

独立行政法人環境再生保全機構

環境改善調査研究

大気環境の改善に向けた施策に関する調査研究

報 告 書

令和4年2月

一般社団法人環境情報科学センター

大気環境の改善に向けた施策に関する調査研究

ー 諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー ー

研究者

一般社団法人環境情報科学センター

研究代表者：蓮沼 英樹

Liliana Martinez Rivera、小林 弘里、会津 賢治、大島 一憲、渋谷 潤

研究要旨

（目的）わが国の大気汚染状況について、環境基準達成率は、改善傾向にあるが、光化学オキシダントの達成状況は、依然として低い水準となっている。本研究は、諸外国の光化学オキシダント対策について実態把握を行い、わが国の地方公共団体における光化学オキシダント対策への適用可能性について検討することを目的とする。

（方法）米国と欧州における対策実態について、米国50州の州実施計画(State Implementation Plan: 以下、「SIP」)、欧州 EU28 カ国の「国家大気汚染規制プログラム(National Air Pollution Control Program: 以下、「NAPCP」)を中心に、行政機関の情報源から調査を行った。また、わが国の地方公共団体の対策に役立てることを目的として、いくつかの州・国を選定して対策実態について詳細レビューを実施した。詳細レビューは、選定した州・国の SIP、NAPCP をレビューするとともに、行政機関の規制当局に対してヒアリング調査を実施した。わが国の地方公共団体への適用可能性について、諸外国とわが国の大気汚染政策の状況を比較しつつ考察を行った。なお、本研究の実施にあたっては、専門家による検討委員会を組織し、成果のとりまとめの方向性や地方公共団体への適用可能性等について、専門的見地から助言をいただいた。

（各年度の研究成果）令和元年度は、主に、米国について詳細な調査を行った。米国では、大気浄化法(The Clean Air Act)の下、環境基準を未達成の州については、州実施計画(State Implementation Plan, SIP)を策定することが義務付けられている。SIPを作成するにあたっては、各州は、大気モニタリング、発生源インベントリ、大気予測モデリング、規制の戦略(Control strategy)の4つの観点から分析し、科学的・総合的に対策の立案を行っていた。対策メニューと対策効果については、カルフォルニア州、ワシントン DC、ニューヨーク州の3州について情報を整理した。また、カルフォルニア州は独自で対策立案していたが、ワシントン DC とニューヨーク州は複数の州からなる委員会(Ozone Transport Commission, OTC)を組織して地域で一体となった取り組みを行っていた。

令和2年度は、主に、欧州、中国・韓国について詳細な調査を行った。欧州では、環境大気質指令(Ambient Air Quality Directive)、国別排出上限指令(NEC: National Emission Ceiling Directive)、産業排出指令(IED: Industrial Emission Directive)などの発生源別排出基準に関する指令で構成されている。EU加盟国は、NEC指令の下、国家大気汚染規制プログラム(NAPCP: National Air Pollution Control Program)の計画、採択、実施をしなければならない。2020年～2030年までの排出削減コミットメントを満たすためのプログラムが2019年4月を期限としてEU加盟国から提出された。各国のNAPCPを調査した結果、2005年基準年からの排出削減量を2030年まで推計を行っていた。排出削減コミットメントの達成可能性は、①現状対策シナリオと②追加対策シナリオの2つのシナリオで実施されている。これらの大気汚染対策のポリシーは、大気保全政策とエネルギー政策の一貫性の観点から温室効果ガスも排出削減する Win-Win 対策

に主軸を置いていた。中国では、2015年に大気汚染を規制する法律の対象物質としてVOCが新規に含まれ、VOCの排出規制管理を開始したところであった。韓国では、2024年までのVOC削減目標量として2016年を基準に7%減とし、発生源別の削減目標量を公表していた。

令和3年度は、ドイツ環境省、欧州委員会環境局を対象として現地ヒアリングをWEBにて実施した。本研究で収集した諸外国の光化学オキシダント対策について、枠組や取組の比較を行うとともに、わが国（地方公共団体）への適用可能性について整理した。適用可能性の検討に当たっては、検討会を開催し専門的見地から助言を得た。特に今後わが国へ導入すべきと考えられる枠組・取組として、法制度や環境基準の考え方を米国、欧州と比較しつつ考察を行った。

（総括）欧米諸国及び中国・韓国におけるオゾン対策の実態を示した。米国と欧州では大気汚染対策の法制度や環境基準の考え方が異なっており、オゾン対策の枠組や方針が異なることが示された。米国では、オゾン濃度の環境基準を非達成の州はSIPを策定することが義務付けられ、環境基準を達成するまで継続することが法律で定められており、複数の州による広域連携や自然由来のBVOC対策の検討までしなければ環境基準を達成できない切実な事情がみられた。欧州では、NO₂には遵守すべき基準値が定められているのに対してオゾン濃度には目標値を設定しており、NAPCPに森林制御対策やオゾン感度レジームに関する言及はみられず、大気保全施策とエネルギー政策との一貫性から温室効果ガスと同時に大気汚染物質を排出削減するWin-Win Solutionに主軸を置いていた。米国と欧州では法制度や環境基準の考え方によってオゾン対策の方針にも影響していた。わが国の環境基準は、1973年に告示されたが、環境基準達成率は一般局で0.2%（平成30年度）と低く、現時点で達成する見通しが得られていないことから、実現可能な目標を段階的に設定し、環境基準の達成を導くためのルールを敷くようなことを含めたフレームワークを検討することが望まれる。オゾン濃度は、移流による影響が大きいことから、欧米諸国では越境汚染に向けた取組がみられており、わが国においても、東アジアでのオゾン生成の増加が指摘されていることから、前駆物質対策とその効果としての前駆物質削減量や濃度予測の必要性が求められると考える。地方自治体が主体となって当該地域のオゾン濃度を将来予測するためには、都道府県別の排出インベントリ等が必要になる。しかしながら、都道府県別に整備することはコスト及び技術面から容易ではないことから、国が整備している排出インベントリを活用するなど、国・地方・民間の研究所の連携が重要となる。気候変動対策を進めていくことは国際社会のコンセンサスであることから、気候変動対策である温室効果ガス削減とのWin-win solutionに基づく日本版WMシナリオ／WAMシナリオの検討が考えられる。

キーワード

光化学オキシダント、オゾン、対策、レビュー、米国、欧州、中国、韓国

研究協力者

諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー検討会

板野 泰之（大阪市立環境科学研究センター）

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）

長谷川 就一（埼玉県環境科学国際センター）

星 純也（公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所）

山神 真紀子（名古屋市環境科学調査センター）

Review on ozone control measures in Western countries and their applicability to Japanese local governments

Hideki Hasunuma^{*1}, Liliana Martinez Rivera^{*1}, Hirosato Kobayashi^{*1},
Kenji Aizu^{*1}, Kazunori Oshima^{*1}, Jun Shibitani^{*1}, Yasuyuki Itano^{*2}, Satoru
Chatani^{*3}, Syuichi Hasegawa^{*4}, Makiko Yamagami^{*5}, Jyunya Hoshi^{*6}

^{*1} *Center for Environmental Information Science*

^{*2} *Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences*

^{*3} *National Institute for Environmental Studies*

^{*4} *Center for Environmental Science in Saitama*

^{*5} *Nagoya City Institute for Environmental Sciences*

^{*6} *Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection*

Keywords:

Photochemical oxidants, Ozone, Control measures, Review, USA, EU, China, Korea

Abstract

In Japan, the achievement rate of environmental standards for air pollution has been improving in recent years, but for photochemical oxidants, including ozone, it is still low. In this study, we investigated trends in ozone countermeasures in the United States and Europe from the State Implementation Plan (SIP) and National Air Pollution Control Program (NAPCP), respectively.

