

大気中微小粒子状物質等検討会〔第2回〕 対策事例調査経過報告

中央復建コンサルタンツ株式会社

1. 対策事例の収集状況

(1) 各分野における対策・施策の収集状況

PM_{2.5}・光化学オキシダント前駆物質の削減対策・施策の収集状況を表 1.1～1.2 に示す。

表 1.1 PM_{2.5}・光化学オキシダント前駆物質の削減対策・施策の収集状況（1/2）

発生源	分類	対策・施策名	物質別対策効果の有無				
			NO _x	SO _x	PM	NH ₃	VOC
大規模固定煙源	燃料転換	ヒートポンプ（重油・ガスから電化へ転換）	○	○	○		
		下水熱利用ヒートポンプ	○	○	○		
	吸着・集塵	バグフィルター		○	○		
		乾式電気集塵機			○		
		湿式電気集じんシステム（NH ₃ 注入中和法）		○	○		
		湿式電気集じんシステム（溶解塩噴霧法）		○	○		
民生	燃料転換	ガスエンジンコージェネレーション	○	○	○		
		ガスヒートポンプエアコン	○	○	○		
	低VOC製品	水性塗料					○
		エアゾール噴射剤					○
		無溶剤系接着剤					○
	蒸発系固定発生源	燃料蒸発ガス低減対策	燃料蒸発ガス低減対策（STAGE II）				
燃料蒸発ガス低減対策（ORVR車）							○
駐車時燃料蒸発ガス対策（Cキャニスター）							○
塗料・塗装		水性塗料への転換					○
		粉体塗装への転換					○
		エア静電スプレー					○
印刷		紫外線硬化型（UV）インキ					○
		VOC低減インキ					○
クリーニング		溶剤回収機能付き乾燥機					○
その他		カリフォルニア消費者製品累積的規則					○
		カットバックアスファルトの製品改良					○
		調剤及び化粧品製造					○
		石油天然ガス産業（一時的な排出）					○
		半導体製造プロセスの改良					○

（注）表中の「○」は、定量的な排出削減効果を把握できていることを示す。

表 1.2 PM_{2.5}・光化学オキシダント前駆物質の削減対策・施策の収集状況（2/2）

発生源	分類	対策・施策名	物質別対策効果の有無				
			NO _x	SO _x	PM	NH ₃	VOC
蒸発系固定発生源	その他	VOC処理機能付きマイクロガスタービンコージェネレーションシステム					○
		貨物タンク船VOC削減システム					○
		工業用接着剤の代替及び改良					○
		ベーカリー等の触媒燃焼					○
自動車	削減プログラム	乗用車排出ガス削減措置(CARB)	○		○		
	低公害車	電気自動車	○		○		
		低排ガスディーゼル車(大型トラック)	○		○		
		低排ガスディーゼル車(大型路線バス)	○		○		
		ハイブリッド車	○		○		
		天然ガス車	○		○		
		LPガス車	○		○		
船舶	インセンティブ施策	E S I (Environmental Ship Index)	○	○	○		
		グリーンアワード	○	○	○		
	規制関係	燃料油規制	○	○	○		
		港付近における船舶減速プログラム	○	○	○		
	燃料転換 排ガス抑制	低硫黄燃料油、A重油等	○	○	○		
		LNG船	○	○	○		
		スクラバー		○			
		陸電(ショア・パワー)	○	○	○		
補助ディーゼル機関のクリーンエアエンジニアリング		○	○	○			
タイミングリタード	○	○	○				
アンモニア	製造	環境負荷低減アンモニア				○	
	畜産	飼料用アミノ酸添加による家畜の糞中窒素排出量の低減				○	

(注) 表中の「○」は、定量的な排出削減効果を把握できていることを示す。

(2) 対策・施策の概要

各分野（大規模固定煙源、民生、蒸発系固定発生源、自動車、船舶及びアンモニア発生施設）における対策・施策の概要及び実績・普及見込みを表 1.3～1.8 に示す。

【大規模固定煙源】

燃料転換技術として、工場・事業場の給湯器、空調機等のヒートポンプ（電化）、下水熱利用のヒートポンプの導入が挙げられる。排気ガスの吸着・集塵技術としては、バグフィルター、乾式及び湿式の電気集じんシステムが挙げられる。

表 1.3 対策・施策の概要等（大規模固定煙源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
燃料転換	電化（ヒートポンプ）	<ul style="list-style-type: none"> 給湯器、空調機等の燃料を重油・ガスから電化（ヒートポンプ）に転換する。 ヒートポンプは外気温が低い場合、性能低下となるが、技術開発の進捗により 2030 年頃からは寒冷地でも普及が進むと見込まれている。 	<ul style="list-style-type: none"> 業務用販売台数は 2006 年度に約 1,700 台/年、2011 年度には約 5,000 台/年まで増加している。 ヒートポンプ・蓄熱センターの推計では、業務用ヒートポンプは、2020 年頃から導入が進み、2030 年頃に上限に達すると見込まれている。
	下水熱利用ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 既設の下水道管路内の下水熱を回収し、ヒートポンプで冷暖房、給湯、消融雪等に利用する。 重油・ガスを用いるボイラーとのハイブリッド（補助熱源）としても利用可能である。 民間事業者による未処理下水熱利用は、平成 23 年 4 月の都市再生特別措置法等の改正により可能となった。 	<ul style="list-style-type: none"> 東京都では、後楽一丁目地区（1994 年～）、新砂三丁目地区（2001 年～）での地域冷暖房事業が挙げられる。 その他、仙台市や新潟県十日町市、愛知県豊田市などの一部の都市で試験的に導入が図られている。 欧州では、スイスやドイツを中心に、2011 年度時点で、110 地点（計画含む）への導入が実施されている。
吸着・集塵	バグフィルター	<ul style="list-style-type: none"> フィルター（ろ布）により、排出ガス中のダストをろ過捕集（限界粒径 $0.1\mu\text{m}$ 程度）する。 集塵効率は 90～99% と非常に高い。 一方で圧力損失が大きいことやサブミクロン粒子の集じん率が比較的低いなどの課題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 安定かつ高い集塵効率のため、ばい煙規制法、大気汚染防止法の制定・強化等に伴い、多くの工場、事業場で導入されている。 現在では、より微小領域での集塵効率の向上や圧力損失が改善された製品・システムが流通し始めている。
	乾式電気集じんシステム	<ul style="list-style-type: none"> 放電部と集じん極板を有する集じん部により、排出ガス中のダストを静電捕集（限界粒径 $0.1\mu\text{m}$ 以下）する。 集塵効率は概ね 90% 以上と高いが、メンテナンスの不備等で極端に低下する場合もある。 	<ul style="list-style-type: none"> バグフィルターと比較して、設置コストは高価であるが、メンテナンスにかかる作業、時間及びランニングコストは少ない。 処理ガス流量が多い工場等では、トータルコストがバグフィルターより小さくなるといわれている。
	湿式電気集じんシステム・NH ₃ 注入中和法	<ul style="list-style-type: none"> ガス状 NH₃ を集塵装置の上流煙道内に注入し、SO₃ ガスと反応させて硫酸アンモニウムを生成させ、DESP で捕集する。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の高 S 分残渣油プラントへの適用は 1998 年で、それ以来、国内 10 プラント以上で採用されている。 高濃度ガスを対象とした長期間の稼働に課題がある。
	湿式電気集じんシステム・溶解塩噴霧法	<ul style="list-style-type: none"> 平均粒径 $0.08\mu\text{m}$ の SO₃ ミスト捕集を目的として、溶解塩噴霧と脱硫装置及び湿式電気集じん装置を組み合わせた処理システムである。 NH₃ 注入中和法に比べ、超高濃度（SO₃:100ppm）でも機能する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2007 年から実機プラントで第 1 号機が稼働中であり、高濃度 SO₃ 除去技術として実証されている。 技術的に幅広い分野での普及拡大の可能性はあるが、コストの高騰がネックになると想定される。

