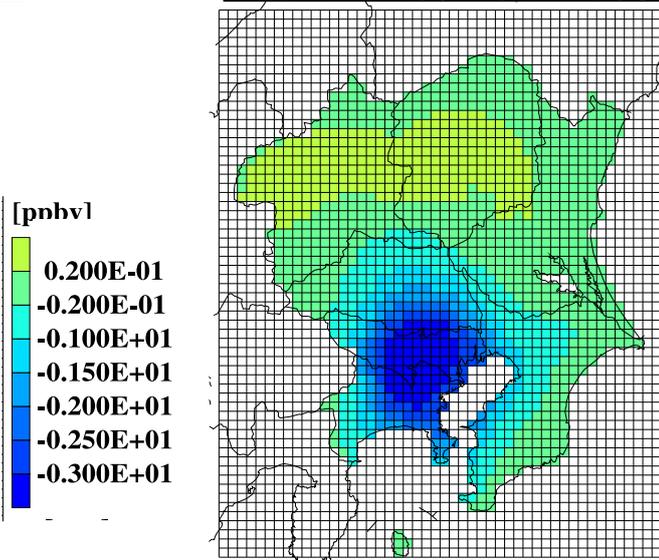


図 3-30 追加で対象とした気象パターン、および、これまでの解析で対象としていた気象パターンにおける VOC 排出削減によるオゾン濃度変化（単位関東地方 VOC 削減量あたり）の地理分布例（業種 7）

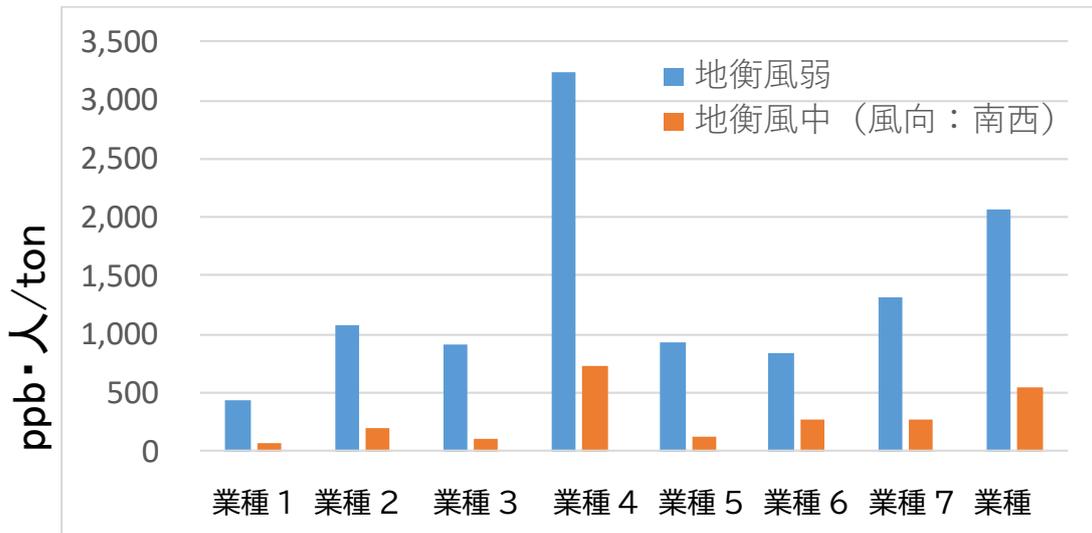


図 3-31 これまでの対象気象パターンと追加の対象気象パターンにおける指標算出結果の比較（オゾン集団暴露量低減効率）

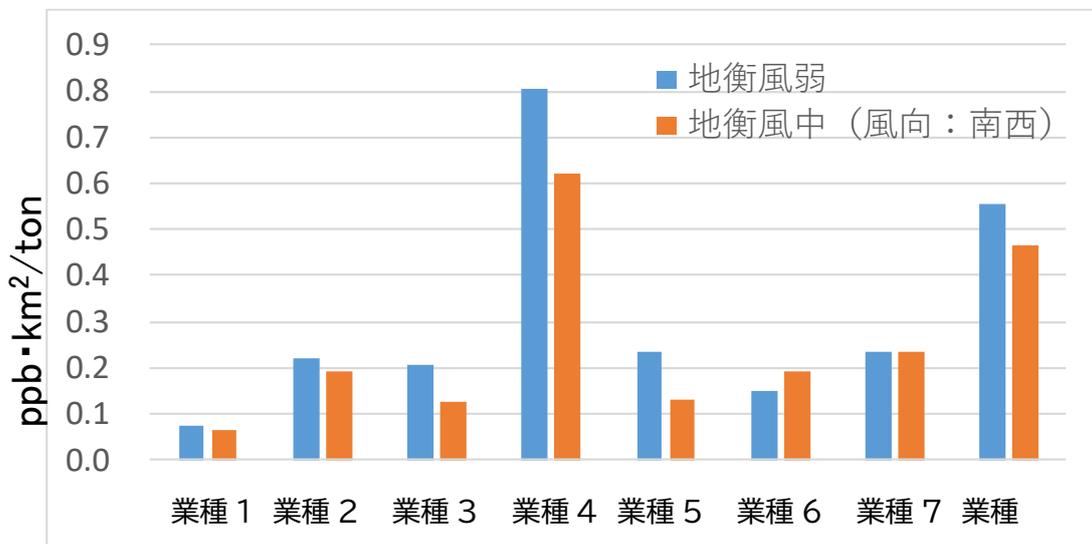


図 3-32 これまでの対象気象パターンと追加の対象気象パターンにおける指標算出結果の比較（オゾン存在量低減効率）

- 参考までに、関東地方の2005年7-8月における上記2つの気象パターンの出現頻度は以下の通りである。
- ・日射強、地衡風弱のパターン→出現頻度順位:2位(35の気象パターン中)、出現頻度:4日間(6.7%)
 - ・日射強、地衡風中(風向:南西)のパターン→出現頻度順位:3位(35の気象パターン中)、出現頻度:3日間(5.0%)

本業務で主たる結果の計算条件とした「日射強、地衡風弱」(高濃度オゾンの出現する夏期の典型的な気象パターン)については、出現頻度自体は6.7%であるが、高濃度オゾン出現日(昼間オゾン濃度1時間値が2時間以上継続して120ppbを超えた日)に対する割合は33%との報告(吉門ら、2016bより算出)もあり、高濃度オゾン出現日としての代表性は一定程度あると言える。

気象パターンにより指標値が変動する結果を得たため、春季等も含む別の気象パターンでの更なる指標値の検討が今後の課題として挙げられる。指標値には日間変動、季節変動、年代による変動があると考えられ、それらをどのように勘案して対策や施策を検討するかが、将来は必要となる。

③ 1時間値に対する指標値算出結果

3-3章で示した各指標値は、オゾン濃度の日中8時間値(10-18時)を対象として算出された結果である。本項では、日最高濃度が出現しやすい時間帯の1時間値(15時)を対象にして算出した場合に、どの程度各指標値の算出結果が異なるのかを解析した。図3-33、図3-34にそれぞれ、オゾン集団暴露量低減効率、オゾン存在量低減効率について、8時間値(10-18時)と1時間値(15時)を対象とした指標算出結果を比較して示した。図3-33、図3-34によると、いずれの指標値とも、8時間値(10-18時)と1時間値(15時)を対象とした場合で指標の値に大きな変化はないことがわかる。

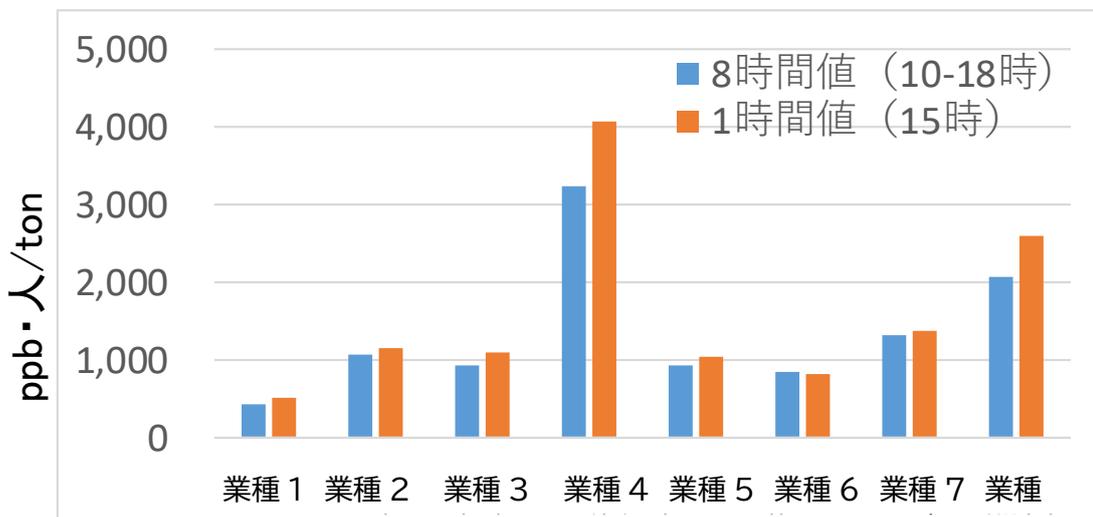


図 3-33 8時間値(10-18時)と1時間値(15時)を対象とした指標算出結果の比較(オゾン集団暴露量低減効率)

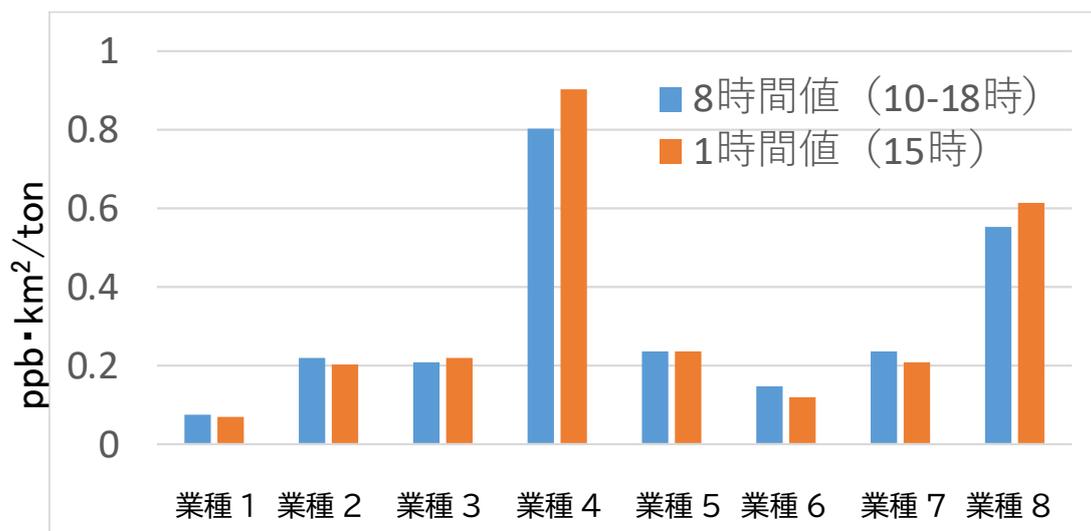


図 3-34 8時間値 (10-18時) と1時間値 (15時) を対象とした指標算出結果の比較 (オゾン存在量低減効率)

以上の指標値の変動性解析に関する結果をまとめると、以下の通りとなる。

- 1) 近年のベースケース排出量データとして、2016年度詳細推計版を使用したとしてもオゾン集団暴露量低減効率とオゾン存在量低減効率の算出結果に大きな変化はない。
- 2) 対象気象パターンを変更した場合には、集団暴露量低減効率の値は大きく変化するが、業種間の順位に大きな変化はない。また、存在量低減効率の値にも大きな変化はない。
- 3) 指標対象の平均化時間を変更してもオゾン集団暴露量低減効率とオゾン存在量低減効率の算出結果に大きな変化はない。

(4) NO_x 同時削減シナリオの検討

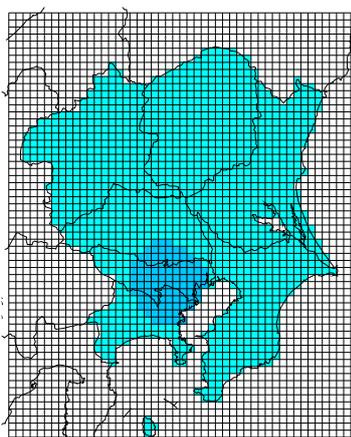
3-3章で導出された各業種に対する指標値はすべて VOC 排出量だけを削減させたシナリオに対して計算されたものである。実際にはオゾンのもう一つの前駆物質である NO_x の排出量も同時に削減されることが多いと考えられるので、その影響を把握しておくことが必要である。本節では業種 8 の VOC 削減を例にとり、VOC と NO_x を同時に削減するシナリオについてもシミュレーションを行うことにより、その影響を検討した。図 3-35 は、2015年度簡易推計ベースケースから、

- 1) 業種 8 の VOC だけを 10%削減した場合
- 2) それと同時に自動車 NO_x を 10%削減した場合
- 3) 自動車 NO_x のみを 10%削減した場合

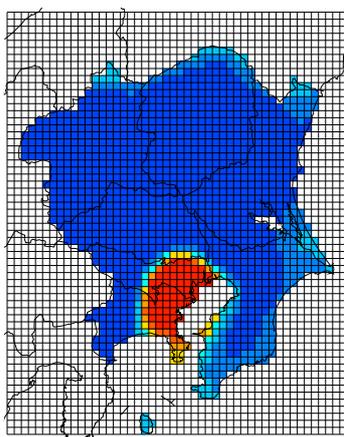
のそれぞれにおけるオゾン濃度変化を示した。ここで、3)については、図 3-23 で示した計算結果を用いている。図 3-35 によると、1)と2)ではオゾ濃度変化量は大きく異なり、NO_x 削減の影響が大きいことがわかる。これは現実に採られている種々の排出削減対策によるオゾン濃度低減効果を見積もる場合には、NO_x 削減対策による影響も考慮することが必要であることを示している。図 3-36 には VOC と NO_x をそれぞれ単独で削減した場合のオゾン濃度変化量の合算値と、同時削減した場合のオゾン濃度変化量の比較結果を示した。図 3-36 によると、両者はほぼ完全に一致しており、VOC、NO_x を同時に削減した場合のオゾン濃度低減効果は、

それぞれを単独で削減した場合のオゾン濃度低減効果の和として推定可能であることが示されている。したがって、VOC、NO_x をそれぞれ単独で削減したとして計算される指標値は、現実の VOC と NO_x が同時に排出削減される場合の効果や効率性を検討する場合にもそれぞれ意味があり、両者を独立して算出、使用する意義は損なわれまいと考えられる。

1) 業種 8 の VOC のみ削減



2) 業種 8 の VOC と自動車 NO_x を同時に削減



3) 自動車 NO_x のみ削減

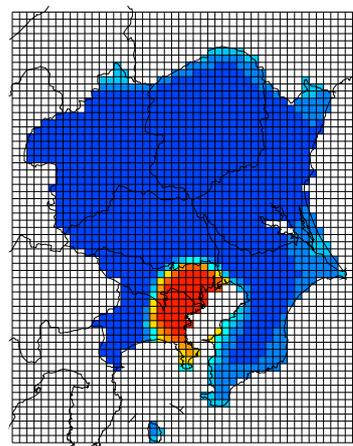
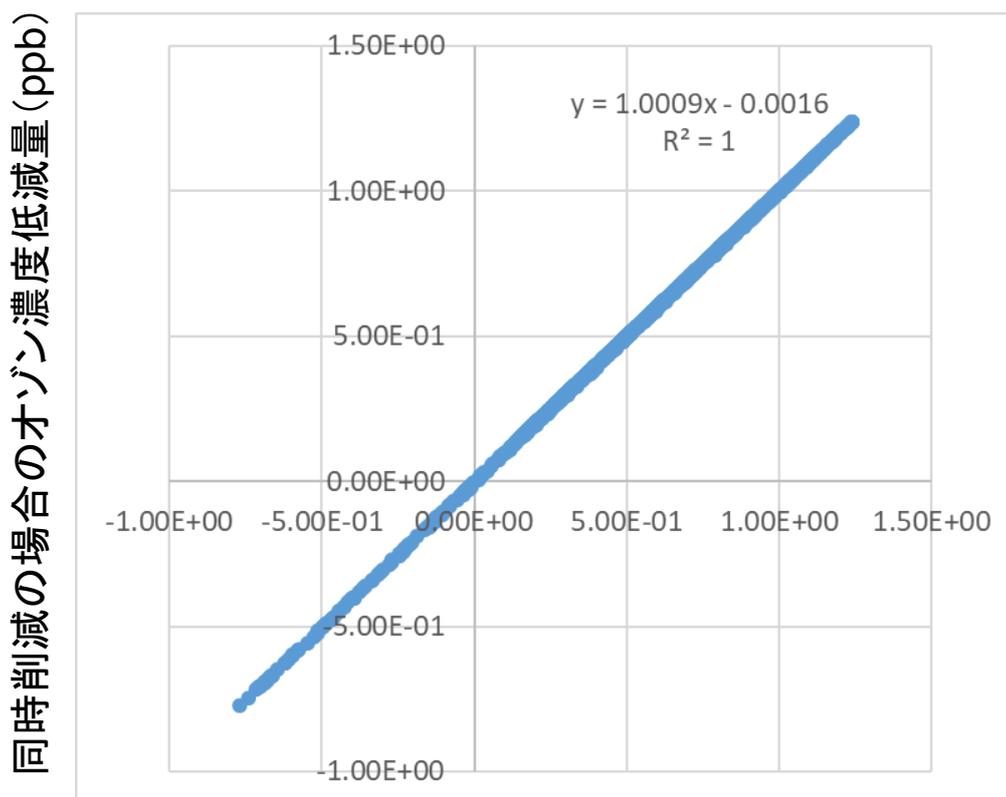