The United States and Europe have different policies on environmental standards for air pollution and ozone control. In the US, states that do not meet the environmental standards for ozone concentration are required to develop an SIP to attain the standards. In some cases, the environmental standards could not be achieved without considering measures against biogenic volatile organic compounds (BVOCs). In Europe, ozone concentration has set “target values,” and NAPCP does not mention BVOC measures or ozone sensitivity regimes. The main focus is on the win-win solution of reducing emissions of air pollutants at the same time as greenhouse gases.

In Japan, it is advisable to consider a framework that includes setting feasible step-by-step goals to attain the desired standards. Since ozone is greatly affected by advection and its production is increasing in East Asia, it is necessary to take further measures against ozone precursors and predict the future precursor reduction and concentration. For local governments to take the lead in predicting the ozone concentration and developing control measures in the area, it is necessary to prepare an emissions inventory and to estimate the required reduction amount as basic data for simulation by prefecture. Since the international community has agreed to prioritize greenhouse gas countermeasures, it is conceivable for Japan to consider a win-win solution for both ozone and greenhouse gas reduction.

目 次

I	研究目的	1
II	研究方法	1
1	研究フロー	1
2	各年度の研究方法	2
2.1	令和元年度	2
2.2	令和2年度	2
2.3	令和3年度	3
3	検討会の開催	3
III	研究結果	5
1	欧米諸国及び中国・韓国におけるオゾン対策の実態（研究①～⑤）	5
1.1	米国	5
1.1.1	米国における光化学オキシダント対策のフレームワーク	5
1.1.2	オゾンの環境基準と達成状況	5
1.1.3	米国の州等における特徴的な枠組や取組	6
1.2	欧州	7
1.2.1	欧州における光化学オキシダント対策のフレームワーク	7
1.2.2	オゾンの環境基準と達成状況	7
1.2.3	EU加盟国における特徴的な枠組や取組	7
1.3	中国・韓国	9
2	わが国への適用可能性の検討（研究⑥）	10
2.1	オキシダント対策の国際比較	10
2.1.1	環境基準の考え方	10
2.1.2	オゾン濃度の現状	11
2.1.3	削減目標の考え方	12
2.1.4	オゾン対策に関するフレームワーク	13
2.1.5	排出インベントリ	13
2.1.6	対策実施の考え方	14
2.2	考察	19
2.2.1	大気環境政策のフレームワーク	19
2.2.2	環境基準	20
2.2.3	排出インベントリと削減目標	20
2.2.4	対策の戦略	21
2.2.5	対策効果の経年変化をみる指標	21
2.2.6	オゾン感度レジーム	22
2.2.7	適用可能性のまとめ	23
3	総括	29
4	学会発表・論文	29

資料編

I 研究目的

わが国の大気汚染状況について、環境基準達成率は、改善傾向にあるが、光化学オキシダントの達成状況は、依然として低い水準となっている。我々が環境再生保全機構環境改善調査研究(2014～2015年度)において地方公共団体を対象に実施したヒアリング調査においても、光化学オキシダント対策は地方公共団体の課題となっている¹。本研究は、光化学オキシダント（付随して PM2.5、NO_x）に係る、諸外国の対策について実態把握を行った。また、わが国の大気汚染対策への適用可能性について検討した。以上を通じ、光化学オキシダント対策をはじめとする、大気汚染対策の検討に資する知見を蓄積することを目的とした。

II 研究方法

1 研究フロー

本研究は以下に示すフローにより行った。

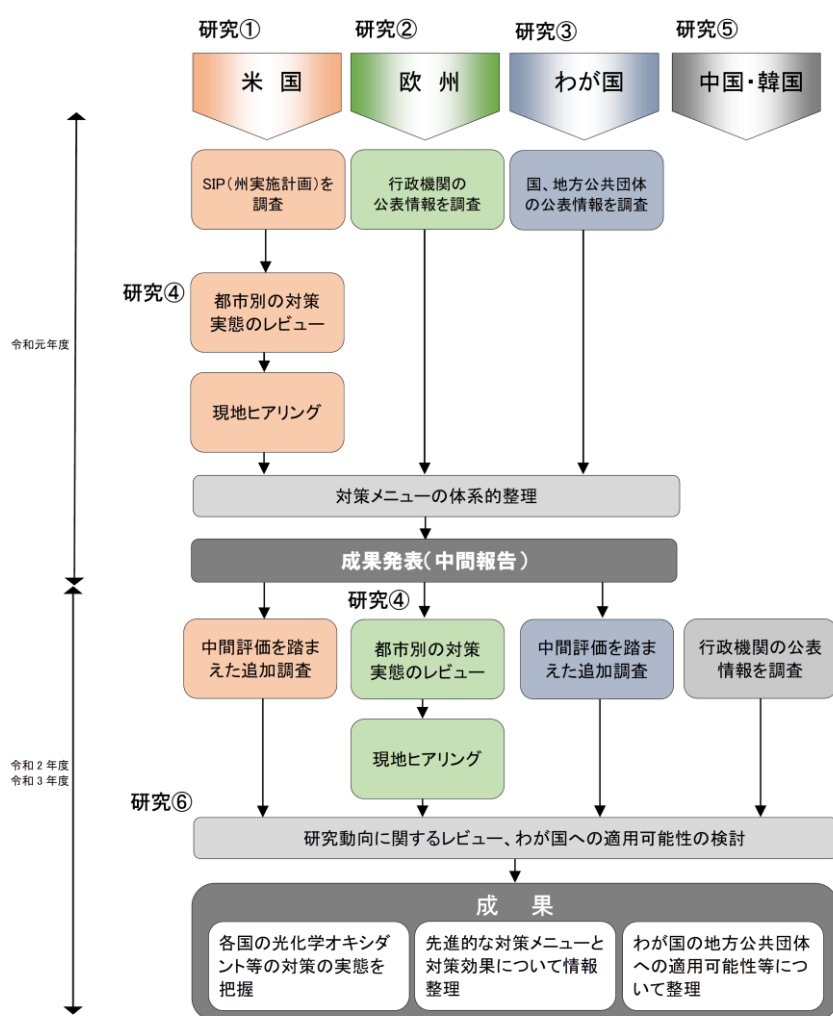


図1 研究フロー

¹ 環境再生保全機構環境改善調査研究 局地的な大気汚染対策に係る調査研究の体系的レビューとその成果を活用した局地的対策パッケージに関する調査研究. 環境情報科学センター. 2016

2 各年度の研究方法

2.1 令和元年度

令和元年度は、研究①～④を実施した。

研究① 米国の対策実態に関するレビュー（調査方法）

- ・ 米国では大気環境基準の非達成地域に該当する州は、大気質を改善するための州実施計画（SIP: **Statement Implementation Plan**）を策定することが求められる。各州の SIP から、米国のオゾン、PM2.5 及び NOx 対策の状況（背景、実態、対策事例、効果）をとりまとめた。

研究② 欧州の対策実態に関するレビュー（調査方法）

- ・ EU の行政機関が公開する情報源から調査を行い、対策の変遷についてとりまとめた。また、EU の大気汚染の状況、発生源データをとりまとめた。

研究③ 日本の対策実態に関するレビュー（調査方法）

- ・ 日本の対策実態について行政機関の情報源から調査を行い、対策の変遷についてとりまとめた。

研究④ 都市の対策実態に関する詳細レビュー（現地ヒアリングを含む）

- ・ 都市別の対策実態について詳細レビューを実施した。初年度は、カリフォルニア州等、米国の数都市を訪問しヒアリング調査を実施した。

2.2 令和2年度

研究①、④～⑥を実施するとともに、令和元年度の評価結果を踏まえ調査を追加した。当初の研究計画では、令和2年度中に欧州の機関を対象とした現地ヒアリングを実施することとしていたが、新型コロナウイルス感染症が世界的に流行し、海外渡航が困難になったことを踏まえ、欧州の機関を対象とした現地ヒアリングは3年目に実施することとした。