【民生】

- ・ 燃料転換技術として、家庭用ガスエンジンコージェネレーションユニット、ガスヒートポンプエアコンが挙げられる。
- ・ 低VOC製品として、水性塗料、低光化学反応性エアゾール、無溶剤系接着剤が挙げられる。

表 1.4 対策・施策の概要等（民生）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
燃料転換	家庭用ガスエンジンコージェネレーションユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天然ガスを利用して内燃機関（ガスエンジン）で発電を行い、発生した熱を給湯ユニットや空調に活用するシステムである。 ・ 石油燃料使用時に比べて、NO_x は約 50～70%の削減、SO_xについては、ほぼ 100%除去可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2003 年頃からガス会社等での販売実績が増えている。 ・ 約 5 年毎に技術面の向上・見直し（小型化、高効率化、負荷追従制御の採用等）が図られていることから、今後の普及拡大が期待される。
	ガスヒートポンプエアコン	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内燃機関を使用した室内外の空気からのくみ上げ（暖熱）、くみ下げ（放熱）の繰り返しにより、冷房・暖房を行うシステムである。 ・ GHPは、東京都における中小企業者向け省エネ促進税制の導入推奨機器として、法人事業税・個人事業前の減免対象となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1985 年頃から販売実績があり、学校や事業所、病院等での導入事例が多い。 ・ 概ね 1～5 年毎に新製品の開発が行われていることから、普及拡大が期待される。
低VOC製品	水性塗料	<ul style="list-style-type: none"> ・ TVOC（総揮発性有機化合物）の含有率 1%未満の屋内・屋外用の塗料である。 ・ 東京都VOC対策ガイド[建築・土木工事編]（平成 25 年 6 月）において低VOC塗料として挙げられている JIS 認証取得製品である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2017 年現在で、国内の公共建物（旧多摩聖蹟記念館等）において、導入実績がある。 ・ 公共建物だけでなく、住宅の外装・内装にも使用可能であり、塗替え施工も比較的容易であることから、普及拡大が期待される。
	低光化学反応性エアゾール噴射剤	<ul style="list-style-type: none"> ・ GWP（地球温暖化係数）や光化学反応性が低いトランス-1, 3, 3, 3-テトラフルオロプロペンが原料の噴射剤である。 ・ EPAのVOC規制におけるオゾン生成能の指標で評価されており、MIR（最大増加反応性）及びPOCP（光化学オゾン生成能）が従来の噴射剤と比較して非常に低い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ アメリカで煙感知器点検スプレーや医薬品（軟膏）のスプレー化に対応している。 ・ 2010 年頃から販売、流通、使用が開始されている。 ・ 多様なエアゾール製品への適用・普及が見込まれる。
	無溶剤系接着剤	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無溶剤タイプの接着剤（アクリル樹脂系エマルション形）で、JIS F 取得製品かつ JAI A 4 VOC 基準適合製品となっている。 ・ 当該接着剤は、東京都VOC対策ガイド[建築・土木工事編]でも低VOC製品（水性接着剤）として示されており、VOC含有量が 3%（溶剤系だと 40～80%）と低い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多くの用途に応じたアクリル樹脂系エマルション形の接着剤が複数開発されている。 ・ 無溶剤系接着剤としての汎用性は高く、普及しやすい製品だと考えられる。

【蒸発系固定発生源】

- ・ 燃料蒸発ガス低減対策として、STAGE II、ORVR車の普及及びチャコールキャニスターの導入が挙げられる。
- ・ 塗料・塗装分野では、水性塗装、粉体塗装への転換、エア静電スプレーが挙げられる。
- ・ 印刷分野では、紫外線硬化型インキ及びVOC低減インキへの転換が挙げられる。
- ・ クリーニングでは、溶剤回収機能付き乾燥機の導入が挙げられる。
- ・ その他では、VOCの発生を抑制するための製品改良、製造過程での抑制及びガスタービン等の浄化設備などUSEPAで実績のある施策・技術が多数みられる。