図 3-35 VOC と NO_x を同時に削減した場合のオゾン濃度変化量とそれぞれの単独削減によるオゾン濃度変化量の比較



単独削減の場合のオゾン濃度低減量合算 (ppb)

図 3-36 VOC と NO_x をそれぞれ単独で削減した場合のオゾン濃度変化量の合算と同時削減した場合のオゾン濃度変化量の比較

3-5. オゾン低減効率性指標の導出・解析結果のまとめと今後の課題

本業務では、固定蒸発発生源に対する VOC 排出削減を対象に、夏季のオゾン集団暴露量やオゾン存在量の低減効率に関する指標を、業種・地方・年代ごとに算出し以下の結果が得られた。

- (1) オゾン集団暴露量低減効率及びオゾン存在量低減効率(オゾン低減効率指標)は業種間で大きく異なる。
- (2) 業種間のオゾン量等低減効率の変動要因としては VOC 組成 (MIR) だけでなく排出削減場所(立地)の影響も大きい。
- (3) オゾン低減効率指標は地方間で大きく異なり(関東>近畿>東北)、近年は減少傾向にある。
- (4) 上記の地方間・年代間のオゾン低減効率指標の変化傾向は衛星データ(OMI)によるオゾン生成レジーム診断結果と定性的に整合している。
- (5) オゾン集団暴露量低減効率の値は、対象とする気象パターンにより大きく異なる。

今後の課題としては以下が挙げられる。

表 3-7 定量評価に関する今後の課題

分類	課題
発生源やインベントリの検討	<ul style="list-style-type: none"> ・植物起源 VOC 排出量に対する不確実性解析 ・NOx 排出削減に対する指標値の算出
指標の変動性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・春季を含め、検討する気象パターン数を増加させての指標値算出と気象パターンごと等の解析
他の調査・研究との比較	<ul style="list-style-type: none"> ・オゾン生成レジーム直接測定結果など最新の研究成果との整合性確認 ・現実のオゾン濃度の経年変化やその地域差が、本業務で得られた知見等を反映することにより再現されるのかの確認
対策検討への展開	<ul style="list-style-type: none"> ・各種排出削減対策による、より長期的なオゾン低減効果の推定 ・対策費用も考慮した効率性指標の検討と試算

なお、対策検討に関しては、一般には得にくい、対策費用に関する情報の入手または調査が必要である。また、VOC のインベントリデータについても、産業中分類で整理されているため、業態が全く異なる業種小分類が合算されている場合もあり、VOC 排出インベントリ等において、対策方法に対応する程度の細分化されたデータが整備されることが望ましい。分かりやすい例としては、産業中分類の「輸送用機械器具製造業」は、自動車、鉄道車両、船舶、航空機等の産業小分類からなっている。また、例えば塗料に関する排出量推計は、(一社)日本塗料工業会による塗料の出荷量ベースで推計されているが、対策を考える上では塗料のユーザー側からみた配分が整備できれば有用である。

【参考文献】

- 1) 井上和也, 吉門洋, 東野晴行 (2010). 関東地方における夏季地表オゾン濃度の NOx, VOC 排出量に対する感度の地理分布 第 II 報 光化学指標の実測に基づく推定. 大気環境学会誌, 45, 195-204.
- 2) 井上和也, 東野晴行 (2015). 2 次生成対応大気モデル ADMER-PRO の開発と検証. 大気環境学会誌, 50, 278-291.
- 3) Inoue, K. et al. (2019). Modeling study on the spatial variation of the sensitivity of photochemical ozone concentrations and population exposure to VOC emission reductions in Japan. Air Qual. Atmos. Hlth., 12, 1035–1047.
- 4) Duncan, B. N. et al. (2010). Application of OMI observations to a space-based indicator of NOX and VOC controls on surface ozone formation. Atmos. Environ., 44, 2213-2223.
- 5) 吉門 洋, 白川泰樹, 中野俊夫, 工藤泰子, 鈴木基雄 (2006). メソスケール気象モデルを用いた長期平均濃度評価手法の検討(I)気象パターン分類と関東平野の NOx 評価, 大気環境学会誌, 41, 1-14.
- 6) 吉門 洋, 椿 貴博, 佐々木寛介 (2006). メソスケール気象モデルを用いた長期平均濃度評価手法の検討(II) 高濃度オゾン評価への適用の試み, 大気環境学会誌, 41, 15-26.

4 調査結果（広報資料の作成）

産業界や民生部門における VOC 排出削減に係る取組事例を収集するため、ヒアリング調査を行い、対策事例をまとめた。本報告書では、前段に VOC やオゾンの施策や有害性情報(4-1 章)、後段に対策技術や対策事例についての有用情報を整理した(4-3 章)。4-2 章に収録した事例に、前段、後段を簡素化して肉付けし、「広報資料」として公表した。

4-1. VOC の定義、光化学オキシダントの有害性情報、排出削減の経緯・成果・現状

(1) VOC の定義

VOC の定義は、大気汚染防止法第 2 条第 4 号に規定され、「大気中に排出され、又は飛散した時に気体である有機化合物(浮遊粒子状物質及びオキシダントの生成の原因とならない物質として政令で定める物質を除く。)」をいう。諸外国では、蒸気圧、沸点などの物性値で規定したり、韓国のように物質名を明示するなどの規定方法があるが、わが国では定性的な定義とし、除外物質のみ明示している。

法的に VOC から除く物質は、大気汚染防止法施行令第 2 条の 2 に以下の 8 物質が定められている。

- ① メタン
- ② クロロジフルオロメタン(別名 HCFC-22)
- ③ 2-クロロ-1,1,1,2-テトラフルオロエタン(別名 HCFC-124)
- ④ 1,1-ジクロロ-1-フルオロエタン(別名 HCFC-141b)
- ⑤ 1-クロロ-1,1-ジフルオロエタン(別名 HCFC-142b)
- ⑥ 3,3-ジクロロ-1,1,1,2,2-ペンタフルオロプロパン(別名 HCFC-225ca)
- ⑦ 1-ジクロロ-1,1,2,2,3-ペンタフルオロプロパン(別名 HCFC-225cb)
- ⑧ 1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-デカフルオロペンタン(別名 HFC-43-10mcc)

(2) 光化学オキシダントの有害性情報

光化学オキシダントのおよそ 9 割はオゾンであり、これに次ぐ主要成分はパーオキシアセチルナイトレート(PAN)である。PAN は眼刺激性があることが知られている。オゾンの有害性に関する性質は NO_x とよく似ており、水に緩慢に可溶なため、肺の奥にまで達しやすい。同一の濃度では、NO_x や SO_x に比べて、オゾンの方が毒性が強いとされる。人健康への影響以外に植物への影響もあり、例えば稲の収量が落ちるなどの現象が知られている。

オゾンの濃度による人健康への有害性情報を表 4-1、表 4-2 に示す。オゾンの GHS 分類のうち、「分類できない」、「分類対象外」、「区分外」の項目を除いた項目の一覧を表 4-3 に、オゾンの法規制について表 4-4 に示す。オゾンは強い酸化力を持ち、工業的には、水や空気浄化・殺菌、脱色、有機物除去等広い分野に用いられている。オゾンは、水中では数秒から数十分、空気中でも数時間で分解して酸素に戻るとされている。オゾンに関する有害性情報や法規制は、基本的に工業的なオゾンの使用に際してオゾンボンベなどを使用する場合を想定している。大気汚染としての固定発生源からのオゾンの発生はない。家庭用の場合、エアコンや冷蔵庫で脱臭殺菌を目的にオゾンが利用されることがあり、基本的には漏れないこと、万一漏れた場合も 0.05ppm 以下になるように設計されている。

表 4-1 オゾン濃度と人への有害性(その 1)

濃度・暴露時間	有害性
0.15～0.25ppm、1 時間	目刺激 気道刺激症状 ぜん息発作回数の増加 肺機能の変化
0.15～0.25ppm、2 時間	気道刺激症状(せき、胸部不快感など)と肺機能の変化
0.3～0.6ppm、2 時間	気道刺激症状や肺機能の変化 以外に血液生化学的变化 気道収縮剤に対する気道反応性の亢進

出所:新・公害防止の技術と法規 2019、大気概論、p.102、(一社)産業環境管理協会

表 4-2 オゾン濃度と人への有害性(その 2)

濃度	有害性
0.01ppm	敏感な人の嗅覚閾値
0.01～0.015ppm	正常者における嗅覚閾値
0.06ppm	慢性肺疾患患者における嗅気能に影響はない
0.1ppm	正常者にとって不快、大部分の者に鼻、咽喉の刺激(労働衛生的許容濃度)
0.1～0.3ppm	喘息患者における発作回数増加
0.2～0.5ppm	3～6 時間曝露で視覚低下
0.23ppm	長期間曝露労働者における慢性気管支炎有症率増大
0.4ppm	気道抵抗の上昇
0.5ppm	あきらかな上気道刺激
0.6～0.8ppm	腹痛、咳、気道抵抗増加、呼吸困難、肺のガス交換低下
0.5～1.0ppm	呼吸障害、酸素消費量減少
0.8～1.7ppm	上気道の刺激症状
1.0～2.0ppm	咳嗽、疲労感、頭重、上部気道の乾き、2 時間で時間は肺活量の20%減少、胸痛、精神作用減退
5～10ppm	呼吸困難、肺うっ血、肺水腫、脈拍増加、体痛、麻痺、昏睡
50ppm	1 時間で生命の危険
1,000ppm 以上	数時間で死亡
6,300ppm	空気中落下細菌に対する殺菌

出所:オゾンハンドブック(特定非営利活動法人 日本オゾン協会)

表 4-3 オゾンの GHS 分類(区分指定されている項目)

分類項目	危険有害性クラス	区分	危険有害性情報
物理化学的危険性	支燃性・酸化性ガス	区分 1	発火又は火災助長のおそれ;酸化性物質
人健康有害性	急性毒性(吸入:気体)	区分 1	吸入すると生命に危険(気体)
	眼に対する重篤な損傷・眼刺激性	区分 2A-2B	(強い)眼刺激
	生殖細胞変異原性	区分 2	遺伝性疾患のおそれの疑い
	生殖毒性	区分 2	生殖能又は胎児への悪影響のおそれの疑い
	特定標的臓器・全身毒性(単回ばく露)	区分 1(呼吸器系)	臓器の障害
	特定標的臓器・全身毒性(反復ばく露)	区分 1(気管支、肺)	長期又は反復ばく露による臓器の障害
環境有害性	水生環境急性有害性	区分 1	水生生物に非常に強い毒性

出所:オゾンのモデル SDS 情報、職場のあんぜんサイト、厚生労働省

表 4-4 オゾンに関する法規制

法令	条文	規制内容
労働安全衛生法	法第 57 条、施行令第 18 条別表第 9	名称等を表示すべき危険有害物
	法第 57 条の 2、施行令第 18 条の 2 別表第 9	名称等を通知すべき危険有害物
	法第 57 条の 3	リスクアセスメントを実施すべき危険有害物
高圧ガス保安法	法第 2 条 1	圧縮ガス
船舶安全法	危規則第 2,3 条危険物告示別表第 1	高圧ガス
	施行規則第 194 条危険物告示別表第 1	酸化性物質類・酸化性物質
航空法	施行規則第 194 条危険物告示別表第 1	高圧ガス
	施行規則第 194 条危険物告示別表第 1	酸化性物質類・酸化性物質

出所:オゾンのモデル SDS 情報、職場のあんぜんサイト、厚生労働省

(3) VOC 排出削減の経緯・成果・現状

ベストミックス施策による VOC の排出削減は、VOC そのものの有害性ではなく、VOC が主に NO_x との反応で生成する光化学オキシダント(主にオゾン)の抑制、および、NO_x、SO_x 等が関与して生成する SPM を抑制

することが目的である。平成 16(2004)年の大気汚染防止法改正(平成 18(2006)年 4 月施行)により、排出規模が大きい 6 業種 9 施設について排出基準が ppmC 単位の炭素換算濃度で定められ、法規制対象施設では施設の届出、排出基準の遵守、測定が義務となった。一方で対象外の施設や小規模な施設については、平成 8(1996)年の大防法改正時に導入され、化学業界を中心に排出削減実績を挙げた有害大気汚染物質の「自主管理」を取り入れ、「自主的取組」として実施することとなった。法規制と自主的取組を組み合わせこの施策体系を「ベストミックス」と言い、平成 12(2000)年度を基準に平成 22(2010)年度末までに VOC 排出量を 3 割削減する目標が掲げられた。

自主的取組については平成 16 年 2 月 3 日の中央環境審議会答申において、「情報公開性と検証性を担保すること」とされ、経済産業省は産業構造審議会環境部会産業と環境小委員会、化学・バイオ部会リスク管理小委員会産業環境リスク対策合同ワーキンググループを立ち上げ、およそ 40 の業界団体からの自主的取組の成果を毎年集計し、検証を行っている。法規制も合わせた日本全体のベストミックス施策の成果は環境省が VOC インベントリとしてまとめている。

自主的取組の成果は、平成 12 年度排出量 62.2 万トンに対し、41 業界団体 20,500 社の報告集計値として平成 30 年度排出量 25.7 万トンとなっており、この間の排出削減率は約 59%、平成 22 年度を基準としても 25%の排出削減が実施されている(第 8 回産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会、資料 2-1)。また、法規制も合わせたベストミックス施策全体としての VOC 排出削減実績は、環境省の VOC インベントリによれば、平成 12 年度排出量 140.4 万トンに対し平成 22 年度排出量 76.9 万トン(平成 12 年度を基準とした排出削減率 45%)、平成 29 年度排出量 65.4 万トン(平成 12 年度を基準とした排出削減率 53%)となっている。平成 23 年度からは目標値及び目標年度を設定せず、現状非悪化を原則に自主的取組とその報告、レビューは継続している。

VOC のベストミックス施策の成果として、目標を上回る VOC の排出削減が達成され、環境中の VOC 濃度も下がったと評価されている。SPM については、環境基準達成率の大幅な改善が見られるが、光化学オキシダントについては、漸減の後、近年若干の増加が見られるとされる。99 パーセントイル 3 年平均値による評価でも横ばいとなっている。

4-2. ヒアリング調査に基づく事例調査

(1) 調査方法

効果的かつ効率的な VOC 排出削減対策を推進するため、産業界や民生部門の関係する企業や団体へのヒアリングによる情報収集を行い、VOC 排出削減に係る取組事例を収集し、それらの実績や効果等について調査を行った。まず、平成 17 年頃から製作されている多数の事例集、報告書等から、自主的取組として取り上げる事例に見当を付け、取組事例を調査するための一次ヒアリングを業界団体等に対して行った。その対象を、表 4-5 に示す。

一次ヒアリングの結果、具体的に事例として取り上げる技術項目を絞り込んだ。自主的取組の啓発普及に寄与するため、なるべく汎用的で、異なる業種でも参考になるようなものを選んだ。また、揮散防止による資材購入量の削減など、定量的なコストメリットなどはなるべく具体例を示した。VOC 削減に伴って生じる別の側面でのメリットや、対策導入に際しての要配慮事項なども盛り込み、多面的な検討ができるようにした。

表 4-5 の一次ヒアリング先からの紹介により、より詳しい情報を得るために、二次ヒアリングを行った。その一覧を表 4-6 に示す。

表 4-5 一次ヒアリング先

No.	名称	想定分野、事例項目の検討
1	(一社)日本塗料工業会	・水性塗料、粉体塗料、低 VOC 塗料の開発・普及状況 ⇒水性塗料、粉体塗料、ハイソリッド塗料への代替 水性塗料の二次ヒアリング⇒首都高速道路(株)
2	(一社)国際工業塗装高度化推進会議(IPCO)	・工業塗装における VOC 対策の取組状況 ⇒塗着効率の向上、低圧スプレーガンの活用
3	日本塗装機械工業会	・低圧スプレーガン、塗装の乾燥機等に関する開発・普及状況 ⇒1、2に関する補助的情報 低圧スプレーの二次ヒアリング⇒アネスト岩田(株)
4	(一社)日本印刷産業連合会	・印刷産業における VOC 対策とグリーンプリンティング認定制度 ⇒印刷機からの揮発防止対策と VOC 警報器の利用、GP 認定制度
5	日本産業洗浄協議会	・洗浄分野における VOC 対策 ⇒洗浄機の蓋閉め・密閉化、冷却の適正化
6	東京都	・東京都の改訂対策ガイド、アドバイザー制度に基づく事例聞き取り ⇒都の取組全般、7.に関する一次情報
7	日本主婦連合会	・民生製品における低 VOC 製品の開発状況 ⇒スプレー製品における低 VOC 製品の動向 エアゾール製品の二次ヒアリング⇒エアゾール工業会

表 4-6 二次ヒアリング先

No.	名称	ヒアリング内容
1	アネスト岩田(株)	・低圧スプレーガンの開発・普及状況
2	首都高速道路(株)	・首都高速道路の塗装工事における水性塗料の導入
3	(一社)日本エアゾール工業会	・エアゾール製品における低 VOC 製品の状況
4	久保井塗装(株)	・塗着効率に関する資料収集

なお、事例ヒアリングにまでは至らなかったが、(一社)日本化学工業協会に対しては、検討会の奈良委員によれば、日化協の会員企業は初期の取組期間はあまり法規制と自主的取組を区別せず、比較的大きな排出源に対してエンドオブパイプ的な対策技術、すなわち排ガス処理設備を導入した例が多いとのことであった。また、密閉化など簡易な対策技術は洗浄や印刷といった業種でも取り上げられる技術であるため、化学工業特有の自主的取組事例としては取り上げなかった。

また、(一社)日本産業機械工業会に対しては、同工業会が実施している優秀環境装置表彰事業の事例から、VOC に関連のありそうな項目を予備的に紹介して頂いたが、特定の装置企業に特化した紹介となることもあり、本事例として取り上げることはしないこととした。