研究① 米国の対策実態に関するレビュー（続き）

- ・ 米国の対策実態について、評価委員から指摘された事項（大気環境基準（NAAQS）の見直しプロセスや基準変更の根拠等）を整理した。

研究④ 都市の対策実態に関する詳細レビュー（続き）

- ・ 都市別の対策実態について詳細レビューを実施した。2年目は、EU 加盟国（ドイツ、イタリア、オーストリア）の国家大気汚染規制プログラム(NAPCP)を調査し詳細レビューを実施した。

研究⑤ 中国・韓国の対策実態に関するレビュー

- ・ 光化学オキシダントの長期トレンドの要因として、越境大気汚染による平均値の増加が指摘されていることを踏まえ、中国及び韓国の行政機関の情報源から、両国の対策実態について把握した。

研究⑥ 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性等についての検討

- ・ 適用可能性の検討に当たっては、現在各国で取組まれている対策の科学的根拠や、今後導入が期待される対策について最新の知見を踏まえることとした。英語文献は **Web of Science**、日本語文献は **JDream III** を用いた文献検索により、米国、欧州、日本の Ox 対策に関する研究論文を収集し、適用可能性の検討に資する研究動向に関する文献レビューを実施した。

2.3 令和3年度

令和2年度に新型コロナウイルス感染症が世界的に流行し、海外渡航が困難になったことを踏まえ、欧州の機関を対象とした現地ヒアリングをWeb会議システムにより実施するとともに、地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性等について検討した。

研究④ 都市の対策実態に関する詳細レビュー（続き）

- ・ 2年目に選定したEU加盟国の都市における対策実態について、行政機関を対象としたWEBヒアリングを実施した。

研究⑥ 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性等についての検討

- ・ 研究①～⑤で収集した諸外国における光化学オキシダント対策の枠組や取組について、専門家の助言を得ながら、地方公共団体への適用可能性をとりまとめた。

3 検討会の開催

本研究の実施に当たって、地方環境研究所や国立環境研究所に所属する光化学オキシダント対策に係る専門家による検討会を開催した（全5回）。検討会委員メンバーは、国及び地方公共団体の光化学オキシダント対策に係る専門家を選定した。

表1 諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー検討会 委員構成

氏名（五十音順）	所属・職名
板野 泰之	大阪市立環境科学研究センター 研究主任
茶谷 聡	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 主任研究員
長谷川就一	埼玉県環境科学国際センター 大気環境担当 専門研究員
星 純也	公益財団法人東京都環境公社 東京都環境科学研究所 環境資源研究科 副参事研究員
山神真紀子	名古屋市環境科学調査センター 環境科学室 主任研究員

レビューで収集した各国の情報について共有するとともに、米国・欧州の現地ヒアリングにおける質問項目について、地方公共団体にとって有益となる情報という観点から事前に助言を得た。また、レビューや現地ヒアリングで収集した各国の対策の枠組みや取組に対し、わが国の地方公共団体への適用可能性について専門的見地から助言を得た。

表2 開催概要

開催日時	検討事項
令和元年9月10日（火） 15:00～17:00	○米国ヒアリングの方針・必要な質問項目について ○わが国の地方自治体への適用可能性の検討に関して留意すべき事項について
令和2年2月12日（水） 13:00～15:00	○令和元年度の成果のとりまとめについて ○わが国の地方自治体におけるオキシダント対策の検討スキームについて
令和3年1月25日（月） 13:00～15:00	○欧州・中国・韓国における対策の適用可能性について ○最新の研究動向について

令和3年7月28日（水） 16:00～18:00	○欧州ヒアリングの方針・必要な質問項目について ○適用可能性のとりまとめ方（分類方法等）について
令和3年12月17日（金） 15:00～17:00	○諸外国における対策の枠組みや取組みの分類（導入が考えられるもの、参考とする知見等）について ○成果のとりまとめ（適用可能性の考察）について

III 研究結果

1 欧米諸国及び中国・韓国におけるオゾン対策の実態（研究①～⑤）

主として、令和元年度～2年度に実施した研究①～⑤において把握した、欧米諸国及び中国・韓国におけるオゾン対策の実態について概要を示す。

1.1 米国

1.1.1 米国における光化学オキシダント対策のフレームワーク 【資料編、資料 1-1-①～⑦参照】

米国における大気保全施策の根拠法は、大気浄化法（CAA）である²。同法は、国民の健康と公共の福祉を守るため、米国全土における固定汚染源及び移動汚染源からの大気汚染物質の排出規制を目的とした連邦法³であり、1963年に制定された。

CAAは、米国環境保護庁（EPA）に全国大気環境基準（NAAQS）を設定する権限を付与し、州・地方政府には、州実施計画（SIP）など NAAQS を達成するために必要な措置を講じることを義務付ける⁴ことにより、米国における大気質管理の基本的な枠組みを提供している。

1.1.2 オゾンの環境基準と達成状況 【資料編、資料 1-2-①～④参照】

米国の大気環境基準（NAAQS）は、第一種規制（Primary Standards）及び第二種規制（Secondary Standards）の2つの基準に分類されている。第一種規制は国民の健康保護、特にぜん息患者、子ども、年配者など環境影響を受けやすい人々の健康を守る目的で定められ、第二種規制は視界、動物や作物、植生や建造物などの公共の福祉を保護する目的で定められている⁵。

オゾンの環境基準は、第一種規制、第二種規制とも同じであり、2015年基準では、3年間平均で1日8時間あたりの年間最大濃度4位が0.070ppmを超えないこととされている。EPAは、5年ごとに健康影響などを示す科学データを見直し、大気環境基準の変更について検討することを義務付けられている⁶。オゾンの環境基準は1997年基準で0.08ppm、2008年基準で0.075ppm、2015年基準で0.070ppmと見直しごとに厳しくなっている。

米国CAAで行われるオゾン環境基準の見直しは、1) 包括的な最新の科学的根拠の評価、2) 現行の環境基準、新しい環境基準を継続した場合を比較する定量的リスク評価、3) 大気浄化科学諮問委員会(CASAC)の提言及び報告書の査読、及び4) 様々な地域での公聴会、パブリックコメントの受付の4つの要素によって行われる。科学的根拠を基礎にしつつ、それぞれの社会的立場を代表する

² EPA. Clean Air Act Text. Retrieved on May 24, 2019 from <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-text>. CAAに加え、連邦規則集（CFR）第40環境保護（Title 40 Protection of Environment）、第一章C節（大気対策）、U節（大気汚染抑制）それぞれに大気浄化法（Clean Air Act）の関連する規定、ガイダンス等が定められている。連邦規則集（CFR）第40環境保護は、米国環境保護庁（EPA）が管理する規則を集めたものである。Government Publishing Office. Electronic Code of Federal Regulations. Title 40: Protection of Environment. Retrieved on September 4, 2019 from <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?gp=1&SID=a29d7f5f3855f62c6787673513bb9555&h=L&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40chapterI.tpl>.

³ EPA. Summary of the Clean Air Act. 42 U.S.C. §7401 et seq. (1970). Retrieved on May 24, 2019 from <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act>.

⁴ 42 U.S.C. §7410. State implementation plans for national primary and secondary ambient air quality standards. Retrieved on May 29, 2019 from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2013-title42/html/USCODE-2013-title42-chap85-subchapI-partA-sec7410.htm>.

⁵ 42 U.S.C. §7409. (a) (b). Retrieved on May 23, 2019 from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2013-title42/html/USCODE-2013-title42-chap85-subchapI-partA-sec7409.htm>.

⁶ 42 U.S.C. §7409 (d). Retrieved on May 23, 2019 from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2013-title42/html/USCODE-2013-title42-chap85-subchapI-partA-sec7409.htm>.