表 1.5(1) 対策・施策の概要等（蒸発系固定発生源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
燃料蒸発ガス低減対策	燃料蒸発ガス低減対策（STAGE II）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車に給油する際に発生する燃料蒸発ガスを給油機にて回収する。 ・ 給油機に蒸発ガスの吸引装置を設置し、給油機が燃料蒸発ガスを回収して地下タンクに貯蔵又は液化し、車両への給油に再利用する。 ・ 国内大手メーカーではD型（自動車への給油時、STAGE II）とL型（ローリーから地下タンクへの補給時、STAGE I）がある。 ・ VOC排出削減率は99%以上である他、給油時のガソリン臭や引火の危険性の低減、資源の有効利用面でも効果がある。 ・ 第13次報告¹⁾では、STAGE IIの費用対効果は、使用期間7年で約13万円/トン（給油所年間販売量1,000トン以上）とされている。また使用期間が14年を超えると、規模の大きい給油所（年間販売量2,000トン以上）では費用対効果がマイナス値（利益が出る）になっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第13次報告¹⁾では、STAGE Iについては、都市部を中心に14都府県市において条例によって、対策導入の義務付け・指導が実施され、現状において更なる対策を講じる必要性は乏しいとされている。 ・ また、STAGE IIについては、法的規制によらない手法（業界による自主的取り組み）により導入を促進することが適当とされている。 ・ 都市部では懸垂式の給油所も多い（都内では30～40%程度）ことから、海外で導入事例があるような懸垂式の対応機器についても今後の普及が見込まれる。
	燃料蒸発ガス低減対策（ORVR車）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車側に大型のガソリンベーパー回収装置を搭載し、給油時のVOC放出を抑制する。 ・ 自動車の給油時、走行時、駐車時、あらゆる場面でガソリンベーパーの回収が可能である。 ・ 第13次報告¹⁾では、ORVR車の費用対効果（費用が1台あたり10,000円）は、約64万円/トン（VOC・駐車時含む）とされている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ORVRの導入が義務付けられている米国では、90%以上の普及率がある。 ・ 第13次報告¹⁾では国内での導入については、既往の規制、基準等との不整合やそれによる技術的課題が多いことなどから積極的な導入は見送る方針となっている。

(注) 1. 「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（第13次報告）」

表 1.5(2) 対策・施策の概要等（蒸発系固定発生源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
燃料蒸発ガス低減対策	自動車駐車時燃料蒸発ガス対策(チャコールキャニスター)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 駐車中の自動車の燃料タンクから、温度変化によって発生する燃料蒸発ガス及び燃料配管等から透過により発生する燃料蒸発ガスを抑制する。 ・ 具体には活性炭を封入した回収装置(チャコールキャニスター)を車両に搭載させ、燃料タンクからの蒸発ガスを吸着するとともに、燃料配管の材質を変更することにより、燃料ガスの透過を抑制する。 ・ 第13次報告¹⁾では、チャコールキャニスターの費用対効果は、約130万～150万円/トン(VOC・DBL)とされている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国連において、日欧主導で規制強化に向けて調整中である。
	水性塗料への転換	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋内(外)塗装用の塗料を溶剤系塗料から水性塗料に転換することにより、VOC排出量を大幅に削減する。 ・ ホルムアルデヒド対策とともに低VOC対策製品も製品化されており、超低VOCの水性塗料も開発・販売されている。 ・ 超低VOC製品のTVOC(総揮発性有機化合物)は0.1%以下であり、汎用エマルジョンペイントの2～5%に比べ大幅なVOC削減となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 欧米での水性塗料の普及率は80%以上である。 ・ 日本塗装工業会資料によると、2013年度の水性塗装の比率は、建物(建築塗料)で63.5%、建築資材(主にライン塗装)で77.7%となっている一方、構造物(重防食塗装)については4.8%にとどまっている。
	粉体塗装への転換	<ul style="list-style-type: none"> ・ 粉末塗料は、有機溶剤を含まず、固形分のみの塗料であるため、VOCが発生しない。 ・ 塗料回収装置を導入すると非塗着塗料の回収、再利用が可能であり、塗料費が4割程度削減可能である。ただし、専用の塗料ブースを導入することになるため、初期投資(2,000万円程度)が必要になる。 	<p>日本塗装工業会資料によると、2013年度の粉体塗装の比率は、建物(建築塗料)で3.4%、建築資材(主にライン塗装)で1.9%、構造物(重防食塗装)については3.2%となっている。</p>
塗料・塗装	エアスプレーからエア静電スプレーへの転換	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常のエアスプレーでは、塗着ロスが生じるため、高塗着型のスプレーガンを使用することで、塗着効率が向上し、VOC排出量を抑制する。 ・ 高塗着型のスプレーガンとして、静電型があり、被塗物を(+)極、噴霧状にした塗料を(-)極に帯電させ、電氣的に塗料を被塗物に吸着させる方法である。 ・ VOC排出抑制効果として、10～50%程度が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本塗装機械工業会資料によると、2017年度第1四半期における静電塗装機の出荷台数は、国内向けが447台、海外向けが678台であり、前年同時期と比較し、国内向けはほぼ横ばい、海外向けは118%と増加している。 ・ 国内向けにおいても毎年確実に販売実績が蓄積されており、普及が進みつつあるものと推測される。

(注) 1. 「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第13次報告)」

表 1.5(3) 対策・施策の概要等（蒸発系固定発生源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
印刷	紫外線硬化型（UV）インキへの転換	<ul style="list-style-type: none"> UVインキは、溶剤の揮発による乾燥システムではなく、紫外線（UV）で硬化させるタイプのインキであるため、VOCの揮発量を大幅に削減できる。 速乾性で最終製品までの仕上がりが早い、印刷直後に裁断・加工ができる等の長所がある。 オフセット印刷の一部で利用が進んでいたが、最近では、短納期ニーズのあるパンフレット印刷等でも採用が進んでいる。 	<ul style="list-style-type: none"> UV印刷インキの2012年度における国内需要は、約11,000トンと推計されるが、全印刷インキ需要の数パーセントに留まっており、UVインキの特徴が活かせる用途に採用されているのが現状である。 今後も新たな材料開発も含めて拡大と成長は続くものと予測され、特にUVインクジェット印刷がサイン・ディスプレイ用途等へ急速に広まっている。その一方でUV印刷による環境負荷を減らす努力はより一層重要になってきており、そのための新たな材料の提案も多くなされてきている。
	VOC低減インキへの転換	<ul style="list-style-type: none"> 従来インキから揮発しにくい植物油等のノンVOC原料を多く含むインキに代えることでVOCの排出を抑制できる。 植物油は常温で揮発しにくく、印刷物上で高分子化して固化する特徴があり、この特徴を用いてVOC原料である石油系溶剤の一部を植物油に置き換えてVOC低減を図る。 	印刷インキ工業連合会が実施したアンケート（2016年調べ）によると、環境対応型平版インキの生産割合は、植物油インキが全体の95.2%を占めている。
クリーニング	溶剤回収機能付き乾燥機の導入	<ul style="list-style-type: none"> ドライクリーニング工場において、溶剤回収装置のない乾燥機から溶剤回収機能付き乾燥機に転換することで、乾燥時に被服物から揮発するVOC量を削減する。 VOC削減効果として、約80%が期待できる。 90%以上の溶剤の回収が可能であるため、クリーニング液の使用量削減になり、その分コスト削減となるメリットがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 2007年時点であるが、国内のドライクリーニング機は38,524台であり、そのうち石油機は33,620である。石油溶剤の使用設備のうち、乾燥機を設置している施設が28,495、その中で溶剤回収装置を持つ施設は7,800となっている。 すなわち、石油溶剤使用の乾燥機における回収機能をもつ割合は約27%（=7,800/28,495）となっている。