(2) 対策事例

二次ヒアリングも踏まえ、決定した事例項目を表 4-7 に示す。

表 4-7 事例項目

No.	事例項目	業種分野
1	塗着効率の向上	塗装
2	低圧スプレーガンの導入	塗装
3	水性塗料への代替	塗料
4	粉体塗料への代替	塗料
5	ハインリッド塗料への代替	塗料
6	印刷機からの溶剤の発散防止と VOC 警報器の活用	印刷
7	GP 認定制度と低 VOC 資材の利用	印刷
8	洗浄作業における蓋・カバーの設置	洗浄
9	冷却の適正化	洗浄
10	スプレー製品における低 VOC 製品の動向	民生品

(3) 事例に関するまとめ

VOC 対策事例に関しては、大防法改正前後の平成 17 年頃から、対策に関するまとめやマニュアル、事例集の作成が省庁、自治体、業界団体等により行われてきた。東京都のアドバイザー派遣制度等を参考に、調査事業の中でもアドバイザー派遣を行い、それによる改善事例を事例集にまとめた例もある。環境省は平成 22 年度まで VOC 対策功労者表彰を行っており、表彰案件の対策内容が公表されている。

ヒアリングを行った結果として、VOC 規制に係る大防法改正から 15 年余りが経過するが、その間、VOC 削減を動機として特段の大きな新しい技術分野が進展した事例は見られない。多くの場合、VOC 対策に特化して対策が検討されたのではなく、化学物質管理、労働衛生、別の環境規制などを契機として新たな技術や製品の動向が生まれた例が多い。逆に言えば、VOC 対策だけでなく、他の動機も合わせて考えることが有効であること、及び、VOC 対策を行うことが、結果として別の効果も同時に生むことが可能であることを示している。

例えばスプレー製品などは、時代と共に様々な製品が生まれるのに合わせて、容器の形態が多様化した例である。首都高速道路(株)における水性塗料の導入は、現実起きた火災事故の事例が工事現場での可燃物廃止への動機となり、同社が独自の仕様の策定まで含めて進めた例である。

なお、VOC の排出削減を図る上で、相乗的に他の効果も随伴するケースがある一方で、塗料の代替のように一長一短のそれぞれの特徴があり、コストや作業性、意匠性なども含めて総合的に判断する必要がある場合も存在する。既存の資料を総合して事例をまとめつつ、なるべく多角的な視点から事例を整理した。

次ページ以降に、表 4-7 に示した 10 事例を掲載する。

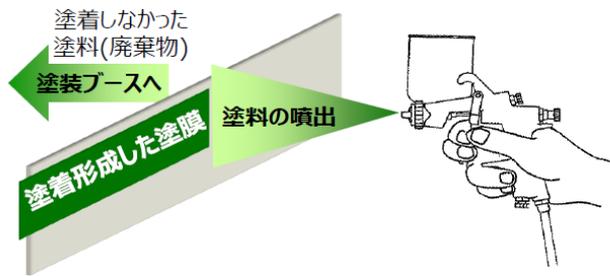
事例 1 塗着効率の向上

1. 塗着効率の定義とスプレー塗装の物質バランス

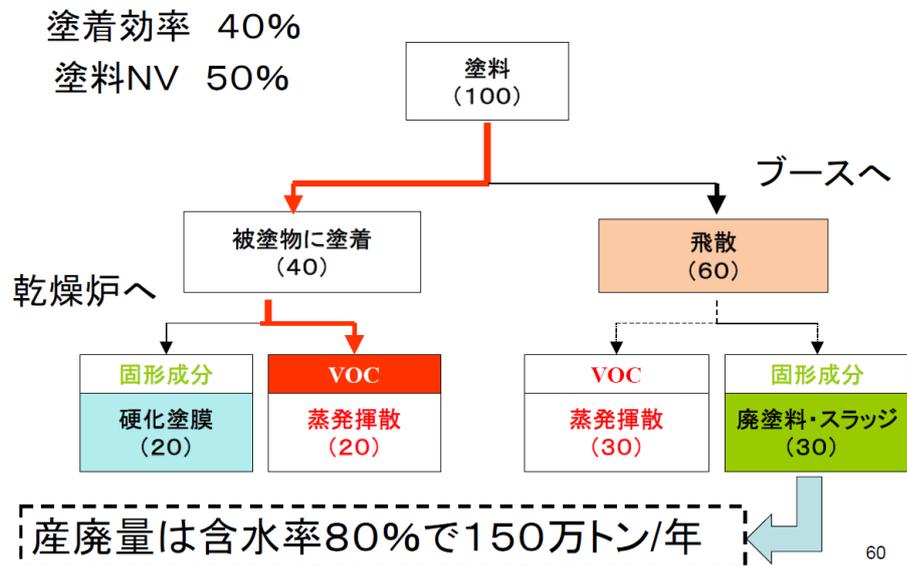
中小事業者にとって、排ガス処理装置の導入や塗装方法の転換は難しく、塗料の代替を図る場合でも、塗料のみを変更すれば良いのではなく、設備の変更を伴う場合が多い。従って、溶剤塗装方式のままで、VOC 対策を図る方法を検討する必要があるが、その 1 つが、塗着効率の向上である。

塗着効率の定義は、次式にて表わされる。塗着効率のイメージを付図 1 に示す。

$$\text{塗着効率 (\%)} = \frac{\text{被塗物に塗着した塗料の固形分質量}}{\text{スプレーガンから噴出した塗料の固形分質量}} \times 100$$



付図 1 スプレー塗装における塗着効率のイメージ



付図 2 塗装作業における VOC の揮散と産廃のバランス例

塗装作業における固形分と揮発分の物質バランスの例を付図 2 に示す。この図の例の場合、希釈塗料全体を 100 としたとき、その中の固形分は 50 (=塗料 NV (Non Volatile))、被塗物に付着した固形成分 (=硬化塗膜) は 20 であるから、塗着効率は 40% となる。

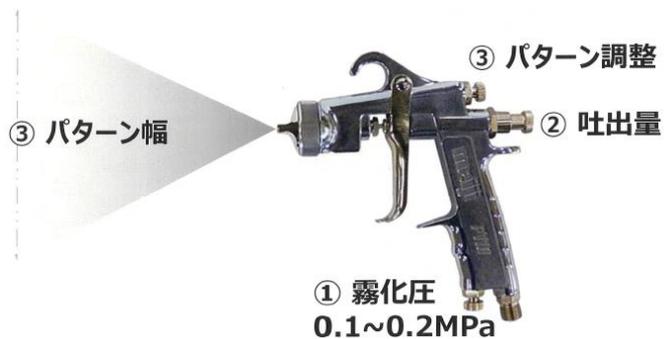
2. 塗着効率を向上させるパラメータの調整

塗着効率を向上させるには、以下のような要素がある。

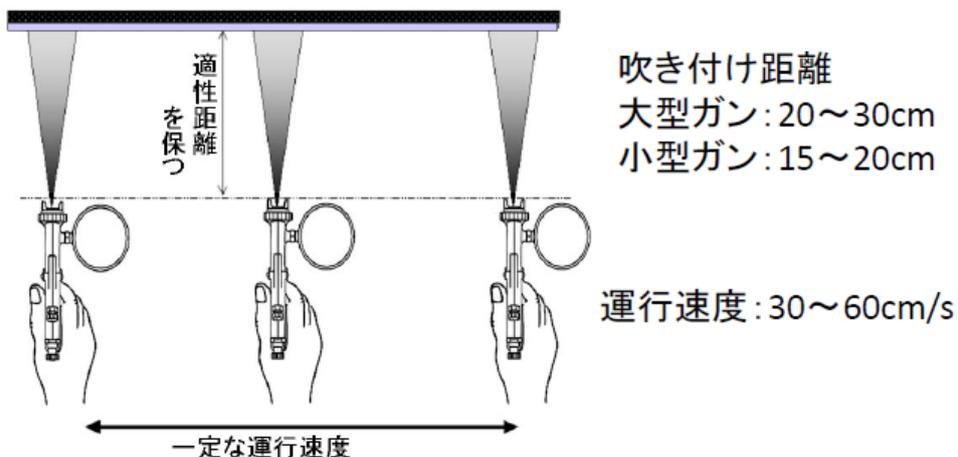
付表 1 塗着効率に影響するパラメータとその調整方法

パラメータ	調整方法と塗着効率の改善例	対応図
①霧化圧	低くする(0.1~0.2MPa程度) 例:0.3MPaで塗着効率60%→0.2MPaで70%以上	付図3
②吐出量	少なくする	付図3
③パターン幅	狭くする 例:幅150mmで塗着効率60%→幅80mmで75%以上	付図3
④運行速度	スプレーガンをゆっくり一定速度で動かす	付図4
⑤吹き付け距離 (ガン距離)	スプレーガンを被塗物から適正な距離に保つ 例:距離300mmで塗着効率70%→200mmで80%以上	付図4
⑥吹き付け角度	スプレーガンを被塗面に対し90度に保つ 例:45度で塗着効率50%→90度で70%以上	付図5
⑦塗り重ねの間隔	1/4~1/2の範囲に保つ	付図6
⑧ストローク開始点	被塗物の端での無駄吹きを避ける	付図6

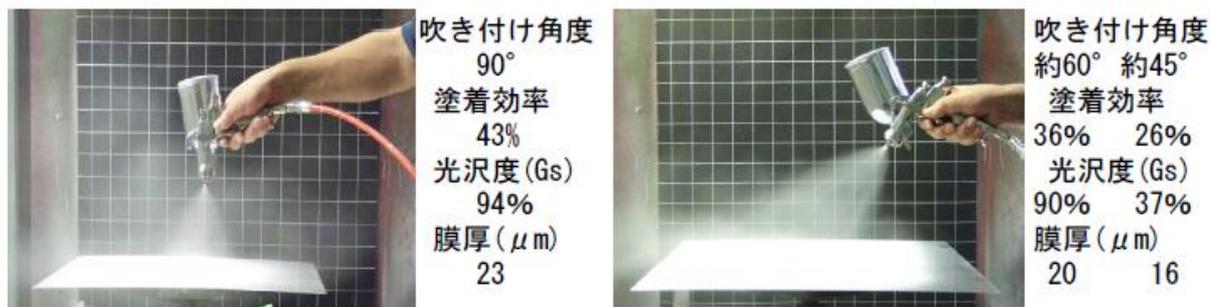
①~⑥は、定常的なスプレーガンの調整や動かし方に関する項目であり、⑦、⑧はその他スプレー開始点や塗り重ねの工夫により、無駄な塗料量を減らすための項目である。



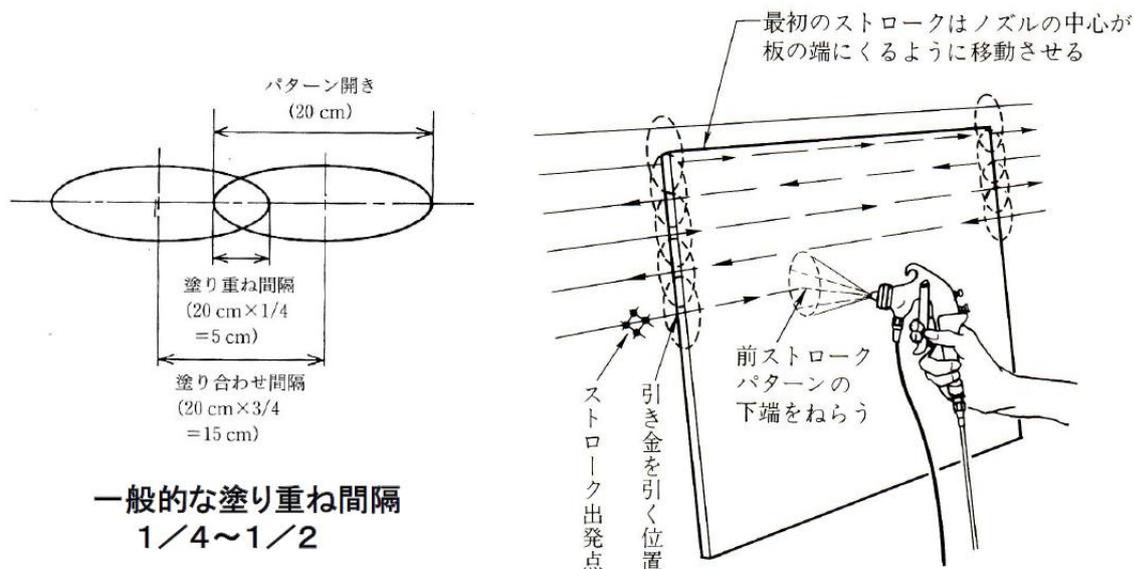
付図 3 霧化圧、吐出量、パターン幅の調整



付図 4 塗着効率の高いスプレーガンの運行速度、吹き付け距離



付図 5 吹き付け角度が塗着効率に及ぼす影響



付図 6 塗り重ね、ストローク端における効率的なスプレー操作

霧化圧や吐出量を抑えることで、塗着面からの跳ね返りを抑えることができる。パターン幅が大きいと、パターンの端では斜めの角度で吹いていることになり、吹き付け角度が 90 度でない場合と同じように塗着面に沿って流れてしまうロス分が生じる。

他に、ISO などの仕組みを活用して塗装の手順を標準化することによって、塗着効率が安定した塗装作業の再現性が高くなる効果が期待できる。

3. 塗着効率向上によるメリット

付図 2 のように、塗着する塗料にも、塗着せずに塗装ブースに飛散してしまう塗料にもいずれも溶剤分(VOC)が含まれ、溶剤分は揮散してVOC排出となり、飛散塗料中の固形分は産廃処理負荷となる。

塗着効率を向上させると、元々の塗装の技量にもよるが、一般には 20%程度の VOC 排出削減が可能となる。この仮定で1か月の塗装資材(塗料+溶剤(シンナー))を 120 万円とすれば、1か月で 24 万円のコストダウンになる。塗着効率の向上により、ブースへの飛散量が減るので、産廃処理費の低減にもつながる。工場内の臭気対策にも寄与する。

事例 1 の参考資料

- 1) VOC 対策の基本・現在・未来、IPCO mook、2009 Vol.1、(一社)国際工業塗装高度化推進会議
- 2) 工業塗装における VOC 排出抑制及びリスクアセスメントへの対応、IPCO 窪井要氏講演資料、関東経済産業局 VOC 排出抑制セミナー、平成 31 年 1 月 29 日
- 3) VOC 排出抑制対策セミナー in 東大阪、講演資料、「塗装工程における VOC 対策取り組み事例」、日本塗装機械工業会 平野克己、平成 30 年 11 月 29 日
<https://www.kansai.meti.go.jp/3-6kankyo/H30fy/VOC20181129results.html>
- 4) すぐにできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き、環境省、平成 19 年 3 月、
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>

協力団体・企業

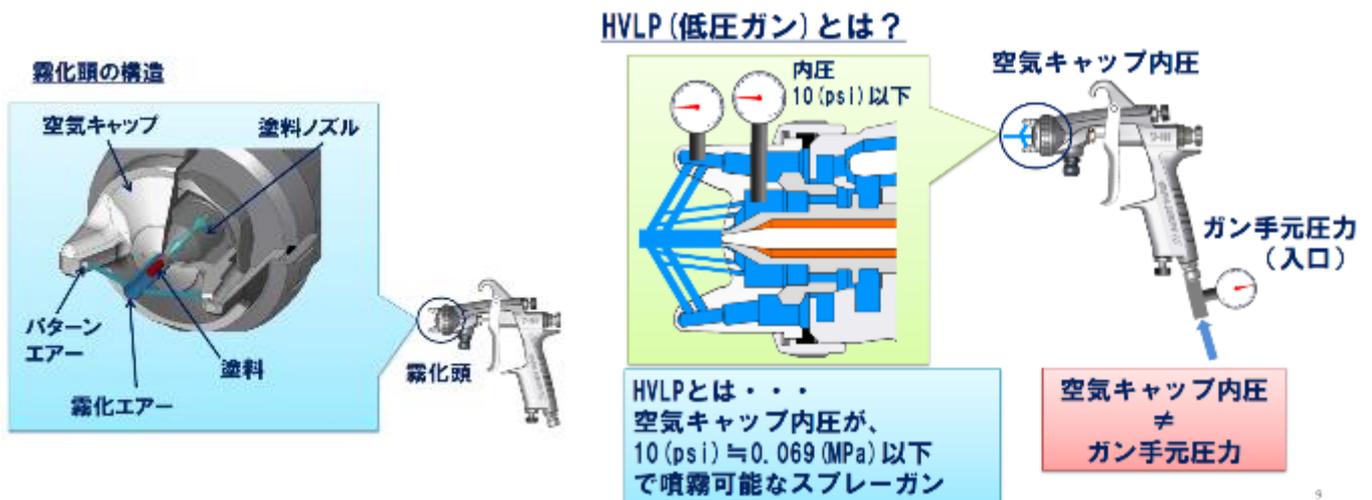
(一社)日本塗料工業会、(一社)国際工業塗装高度化推進会議(IPCO)、日本塗装機械工業会、久保井塗装(株)

事例 2 低圧スプレーガンの導入

中小事業者の自主的取組における対策要素の 1 つに、低圧スプレーガンの導入がある。標準的なエアスプレーでの塗着効率がおよそ 30～50%なのに対し、少なくとも 10～20%、最大で 30%程度の塗着効率の向上が期待できる。