ステークホルダーからの指摘を包括的に考慮するプロセスとなっている。

オゾンの環境基準の非達成地域は、14 州(1997 年基準)、17 州(2008 年基準)、23 州 (2015 年基準) と変遷している。オゾンの環境基準の非達成の地域は、東海岸と西海岸に集中していた。

1.1.3 米国の州等における特徴的な枠組や取組

SIP 及び現地ヒアリングにより詳細レビューを行ったワシントン DC、カリフォルニア州、ニューヨーク州における特徴的な取組を以下に示す。

① ワシントン DC

【資料編、資料 1-3-1-①～④参照】

ワシントン DC では、周辺の 2 州（メリーランド州、バージニア州）とともに設置するワシントン首都圏政府調整協議会により、3 つの州からなる広域的な汚染対策を推進している。オゾンの排出が少ない州でも他の州から前駆物質が飛来してくること、一方、各州ではスタッフなどのリソースが不足していることから、複数の州で協力し合って対策を推進していくという考え方である。ワシントン首都圏政府調整協議会は、複数の州からなる **Ozone Transport Commission** という委員会を共同で組織して、大気環境モデルによるオゾン濃度の推計や対策コストの評価の実施、企業等のステークホルダーとのコミュニケーションに取り組みながら SIP を作成している。特に注目すべき対策として、夏季に風下の州でオゾンの高濃度を引き起こしているとして、米国東部 12 州の発電所からの NOx 排出量を、設備更新や運転改善などの対策により、19%削減することが 2021 年 3 月に報道発表された⁷。

② カリフォルニア州

【資料編、資料 1-3-2-①～⑤参照】

カリフォルニア州の SIP⁸が示す対策は、1) 規制、2) インセンティブ、3) 自主的取組が組み合わされている。例えば、1) 規制としては、古い車両エンジンに対して排気ガスフィルターをつけることが示されている。2) インセンティブの例としては、大型トラックのエンジンをよりクリーンなエンジンに交換するインセンティブプログラムがある。3) 自主的取組には、船舶が港に近づくときにはスピードを緩めることで大気汚染物質の排出を抑えること、数名が乗車している車

(Carpooling) は、Fast lane を渋滞せずに走行できるなどがある。カリフォルニア州では市民を対象としたインセンティブプログラムを非常に重要な対策と位置付けており、インセンティブプログラムの予算額が非常に大きい。

また、カリフォルニア州において、特に注目されている対策として、オンロード小型車向け「ゼロエミッションビークル (ZEV) 規制」(Zero Emission Vehicle Regulation、以下「ZEV 規制」) が挙げられる。ZEV 規制は、州が自動車メーカーに対して ZEV の具体的な年間販売台数を要求することにより、州の長期的な排出削減目標を達成するように設計されている。

③ ニューヨーク州

【資料編、資料 1-3-3-①～④参照】

ニューヨーク州のニューヨーク市は、2007 年に発表した「持続可能な発展のための包括的計画」において大気状況の改善を目標の 1 つとして掲げ、また、大気環境計画を策定し、PM2.5、SO₂、

⁷ <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-strengthens-key-power-plant-rule-reduce-smog-summer-and-improve-air-quality>

⁸ California Environmental Protection Agency Air Resources Board. Revised Proposed 2016 State Strategy for the State Implementation Plan. 2017.

NO_x、VOCs の排出削減目標を達成するための対策を挙げている。

ニューヨーク市は、2010 年に 4 号暖房燃料硫黄含量を 50%削減する法律を可決し、2011 年に建物の管理者に対して、よりクリーンな暖房燃料への切り替えを求める規則を公布した。2012 年に立ち上げた「NYC Clean Heat」プログラムでは、建物で使用する暖房用燃料を最もクリーンなもの、または代替エネルギーに変更するための支援を行った。2015 年の「NYC Retrofit Accelerator」プログラムは、ビルの所有者及び建設会社に対して建物におけるエネルギーや水利用の効率向上等に関するアドバイス、支援を行うことを目的としている。こうした取組の結果、2008～2014 年までに冬季の SO₂ 平均排出量が 68%削減され、PM_{2.5} 年間平均削減量 16%を達成している。

1.2 欧州

1.2.1 欧州における光化学オキシダント対策のフレームワーク 【資料編、資料 2-1-①～④参照】

欧州全体における大気保全施策の法規制は、環境大気質指令（Ambient Air Quality Directive, 2008/50/EC）、国別排出上限指令（National Emissions Ceilings Directive, 2016/2284/EU：以下、「NEC 指令」）、産業排出指令（Industrial Emissions Directive, 2010/75/EU：以下、「IED 指令」）などの発生源別排出基準に関する指令で構成されている。環境大気質指令では大気環境基準が定められている。NEC 指令では、大気環境基準を達成するため、大気汚染物質（NO_x、VOC、PM_{2.5}、SO₂、NH₃）の排出量上限値を国別に設定する。さらに、これらの排出上限値を超えないようにするため、IED 指令等の発生源別排出基準に関する指令により発生源の規制を行っている。加盟国はそれぞれの指令に基づき国内対策に取り組んでいる。

1.2.2 オゾンの環境基準と達成状況 【資料編、資料 2-2-①～⑥参照】

EU における環境基準は、健康を守るためのものと植生保護のものがそれぞれ定められている。健康を守るための大気環境基準におけるオゾンの環境基準⁹は、目標値（Target value）の 120 μ g/m³ を超える日が 3 年平均で年間 25 日を超えないこととされている。目標値を 3 年間で評価することに留意する必要がある。

2017 年の EU におけるオゾン濃度の状況をみると、日最大 8 時間値の 93.2 パーセンタイル値^{*}について高い濃度が記録されたのはイタリアの北部地域などであった。

※オゾンの環境基準（健康を守るためのもの）は、目標値（Target value）の 120 μ g/m³ を超える日が 3 年平均で年間 25 日を超えないこととされている。そのため 365 日のうち 26 番目に高い値が 93.2 パーセンタイルに相当する。

また、2017 年には、EU 加盟国 27 カ国のうち 17 カ国において、環境基準目標値が非達成である局があった（O₃ の目標値を 25 回以上上回る濃度を登録）ことが報告された¹⁰。

2009 年から 2018 年の経年変化を測定局別にみると、95%の測定局で有意な増減傾向がみられない。オゾンの前駆物質である NO_x の EU 域内における排出量は 2010 年から 2017 年の期間に約 20%削減され、同様に NMVOC の排出量は約 13%削減されているが、オゾン濃度の経年的な傾向とは整合しないことが報告されている。

1.2.3 EU 加盟国における特徴的な枠組や取組

EU 加盟国のうち、「国家大気汚染規制プログラム（National Air Pollution Control Program、

⁹ Air Quality in Europe – 2019 Report

¹⁰ 同

以下 NAPCP)」等の情報源や WEB ヒアリングから詳細レビューを行ったドイツ、オーストリア、イタリアにおける取組を以下に示す。

① ドイツ

【資料編、資料 2-3-1-①～④参照】

ドイツでは、多くの都市部で依然として窒素酸化物が高濃度であることから、それによる大気汚染への対策が政策の最優先とされている。オゾン前駆物質である NO_x 及び NMVOC については、2005 年を基準に 2020 年～2029 年の 10 年間でそれぞれ、39%及び 13%の削減目標が設定されている。これに対し、NO_x 及び NMVOC の 2005 年から 2016 年の間の削減量は 20%以上であり、対策の効果がみられる。しかし、日最高 8 時間値が 120 μ g/m³ の濃度を超えた場合の平均日数（年間）をみると、気象による年変動を考慮しても、2005 年以降、わずかな変化しかみられない。

ドイツの NAPCP¹¹から主要な対策をみると、NO_x、NMVOC とともに、移動発生源対策が最も大きい。特徴的な対策として、環境ゾーンや古い車両の廃棄インセンティブにより、車両の更新が行われたことが挙げられる。