表 1.5(4) 対策・施策の概要等（蒸発系固定発生源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
その他	2010年修正案を踏まえたカリフォルニア消費者製品累積的規則	<ul style="list-style-type: none"> 消費者製品を分類分けし、VOC削減のための5つの基準（制汗剤、塗装、ヘアスプレー等製品）が採択され1990年のレベルから累積で50%削減された。 それぞれの基準が改正される中で、2006年に制定されたカリフォルニアの消費者製品の規則では、80%のカテゴリーからのVOC排出の削減に向けて、長期間の公約が求められる。 制御効率：50% 費用対効果：\$3,498 (2006\$/ton reduced) 	<ul style="list-style-type: none"> カリフォルニア州において、1990年に消費者製品を5つの分類ごとに、VOC制限の基準が設定された。 以降、2015年までの間に14回改正を繰り返している。
	カットバックアスファルト製品改良	<ul style="list-style-type: none"> カットバックアスファルト（アスファルトと揮発性石油混合材）の改良品の使用や製造過程の改良により一時的なVOCの排出を削減する。 制御効率：100% 費用対効果：\$24 (2006\$/ton reduced) 	<ul style="list-style-type: none"> 南東ペンシルベニア州において28の利害関係者同士で構成される団体に推奨されている。 カナダ等北米や日本国内においてもVOCを抑制したカットバックアスファルトが使用されている。
	調剤及び化粧品品の製造	<ul style="list-style-type: none"> 抗生物質、ビタミン、植物、生物学的商品等の化学薬品の製造過程に対する規則であり、機器条件と操作条件のコンビネーションが必要である。 機器条件では、例えば反応炉、蒸留コラム、晶析装置、または遠心分離機等の制御装置が必要となる。 操作条件では、生産工程やトラックから貯蔵タンクへの移送時のVOC排出制限に重点が置かれている。 制御効率：90% 費用対効果：不明 	<ul style="list-style-type: none"> カリフォルニア州南海岸（オレンジ郡、ロサンゼルス都市部、リバーサイド、サンベルナディーノ郡）を対象に1980年に採択されている。 以降、1999年に改正され、継続中の施策である。
	石油天然ガス産業—一時的な排出	<ul style="list-style-type: none"> 石油ガス設備における源泉や地下室からのVOCの排出を削減する。 本規則は、沿岸の油田、地下室、掘削、回収、分離、貯蔵過程が対象となる。 制御効率：14% 費用対効果：\$2,648 (2006\$/ton reduced) 	カリフォルニア州南海岸（オレンジ郡、ロサンゼルス都市部、リバーサイド、サンベルナディーノ郡）を対象に2004年に採択、2015年に改正された継続中の施策である。
	半導体製造プロセスの改良	<ul style="list-style-type: none"> 溶解洗浄操作、フォトレジスト操作、溶解洗浄操作のための施設、低/無-VOC溶媒、もしくは承認された排出制御システムが求められる。 回路基盤、構成部品の製造に起因するVOC排出が対象となり、抵抗器、トランジスタ、半導体、コイル、変圧器の電子機器塗装も発生源分類に該当する。 制御効率：53% 費用対効果：\$9,591 (2006\$/ton reduced) 	カリフォルニア州南海岸（オレンジ郡、ロサンゼルス都市部、リバーサイド、サンベルナディーノ郡）を対象に、1988年に採択、1995年までに4回改正された継続中の施策である。

(注) 制御効率は、連邦ベースライン（規制値等）からの削減率を示す。

表 1.5 (5) 対策・施策の概要等（蒸発系固定発生源）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
その他	VOC処理機能付きMGTコージェネレーションシステム	<ul style="list-style-type: none"> • MGT（マイクロガスタービン）に吸引されたVOCをタービン内で最大850℃の高温で燃焼し、燃焼過程で90%以上を浄化する。 • 排熱回収蒸気ボイラー前段の触媒で残りのVOCを酸化処理することにより、処理システムとして98%以上のVOCを浄化する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 2006年に開発され、米国では2017年現在、コミュニティ施設、食品、製紙、電気機器、印刷、高機能フィルム、接着剤工場等、様々な施設での導入事例がある。 • 日本国内の上記分野でも幅広い普及が期待される。
	貨物タンク船VOC削減システム	<ul style="list-style-type: none"> • 貨物タンク船における荷積み、貯蔵、輸送時に発生するVOCを抑制することができる。 • 貨物による液圧が蒸気圧よりも低い状態になるとVOCが発生するため、反キャビテーションバルブを使用し、VOCの発生を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 開発者による実験段階であり、本格的な導入実績は確認されていない。 • 様々な船種に適用可能であるため、今後世界的に普及していくと推測される。
	工業用接着剤の代替及び改良	<ul style="list-style-type: none"> • 工業用接着剤の代替品や製品改良を行うことにより、VOC排出量を削減する。 • 主に水性及び不燃性の接着剤、UV硬化または反応性希釈剤接着剤の使用が必要とされている。 • 制御効率：73% 費用対効果：\$3,534 (2006\$/ton reduced) 	<ul style="list-style-type: none"> • カリフォルニア州南海岸（オレンジ郡、ロサンゼルス都市部、リバーサイド、サンベルナディーノ郡）を対象に、1989年に採択されている。 • 以降、2017年までに14回改正された継続中の施策である。
	ベーカリー等の触媒燃焼	<ul style="list-style-type: none"> • ベーカリーに触媒酸化剤を搭載することで、パンを焼く際に排出されるエタノールを酸化して希釈（浄化）する。 • 触媒焼却は320～650度の低温設定での制御効率が高い。 • 制御効率：40% 費用対効果：\$2,359 (2006\$/ton reduced) 	<ul style="list-style-type: none"> • サンフランシスコベイエリア及びカリフォルニア州南海岸（オレンジ郡、ロサンゼルス都市部、リバーサイド、サンベルナディーノ郡）を対象に、1991年に採択され、1995年に改正されている。 • 1992年に技術文書がEPAにおいて作成されており、米国において広く普及していると推測される。