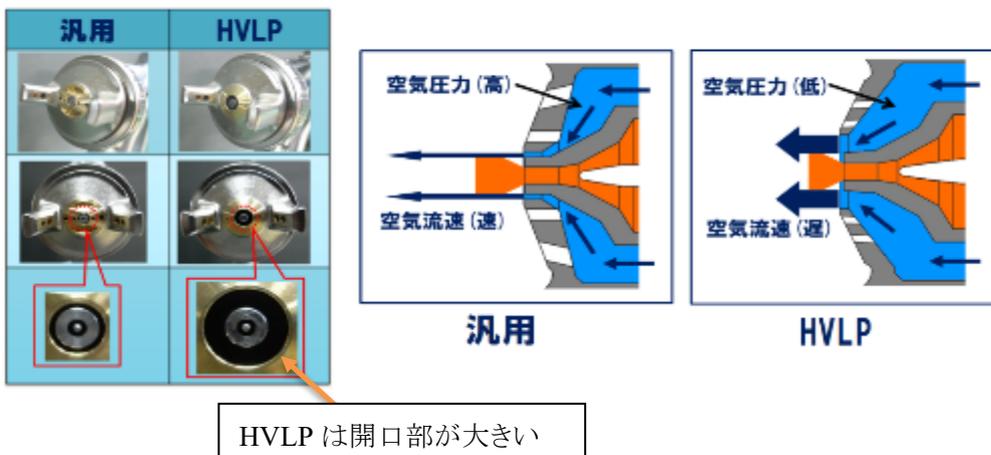
1. 低圧スプレーガンの定義

低圧スプレーガンとは、HVLP (High-Volume-Low-Pressure) スプレーガンのことで、アメリカ合衆国カリフォルニア州の SCAQMD (South Coast Quality Management District) が Rule 481 (Spray Coating Operations (制定 1977 年、最終改訂 2002 年)) の中で定めたもので、塗料噴霧中の空気キャップ内圧力が、0.1～10 (psi) (=0.00069～0.069MPa) でも塗装できるように設計されたスプレーガンのことである。霧化頭部での開口部が大きいことで、空気流速が遅くなるように設計されている。



付図 7 低圧スプレーガン(HVLP)の空気キャップ内圧イメージ(出典:文献 4)

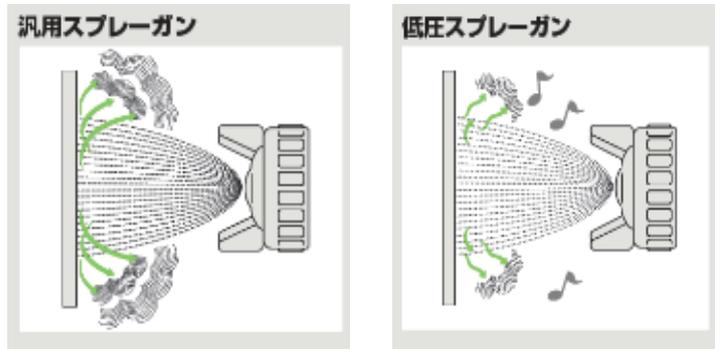
汎用とHVLPの構造上の違い



付図 8 汎用エアスプレーガンと低圧スプレーガンの霧化頭構造の違い(出典:文献 4)

2. 低圧スプレーガンによるメリット

空気キャップの内圧を低くすることで噴霧スピードが抑えられるので、被塗物への衝突時に跳ね返る塗料粒子の量を抑えることができる。



付図 9 低圧スプレーガン導入による塗料の飛散量の低下イメージ(出典:文献 5)

■各種スプレーガンの概要と塗着効率(参考)

付表 2 各種スプレーガンの概要

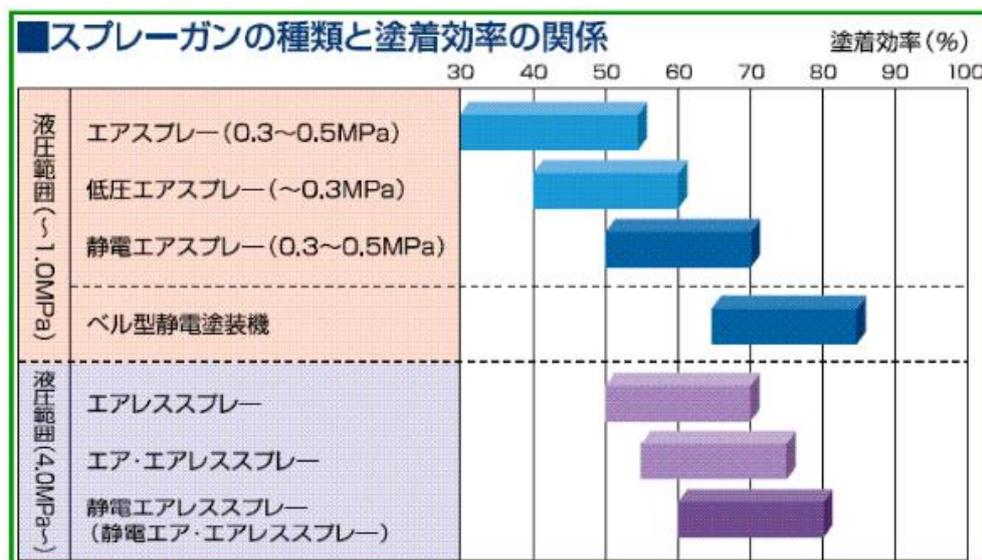
	概要	メリット	デメリット
エア(汎用)	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮空気により、塗料を微粒子にして被塗物まで搬送する。 ・供給する空気圧力は、0.15～0.4MPa 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的細かく均一な粒子。塗膜性能良好。 ・空気の圧力と量を調整することにより粒子径の制御がしやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗着効率が相対的に低い。
低圧エア	<ul style="list-style-type: none"> ・塗料噴霧中の空気キャップ内圧力 0.069MPa 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用より塗料の飛散が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・噴霧スピードが遅くなる ・汎用より空気量 1.5～2 倍に増加。 ・調整幅が小さくなる
静電エア	<ul style="list-style-type: none"> ・-30～-100kV の電圧を印加して搬送力に適用 	<ul style="list-style-type: none"> ・電界を搬送力に使うため、エアでは飛んでしまう微粒子も塗着 ・塗膜品質を落とさずに高塗着効率 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全対策が必要(設備と作業者の確実な接地と安全装置、インターロックの設置)
ベル型(回転霧化)静電(付図 10(1))	<ul style="list-style-type: none"> ・ベルカップが回転し遠心力で塗料を霧化 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗着効率が最も高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドガンタイプの製品は無い(自動工程向け)。
エアレス(付図 10(2))	<ul style="list-style-type: none"> ・塗料に高い圧力(10MPa 程度)をかけて、小さい孔へ通すことで塗料に剪断力が加わり微粒化 	<ul style="list-style-type: none"> ・エアを使わないので塗料の飛散が少なく高塗着 ・一度の厚膜塗装や屋外でも塗装可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・微粒化程度とパターン幅はノズルチップの孔サイズに依存
エア・エアレス(付図 10(3))	<ul style="list-style-type: none"> ・エアレスに圧縮空気流を加えることで、微粒化の促進やパターン幅の調整を可能としたもの。塗料圧力 5MPa 程度。 	<ul style="list-style-type: none"> ・エアレスに比べ塗料圧力を低くできるので、ノズルチップのつまりが少なくなり扱いやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・エアスプレーに比べて塗装面の仕上がりが劣る。

空気的作用: ①塗料を微粒化する、②被塗物への搬送

スプレーガンの価格イメージ: ベル型静電 >> 静電、エアレス、エア・エアレス >> 低圧 > エア



付図 10 各種スプレーガンの構造(図の出典:文献 6)、7)、8))



付図 11 各種スプレーガンの塗着効率

3. 塗着効率向上に伴う塗料の使用量削減効果の試算

希釈塗料中の固形分を 30% とし、塗装面積 1m^2 (平板)、膜厚 $30\mu\text{m}$ で塗装する場合に必要な希釈塗料量は以下の表のように試算できる。この条件下では、塗着効率が 50% → 70% に向上した場合、必要な希釈塗料量は約 3 割削減できる。

付表 3 塗着効率向上による塗料量の削減試算例

	エアスプレーガン	静電エアスプレーガン	備考
① 希釈塗料の固形分率	30%		
② 塗着効率	50%	70%	
③ 塗装条件	塗装面積 1m^2 平板、膜厚 $30\mu\text{m}$		
④ 塗膜になる固形分 mm^3	30,000	30,000	③の体積
⑤ 必要な固形分 mm^3	60,000	42,857	④ ÷ ②
⑥ 希釈塗料の総量 mm^3	200,000	142,857	⑤ ÷ ①
⑦ 必要な希釈塗料量 mL	200	143	⑥を単位変換

塗着効率 = 塗膜となった固形分の量 / 希釈塗料中の固形分の量 × 100%

4. 低圧ガン導入に当たっての必要事項

(1) 空気コンプレッサの能力増強

空気使用量が一般的なスプレーガンに比べて1.5～2倍程度になるので、空気圧縮機(コンプレッサ)の出力が2.2～3.7kw程度は必要となる。一般的なスプレーガンは0.75～1.5kWでまかなえるものもあるので、これらのスプレーガンからの切り替えではコンプレッサの買い替えが必要となる。塗料の供給ポンプはそのまま使用可能である。

(2) 作業性の変化

噴霧スピードが遅くなるのでスプレーガンの操作として、「吹付距離を近づけ、スプレーガンの移動速度を遅くする」必要がある。

低圧スプレーガンの導入は、スプレーガンの購入価格は若干高くなるが、塗料の使用量を削減するメリットにより、賄える可能性がある。

中小規模の事業者でもう一つ選択肢となる余地があるのは静電ガンである。導入費用と、設備対応は必要であるが、塗膜性能が良く、塗着効率も高い。

いずれの場合も、被塗物(ワーク)の切り替えや、色替えの頻度が少ない場合には、メリットを享受しやすい条件となる。

事例2の参考資料

- 1) VOC排出抑制対策セミナーin 東大阪、講演資料、「塗装工程におけるVOC対策取り組み事例」、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成30年11月29日
<https://www.kansai.meti.go.jp/3-6kankyo/H30fy/VOC20181129results.html>
- 2) すぐにできるVOC対策(塗装で取り組むVOC削減の手引き、環境省、平成19年3月
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>
- 3) SCAQMD ホームページ(Rule481)
<http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/rules/scaqmd-rule-book/regulation-iv>
- 4) エアスプレーガンにおける微粒化制御方法、日本塗装技術協会 平成30年度第2回講演会、アネスト岩田(株) 諸星敦之氏講演資料、2018年10月5日
- 5) スプレーガン総合カタログ、アネスト岩田(株)
- 6) 静電エアスプレーガンを用いた意匠性塗料の塗装についてエアスプレーガンにおける微粒化制御方法、色材協会 塗料講演会/自動車を中心とした塗料塗装の最新技術動向、アネスト岩田(株) 諸星敦之氏講演資料、平成24年5月11日
- 7) エアレスユニットカタログ、アネスト岩田(株)
- 8) Multi Spray Guns SERIES カタログ、アネスト岩田(株)

協力団体・企業

(一社)日本塗料工業会、(一社)国際工業塗装高度化推進会議(IPCO)、日本塗装機械工業会、アネスト岩田(株)

事例 3 塗料の水溶性化

事例 4 塗料の粉体化

事例 5 塗料のハイソリッド化

1. 塗料の代替の概要

塗料の代替について、代表的な手法である水性化、粉体化、ハイソリッド化について整理する。

最も一般的な溶剤型塗料は、樹脂と硬化剤を有機溶剤に溶かし、顔料などを分散したものである。溶剤が揮発し、硬化反応により塗膜が形成される。塗装作業性に優れ、均質な塗膜を得やすいのが特徴である。塗料に含まれる内部溶剤(20~60%)と、塗装時の希釈溶剤(塗料に対し 5~50%)が VOC である。

溶剤型塗料は固形分濃度により分類される。塗料中の固形分 70%以上又は塗装時の固形分 420g/L 以下のものをハイソリッド塗料と呼ぶ。なお、ここでは詳述しないが、樹脂を反応性希釈剤に分散させ、全てが固形分になる無溶剤塗料もある。

水性塗料は溶剤を水に置き換えた塗料である。水溶性樹脂は塗膜性能が劣るため、通常は樹脂を分散させたエマルジョン型が使われることが多い。水性塗料においても、塗装作業性および成膜性の向上のため、5%以下の有機溶剤を用いるのが一般的である。水性塗料のメリットは、大気環境の他、作業環境改善(有機則、特化則、悪臭)、非危険物(消防法上の届出不要)もある。

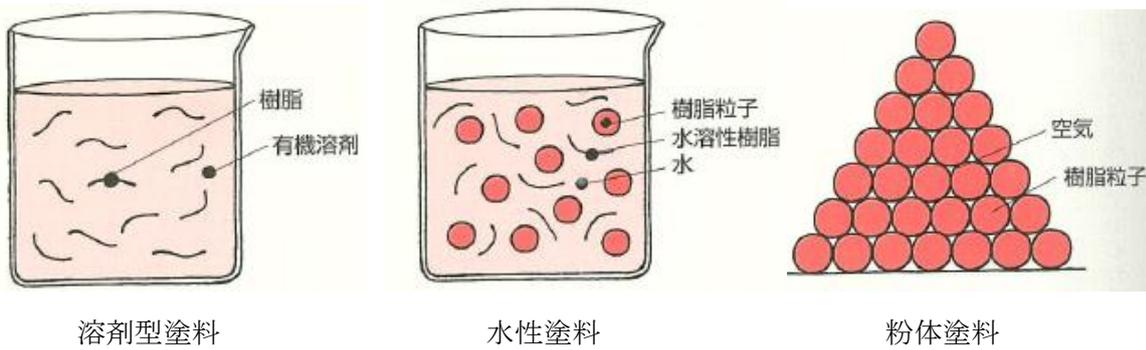
粉体塗料は数十 μm 程度の粒子径の粉体状で、焼付時に熔融して均一の塗膜を形成する。100%固形分であるが、一部ブロック剤と呼ばれる溶剤を 5%未満含むことがある。路面標示用の粉体塗料では、固形樹脂と顔料を施工現場で混合して用いる。

VOC 含有量の少ない塗料への転換は、VOC の排出削減に有効であるが、塗膜性能(強度、伸び、対候性)や意匠性(外観)、作業性(塗りやすさ、作業時間)、塗料の転換に伴う設備の変更、コスト(資材、設備、ランニングコスト)など、総合的な検討のもとに進める必要がある。日本塗料工業会の推計(文献 1)によれば、全分野における低 VOC 塗料(水性、ハイソリッド、無溶剤、粉体)の比率は 59.1%(平成 29 年度、出荷実績)である。

なお、超臨界状態の CO_2 を溶剤の代わりに使用する塗料が研究されているが、現状では実用レベルには至っておらず、塗膜の仕上がりや装置コストなど課題も残されている。

付表 4 塗料の分類

性状	分類		概要
液状	溶剤型塗料	低固形分 10~40%	樹脂を有機溶剤に溶かした塗料
		中固形分 40~70%	
		高固形分 70%以上 (ハイソリッド)	
	無溶剤型塗料(ノンソルベント)		反応性希釈剤などを用いた溶剤を含まない塗料
	水性塗料		水に溶解したり、分散させた樹脂を用いる塗料
粉体状	粉体塗料		固体樹脂を微粉碎した塗料



付図 12 塗料の形態(出典:文献 2、p.105)

2. 水性塗料

水は、低分子量であるが常温で液体であり、沸点はそれほど高くないが蒸発速度が遅いなど、水素結合に基づく特異な性質を持つ。表面張力が大きいので、下地へのなじみ、顔料に対する濡れ性が溶剤型より劣る。泡が生じやすく消えにくいなども技術的課題となる。溶剤の代わりに水を使用すると、樹脂を溶かしにくい、水和性の高い水溶性樹脂を用いると塗膜の耐水性が低下する。このため、水性塗料の樹脂は、コロイド分散型、あるいはエマルジョン型(液-液分散系)が用いられる。水は蒸発速度が遅いため、スプレー時は低濃度、塗着時は高粘度になるような塗料設計が行われる。水性専用の塗装ブースが必要である。また、排水処理設備が必要である。電気抵抗が低いため、静電塗装機は使用出来ない。塗装時に赤外線や熱風を用いて蒸発を促進する方法も取られる。水の蒸発は湿度に影響されるため、屋外では天候の影響を受けやすい。金属表面の第1層(ベースコート)に水性塗料を塗布する場合、錆びが生じないように注意が必要である。

3. 粉体塗料

硬化剤に添加するブロック剤(安定化剤)や低分子成分が焼付時に僅かに揮発するが、基本的にVOCを含まない塗料である。一度塗りで強靱な厚膜の形成が可能であることが最大の利点である。専用設備が必要であること、色替えが難しいこと、塗膜の外観性が劣るなどの課題もある。こうしたことから、単色厚膜が要求される金属製品への適用が多い。金属平板に粉体塗装を行った後に成型加工するプレコート塗装も行われる。焼付けによる流動工程があるため、屋外塗装やプラスチックの塗装には適していない。

付表 5 粉体塗料のメリット・デメリット(文献 2)、3より編集)

長所	短所・課題
<ul style="list-style-type: none"> ・VOC含有率ほぼゼロ ・危険物非該当 ・1回塗りが可能 ・厚膜塗装可能(広範囲な膜厚) ・粉体の再利用可能 ・強靱な塗膜が形成される ・セッティング不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・塗膜外観性(ゆず肌) ・専用塗装設備が必要 ・色替えが面倒 ・少量多品種生産が不向き ・調色が難しい ・メタリック塗料が作りにくい ・再塗装(リコート)ができない

4. ハイソリッド塗料

塗料中の固形分 70%以上又は塗装時の固形分 420g/L 以下の溶剤型塗料をハイソリッド塗料と言う。固形分が多いため、塗装作業性を担保するために系の粘度を下げる必要があり、従って樹脂の分子量が相対的に小さいものを使う。そのままでは塗膜の硬さ、対候性などが低下するため、硬化する際の架橋反応が高密度で起こるように工夫されている。塗装作業時にタレ、濡れ不良などを起こしやすいので、塗装作業時に粘性調整などが必要である。基本的に、現行の溶剤塗装設備を利用できるのが利点である。