また、ドイツでは、オゾン感度レジーム¹²を踏まえ、オゾン濃度を効果的に削減するには、オゾン前駆物質全般の排出量のさらなる削減対策が必要であることが報告されている。

EU 加盟国の 2030 年におけるオゾン濃度の予測は、①現在進められている対策を実施した場合の「現状対策シナリオ (WM: With measures)」と、②追加の対策を加味した場合の「追加対策シナリオ (WAM: With additional measures)」の 2 つのシナリオで行われている。ドイツの WM シナリオは、2016 年 7 月 31 日までに採用された対策に基づいており、その中には気候変動対策も含まれる。たとえば、a) 褐炭 (lignite) 発電の休止、b) 炭素取引、c) 建設部門における再生可能エネルギーのインセンティブプログラム、d) エネルギー高効率改修プログラム、e) 省エネ規制、f) 中小企業向けのエネルギーコンサルタントといった対策がドイツの WM シナリオには盛り込まれている。WAM シナリオは、a)気候変動対策、b)石炭発電の段階的廃止（2038 年まで）、c)中規模産業施設からの大気汚染物質排出規制（MCP 指令の発効）などである。

② オーストリア

【資料編、資料 2-3-2-①～②参照】

オーストリアでは、1980 年代に土壌の酸性化や森林減少が問題化し、EU の規制に先行して法規制が早期に整備された。1990 年代にはオゾンが問題化し、1992 年にオゾン法 (Ozongesetz) を制定、オゾン前駆物質を削減する対策を実施した。

その後、EU の環境大気質指令がオーストリア国内法である大気汚染防止法に反映された。オーストリアの NAPCP によると、大気環境改善は 2017 年から 2022 年にかけての主要な政策を示した政府プログラムの一部となっている。さらにこの政府プログラムでは、国連の持続可能な開発目標 (SDGs) の重要性に言及し、都市の大気環境の改善を、SDGs の目標 11 “住み続けられる街づくり” (Sustainable, Safe and Inclusive Cities & Communities の施策として位置付けている。NAPCP に示された主要な対策は、NO_x は移動発生源、NMVOC は移動発生源、印刷、塗装の排出

¹¹ Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (2019). National Air Pollution Control Programme of the Federal Republic of Germany (ENGLISH). p.19
<https://ec.europa.eu/environment/air/reduction/NAPCP.htm>.

¹² p.12 参照。

規制である。

③ イタリア

【資料編、資料 2-3-3-①～④参照】

イタリアは、2017 年において、オゾン濃度目標値 ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を、331 測定局のうち 222 測定局 (67%) で 25 日以上超過した。特にイタリア北部は、前述のように、欧州の中でも特に高濃度値がみられている地域である。

これに対し、イタリアの NAPCP では、オゾン対策に特化した取組に関する記載はみられなかった。大気汚染物質発生量を削減するために、特に以下の分野について措置が講じられている。

- ・発電及び産業活動
- ・都市部における移動発生源
- ・家庭の燃焼設備

イタリアでは、複数の省庁や自治体が連携して広域の大気環境を改善する仕組みがみられる。たとえば、大気質が非常に悪い状態が続いているポー川流域地域では、2013 年に、大気質を改善するための協定が、環境省、インフラ・運輸省、経済開発省、保健省、農業政策省、ポー川流域の 8 つの自治体によって締結された。この協定により、移動発生源、家庭用バイオマス暖房、農業分野に焦点を当てた対策が広域で進められている。

1.3 中国・韓国

【資料編、資料 3-1-①～資料 3-2-④参照】

中国では SO_2 、 NO_x 、及び粒子状物質については、排出削減に大きな成果を上げたが、VOC 対策は比較的遅れていた。2015 年 8 月に公布された大気法において初めて VOC が監視対象とされた。2017 年には、27 の省・市のうち、北京など 8 の省・市で国家基準（日最大 8 時間値の 90% 値 $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）が非達成であった。

2019 年 6 月に、「指定重点地域における重点産業 VOC 汚染物質管理方案」を公布し、指定重点地域を対象に、VOC 排出に関する排出管理（測定、記録、データ共有）を第一ステップとして求めることを定めている。さらに、2020 年 6 月に「VOC を管理するための攻略方案」を公布した。

韓国では、2010～2018 年にかけて、首都圏 3 地域（ソウル、仁川、京畿道）が、環境基準（8 時間値 60 ppb）が非達成であった。2014 年 12 月に、国立環境科学院が公表した「オゾン総合対策確立準備企画研究報告書」において、長期的なオゾン管理対策作りのために現状を分析し、オゾン総合対策確立のための R&D 研究計画を提言している。

2020 年 4 月、オゾン総合対策を実施するための中長期の計画として「第 2 次首都圏大気環境管理基本計画（2015-2024）の修正計画」が提示された。2020～2024 年までの VOCs 削減量を、2016 年を基準に 7% 減としている。また、2020～2024 年までの対策メニュー別の削減目標量を公表しており、移動発生源において 19% 削減、ノンロードでは 13% 削減、生活汚染減では 19% 削減と定めている。

2 わが国への適用可能性の検討（研究⑥）

研究⑥として、諸外国の光化学オキシダント対策の枠組や取組を比較するとともに、わが国（地方公共団体）への適用可能性について考察を行った結果を示す。

2.1 オキシダント対策の国際比較

本研究で収集した各国の情報から、オキシダント対策の現状や考え方について比較を行うとともに、独自の枠組や取組を参考となる知見として示した。なお、検討会では、海外の枠組や取組をわが国の地方公共団体に実際に導入する場合の留意事項として、法制度の整備や見直しが必要となること、また対策の予算について課題があることが指摘された。本研究は適用可能性の検討にとどめ、法制度上の課題等については考慮していないことに留意されたい。

2.1.1 環境基準の考え方

① 環境基準の比較

- 各国のオゾンの環境基準は以下の通りであった。Oxの環境基準値は、日本が最も厳しい基準値（最も低い濃度、かつ、1時間値）を設定している。

表3 環境基準の比較

	環境基準	備考
日本	0.06ppm ※Ox濃度：1時間値の最大値。昼間（5時から20時までの時間帯）を測定	—
米国	0.070ppm ※O3濃度：年間4番目に高い日最大8時間値の3年間の加重平均値	—
欧州	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ※O3濃度：日最大8時間値で120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であり、平均3年間で環境基準値を超える日が25日/年以下	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ≒0.061 ppm 相当
中国	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ※O3濃度：日最大8時間値	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ≒0.082 ppm 相当
韓国	0.06ppm（日最大8時間値）、0.1ppm（1時間値）	—
（参考）WHO	日最大8時間値(8-hour daily maximum)： 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （≒0.051 ppm） ピークシーズンの8時間値（8-hour mean）： 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （≒0.031 ppm）	EUはWHOの新指針に基づき、対策シナリオ等を検討 ¹³ 。

（参考情報）WHOの新指針¹⁴

- 2021年9月22日、世界保健機関WHOは、健康な生活を送るために必要な大気の基準を改定し、O3を含む大気汚染物質をさらに低濃度とするよう求める新指針を公表した。O3は、日最大8時間値(8-hour daily maximum)で100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （≒51ppb）、ピークシーズンの8時間平均値(8-hour mean)で60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （≒31ppb）に引き下げるよう求めた。欧州委員会環境局によれば、WHOの新指針を踏まえて環境基準の見直しを進めているとのことであった。

¹³ 欧州委員会環境局提供資料（(Air Quality revision of EU Rules, 23 September 2021, European Commission Clean Air Unit)）