(注) 制御効率は、連邦ベースライン（規制値等）からの削減率を示す。

【自動車】

- ・自動車排出ガスの削減プログラムとして、CARBにおける乗用車排出ガス削減措置（ばい煙チェックの強化〔BAR〕、廃車の増大、改質ガソリン）がある。
- ・低公害車については、各メーカーによる技術開発が進められているとともに、各分野（物流、公共交通及び作業車等）において、国、自治体、業界団体等による流通・利用促進のための取り組みが進められている。

表 1.6 対策・施策の概要等（自動車）

分類	対策・施策名	概要	実績・普及見込み
排出削減プログラム	乗用車排出ガス削減措置(総合的な施策)	<ul style="list-style-type: none"> ・ CARBにおける乗用車排ガス削減措置としてばい煙チェックの強化（BAR）、廃車の増大、改質ガソリンプログラムの改善が掲げられており、これらの各汚染物質の排出削減量は、NO_xが 14.4 t/d、VOCが 17.7 t/d、PM（直接排出）で 0.3 t/dとなっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ カリフォルニア州サウスコースト地区でのNO_xの主要な排出源である移動発生源に重点が置かれた。 ・ EUでは、使用過程車に対するチェック、廃車及び改善装置の設置に関する削減措置が実施されている。
低公害車 (大型車)	電気自動車	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電動の大型トラックが初公開（2017.7）。総重量は26トンで、最大積載時の航続距離は200キロメートルに達し、2020年以降の量産化が目標とされている。商用車世界最大手メーカー（ドイツ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内大手メーカーでは、小型電気トラック（総重量6トン）の実証が欧州で続けられている。 ・ 米国の電気自動車（EV）メーカーでも電気トラック参入を表明している。
	クリーンディーゼル車 (大型・中型)	ポスト新長期規制対応のエンジンの改良と排出ガス後処理装置の性能向上により、燃費性能を確保したまま2016年排出ガス規制に適合している。	国内大手メーカーの実績によると、大型車販売台数は 10,000台/年、中型車販売台数 18,000台/年となっている。
	クリーンディーゼル車 (大型路線バス)	ポスト新長期規制対応のエンジンの改良により、2016年排出ガス規制に適合している。車両総重量14トン超のAMT車で平成27年度重量車燃費基準+15%を達成する大型車も存在する。	国内大手メーカーの実績によると、大型路線バス販売台数は600台/年程度となっている。
	ハイブリッド車	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内燃機関、電動機を効率良く駆動させるハイブリッドエンジンにより低排出ガス、低燃費を実現できる。 ・ 複数の動力源を組み合わせることから、特に大型車については、システムの軽量化が求められている。 	商用ハイブリッド車としては、大型路線バスから中型、小型トラック、観光バス、貨物車にまで応用され、2015年時点では大型トラックまで発展している。
	天然ガス車	天然ガスの特性に合わせた専用設計により、天然ガス専用のCNG車（圧縮天然ガス）が主流となっている。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内ではCNG車の排ガス技術指針値（NO_x:0.5g/kwh、SPMはゼロ）を下回る性能の大型バスが代表的。 ・ 海外ではガソリン等との切り替えが可能なバイ燃料車も多い。
	LPガス車	ディーゼル車（3 t積）に比べ、NO _x の排出量は20%（0.01g/kWh）、浮遊粒子状物質（SPM）は検出限度以下（0.002g/kWh）、ディーゼル排気微粒子や炭化水素も微量である。	現在、日本における普及台数は約24万台であり、大部分がタクシー（全体のおよそ8割）やトラックなどの業務用車両となっている。

【船 舶】

- ・ インセンティブ施策として、E S I (Environmental Ship Index) 制度、グリーンアウォードがあり、国内の港でも実施されている施策である。
- ・ 規制関係（規制遵守または自主規制）の施策としては、燃料油規制、船舶減速プログラムがあり、これらに対応する燃料転換・排ガス抑制技術として、低硫黄燃料油・A重油等への転換、LNG船の導入、スクラバーの導入、陸電（ショアパワー）の整備、補助ディーゼル機関のクリーンエアエンジニアリング及びタイミングリタードの導入が挙げられる。

表 1.7(1) 対策・施策の概要等（船 舶）

分類	対策・施策名	概 要	実績・普及見込み
インセンティブ施策	E S I (Environmental Ship Index) 制度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶からの大気汚染物質、温室効果ガスの排出削減を目的に、W P C I（世界港湾気候イニシアチブ）が環境負荷の少ない船舶を測定評価し、環境船舶指数（E S I 値：船舶からのNO_x排出量、使用燃料中の硫黄分、陸電供給設備の有無等）を認証する。E S I 参加港湾は、各船舶のE S I 値に基づき入港料の減免等のメリットを与える制度である。 ・ 東京湾にE S I 制度を導入した場合の費用対効果はNO_xで668千円/t、SO_xで307千円/t、CO₂で5千円/t-CO₂という試算事例がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ E S I 参加港湾は、ロスアンゼルス港、ロッテルダム港、ハンブルク港、東京港、横浜港等である。 ・ 東京港湾では、グリーンシップインセンティブとして、E S I 値20ポイント以上のコンテナ船等の外航船に対し、E S I 値に応じた入港料を30～50%減免している。
	グリーンアウォード	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境に優しく安全な船を運航・管理する者に報奨を与えることにより、品質の高い船舶の来航を図るインセンティブ認証プログラムである。 ・ 船舶の環境対策や安全対策を目的に、グリーンアウォード財団が作成した検査項目（大気汚染物質等の環境問題全般、安全対策やクオリティなど50項目以上）に基づき審査を行い、合格者には証書を発行する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 横浜港では、グリーンアウォード財団の認証を受けた外航船については、入港料の15%減免というインセンティブを与えている。 ・ オランダのロッテルダム港では、グリーンアウォード財団の証書を所持しているLNG船に対し、入港料の減免（6%）を行っている。
規制・自主規制	燃料油規制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 硫黄分0.5%以下或いは0.1%以下の燃料使用義務が課せられる。 ・ MARPOL条約改正により、我が国では2020年から硫黄分0.5%以下の燃料規制が開始される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ E U（北海・バルト海）、北米、北米カリブ海では、2015年からE C A（排出規制水域）で0.1%低硫黄燃料油規制を開始している。 ・ 北米E C Aの一部であるカリフォルニア州水域（24海里以内の水域）で運航する船舶については2014年1月より実施されている。
	港付近における船舶減速プログラム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 寄港する船舶に対して、付近40マイル（約74キロメートル）、もしくは付近20マイル（約37キロメートル）の洋上ではスピードを12ノット以下に減速し、排気ガス量を抑制する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロサンゼルス港、ロングビーチ港（アメリカ）等で導入されている。 ・ NO_xで年間25.6t以上の削減効果があったとされている（2016年サンタバーバラ港での実績）