付表 6 各種塗料のメリット・デメリット（文献 2）、3より編集）

	溶剤型	ハイソリッド	水性	粉体
VOC 削減	×	△	○～◎	◎
臭気	×	×	○～◎	◎
既存設備適応	◎	◎	○	×
空調経費	◎	◎	△	○
仕上がり外観	◎	◎	○	○
作業性（常温乾燥）	はけ・ローラー	◎	○	×
	スプレー	◎	○	×
	乾燥性	◎	○	×

◎:非常に良い ○:良い △:やや劣る ×:劣る

付表 7 各種塗料の主な適用分野と課題（文献 1）、2）、5より編集）

塗料タイプ	適用分野	課題	
水性塗料	VOC 含有量削減	<u>建築物内外装(建物、建築資材)</u> 、 <u>電着塗料</u> 、 <u>家庭用</u> 、 <u>窯業建材</u> 、 <u>金属製品</u>	乾燥性、作業性低下、低温造膜性、塗膜強度
	溶剤型からの変換	<u>自動車新車中・上塗り</u> 、 <u>自動車補修</u> 、 <u>車両</u> 、 <u>木工</u> 、 <u>構造物</u>	乾燥性、作業性低下、塗膜強度、光沢、鮮映性、コストアップ
無溶剤塗料	床、船舶、構造物	作業性、塗料ロス、コストアップ、多液化	
ハイソリッド塗料	<u>船舶</u> 、 <u>構造物</u> 、 <u>機械</u> 、 <u>建材</u> 、 <u>金属</u>	作業性低下、コストアップ、多液化	
粉体塗料	<u>電機・家電</u> 、 <u>金属製品</u> 、 <u>機械車両</u> 、 <u>路面表示</u>	設備自由度限定、素材の選択性、コストアップ	

二重下線:約 50%以上の比率を持つもの 一重下線:約 20%以上の比率を持つもの(H29、出荷量)

事例 3～5 の参考資料

- 1) 平成 29 年度塗料からの VOC 排出実態推計のまとめ、(一社)日本塗料工業会、平成 31 年 3 月
- 2) トコトンやさしい塗料の本、中道俊彦、坪田実、2008、日刊工業新聞社
- 3) よくわかる最新塗料と塗装の基本と実際－環境対応型塗料入門－、坪田実、2016、秀和システム
- 4) 屋外塗装における環境配慮型塗料について(建築・土木重防食塗料分野)、東京都 VOC 対策セミナー、鈴木譲氏講演資料、2019 年 12 月 5 日
- 5) 揮発性有機化合物の排出抑制ガイドライン、(一社)日本塗料工業会、2004 年 7 月
- 6) すぐにできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き、環境省、平成 19 年 3 月、<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>)

■重防食塗装における水性塗料の活用事例(首都高速道路)

屋外塗装においては、長年使用されてきた溶剤系塗料が、使用実績(耐久性、対候性の実証など)の面で重視される傾向にあり、価格面や施工面で課題があった水性塗料は実用化が進まない傾向にあった。

付表 8 屋外塗装における水性化のメリットと課題

メリット	課題	
	問題点	対策
VOC を大幅削減できる	施工時の降雨や結露など、湿気の影響を受け易い	換気設備等により適切な湿度管理を実施
有機溶剤の臭いや中毒の健康影響が少ない	素地の油分や錆の残存影響を受け易い	ブラストを基本とした適切な素地調整を実施
保管や塗装時の火災の心配がない	低温環境で正常な塗膜ができにくい	技術開発により溶剤系と概ね同等の性能が実現

出典:文献4)(前ページ)

平成 30 年 9 月に、水性塗料を追加した JIS 規格として、下塗り塗料の「JIS K 5551:2018 D・E 種構造物用さび止めペイント」、及び上塗り・中塗り塗料の「JISK5659:2018 B 種鋼構造物対候性塗料(中塗り含む)」が定められた。建築用水性塗料の JIS は国土交通省の標準仕様書に記載されているが、重防食水性塗料はそこまで至っていない。

首都高速道路(株)では、平成 26 年 3 月と平成 27 年 2 月に首都高速道路の塗装塗替工事を行う中で火災事故を起こした経緯がある。これは、工事足場内の密閉空間で構造物(鋼製が多い)の古い塗装を剥がす際、塗膜剥離剤を使った後、なお残存している塗膜及び塗膜剥離剤を、使用を禁じていたラッカーシンナーで拭き取っていたことから発火したとされている。同社ではこれを機に独自に水性塗料の仕様を定め、平成 27 年 10 月から水性塗料の試行を開始し、平成 31 年 7 月には工事足場内における使用材料の完全水性化を達成した。水性塗料の耐久性については、1 か月の耐候性促進試験、2 年の長期暴露試験等により確認し、実用化に至っている。水性塗料の課題について、同社の対応をまとめると以下のようなになる。

付表 9 首都高速道路(株)における水性塗料採用に際しての課題と対応

課題	対応
水が揮発すると塗膜が乾燥しにくい	・湿度 85%以上(例:梅雨期の降雨時)では施工しない。
ダレやすく厚膜塗布しにくい。	・1 回の塗布は薄くし、何層も重ねることで膜厚(200~300 μm)を確保。
光沢が少ない	・吹付けや仕上げ用ローラー塗りで遜色ないレベルを確保。
塗料の価格が高い	・工費全体に対しては、塗料資材が占める割合は小さい。
鋼材面に塗る水性塗料(水性有機ジンクリッチペイント)による錆(フラッシュラスト)発生	・フラッシュラストの発生抑制、進行抑制試験を実施。これに基づき素地調整方法を 1 種のみとし、2 種を原則禁止。耐フラッシュラスト試験方法を新たに定め、これに合格した水性ジンクリッチペイントのみ採用できるようにした。
塗装職人が慣れていない	・作業に慣れることでダレを起こさないようになった。 ・部位に応じてハケ塗やローラー塗りを併用できるようにした。

水性塗料の特徴と今後の展望、東京都平成 30 年度 VOC 対策セミナー、首都高速道路(株)講演資料、2018 年 2 月 19 日 を元に編集

同社では、塗膜の剥離方法に関しても、循環式ブラスト工法や、消防法上の非危険物に分類される塗膜剥離剤をすでに導入している。首都高速道路の塗装の寿命は数十年であり、塗装塗替工事は設備の更新工事を含めて計画的に行われる。今後は完全水性化仕様に基づいて塗装塗替工事が行われる。



塗装前状況(足場内)



水性塗料塗布後(足場内)



水性塗料施工後(橋脚部、全景)



付図 13 水性塗装施工後の写真(首都高速道路(株)提供)

■VOC 対策としての塗料転換時の設備改造について

塗装分野における低 VOC 塗料への代替対策として、溶剤形塗料から粉体塗料や水性塗料への転換が挙げられる。しかし、既存の溶剤塗装ラインでの適用の場合、設備の改造が必要となる。実際には既存の塗装ラインを総点検しての改造が必要であるが、最低限、共通して必要となる改造を本節に整理する。なお、粉体、水性の割合が極端に少ない場合、現行の溶剤ラインで塗装機だけ替えて塗装することも可能ではあるが、塗装品質を事前に確認しておく必要がある。

1. 粉体塗装に改造する場合

溶剤塗装装置を撤去し全て粉体塗装装置に代えてしまう方法と、溶剤塗装装置はそのままにしてセッティング工程に塗装ブースを設置して両方兼用出来るようにする方法の 2 つがある。それぞれの設備改造のポイントを示す。

(1) 全面的に粉体塗装装置に代える場合

①塗装装置

- ・溶剤塗装ブース、塗装機、排気ダクトを撤去し、粉体塗装装置を設置

②乾燥炉を塗料仕様に応じて変える

- ・温度設定は 160°C⇒180°Cに変更
- ・通過時間は立ち上がり時間も含めて 5 分程度長くする(セッティングゾーン側に乾燥炉を延長する)

(2) 溶剤塗装装置のセッティング工程に粉体塗装装置を追加する場合

現行のセッティングゾーンに粉体塗装装置を設置して兼用ラインとする

①粉体塗装装置:セッティングゾーンの前半部に設置

②乾燥炉:塗料仕様により(1)②項の改造を行う

付表 10 粉体化における改造点

	改造箇所	改造点
1	塗装ブース	現行水洗ブースを撤去して粉体ブースを設置する
		粉体ブースはホッパー形式で高さが少し高くなる (ピット掘るかコンベア上げるかの選択)
2	乾燥炉	時間延長のため炉本体を長くする (セッティングは不要になるので入口部に増設)
3	コンベア	設定温度を上げる場合は潤滑油を確認

2. 水性塗装に改造する場合

水性塗料は、水の特有の性質(蒸発速度が遅い、表面張力が高い、油となじまない等)に基づいて、良好な塗膜を形成するために各工程で種々の注意を要する。

(1) 前処理

脱脂が完璧に出来ていないと「はじき」を発生しやすいため、脱脂工程の事前確認を要する。

(2) 塗装

- ① 塗装ブース本体: 接液部はステンレスが望ましい。水槽がある場合は泡の発生があるため液面管理に注意が必要
- ② 水分離フィルター: 排気部のフィルターでは水分も完全に除去し屋外部分の着色を防ぐ
- ③ 給気装置: 高湿度時の塗装に問題が生ずるため、加温装置など減湿の工夫が必要
- ④ 塗装機: 静電塗装の場合、絶縁装置など塗料を通しての電気漏洩の防止が必要

(3) 乾燥炉

- ① 水性塗料の場合、一般的に乾燥時間が長くなる。前半に水分を飛ばす予熱ゾーンを設けてから、本設定ゾーンに入れ沸きなどを防止する
- ② 内板はステンレス製が望ましい

(4) 廃水処理

塗装ブースからの廃水がある場合は、排水中の BOD、COD が増加するため、廃水処理に生物処理など追加が必要となる。ブース水を産業廃棄物として処理する場合は不要だが、産廃処理費の分コストが上がる。

付表 11 水性化における改造点

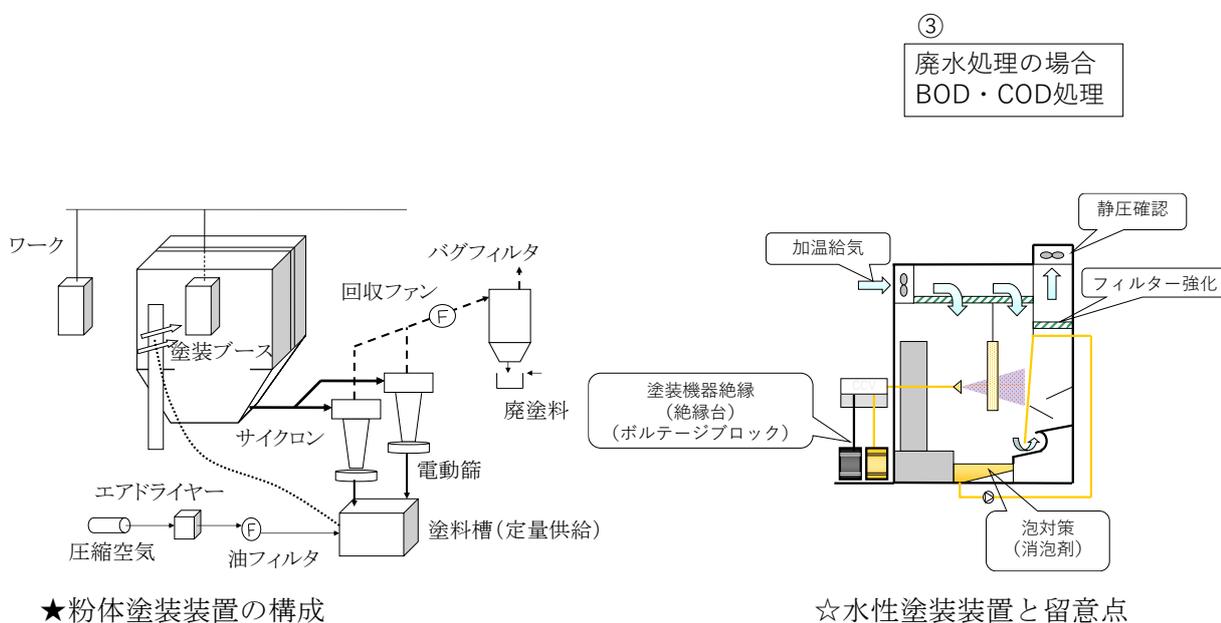
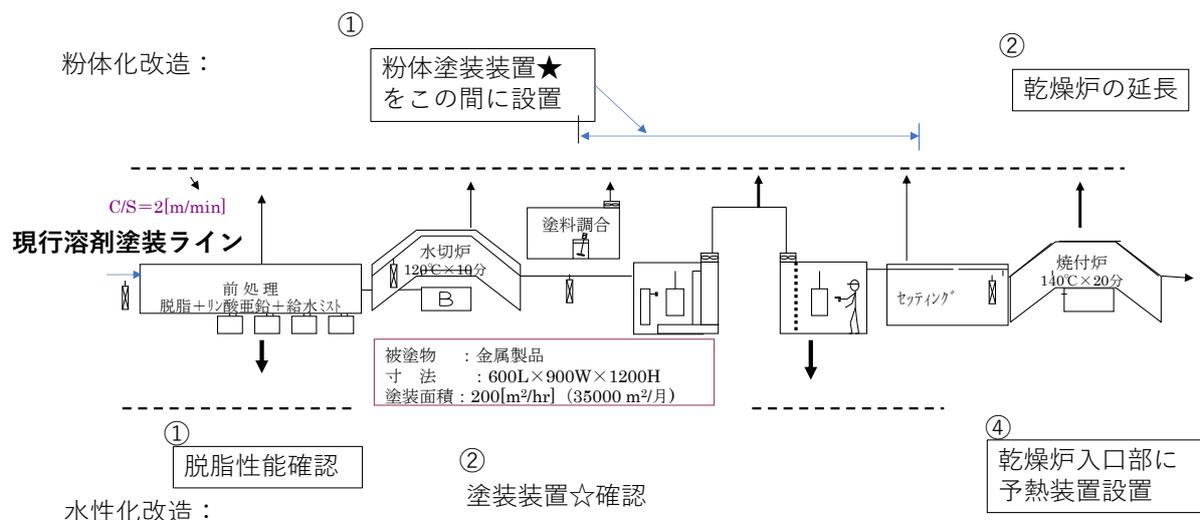
	改造箇所	改造点
1	前処理	脱脂不良により「はじき」が生じやすい (使用予定塗料で確認)
2	塗装	ブース本体材質: SUS 製が望ましい
		泡対策: 液面管理
		フィルター: 水滴も除去出来るフィルターに変更
		給気の加温: 高湿度の塗装時の「垂れ」防止
3	乾燥炉	静電塗装機の場合: 絶縁装置付きの塗装機
		予熱部を設置して「垂れ」「沸き」を防ぐ
4	排水処理	乾燥炉の長さは塗料により延長
		塗装ブースの廃水がある場合 BOD・COD 処理装置が必要 (活性炭または生物処理の増設)

< 塗装用語 >

垂れ、ダレ、たれ: 垂直面や傾斜面を塗装した時、硬化・乾燥までに塗料が下方に流れて塗膜が局部的に厚くなり不均一になる状態。

沸き、ワキ: 塗膜の硬化、乾燥の際、泡状の小さな膨れや穴を生じる現象。

ハジキ、はじき: 塗膜の一部に下地が露出する現象。下地面と塗料との間の表面張力の不均等などによって起こる。塗面に塗膜が押しつけられたような凹みを生じる。窪みが下地に達している場合を「ハジキ」、下地までは至らないが塗膜が窪んだ状態になっている状態を「へコミ」という。



付図 14 既存溶剤型塗装ラインに対する粉体化・水性化の改造イメージ

本節の参考文献

- 1) 水性塗装ラインの設計と環境対策および排水処理技術、技術情報協会セミナー、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成 18 年 7 月 17 日
- 2) 環境問題に適応する塗装ラインの設計方法、日本テクノセンター、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成 19 年 7 月 25・26 日

協力団体・企業

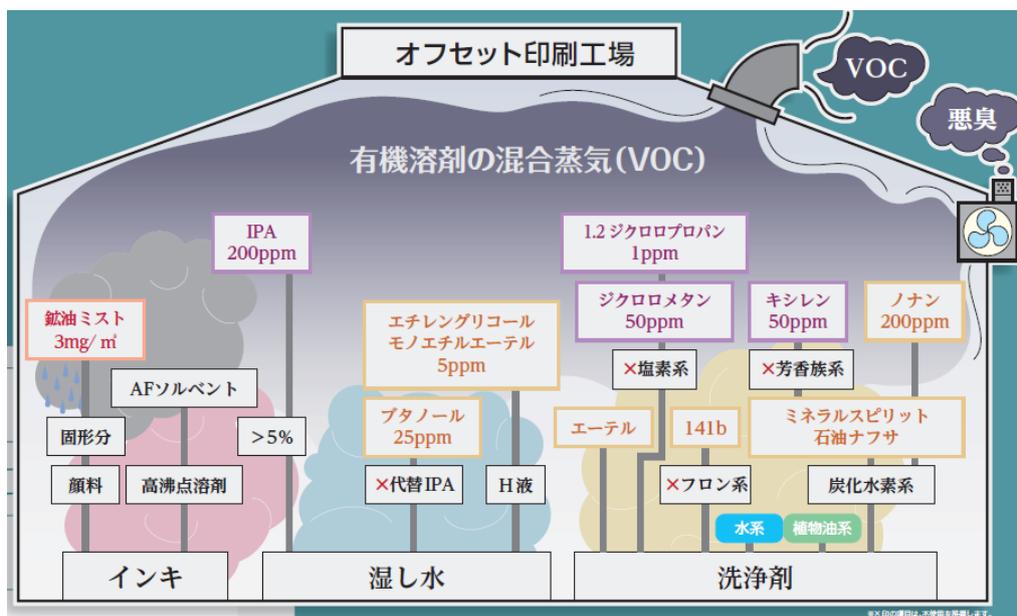
(一社)日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、(株)、首都高速道路(株)