¹⁴ WHO global air quality guidelines 2021_Sep_slides

② 環境基準の考え方

- 各国における環境基準の考え方について特徴等を下表に示す。わが国では環境基本法において、環境基準について「常に適切な科学的判断が加えられ、必要な改定がなされなければならない¹⁵⁾。」とされており、1973年の告示以降、基準値の改定はない。これに対し、米国では5年ごとに基準値をレビューすることが大気浄化法に定められている。

表4 環境基準の考え方に関する比較

	環境基準の考え方
日本	○常に適切な科学的判断が加えられ、必要に応じて改定。 ○1973年以降、基準値は改定なし。
米国	○5年ごとに健康影響などの科学的知見をレビューし、大気環境基準の変更を検討。 ○健康保護を目的とした第一種規制、福祉の保護を目的とした第二種規制 ¹⁶⁾ 。
欧州	○基準値ではなく目標値。 ○目標値の他に長期目標、情報閾値、警戒閾値を規定 ¹⁷⁾ 。 ○健康を守るための環境基準と植生保護の環境基準を規定 ¹⁸⁾ 。

2.1.2 オゾン濃度の現状

- 各国におけるオゾン濃度の現状は以下の通りであった。また、各国における濃度分布や環境基準の達成状況を資料編に掲載したので参照されたい。
- 日本のオゾン濃度について、日最大8時間値で評価した研究事例がある。大泉らは、米国の2008年オゾン環境基準値(0.075ppm)で評価した場合、2005～2007年度のわが国の測定局の環境基準達成率は22.4%であったと報告している¹⁹⁾。早崎らは、米国の2015年オゾン環境基準(0.070ppm)で評価した場合、わが国の2018年度の環境基準達成率は3.0%であったと報告しており²⁰⁾、わが国のオゾン汚染は、米国より深刻である。

表5 オゾン濃度の現状の比較

	オゾン濃度の現状	達成状況
日本	○一般局0.047ppm、自排局0.044ppm(2019年度) ²¹⁾ ※昼間の日最高1時間値の年平均値	○環境基準達成率は一般局0.2%、自排局0%(2019年度) ²²⁾
米国	○0.066ppm(2019年) ²³⁾	○米国50州のうち2015年基準を

¹⁵⁾ 環境基本法第十六条第三項。

¹⁶⁾ EPA. Table of Historical Ozone National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/table-historical-ozone-national-ambient-air-quality-standards-naaqs>. EPA. 2015 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for Ozone. Retrieved on June 19, 2019 from <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/2015-national-ambient-air-quality-standards-naaqs-ozone>.

¹⁷⁾ 長期目標：人の健康及び環境への効果的な保護を提供することを目的とし、長期的に達成されなければならないレベル、情報閾値：特に感受性の高い集団が短期曝露により健康リスクがあり、即時かつ適切な情報提供が必要なレベル、警戒閾値：その値を超えると、短期曝露により人口集団全体に健康リスクがあり、直ちに措置を講じなければならないレベル。

¹⁸⁾ Air Quality in Europe 2019 Report

¹⁹⁾ 大泉 毅ら、我が国の光化学オゾン汚染の8時間平均値による評価、大気環境学会誌、2013、48、4、p. 181-187。

²⁰⁾ 早崎将光ら、近年の光化学オキシダント高濃度日の季節性と空間分布、第60回大気環境学会年會講演要旨集、2019。

²¹⁾ 令和元年度大気汚染状況報告書(環境省、2021年11月)

²²⁾ 同

²³⁾ <https://www.epa.gov/air-trends/ozone-trends#oznat>

	※年間4番目に高い日最大8時間値について全国測定地点の平均値を3カ年移動平均した値	非達成の州が23州あり（2019年4月30日時点） ²⁴
欧州	○各国により濃度が大きく異なる。 ※各国の濃度は、資料編を参照	○EU加盟国28カ国のうち17カ国に環境基準目標値非達成の局あり（2017年時点） ²⁵
中国	○191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （2019年、北京市） ²⁶ ※日最大8時間値90%値	○27省市のうち8省市で環境基準非達成（2017年時点）
韓国	○95ppb（2018年、ソウル市） ²⁷ ※日最大8時間値	○首都圏3地域において環境基準が未達成 ²⁸

2.1.3 削減目標の考え方

- 各国における削減目標の考え方について特徴等を示す。EUでは、2030年までに粒子状物質とO₃による早期死亡数を2005年と比較して半減させることを目指し、費用対効果を考慮しながら、削減目標を国別に割り当てている。

表6 削減目標の比較

	削減目標の考え方	特徴的な取組等
日本	○VOCは平成22年度までに平成12年度比で3割程度の削減を目標。	—
米国	○環境基準値の達成に向けてSIPに目標と対策を設定。	○環境基準を達成するまで目標と対策の設定を継続。
欧州	○粒子状物質とO ₃ による早期死亡数の半減という指標を明示し削減目標を設定 ²⁹ 。 ○EUが欧州全体の全体目標を設定、コスト効果を計算しながら、各国に排出削減値を割り当て。	○モデルにより最も費用対効果が高い方法を算出。
中国	—	○より幅広い業種に対し排出基準を策定 ³⁰ 。 ○地方がより厳格な地方排出基準を制定することを奨励 ³¹ 。
韓国	○2024年までのVOC削減量について、2016年を基準に7%削減。	—

²⁴ https://www3.epa.gov/airquality/greenbook/map8hr_2015.html

²⁵ Air Quality in Europe 2019 Report

²⁶ 北京市生態環境状況公報（2019）

²⁷ 第2次首都圏大気環境管理基本計画（2015-2024年）修正計画（2020年4月）

²⁸ 同

²⁹ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

³⁰ 2020年揮发性有機物治理攻坚方案：

http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/202006/t20200624_785827.html

<https://www.jetro.go.jp/biznews/2020/07/a2bd4b9e40793d57.html>

³¹ http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/201907/t20190703_708395.html

<https://www.jetro.go.jp/biznews/2019/07/49ffd5459c5bca69.html>

2.1.4 オゾン対策に関するフレームワーク

- ・ アメリカでは、大気浄化法により、EPA に大気環境基準を設定する権限を与え、州・地方政府に大気環境基準を達成するために SIP の策定を義務付けている。EU では NEC 指令により、大気汚染物質の排出量上限値を国別に設定し、加盟国は NAPCP を設定し対策を行っている。

表 7 オゾン対策に関するフレームワークの比較

	対策のフレームワーク	特徴的な取組等
日本	○環境基本法に“政府は環境基準が確保されるように努めなければならない”と規定³²。 ○VOC対策は法規制と（業界団体の）自主的取組のベストミックス施策として推進され、自主的取組を促進することが基本。	業界団体が自主行動計画を策定、結果を国に報告。
米国	○大気浄化法の下、環境基準を非達成の州が、SIPを策定し、それに基づき対策を実施。 ○環境基準を達成するために必要な措置を講じる義務を果たさない場合罰則（新規の固定発生源施設の建設不認可など）あり。	広域連携により対策を実施。 （ワシントンDCと周辺の2州）
欧州	○EUが大気汚染物質の排出上限値を国別に設定。 ○各国は、国別排出上限値を超えないようNAPCPを計画、排出コミットメントを公表、対策を実施。 ○EUは対策の実施を支援、実施状況をチェック、加盟国間での優良事例の共有をファシリテート。	排出量による管理の方が濃度での評価に比べて対策による効果が評価（見える化）しやすい。 EUが加盟国間での優良事例を共有する場を設定³³。

2.1.5 排出インベントリ

- ・ 米国の各州や EU の加盟国は、いずれもオゾン対策の基礎的データとなる排出インベントリを整備しており、EU ではインベントリ整備のための支援を行っている。わが国では、国全体の排出インベントリを国が作成している。検討会では、地方公共団体が活用しやすいデータの整備が必要であることが指摘された。