表 1.7(2) 対策・施策の概要等 (船 舶)

分類	対策・施策名	概 要	実績・普及見込み
燃料転換・排ガス抑制	燃料転換(低硫黄燃料油、A重油)	<p>使用する燃料を従来の重油から硫黄分の少ない燃料へ転換することにより、エンジンから排出されるSO_x、NO_x等を削減する。</p> <p>【排出削減効果 (C重油からの転換)】</p> <p>< A重油 > NO_x10%、SO_x80%、CO₂9%</p> <p>< 低硫黄燃料油 (0.5%) > NO_x10%、SO_x80%、CO₂9%</p> <p>< 低硫黄燃料油 (0.1%) > NO_x10%、SO_x80~96%、CO₂9~12%</p>	<ul style="list-style-type: none"> EUにおいては、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ドイツ等を中心に20港以上で低硫黄燃料(0.1%以下)が流通。 北米では、ニューオリンズ、モービル、ニューヨーク、モントレイ等で低硫黄燃料(0.1%以下)が流通。 中国、韓国、シンガポールでも低硫黄燃料(0.5%以下)が流通している。 現在運航する船舶の多くは、粘性の低い低硫黄燃料の使用を前提に設計されていないため、現行船舶の燃料転換という意味ではA重油への転換が効率的だと考えられる。
	燃料転換(LNG船)	<ul style="list-style-type: none"> 使用する燃料を従来の重油から硫黄分を含まないLNG燃料へ転換することによりエンジンから排出されるSO_x(概ね100%)、NO_x(約80%)を削減する。 従来の2~3倍の大きさの燃料タンクや再液化装置などエンジン以外の設備投資が必要である。新造時の価格は従来の15~50%増である。 従来使用していたバンカリングインフラを使用できないため、新たに同インフラの整備が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 韓国ではLNG燃料の供給装置、燃料タンク政策の技術開発などの開発計画を策定し、LNG燃料船に対する、取得税を減免している。 シンガポールでは、長期的視点からのLNGバンカリング拠点化(LNG供給施設の整備、LNG船建造に対する補助、入港料免除など)の推進が行われている。
	スクラバー	<ul style="list-style-type: none"> 排気ガスに洗浄水を高拡散で噴霧して接触面積を増やし、滞留した液滴に硫黄酸化物(SO_x)を吸収させて除去する(除去率は98%)。 SO_xを大幅に除去できることから、費用対効果は非常に高いと考えられている。課題であった現行船舶への設置のためのコンパクト化や低価格化も進んでいる。 一方で、排水処理に課題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> スクラバー搭載船舶は世界で約210隻となっている。そのうち、1~3.5万トン未満の船舶に最も多く搭載され、その割合は約50%である。フィンランド、ノルウェー船籍が60%を占める。 搭載されているスクラバーのメーカーについては上位2社(スウェーデン、フィンランド)で約50%を占めている。
	陸電(ショア・パワー)	<ul style="list-style-type: none"> 停泊時に船内発電機エンジンを停止し、陸上側より必要な電力を供給することにより、停泊中の船舶からの排ガスを削減する。 NO_x、PM、SO_x、VOCについては約94~97%(2.7%S重油に対する削減比)、CO₂は60%の削減量となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 北米では、ロスアンゼルス、ロングビーチ島でコンテナ船、アラスカのジュノー、シアトル島では大型客船向けの陸電の受電が実施されている。 EUでは、ヨーテボリ、リューベック等での実績がある。 国内では、東京港(竹芝ふ頭)、大阪南港、北九州港、苫小牧港、函館港での実証実験事例がある。

表 1.7(3) 対策・施策の概要等（船 舶）

分類	対策・施策名	概 要	実績・普及見込み
燃料転換・排ガス抑制	補助ディーゼル機関のクリーンエアエンジニアリング (METS-1)	<ul style="list-style-type: none"> このシステムは、船舶のスモークスタック上に配置され、排出される微粒子 (PM)、NO_x、SO₂等の汚染物質の90%以上を捕捉処理する。 触媒セラミックフィルターシステムの世界最大のサプライヤー (米国) によって開発された。 	<ul style="list-style-type: none"> CARBでは、2006年に港湾及び製品輸送のための排出削減計画が承認され、2020年までに停泊中の排出量を80%削減する目標となっている。 その規制による排出削減手段として、船上に設置された装置も含まれるため、当該技術は有効であり、普及拡大が見込まれている。
	タイミングリタード	<ul style="list-style-type: none"> 燃料ポンプの制御のタイミングを遅らせ、燃焼時の噴霧の燃焼温度を低下させることにより、NO_x排出を削減 (削減率: 10~30%) する。 東京湾を対象として、既存船へのタイミングリタード装置導入の補助を行った場合の費用対効果は、NO_xで1,241千円/tという試算事例がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 導入実績について不明であるが、既存船への導入に適しているとされる。 比較的安価であるため、導入費用の補助内容によっては、普及の拡大が見込まれる。