事例 6 印刷機からの溶剤の発散防止と VOC 警報器の活用

1. 概要

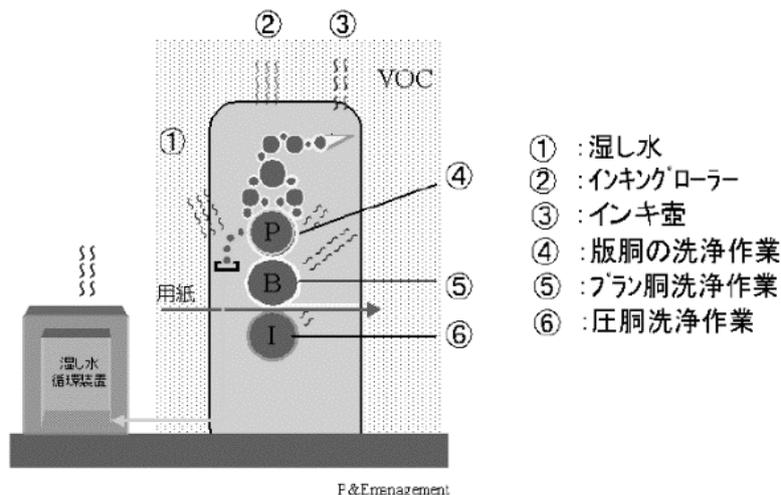
印刷工場では印刷インキの他にも、湿し水、洗浄剤などに様々な薬剤を使用する。この中には VOC、フロン及び代替フロンなどが含まれ、労働安全衛生法の有機溶剤障害等予防規則（有機則）に基づく作業者の曝露防止措置も求められている。

（一社）日本印刷産業連合会（以下、日印産連）ではパンフレット「オフセット印刷工場における有機溶剤管理」を平成 27 年 3 月に発行した。印刷工場における適正な有機溶剤管理は、作業者の曝露防止を第一の目的としているが、これは同時に、VOC の排出削減、近隣への悪臭防止にもつながり、対策によっては資材削減を通じたコストメリットにも繋がる。



付図 15 オフセット印刷工場における様々な使用物質

オフセット印刷機からのVOC発生



付図 16 オフセット印刷機の VOC 発生源

労働衛生工学的なリスク削減の観点から、優先順位の高い順に、対策項目は以下のようにまとめることが出来る。

付表 12 印刷工場における VOC 発生対策

対策項目	内容
有害性の低い VOC に代替	<ul style="list-style-type: none"> ・SDS 入手による有害性の把握 ・GP 認定資材使用の推奨
VOC 蒸気の発生を遮断	<ul style="list-style-type: none"> ・資材や廃棄物、廃ウェスなどの容器の密閉化、二重化
VOC の高濃度環境をなくす	<p>[VOC 蒸気発生量の低減]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・残肉、廃ウェスの管理 ・作業位置、姿勢の工夫 ・作業方法の標準化(手洗浄作業の標準化等)、遠隔作業化(ドクター洗浄作業の隔離等) ・使用量・時間の検討 ・洗浄システムにおける対策 ブランケット洗浄: 含浸布型洗浄システム ローラー洗浄: 自動洗浄装置 <p>[換気や気流の改善]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気流の管理、換気量の確保(換気回数 10 回/時以上)
VOC 蒸気曝露を防ぐため呼吸保護具の使用	<ul style="list-style-type: none"> ・呼吸保護具(マスク)、めがね、手袋の使用

インキや溶剤などの資材、残肉・廃ウェスなどの容器の蓋を密閉化することで、蒸発濃度が 100 分の 1 程度まで下がる効果があり、工場内の整理整頓、資材の削減によるコストメリットにも繋がる。



付図 17 インキ缶、溶剤缶の密閉化の事例

2. 容器密閉化による揮散防止対策のコストメリットの試算例

試算の条件:

平均気温 21.5℃、湿度 54.1%、インキ・溶剤 ノントルエンタイプ

4色機が4台(4×4=16ユニット(5色機なら20ユニット))、24時間稼働、年間260日稼働

1斗缶:開口部面積 552.3cm²、(0.06(kg/8h/unit)×3)/d×16unit×260d/y=748.8kg/y

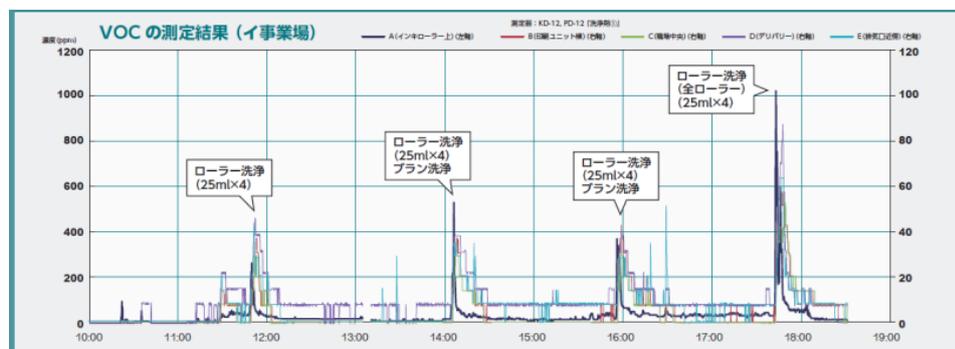
溶剤バケツ:開口部面積 1734.1cm²、0.10(kg/8h/line)/d×3×4line×260d/y=312.0kg/y

廃ウエス入れ:開口部面積 2835.0cm²、(0.28(kg/8h/line)×3)/d×4line×260d/y=873.6kg/y

経済効果(溶剤購入費削減効果):仮に溶剤購入単価を200円/kgとすると、200円/kg×1934.4kg/y=386,880円/y(文献2、p.39を参考に試算)

3. 瞬間的な高濃度曝露の防止

定常的なVOCの発散を低減することと同時に、瞬間的な高濃度VOCへの労働者の曝露を避ける対策も行われている。図のように、ローラー洗浄時に周辺が高濃度になることが分かっている。



付図 18 ローラー洗浄時の高濃度ピークの測定例

4. VOC 警報装置の利用

自動洗浄装置を導入するなどの対策が有効であるが、VOCは見えないので、警報装置を設置して作業者に警報で知らせる装置が活用されている。ガス機器メーカーと日印産連が共同開発したものもあり、GP資機材(事例7参照)に認定されている。

熱線型半導体方式でガスを検知し、石油系溶剤に含まれるノナンの許容濃度 200ppm を超えるとアラーム音と共に換気を促すメッセージが流れる。印刷機のローラー上部、ユニット間、デリバリー部などに設置して使用する。半導体部品の寿命があるので3か月ごとの点検、2年ごとの交換が必要である。



付図 19 VOC 警報器

事例6の参考資料

- 1) オフセット印刷工場の有機溶剤管理第2版、平成29年4月、(一社)日本印刷産業連合会
- 2) 印刷産業におけるVOC排出抑制自主的取組推進マニュアル、(社)日本印刷産業連合会、2006年3月

協力団体・企業 (一社)日本印刷産業連合会

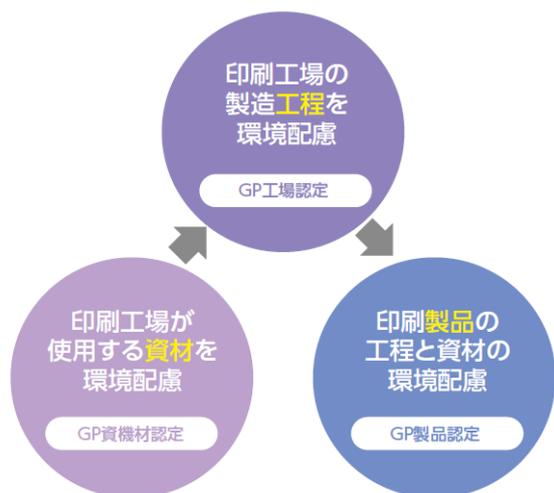
事例 7 GP 認定制度と低 VOC 資材の利用

1. GP 認定制度の概要

グリーンプリンティング (GP) 制度は (一社) 日本印刷産業連合会が 2006 年からスタートした環境配慮自主基準である。ISO14001 の取得・維持が難しいと考えられる中小事業者を念頭に、自主認証型の環境ラベルとして制度設計されている。GP 認定基準は、VOC 発生などの大気汚染防止の他に、法令や条例に対する遵法、地域住民への環境影響 (悪臭、騒音、振動等) の未然防止、廃棄物削減、リサイクル推進、地球温暖化防止など地球規模での環境対応と、それらを推進するマネジメントシステムで構成されている。また、近年では労働安全衛生の配慮、緊急時対応の基準が追加されている。2020 年 2 月までに全国 417 の工場が GP 認定工場となっている。

2. GP 認定の種類と認定の仕組み

GP 認定には付図 20 のように 3 種類がある。それぞれの概要を付表 13 に示す。



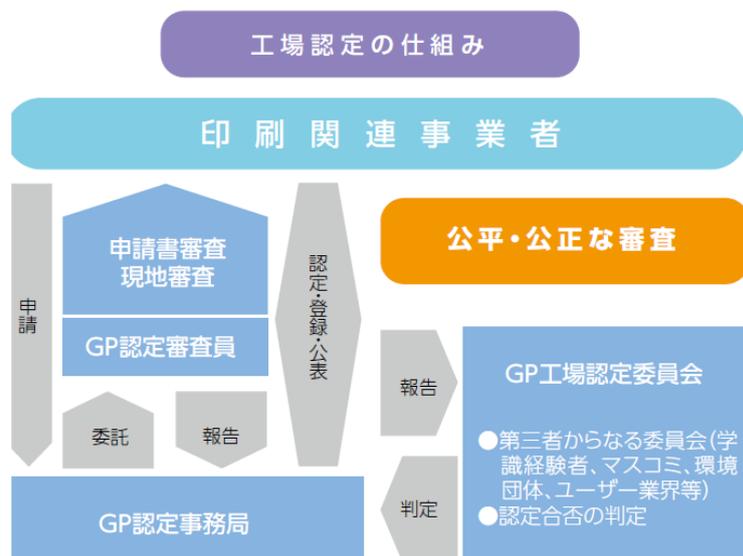
付図 20 GP 認定の種類

付表 13 GP 認定の 3 種類の概要

種類	認定内容	審査方法
資機材認定	印刷工場が使用する資材や機械設備 (洗浄剤、エッチ液、印刷版、現像機、セッター、製版薬品、デジタル印刷機等) を認定。	・資機材メーカーの認定基準適合証明書を元に環境配慮達成度を審査。GP 事務局でランクを設定し、認定委員会で承認する。 ・GP 資機材として認定を受けたのは累計で 691 製品 (40 社)。
工場認定	印刷工場の製造工程の環境配慮を認定	4 つの印刷方式 (オフセット、シール、グラビア (軟包装)、スクリーン) ごとに定められた認定基準 (事業所全体および工程別) に基づいて審査
製品認定	GP 認定工場が製造し、用紙、インキ、製本・表面加工方法等が環境配慮基準を満たした印刷製品への GP マーク (環境ラベ	・環境ラベル (GP マーク) は認定を受け、条件を満たしていれば認定工場の判断で入れることができる。

	ル)表示	
--	------	--

日産連の会員 10 団体に所属する企業が GP 認定を申請し、印刷会社の勤務経験のある GP 認定審査員が書類審査及び現地審査を行い、その報告に基づいて、第 3 者からなる GP 工場認定委員会が認定の可否を判断する。



付図 21 GP 認定の審査の仕組み

(3) 認定基準と受審イメージ

工場認定の場合、GP 認定マークは、環境配慮の達成度に応じてワンスターからスリースターにまで分かれる(付表 14)。印刷方式、工程などの種類別にチェックリスト(付図 22)が策定されており、申請者は自社の達成度を点数付けし、エビデンスを提出する。

付表 14 GP 認定工場の認定基準

	ワンスター	ツースター	スリースター
GP マークの種類	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001
工程の環境配慮(注 1)	少なくとも印刷工程が GP 工場	全工程が GP 工場	全工程が GP 工場
印刷資材の環境配慮(注 2)	水準 2 以上の印刷資材	水準 2 以上の印刷資材	水準 1 の印刷資材(水準の区分が無い場合はその基準)

(注 1)印刷発注者が印刷原稿・版下を用意する場合は GP 工場が受け取った後の工程

(注 2)資材については、環境配慮度がより高い資材を水準 1 としている。

④印刷（プレス）工程…輪転印刷

日印産連「オフセット印刷サービス」グリーン基準			グリーン基準の取組み評価及びチェック					申請時に必要な				
項目	該当有無	グリーン原則	グリーン基準	必須項目	評価・チェック項目	実施状況・数量など	単位	達成点数	基準点数	添付書類		
工 程	輪転印刷 該当 チェック <input type="checkbox"/>	①VOC発生を抑制している	・熱風乾燥印刷の場合、VOC排出処理装置（脱臭装置）を100%設置し適切に運転・管理していること。またはV印刷を行っていること	必須	実施・導入状況	している していない	-		3			
			・湿し水からのVOC発生を抑制していること	-								
			・水なし印刷システムを採用していること（※）	-	導入状況	している していない	-		3		【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・湿し水循環システムを採用するなど、IPA濃度を5%未満に管理していること	-	実施・導入状況	している していない	-		3		【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・環境配慮型湿し水を使用していること	-								
			＜水準-1＞ スリースター認定のエッチ液を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		5		購入実績表	
			＜水準-2＞ ワンスター認定以上のエッチ液を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		3			
			・洗浄剤からのVOC発生を抑制していること	-								
			・自動布洗浄を使用する、または自動液洗浄の場合は循環システムを使用していること	-	導入状況	している していない	-		3		【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・環境配慮型洗浄剤を使用していること★	-								
＜水準-1＞ スリースター認定の洗浄剤・含浸型洗浄布を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		5		購入実績表				
＜水準-2＞ ワンスター認定以上の洗浄剤・含浸型洗浄布を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		3						
・廃ウェス容器や洗浄剤容器に蓋をする等のVOC発生抑制策を講じていること	必須							3	手順書			

付図 22 チェックリストの例

3. GP 認定の波及効果

一部のクライアントは GP マークを入れることが発注条件になっており、そのクライアントから受注している工場は仕事が増えている。GP 製品は 2018 年度下期までの累計で 592.8 百万部になり増加傾向にある。

事例 7 の参考資料

- 1) (一社)日本印刷産業連合会、社会責任報告書 2018-2019、2019 年 3 月
- 2) (一社)日本印刷産業連合会ホームページ、<https://www.jfpi.or.jp/greenprinting/>

協力団体・企業

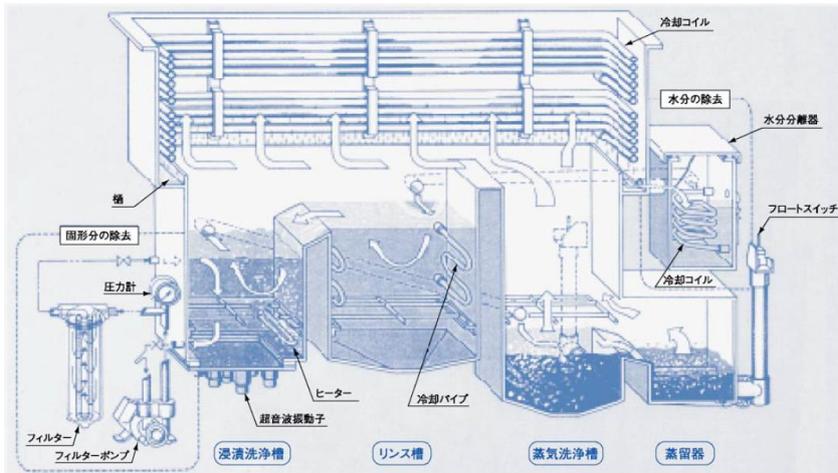
(一社)日本印刷産業連合会

事例 8 洗浄作業における蓋・カバーの設置

洗浄は金属加工における脱脂洗浄などに欠かせない処理工程である。洗浄剤は水を除けば溶剤が使用され、揮発性がないと洗浄機能を発揮できないのが特徴である。

1. 洗浄装置の構成

代表的な非引火性溶剤用の洗浄装置は付図 23 のような三槽式洗浄機である。浸漬洗浄槽、リンス(すすぎ)槽、蒸気洗浄槽から成る。蒸気洗浄は、洗浄溶剤を温めてベーパーを発生させ、その蒸気とワークの温度差で仕上げ洗浄する。その後ワークを冷却コイル付近まで持ち上げ、溶剤を冷却凝縮させ、回収する。



付図 23 代表的な形式である湿式開放型三槽式洗浄機

2. 産業洗浄における VOC 対策

洗浄作業における主な VOC 対策は付表 15 のようにまとめられている。自主的取組の中で比較的簡単に出来る対策として、蓋・カバーの設置、および冷却の適正化が挙げられる。