表 8 排出インベントリの整備状況の比較

	排出インベントリの整備状況
日本	○国全体の排出インベントリを国が整備。
米国	○全国インベントリを作成し、3年ごとに更新³⁴ ○各州がSIPの作成・評価のため州ごとの排出インベントリを整備³⁵。
欧州	○加盟国が毎年インベントリを作成し、その報告に基づき欧州全体の排出インベントリを整備 ³⁶ 。

³² 環境基本法第十六条第四項。

³³ EU 提供資料（Clean Air Dialogues: Policy support for air quality improvements example from Slovakia, 13 July 2018, European Commission DG Environment, Clean Air Unit）

³⁴ 米国 EPA へのヒアリングによる（2019 研究報告書、p.88）

³⁵ 米国ワシントン DC へのヒアリングによる（2019 研究報告書、p.87）

³⁶ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

	○インベントリの作成費用は加盟国が負担（EUが一部支援³⁷⁾。 ○EUは加盟国のインベントリの品質を管理（レビューアーがチェック）³⁸⁾。 ○排出源がもれていないかモデルの予測値と実測値を比較³⁹⁾。（ドイツ）
--	---

2.1.6 対策実施の考え方

① 対策戦略の動向

- ・ 米国各州の SIP や EU 加盟国の NAPCP、また現地ヒアリング等から収集したオゾン対策の戦略を次表に示す。米国では、1つの州・地区だけではオゾン対策ができない場合広域的に対策に取り組んだり、環境基準を達成するために、様々なステークホルダーを巻き込んで規制を検討したり、自然由来の BVOC 対策を進めている例がみられる。EU では、大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスと同時に大気汚染物質を排出削減する Win-Win Solution に主軸を置いている。また、欧州では排出削減コミットメントの達成可能性を検討するため、WMシナリオ（現状の対策によるシナリオ）と WAM シナリオ（対策を追加したシナリオ）で将来のオゾン濃度の推計を行い、ドイツでは WAM シナリオに気候変動対策を含めている。

表9 オゾン対策の戦略の比較

	オゾン対策の戦略
日本	○法規制と（業界団体の）自主的取組のベストミックス。
米国	○1つの州・地区だけではオゾン対策ができないため広域で対策に取り組む（ワシントンDCと周辺2州） ○実践性・持続可能性を考慮し、様々なステークホルダーを巻き込んで規制を検討⁴⁰⁾。（カリフォルニア州） ○環境基準を達成するため自然由来BVOC対策を推進⁴¹⁾。（カリフォルニア州とテキサス州）
欧州	○大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスを排出削減するWin-Win Solutionが主軸⁴²⁾。 ○排出削減コミットメントの達成可能性を、WMシナリオとWAMシナリオで推計⁴³⁾。 ○気候変動対策を含めたWAMシナリオで将来のオゾン濃度平均値を推計⁴⁴⁾。（ドイツ） ○オゾン濃度は、法的拘束力のある基準値（Limit Value）ではなく目標値（Target Value）であることから、NAPCPで対策を優先すべき対象物質ではない⁴⁵⁾。（ドイツ）

³⁷⁾ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

³⁸⁾ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

³⁹⁾ ドイツ環境省へのヒアリングによる。

⁴⁰⁾ 米国ヒアリングによる（2019 研究報告書、p.82-84）

⁴¹⁾ H. Taha, J. Wilkinson, R. Bornstein, Q.F. Xiao, G. Mcpherson, J. Simpson, et al. : An urban-forest control measure for ozone in the Sacramento, CA Federal Non-Attainment Area (SFNA), Sustainable Cities and Society, 21, pp.51-65 (2016)

T. Kroeger, F.J. Escobedo, J.L. Hernandez, S. Varela, S. Delphin, J.R.B. Fisher, et al. : Reforestation as a novel abatement and compliance measure for ground-level ozone, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111, 40, pp.E4204-E4213 (2014)

⁴²⁾ 2020 研究報告書、p.115

⁴³⁾ 2020 研究報告書、p.115

⁴⁴⁾ National Air Pollution Control Programme of the Federal Republic of Germany

⁴⁵⁾ ドイツ環境省へのヒアリングによる。

	ツ) ○都市の大気環境の改善をSDGsの目標11“住み続けられる街づくり”の施策として位置付けて推進⁴⁶。(オーストリア)
--	--

(参考情報) オゾン対策におけるメタンの扱い

- これまで、メタンは光化学反応の活性が低いことが知られており、光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の対策では対象とする必要は無いという考えで、発生源の排出抑制、大気環境中の濃度管理などでは、メタンを除いた炭化水素類(非メタン炭化水素: NMVOC)を指標として使っている⁴⁷。
- これに対し、EU では、オゾン対策として加盟国による排出削減コミットメントの対象物質にメタンをオゾンの前駆物質として入れることについて協議が行われている⁴⁸。

② 広域連携の状況

- 各国におけるオゾン対策に係る広域連携の枠組や取組を示す。米国ではワシントン DC と周辺の2州（メリーランド州、バージニア州）が設置するワシントン首都圏政府調整協議会が広域的な汚染対策を推進している。イタリアでは、複数の省庁や自治体が連携して広域の大気環境を改善する仕組みがみられる。わが国においても9都県市青空ネットワークなどの取組が行われているが、検討会では、大気汚染物質の流入等を考慮した欧米における自治体を越えた地域連携の事例は、今後わが国の地方公共団体にも参考となることが指摘された。

表 10 広域連携の取組

	広域連携の取組例
日本	○地方公共団体の連携による啓発リーフレットの配付やガソリンベーパー対策の推進、行政職員の連絡会の開催 ⁴⁹ 。（9都県市青空ネットワーク）
米国	○ワシントンDCと周辺の2州（メリーランド州、バージニア州）が設置するワシントン首都圏政府調整協議会が広域的な大気汚染対策を推進 ⁵⁰ 。
欧州	○ポー川流域地域における大気質を改善するための協定 ⁵¹ 。（イタリア）

③ 対策のコスト分析・アセスメント（評価）

- 各国における対策のコスト分析・アセスメント（評価）の枠組や取組を示す。米国や欧州では対策の実施前にコスト分析を行い、実施後にはアセスメント（評価）を行っている。検討会では、このように対策実施前に効果の見込みを立て、コスト分析を行うことはわが国にも参考となることが指摘された。

⁴⁶ 2019 National Air Pollution Control Programme (Austrian Federal Ministry for Sustainable Development and Tourism)

⁴⁷ 環境再生保全機構ホームページ <https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/yougo/kw111.html>

⁴⁸ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

⁴⁹ <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/conf/conf140717/mat05.pdf>（2021年12月25日閲覧）

⁵⁰ 米国ヒアリングによる（2019研究報告書、p.82-84）

⁵¹ DRAFT National Air Pollution Control Programme, 2019, Italy

表 11 対策のコスト分析・アセスメント（評価）の比較

	対策のコスト分析・アセスメント（評価）
日本	○検討への取組みがみられる。 ・微小粒子状物質については、一部の地方公共団体（東京都）で検討 ⁵² 。 ・局地的大気汚染対策の評価については、ERCAが委託研究で検討 ⁵³ 。（研究事例）
米国	○すべての対策についてアセスメント（評価）を実施（費用対効果が5,000 US\$/ton-NOx 以下であること、その対策が1ton-NOx/day 以上であること） ⁵⁴ （ワシントン首都圏政府調整協議会）
欧州	○削減目標を達成するために費用対効果がどの程度になるのかモデルを使用して計算 ⁵⁵ 。

④ 越境汚染対策

- ・各国における越境汚染対策の考え方を示す。オゾン濃度は移流による影響が大きいことから、EU 加盟国が作成する排出削減コミットメントでは、越境汚染について記述するセクションがある。また、ドイツやカルフォルニア州において二国間協議を行っている例がみられる。わが国でも気象条件によって越境汚染の影響を強く受けることが近年指摘されていることから、越境汚染に対する欧米の取組は参考となると考えられる。