【アンモニア】

アンモニアの排出削減対策については、アンモニア生成プラントの残存量を低減させる技術や、家畜飼料の工夫による削減技術が挙げられる。

表 1.8 対策・施策の概要等（アンモニア）

分類	対策・施策名	概 要	実績・普及見込み
製造	環境負荷低減アンモニア	<ul style="list-style-type: none"> 使用済みプラスチックを原料とした環境負荷低減型のNH₃及び高純度水素精製技術である。 開発された触媒により、残存NH₃濃度は従来の70,000ppmから1,000ppmまで減少できる (550℃)。 アンモニア分解装置・除去装置、水素精製装置を組み合わせることで、燃料電池自動車用水素燃料製造が可能となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 戦略的イノベーション創造プログラム (国立研究開発法人科学技術振興機構) により、2018年度まで10Nm³/h規模のシステム実証試験を実施中。 その後、ステーション実証、サテライト式、オンサイト式の実証試験が予定されている。
畜産	飼料用アミノ酸添加による家畜の糞中窒素排出量の低減	<ul style="list-style-type: none"> NH₃の主な発生源として、家畜排泄物や化学肥料の施肥が挙げられ、家畜排泄物の窒素削減はNH₃の直接的な削減として期待できる。 飼料用アミノ酸で不足したアミノ酸を補うことで、動物の体内でアミノ酸利用効率が改善されるため、排泄窒素量を軽減する。 排泄物中の窒素量を25~50%削減、アンモニアは50%の削減が実証されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 欧米諸国に比べ、日本での普及は進んでいない。 飼料用アミノ酸 (リジン、スレオニン、トリプトファン) として商品化されており、今後の普及拡大が期待される。

2. 費用対効果の分析方針

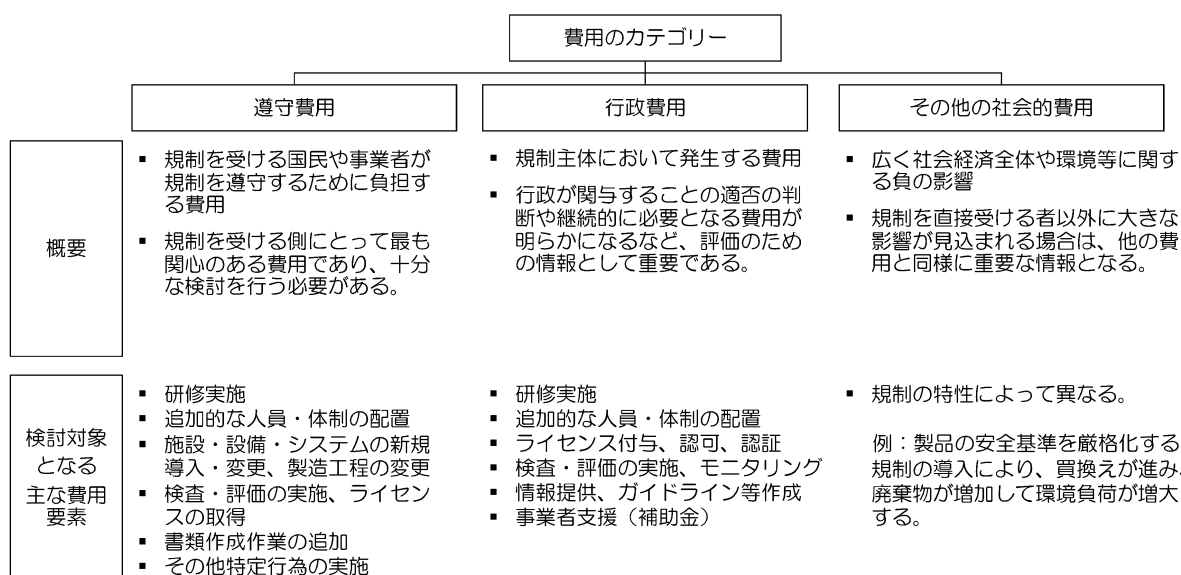
(1) 費用対効果分析の考え方

対策や規制に関する費用対効果分析の考え方を表 2.1 に示す。

表 2.1 費用対効果分析の考え方

項目	内容
対象	<ul style="list-style-type: none"> 事業所レベルでの個々の対策 社会全体（或いは行政管轄区域）に網がかかる規制 社会全体（或いは行政管轄区域）に網がかかる法律・政策・条令
影響範囲	直接的影響に加え、政策決定において考慮すべき副次的影響や間接的影響も含む。特に重要だと考えられる影響が網羅されるように注意する。
分析対象期間	<ul style="list-style-type: none"> 対策等の導入によって生じる費用及び効果をすべて計上できるように十分な長さの期間を設定する。 例えば、規制遵守のための設備投資を行う場合にはその設備の寿命を、目標達成年度が定められている場合は、その期間を含むように設定する。
ベースライン	<ul style="list-style-type: none"> 分析対象の対策等がなかった場合をベースラインシナリオとして、分析対象の対策等を実施した場合の対策シナリオと比較する。 これは当該対策等がない場合を最も的確に示すものであるべきである。 ベースラインを設定する際には、ベースとするモデルの前提条件（例えば、工場・事業所の規模、稼動状況、排出ガス量等）を明確にする。
費用	<ul style="list-style-type: none"> 費用は「遵守費用」「行政費用」「社会的費用」に大分される。 費用の推計は、ベースラインと「当該対策等の新設又は改廃を行った場合に生じる費用」とを比較することによって行う。
効果	効果の推計は、費用と同様にベースラインと「当該対策等の新設又は改廃を行った場合に生じる効果」とを比較することによって行う。

(注) 「社会経済分析ガイドライン」（独立行政法人 産業技術総合研究所）、「規制の政策評価の実施に関するガイドライン」（総務省 政策評価各府省連絡会議了承）から作成