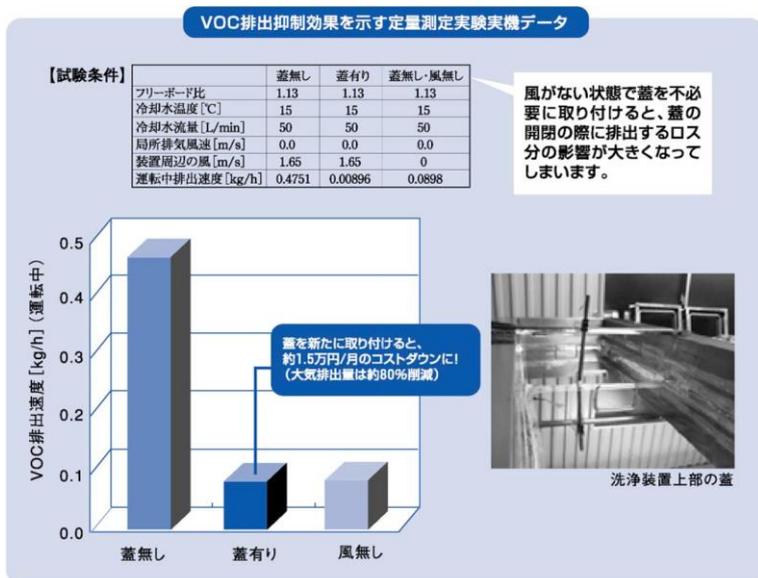
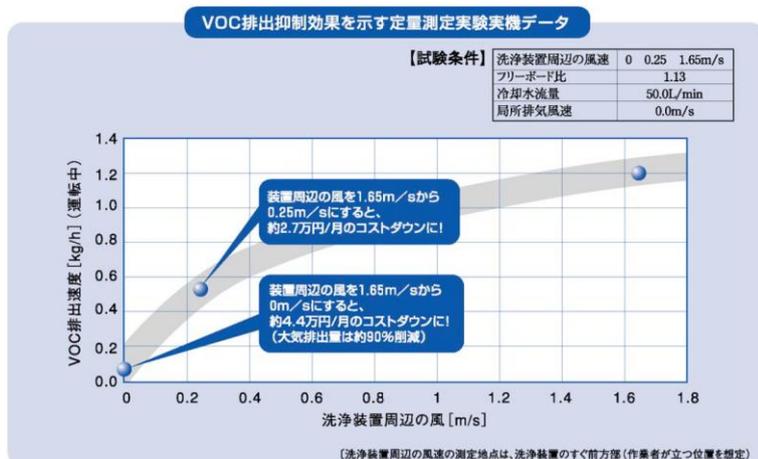
付表 15 産業洗浄における VOC 排出削減対策の一覧

対策の種類	具体的方法	VOC排出抑制効果 (注:詳細な条件も確認のこと)	対策に必要な イニシャルコスト	コストダウン事例 (洗浄剤削減分)	
洗浄工程の改良	・起動、停止の手順	—	ゼロ	—	
	運転・操作の改善	・洗浄装置周辺の風の減少	約60~90% (モデル洗浄装置データp9参照)	10万円程度	2.7~4.4万円/月
		・ドゥエル方法の検討	約15~80% (モデル洗浄装置データp11参照)	ゼロ	0.2~1.8万円/月
		・被洗浄物による持出量削減	約80% (モデル洗浄装置データp12参照)	1万円程度	1万円/月
	洗浄装置の改造	・局所排気方法の検討	約70~85% (モデル洗浄装置データp10参照)	0~100万円	2.2万円/月
		・蓋、カバーの設置	約80% (モデル洗浄装置データp13参照)	1~50万円	1.5万円/月
		・冷却効果の適正化	約10~30% (モデル洗浄装置データp14参照)	10~100万円	0.14万円/月
・フリーボード比の確保		約20% (モデル洗浄装置データp15参照)	100万円以下	0.1万円/月	
代替洗浄剤の導入	・水系、準水系、炭化水素系、ハロゲン系(フッ素系、臭素系)などの洗浄剤	100% (但し、代替物質の排出は別)	数千円 (装置入れ)		
回収・再生装置の導入	・活性炭吸着法 ・圧縮深冷凝縮法	60~80%	数百万~ 2千万円		
装置の密閉化	・減圧蒸気洗浄システム ・密閉型洗浄装置	70~80%	数百万~ 2千万円		

3. 蓋、カバーの設置

揮発した洗浄剤は、冷却コイルで凝縮回収されるが、それでも一部は槽外に揮散する。従って、洗浄作業をしていない場合には、蓋やカバーをし、揮発を抑制することが有効である。無風状態よりも装置周辺に風がある場合、溶剤液面上の飽和蒸気が持ち去られることによりさらに蒸発が促進される。蓋、カバーの設置は溶剤液面に外乱気流が当たるのを防ぐ役割も果たす。外乱気流は、洗浄槽に局所排気装置を設けている場合、その吸い込みを阻害する要因にもなる。

脱脂性が高いトリクロロエチレンなどの洗浄剤を使う場合には樹脂製の蓋は適していない。金属(ステンレス)製の蓋が良い。



付図 24 蓋閉めによる効果の測定例

◎密閉型の洗浄装置(参考)

密閉型の洗浄装置も開発されている。溶剤の揮散ロスは相当程度抑えられるが、装置導入の初期コストが掛かることと、蓋を閉めるなど開放型よりも 1 回のバッチ作業に作業時間を要するため、同一時間に処理できるワークの数が減少してしまう欠点がある。

協力団体・企業

日本産業洗浄協議会

事例 9 冷却の適正化

1. 冷却水の冷却方法の特徴

洗浄装置の上面は、ワークの取り出しなどの作業性から一般には開放されている。かつてフロン類や1,1,1-トリクロロエタンなど安価な洗浄剤を用いていた時代には、高い冷却性能は求められていなかったが、洗浄溶剤の価格が上がったために、蒸発ロスを抑えたいことや、VOC 排出抑制が求められるようになってきた。そこで、冷却コイルを流れる冷却水温度の適正化を図ることが有効である。

かつては安価で性能の良い大型冷水器が無かったこともあり、地下水やクーリングタワーが利用されていたようである。現在、代表的な塩素系洗浄剤はトリクロロエチレン(沸点 89℃)とジクロロメタン(沸点 42℃)である。ジクロロメタンや、フッ素系洗浄剤のような低沸点溶剤では、クーリングタワーでは十分に冷却できない。

付表 16 洗浄装置の冷却水の冷却方法とその得失

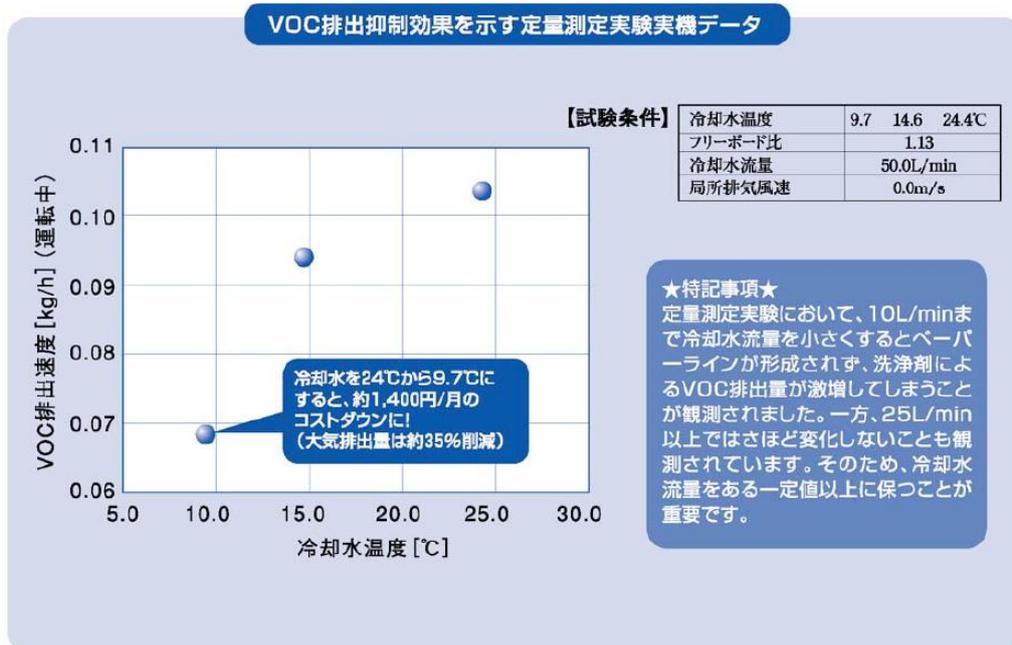
冷却方法	特徴	短所
地下水	<ul style="list-style-type: none">・地域によっては安価に利用できる・水道水よりは低温	<ul style="list-style-type: none">・温度コントロールには限界がある。・使用水量の制限を受ける場合もある。
クーリングタワー	<ul style="list-style-type: none">・比較的導入コストが安い。・消費電力が少ない。	<ul style="list-style-type: none">・最大で外気温 -5℃程度の冷却性能が限度である。・夏場はよく冷えず、冬場は逆に冷えすぎる問題がある。・水のミストが発生するため、屋内には設置できない。・一定温度のコントロールはできない。
冷水器	<ul style="list-style-type: none">・安定した冷却性能を得られる	

冷却水は低温ほど蒸発ロスが少ないが、冷えすぎると空気中の水分が結露し、洗浄剤に過剰な水分が混入する原因になる。10～15℃にするのが適当である。25℃の時の気化放散量を1とすると、10℃では0.6になる。

冷水器を導入すると、夜間連続運転や、年間を通じて安定した温度で運転することが可能である。洗浄装置の運転開始時には洗浄機のヒーターを ON にする 10～20 分前から冷却水を流し、洗浄装置停止後は 30 分後(液温低下後)に冷却水を停止することにより、立ち上げ、シャットダウン時の冷却効果が損なわれるのを防ぐことができる。

2. 冷水器導入に当たっての注意点

洗浄装置側の状況(発熱量等)によって冷水器の能力を検討する必要があり、設置場所などの面もあることから、クーリングタワーを冷水器に入れ替える場合は、洗浄装置メーカーに相談することが適切である。日本産業洗浄協議会のホームページの「洗浄相談」でも、技術的な相談を受け付けている。



付図 25 冷却水温度の改善効果の測定例

3. 冷却性能の評価計算例

冷却性能の評価計算の例を示す。必要な物性値を付表 17 に、運転パラメータを付表 18 に示す。

これらの値より、洗浄剤の凝集量と蒸発量がそれぞれ次式により求められる。凝集量 >> 蒸発量なら、冷却は良好である。

$$\begin{aligned} \text{冷却による洗浄剤の凝集量} &= \text{冷却水が吸収した熱量} \div \text{洗浄剤の蒸発エンタルピー} \\ &= (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \times Q_{\text{water}} \times C_w \div \Delta H_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{溶剤の蒸発量} &= \text{ヒーター供給熱量 (kJ/h)} \div \text{洗浄剤の蒸発エンタルピー} \\ &= W_{\text{heat}} \times 3600 \div \Delta H_m \end{aligned}$$

付表 17 物性値

物質	熱容量 (kJ/°C・kg)	蒸発エンタルピー (kJ/kg)
水	C_w : 4.18	ΔH_w : 2,259
ジクロロメタン	C_m : 1.20	ΔH_m : 330
トリクロロエチレン	C_t : 0.93	ΔH_t : 239

付表 18 運転パラメータ

パラメータ	記号	備考
冷却水入口温度	T_{in} (°C)	測定値
冷却水出口温度	T_{out} (°C)	測定値
冷却水流量	Q_{water} (kg/h)	チラー水量などから計算
ヒーター容量	W_{heat} (kW)	装置仕様から確認

事例 8、事例 9 の参考資料

- 1) 産業洗浄における自主的取組マニュアル、環境省、2007 年 3 月
(このマニュアルにおける数値、グラフは、洗浄剤としてジクロロメタン(慣用名:メチレンクロライド、塩化メチレン、 CH_2Cl_2)を使用した場合のデータである)
- 2) 産業洗浄現場における VOC 対策事例集、環境省、2008 年 3 月
- 3) 工業洗浄工程における VOC 排出抑制の事例、関東経済産業局 平成 30 年度 VOC 排出抑制セミナー、日本産業洗浄協議会・梅木義彦氏講演資料、平成 31 年 1 月 29 日
- 4) トコトンやさしい洗浄の本第 2 版、2017 年 11 月、B&T ブックス
- 5) 工業洗浄工程におけるトリクロロエチレン排出抑制の事例、新潟県トリクロロエチレン排出抑制セミナー、日本産業洗浄協議会・梅木義彦氏講演資料、平成 31 年 1 月 22 日
- 6) VOC 対策取組事例集—アドバイザー派遣事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き(平成 21 年度版)一、近畿経済産業局、平成 22 年 3 月
- 7) 産業洗浄協議会ホームページ(洗浄相談)、<http://www.jicc.org/consultation/index.html>

協力団体・企業

日本産業洗浄協議会

事例 10 スプレー製品における低 VOC 製品の動向

スプレー製品は主に日用品として多くの家庭用品で使われている。ポンプ構造の多様化や、新しいバルブの開発、圧縮ガスの使用は、主に製品の多様化や、品質保持の目的で開発されたものであるが、結果として VOC の排出削減に寄与する場合がある。

1. エアゾール製品

エアゾール製品とは、気化した液化ガスまたは圧縮ガスの圧力によって、内容物を容器の外に自力で霧状や泡状などにして放出させる製品である。噴射剤となる液化ガスとしては現在主に LPG(プロパン、ブタン)、DME(ジメチルエーテル)、HFO(ハイドロフルオロオレフィン)などが使われている。処方中に占めるガス量によって、概ね以下のように分類される。

付表 19 エアゾール製品の分類

種別	処方中のガス量	用途	製品の例
空間用 (霧)	ガス量 60～80%	広い空間、あるいは遠くまで噴射させる用途	殺虫剤、消臭剤
表面用 (霧)	ガス量 40～60%	霧状に噴射し塗布する用途	塗料、ヘアスプレー
泡	ガス量 5～10%	泡状に吐出する用途	泡製品(シェービングクリーム、ガラスクリーナー等)

(1) 容器の多様化

①二重構造容器(バッグオンバルブ(BOV))

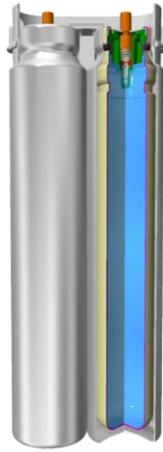
バルブに内容物(スプレー成分)の入ったパウチバッグが付いており、パウチの外側の噴射ガスの圧力によって吐出するタイプの製品(付図 26(1))。製品例として後発泡シェービングジェル、化粧水スプレーなど。品質保持に有効。噴射剤は窒素ガスが使用される。

②使用直前に混合するタイプの製品

2本の容器を1つの噴霧治具に結合した構造で、噴射時に2つの成分が混合されて吐出するタイプの製品。例として染毛剤の染料が第1容器、酸化剤が第2容器のものなど(付図 26(2))。1本の容器に異なる2成分を収納し、噴射時に混合して吐出するものもある(付図 26(3))。いずれも噴射剤は窒素ガスが使用される。



(1) 二重構造容器
(バッグオンバルブ)



(2) 直前混合タイプ
(容器分離型)



(3) 直前混合タイプ
(2 バッグ収納型)

付図 26 様々なタイプのエアゾール製品の容器構造

③ 容器の小型化

エアゾール製品の容器は圧力容器であり、ブリキまたはアルミ製が殆どを占める。容器の容量が100mL以下の小型容器の製品も増えている。容器の小型化により溶剤や液化ガスの削減を図る。小型化が進んだ代表的な製品例は、携帯用各種製品、定量型殺虫剤、芳香剤、などがある。

(2) 低吐出量バルブの開発

バルブ構造の開発により、旧来の連続噴射式でなく、①定量吐出型バルブ(1回のプッシュで一定量を吐出)、②プッシュ式、③タイマー式などの製品が製造されている(付図 27)。

(3) 圧縮ガスの利用

噴射剤として、可燃性の液化ガスでなく、窒素、二酸化炭素、空気、酸素などの圧縮ガスを使用した製品も作られている(付図 27)。圧縮ガスの場合、製品の終期には圧力が急激に低下するため、空間用途には向かない。



付図 27 定量型、タイマー式製品のイメージ
出典:文献 1)



付図 28 圧縮ガスの利用

2. ポンプ式製品

高い吐出圧力(飛散距離)を必要とせず、粒子が粗くて良い場合には、ハンドスプレー、プッシュ式などのプラスチックボトルを利用したポンプ式の製品(エアゾール製品ではない)がある。ハンドルを握ったり、ボタンを押す時の空気の圧力で吐出する。製品例としては、浴槽の洗浄剤、化粧品などがある。



付図 29 ポンプ製品
出典:文献 1)

3. 摘要上の注意

- ・エアゾール製品の噴射剤は、フロンによる成層圏オゾン層破壊問題を契機に、1990 年頃にフロンから LPG や DME などの可燃性ガスに置き換わった。このため、廃棄時の爆発事故への注意が必要である。
- ・液化ガス(LPG など)を噴射剤とするエアゾール製品は液相と気相の平衡により、使用当初から最後まで噴射ガスの圧力が維持されるため、空間用途(飛散距離を必要とする殺虫剤など)には適している。圧縮ガス(N₂など)を噴射剤とするエアゾール製品の場合には気体であるため、使用の終末期には吐出圧力が急激に落ちる性質があり、そのため初期充填圧力が高く設定されている。
- ・圧縮ガスを噴射剤とするエアゾール製品やポンプ製品の場合、噴射剤には VOC を含まないが、スプレー成分には VOC が含まれることがある。

事例 10 の参考資料

- 1) 身近な低 VOC 製品の選び方ガイドブック、東京都環境局、平成 30 年 3 月
- 2) スプレー製品の広報活動 安全・環境負荷低減の取組み、東京都環境局シンポジウム「光化学スモッグのない夏をみんなの手に!」、(一社)エアゾール協会講演資料、平成 29 年 3 月 9 日
- 3) (一社)日本エアゾール協会ホームページ、<https://www.aiaj.or.jp/index.html>