出典：「規制の事前評価の費用・便益分析における定量化の手法に関する調査研究」（平成 22 年 1 月、総務省）

図 2.1 費用の考え方

(2) 費用対効果分析の例

PM_{2.5}対策等の費用対効果分析の事例を表 2.2 に示す。

表 2.2 PM_{2.5}対策等の費用対効果分析の事例

文献・資料名	検討分野	検討範囲	分析方法の概要 (対策効果とコストの設定)
「燃料蒸発ガス低減対策の費用対効果(案)」(今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十三次報告)概要、環境省)	駐車時蒸発ガス対策	全国のガソリン燃料捕集車両数+軽自動車	<ul style="list-style-type: none"> コスト、対策効果ともに、1DBL(現行)がベースラインとされており、2DBL、3DBLとの差分に基づき費用対効果が算出されている。 蒸発ガスの発生量は、都道府県ごとに破過発生割合に破過発生時の排出量を乗じて算出されている。
	ORVR車	全国の給油時蒸発ガスの発生量	<ul style="list-style-type: none"> 対策効果、コストともにゼロベースの設定となっている。 回収効率95%として、給油時蒸発ガスと駐車時蒸発ガス(3DBL)の削減量を推計している。
	STAGE II	1給油所当たり(平均的な給油機数、平均的な費用)	<ul style="list-style-type: none"> 国内で最も普及が進んでいる液化回収方式が想定されている。 対策効果、コストともに同社製品の比較により算出されている。(VOC回収効率は55%) VOC発生量は年間販売量からVOCインベントリにおける推計手法で算出されている。
海外の対策事例と費用対効果—カリフォルニア州の取り組みを中心として—(東京都シンポジウム資料)	CARBの提案する排出削減措置[ばい煙チェックの強化、消費者製品プログラム、廃車の増大、オフロードRV車の排出基準拡大、改質ガソリンプログラム等]	カリフォルニア州或いはサウスコースト地区など	<ul style="list-style-type: none"> カリフォルニア州では、大気汚染低減措置の採用に際して費用対効果を考慮する明示的に求められている。 コストの算出は、直接的算出のほかに、費用効果の推定と排出削減を掛けあわせて間接的に行っている場合もある。 各種対策の削減効果が示されているが、ベースラインの設定が不明である。
「東京港における効果的な船舶排出ガス削減策の検討」(一般財団法人計量計画研究所 研究活動報告 2015)	船舶における各種対策[燃料転換、タイミングリタード、スクラバー、SCR、DPF等]	東京港湾	<ul style="list-style-type: none"> 各種対策効果は、ベースラインに対する削減率として設定されている。 燃料転換についてはC重油を基準とし、スクラバー等のハード技術についてはゼロベースがベースラインとなっている。 コストについては規制遵守費用のみが計上されている。

(3) 本調査での分析方針

本調査で想定する対策の費用対効果分析の概略フローを図 2.2 に示す。

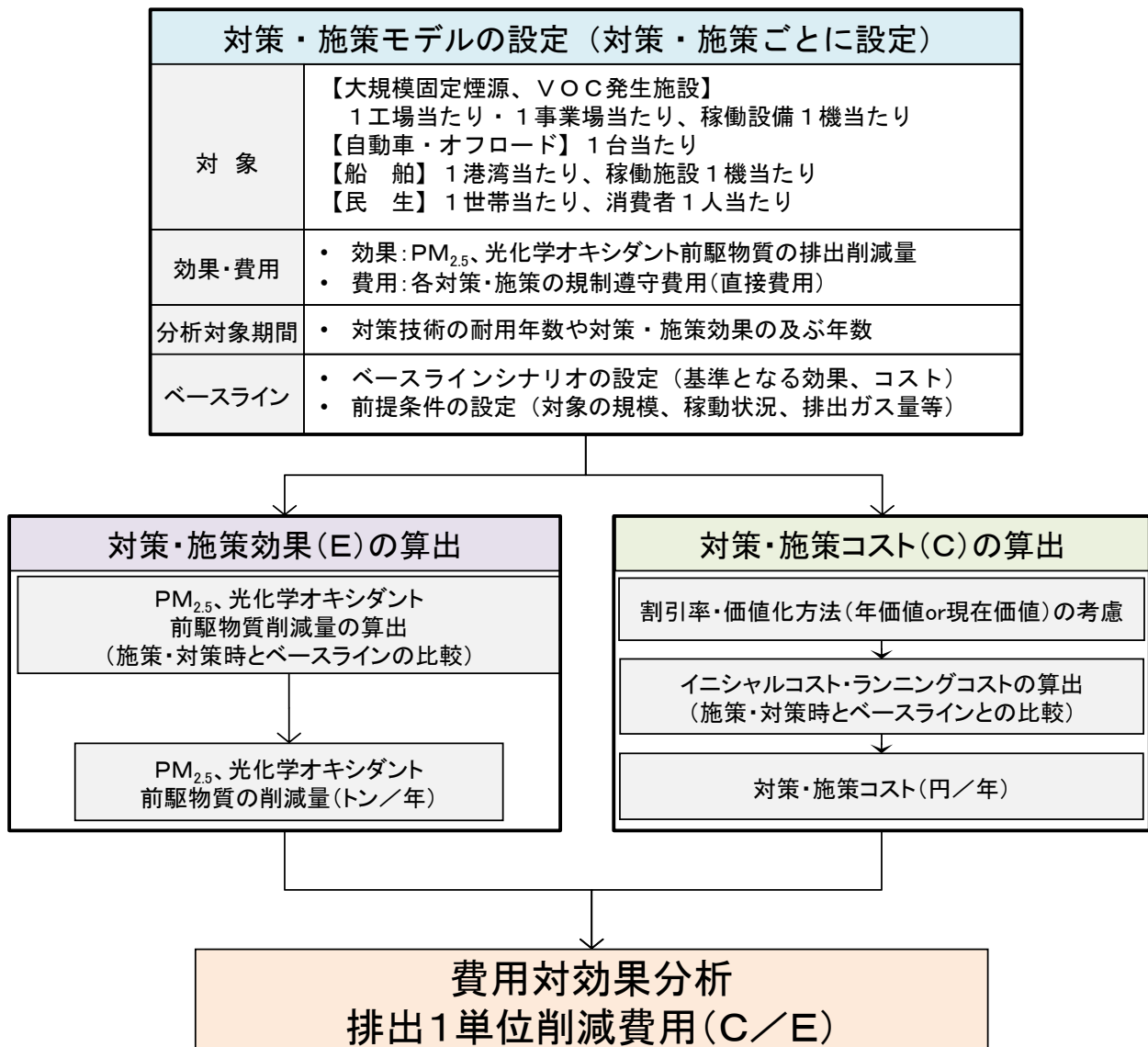


図 2.2 本調査で想定する費用対効果分析の概略フロー