協力団体・企業

東京都、日本主婦連合会、(一社)日本エアゾール工業会

4.3. その他の主要な取組情報、有効な既存の事例情報・支援情報等

(1) 環境省「揮発性有機化合物（VOC）対策」

環境省では、法規制に係る審議会資料、測定法、各種マニュアルや技術資料、VOC インベントリの取り纏め結果などを公表している(表 4-8)。対策概要、マニュアル、事例集の他、VOC 対策功労者表彰は表彰を受けた事業者の具体的な取組の概要を紹介している。近年では 2018 年度から環境省・経済産業省資源エネルギー庁の共管で開始された e→AS(イーアス)制度(燃料蒸発ガスの回収装置を備えたガソリンスタンドの認定制度)に関する情報が追加されている。

表 4-8 環境省の VOC 関連の公表情報

掲載項目	内容
①VOC 排出規制制度	改正大気汚染防止法、関係する政省令、通知
②VOC 濃度測定法	VOC 測定法(VOC、除外物質)、分析計の性能試験方法
③審議会答申等	VOC 排出抑制検討会、中央環境審議会、VOC 排出インベントリ検討会、VOC 排出抑制対策検討会及び小委員会
④関係資料	VOC 制度関係資料 自主的取組に関する資料 ・産業洗浄による自主的取組マニュアル ・産業洗浄現場における VOC 対策事例集 ・はじめよう VOC 排出抑制対策～産業洗浄編～ ・はじめよう VOC 排出抑制対策～ドライクリーニング業編～ ・すぐにできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き) VOC 排出抑制技術に関する資料 ・VOC 排出抑制技術の概要 ・環境技術実証モデル事業(VOC 処理技術分野など) ・VOC 用測定器(公定法、簡易測定法) ・VOC 脱臭処理技術評価ガイド
⑤VOC 排出インベントリ	VOC 排出インベントリ報告書(H19～H31)
⑥VOC 対策功労者表彰等	大気環境保全活動功労者表彰(H18)、揮発性有機化合物対策功労者表彰(H19～H22)
⑦大気環境配慮型 SS(e→AS(イーアス))	燃料蒸発ガスを回収する計量機を設置しているガソリンスタンドの認定制度。e→AS に認定された SS を公表。

(2) 経済省の「揮発性有機化合物（VOC）排出抑制に向けた取組」

経済産業省では、業界団体からの自主的取組報告を取りまとめ、産業構造審議会の小委員会でレビューしている関係で、自主的取組関連の公表情報が中心である(表 4-9)。対策技術に関しては、いくつかの事例集が掲載されている。

「VOC 排出抑制の手引き」は経済産業省の調査事業(平成 17 年度産業公害防止対策調査(VOC 対策技術調査))で平成 18 年 4 月に初版が作成された。制度の経緯に関する資料から技術資料(測定方法、排出量算定方法、主要な VOC 製品の成分概要情報)、業界団体や企業における自主的取組の具体的な実施手法に関する資料(自主行動計画策定方法、参加企業のアンケート方法)に至るまで網羅的に解説した資料である。平成 22 年度に、目標期間の間に蓄積された実績情報などを追記して改訂されている。

表 4-9 経済産業省の VOC 関連の公表情報

掲載項目	内容
注目情報	最新年度の自主的取組成果 リーフレット 自主的取組促進のための指針(H25.11) VOC 排出抑制対策セミナー 環境・エネルギー対策資金
調査・報告書	取組事例を含む報告書類 ・VOC 対策事例集(H24.1、関東経済産業局) ・今すぐできる！コストダウン・作業効率アップにつながる自主的取組(H22.3、中部経済産業局) ・VOC 排出抑制の取組事例(H28.1、中国経済産業局) ・VOC 排出抑制の手引き、参考資料(H22.10)((一社)産業環境管理協会)
リンク	VOC 対策ホームページ(以前の経済産業省-VOC 対策のサイト) VOC 自主的取組支援ボード((一社)産業環境管理協会) 産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会

(3) 東京都の「揮発性有機化合物 (VOC) 対策」

東京都は、VOC 対策技術を 1 技術 1 葉の形式でまとめた「VOC 対策ガイド」や、中小企業向けに無料で訪問相談を受けられるアドバイザー制度を平成 17 年度より始めており、公開資料についても充実している。セミナーに関しても、塗装、印刷などの業種別よりもさらに細分類にまで踏み込み、容器包装用の印刷、屋外構造物重防食塗装など、細かくテーマを設定してのセミナーも開催している。セミナーでの講演資料は基本的に公開されており、参考資料として利便性が高い。

表 4-10 東京都の VOC 関連の公表情報

掲載項目	内容
(東京都の施策概要)	夏季の VOC 対策 VOC 排出削減対策の必要性 東京都の VOC 対策の概要について
VOC 対策セミナー	東京都主催セミナー(講演資料あり)(H18～) 平成 20 年度以前のイベント(東京都が主催、後援、講演したもの)
VOC 対策アドバイザー派遣制度	中小企業を対象に対策助言、簡易測定
VOC 対策ガイド	工場内編(平成 17 年初版発行、平成 28 年 3 月改訂) 建築・土木工事編(平成 25 年 6 月発行、平成 27 年 3 月改訂)
低 VOC 塗装推進	低 VOC 塗装普及に向けたワーキンググループ(H26) 低 VOC 塗装による VOC 削減効果の見える化検討調査(H27) 低 VOC 塗装における各事業者の取組事例(鉄道会社、電力・ガス会社、自治体等) 橋梁等における低 VOC 塗装の塗膜性能追跡調査について
その他の情報	VOC 対策委員会、光化学オキシダント対策検討会、大気環境モニタリングに関する検討会、環境技術実証モデル事業(VOC)、民間と連携した VOC 対策の取組等
暮らしの中の VOC	民生品からの VOC 対策

(4) その他の自治体における VOC 関連情報

東京都以外で大気汚染防止法に基づく法令や届出以外に、自主的取組や技術情報、事例集などを紹介している自治体のホームページを表 4-11 に示す。

表 4-11 自治体で VOC 関連の公表情報が充実しているホームページの例

自治体名	URL
神奈川県	揮発性有機化合物 (VOC) の排出削減について https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pf7/voc/index.html
埼玉県	埼玉県の VOC 対策 https://www.pref.saitama.lg.jp/a0504/saitamavoc/index.html
千葉県	VOC (揮発性有機化合物) 対策 https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/voc/index.html
愛知県	VOC (揮発性有機化合物) の排出抑制対策 https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000022713.html
広島県	揮発性有機化合物 (VOC) 排出規制について https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e1-voc-vocindex.html

(5) 国や自治体におけるその他の参考情報

法と自主的取組のベストミックス施策の制度紹介をしている資料は、経済産業省の「VOC 排出抑制の手引き」以外に、愛知県が同じ資料名であるが、平成 19 年に製作している。広島県でも平成 20 年に「VOC 排出抑制ガイド」が作成されている。

中小企業を対象に、専門家を派遣して対策のアドバイスを行うアドバイザー派遣制度は東京都以外にも、埼玉県、千葉県、川崎市が創設している。アドバイザー派遣制度はどの自治体でも運用方法はほぼ同じであり、アドバイザー派遣を希望する事業者が申込を行い、内容に応じて専門分野のアドバイザーを派遣し、技術的なアドバイスを行うものである。

表 4-12 VOC に関する制度紹介、アドバイザー派遣制度

分類	内容
制度紹介等の資料	経済産業省 VOC 排出抑制の手引き 第 3 版 (平成 22 年 10 月) →表 4-9
	愛知県 VOC 排出抑制の手引き (平成 19 年 6 月作成、平成 31 年 4 月改訂) 本編 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/291989.pdf 資料編 1 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/291990.pdf 資料編 2 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/291991.pdf
	広島県 VOC 排出抑制ガイド (平成 20 年 2 月) https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/21140.pdf
アドバイザー派遣制度	東京都 VOC 対策アドバイザー派遣制度 →表 4-10 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/voc/adviser/index.html
	埼玉県 VOC 対策サポート事業 https://www.pref.saitama.lg.jp/a0504/support.html
	千葉県 VOC 対策アドバイス制度 https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/advice.html
	川崎市 VOC 対策アドバイザー派遣制度について http://www.city.kawasaki.jp/300/page/0000062800.html

対策技術や対策事例をまとめた公表資料について表 4-13 に示す。

東京都の対策ガイドや愛知県の対策技術情報資料は、1 つ 1 つの技術を 1～2 ページで簡潔にメニュー式で紹介した資料である。経済産業省の有害大気汚染物質対策の経済性評価調査や東京都の「大気中微小粒子状物質検討会報告書 資料編 3」は、対策紹介にとどまらず、対策の経済性効率や費用対効果にまで踏み込んだ資料となっている。

対策事例集についても、経済産業局などの枠組みで盛んに製作されている。千葉県や愛知県などの自治体でも、県内の事業者の具体事例を公表している。

表 4-13 VOC の対策技術情報、対策事例情報

分類	内容
対策技術資料	有害大気汚染物質対策の経済性評価調査、平成 13～15 年度、経済産業省
	産業公害防止対策調査(VOC 対策技術調査)、平成 16、17 年度、経済産業省
	東京都対策ガイド →表 4-10
	東京都 大気中微小粒子状物質検討会 報告書 資料編 3 対策事例調査、令和元年 7 月 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/torikumi/pm2_5/pm2_5.html
	愛知県 塗装、印刷、接着、洗浄、ドライクリーニング、給油など各分野における VOC 対策技術の情報を紹介(VOC 排出抑制に関するアンケート集計結果の参考資料) 前編 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13637.pdf 中編 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13638.pdf 後編 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13639.pdf
事例集	VOC 排出抑制の取組事例、中国経済産業局、平成 28 年 1 月(セミナー資料の一部) https://www.chugoku.meti.go.jp/topics/kankyo_recycle/pdf/160203/okayama4-1.pdf
	VOC 対策事例集、関東経済産業局、平成 24 年 1 月
	今すぐできる！コストダウン・作業効率アップにつながる自主的取組、中部経済産業局、平成 22 年 3 月 https://www.chubu.meti.go.jp/d22recycle/data/zireisyu104.pdf
	VOC 対策取組事例集～アドバイザー派遣事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き～ 平成 21 年度版、近畿経済産業局、平成 22 年 3 月 http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H21voc_case.pdf
	中小企業等産業公害防止対策調査(関東経済産業局管内における揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制のための調査)、関東経済産業局、平成 21 年 3 月(報告書内に事例を収録)
	VOC 対策先進事例集～取組事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き～、近畿経済産業局、平成 19 年 3 月 http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H19voc_case.pdf
	千葉県 揮発性有機化合物の排出抑制対策事例集(Web 上の公表) https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/jirei.html
	愛知県 VOC 排出抑制取組事例集(平成 22 年作成、平成 25 年 2 月、平成 26 年 1 月に追加)(Web 上でも公表) https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000036567.html

(6) 自主的取組の支援団体

経済省が取りまとめる自主的取組での支援団体について記す。

①日本産業洗浄協議会

日本産業洗浄協議会(産洗協)は、洗浄装置メーカー、洗浄剤メーカー、関連機材メーカー等からなる業界団体である。産業洗浄が、多くの業種にまたがって利用されることから、産洗協として自主的取組の自主行動計画等を取りまとめるのではなく、支援団体として活動している。

②(一社)産業環境管理協会

(一社)産業環境管理協会は、公害防止管理者資格に係る業務を主体として来たことから、様々な業種の企業会員を有している。有害大気汚染物質の自主管理に関連する調査や、その後 VOC 関連の調査やセミナーを多数実施している。平成 18 年度の経済産業省の調査(VOC 排出実態調査)において、事業者アンケートを行ったところ、自主的取組に参加できない理由の 1 つとして「報告先の業界団体が無い」との回答があったことを受け、業界団体に所属しない事業者が、自らの自主的取組の成果を経済産業省に報告できるよう、受け皿として「VOC 自主的取組支援ボード」を平成 19 年 10 月に開設した。同協会の豊富な経験を踏まえ、自主行動計画のまとめ方や、排出量報告のやり方など、自主的取組参加のための助言を受けることが出来る。

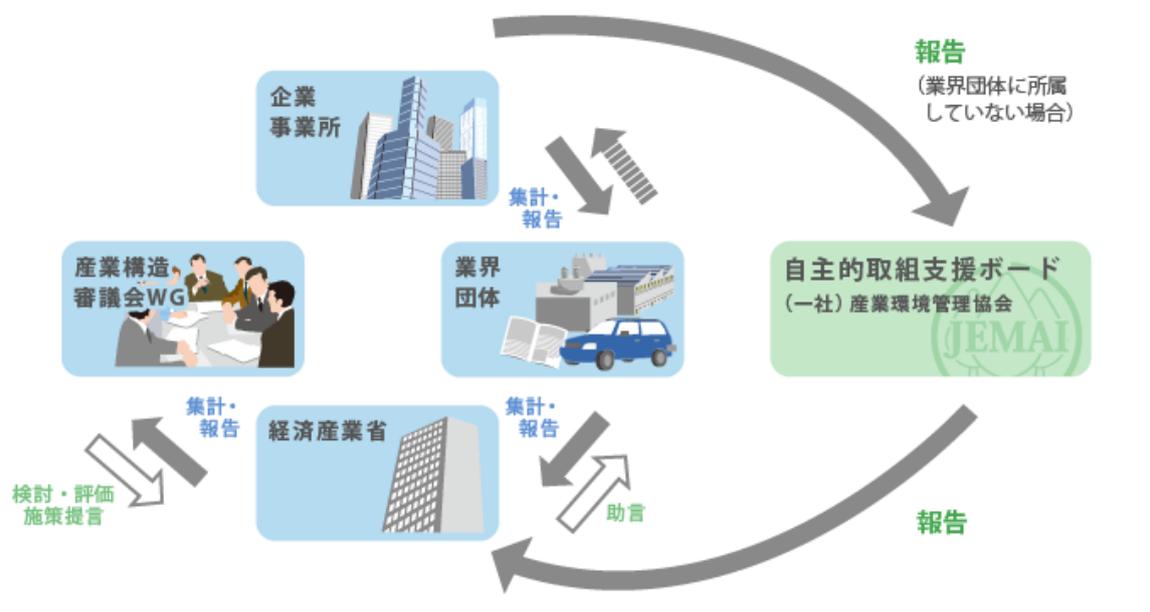


図 4-1 VOC 自主的取組支援ボード

参考資料

- 1) 環境省 <https://www.env.go.jp/air/osen/voc/voc.html>
- 2) 経済産業省 <https://www.meti.go.jp/policy/voc/index.html>
- 3) 東京都 https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/voc/index.html
- 4) 日本産業洗浄協議会 <http://www.jicc.org/>
- 5) (一社)産業環境管理協会 (VOC 自主的取組支援ボード)
<http://www.jemai.or.jp/tech/about.html>

5 まとめ

5-1. 指標の検討

(1) 本年度における指標の検討結果

VOC の排出削減がオゾン濃度の低減に寄与した効果を評価するため、2 つのオゾン低減効率指標を定義し、表 3-2、表 3-3 の計算条件で指標を算出し検討を行い、次の結果を得た。

- (結果 1) オゾン集団暴露量低減効率及びオゾン存在量低減効率は業種間で大きく異なり、この変動要因は、VOC 組成(MIR)だけでなく排出削減場所(立地)の影響も大きい。
- (結果 2) オゾン量等低減効率は地方間で大きく異なり、関東 > 近畿 > 東北の順で、近年は減少傾向にあり、VOC 削減がオゾン低減に効きにくくなっている。

(2) 本年度の検討結果を見る上での注意点

本業務の範囲では、結果を見る上で、以下の点に注意が必要である。適切な VOC 対策や、今後の施策の方向性を検討するためには、更なる多くの検討が必要である。

- (注 1) 本業務の結果は固定発生源 VOC のみを削減する仮定を置いて計算しており、NOx 削減も考慮した検討は 3-4 章で考察しているが、今後更なる検討が必要である。
- (注 2) 3-3 章(4)②で検討した通り、指標の線形性を仮定(削減量が変わっても指標値は変わらない)しているが、VOC や NOx の削減量を極端に大きくした場合(例えば全廃を仮定した計算)では、線形性の仮定が成り立たなくなる可能性がある。
- (注 3) 3-4 章(3)②で考察したとおり、風速等の気象条件が異なると、オゾン濃度低減量の分布が変わり(図 3-30)、オゾン集団暴露量低減効率は変化する。今回の指標試算の結果(図 3-14、図 3-16)が、夏期の特定の気象条件 1 ケースでの結果であることに留意が必要である。

(3) 今後の方向性と課題

指標の検討に関する具体的な今後の課題事項については詳細は 3-5 章で述べたが、計算結果に対して他研究との比較検討等を行いつつ、概ね以下の検討の方向性が考えられる。

- (方向性 1) 他の様々な計算条件での検討
春季気象パターン、NOx 削減シナリオ、現実に近い条件や極端な仮定での試算
- (方向性 2) 計算精度に及ぼす要因と整合性の検討
植物起源 VOC 排出量の影響、現実のオゾン濃度の経年変化の再現性確認
- (方向性 3) 対策や施策検討への展開、およびそれに適した指標の検討
各種対策実施シナリオに基づく将来オゾン濃度の推定、対策費用を加味した効率性指標の検討

また、実際に複雑事象であることを勘案すると、固定発生源 VOC の排出削減のみに着目した検討ではなく、現在は不確実性の大きい植物起源 VOC、オゾン生成を大きく左右する NOx の削減シナリオ、更には、PM2.5 とオキシダントへの影響のバランスなど、横断的な視野を持って今後の検討を進めていく必要がある。

5-2. 事例調査

業界団体を始めとする 7 団体に一次ヒアリング、4 団体等に二次ヒアリングを行い、10 事例の VOC 対策について取りまとめ、これに参考情報を付加して広報資料を取りまとめた。広報資料は電子データ(PDF)を作成し納品した。