表 12 越境汚染対策の動向・考え方の比較

	越境汚染対策の動向・考え方
日本	○大気汚染に関する日中韓三カ国政策対話（日中韓光化学オキシダント科学研究ワークショップ）。 ○気象条件によって越境汚染の影響を強く受ける ⁵⁶ 。 ○ローカル地域の対策効果を把握するために光化学オキシダントの日中生成量を用いた新たな指標を提案 ⁵⁷ 。（研究事例）
米国	○複数の州からなる協議会を設置し越境汚染対策を推進 ⁵⁸ 。 ○越境汚染により基準を達成できない場合、達成目標の緩和が可能 ⁵⁹ 。 ○メキシコの政府機関の関係者と越境汚染対策に係るWork Group meetingを実施 ⁶⁰ 。（カルフォルニア州）
欧州	○加盟国は排出削減コミットメントにおいて越境汚染について言及 ⁶¹ 。 ○越境汚染対策をNAPCPの施策の一つに位置付け。越境汚染対策に係る二国間協議を実施 ⁶² 。（ドイツ）

⁵² 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（大気中微小粒子状物質検討会、2019）

⁵³ 局地的大気汚染対策に係る調査研究の体系的レビューとその成果を活用した局地的対策パッケージに関する調査研究（環境情報科学センター、2016）

⁵⁴ 米国ヒアリングによる（2019 研究報告書、p.87）

⁵⁵ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

⁵⁶ Akinori Fukunaga et al., 2021

⁵⁷ 同

⁵⁸ 米国ヒアリングによる（2019 研究報告書、p.82-84）

⁵⁹ 米国ヒアリングによる（2019 研究報告書、p.85）

⁶⁰ 米国ヒアリングによる（2019 研究報告書、p.80）

⁶¹ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。

⁶² ドイツ環境省へのヒアリングによる。

⑤ オゾン感度レジームに対する考え方

- オゾンの生成は、前駆物質（NO_x、VOC）の大気中での濃度比により、どちらの前駆物質の削減が効果的か決まり、これは「オゾン感度レジーム」と呼ばれる。オゾン感度レジームには VOC 律速（オゾン生成削減には VOC 削減が有効）、NO_x 律速（オゾン生成削減には NO_x 削減が有効）、混合律速（NO_x 律速と VOC 律速の中間の状態）がある。わが国の場合、自動車や工場の多い都市部は主に VOC 律速、山林に近い郊外は NO_x 律速になっている⁶³。各国におけるオゾン感度レジームの考え方について特徴等を示す。

表 13 オゾン感度レジームに関する考え方の比較

	オゾン感度レジームに関する考え方
日本	○オゾンの適切な排出削減対策を決定するためには、地域における律速状態を把握することが重要であるとの指摘がある ⁶⁴ 。
米国	○対策に当たりオゾン感度レジームを考慮 ⁶⁵ 。（ワシントン首都圏政府調整協議会） ○VOCの削減が進み、現在はNO _x 律速であることを踏まえNO _x の削減に取り組む ⁶⁶ 。（ワシントン首都圏政府調整協議会）
欧州	○EUが公開する文書やEU加盟国のNAPCPにオゾン感度レジームに関する言及はみられない。 ○EUの法制度の中には、オゾン感度レジームは考慮されていない。実際には各地域の管理戦略を成功させるには考慮する必要がある。対策シナリオにおいては、VOCとNO _x の削減の両方を目指す ⁶⁷ 。

⑤ ガソリンベーパー対策

- ガソリンベーパーは、ガソリンスタンドでの給油時などに放出される VOC であり、わが国では、都市部の自治体を中心に条例に基づいて対策が実施されている。米国各州の SIP や EU 加盟国の NAPCP 等から収集した各国におけるガソリンベーパー対策の例を示す。

表 14 ガソリンベーパー対策の比較

	ガソリンベーパー対策
日本	○都市部の自治体を中心に、条例に基づいて対策を実施 ⁶⁸ 。 ○VOC排出抑制対策を行っている給油所の認定制度 ⁶⁹ 。
米国	○VOCの放散を削減した改質ガソリンの販売義務付け ⁷⁰ 。

⁶³ 光化学オキシダント等大気環境に係る科学的知見等に関する調査(経済産業省、2018 年)

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.8b05981?rand=pjk5mgjm#>

⁶⁴ VOC 削減による大気汚染改善効果に関するレビュー(公益社団法人大気環境学会、H28 年度光化学オキシダント等に関する文献等調査業務研究会、2017 年)

⁶⁵ 米国ヒアリングによる (2019 研究報告書、p.85)

⁶⁶ 米国ヒアリングによる (2019 研究報告書、p.85)

⁶⁷ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる

⁶⁸ 九都県市青空ネットワークホームページ、ガソリンベーパー対策について

http://9taiki.jp/ox/gas_about.html (2021 年 12 月 25 日閲覧)

⁶⁹ 環境省ホームページ、大気環境配慮型 SS (e→AS) 認定制度について

<http://www.env.go.jp/air/osen/voc/e-as/> (2021 年 12 月 25 日閲覧)

⁷⁰ § 7545. Regulation of fuels. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/USCODE-2013-title42/html/USCODE-2013-title42-chap85-subchapII-partA-sec7545.htm>.

	○ガソリン貯蔵タンクや車両燃料タンクからの蒸気回収システムの導入 ⁷¹ 。(ニューヨーク州)
欧州	○燃料システムの密閉を強化しタンクに活性炭フィルターを設置 ⁷² 。(ドイツ)
韓国	○首都圏を中心とした大気管理ゾーンにおける蒸気回収装置のとりつけ義務 ⁷³ 。 ○零細ガソリンスタンドへの蒸気回収設備設置を支援 ⁷⁴ 。

⑥ BVOC 対策に関する取組

- ・ 生体揮発性有機化合物 (BVOC) はオゾンの前駆物質であるが、米国各州の SIP や EU 加盟国の NAPCP において BVOC に関する対策はみられなかった。文献検索や現地ヒアリングによって収集した各国における BVOC への取組状況を次表に示す。米国では森林制御対策に関する研究がカリフォルニア州とテキサス州で行われている。ドイツでは BVOC のインベントリは整備されていない (ただし、大気汚染に関する独自モデルから BVOC を推計することは可能)。

表 15 BVOC への取組状況の比較

	BVOCへの取組状況
日本	○国内のBVOC排出量の実態把握、BVOC排出インベントリの精緻化が望まれている ⁷⁵ 。
米国	○BVOC対策としての森林制御に関する研究 ⁷⁶ (研究事例：カルフォルニア州、テキサス州)
欧州	○BVOC排出インベントリは整備していない。(ただし、大気汚染に関する独自モデルによりBVOCを推計することは可能) ⁷⁷ 。(ドイツ)

⑦ その他の取組

- ・ 米国では、インセンティブの付与により市民等の行動変容を促したり、排出削減目標を達成するため企業に働きかけを行う取組などがみられる。また欧州では気候変動対策と関連付けた取組の例がみられる。

表 16 その他の取組

	その他の取組
米国	○認定されたクリーンエネルギー商品の購入に対してインセンティブを付与 ⁷⁸ 。

⁷¹ New York State Department of Environmental Conservation, 2017. New York State Implementation Plan for the 2008 Ozone National Ambient Air Quality Standards. Retrieved on June 21, 2019 from https://www.dec.ny.gov/docs/air_pdf/sip2008o3nynafinal.pdf.

⁷² National Air Pollution Control Programme of the Federal Republic of Germany

⁷³ PM2.5 管理総合計画(2020～2024)

⁷⁴ 同

⁷⁵ 光化学オキシダント調査検討会報告書 (環境省、平成 29 年 3 月)

⁷⁶ H. Taha, J. Wilkinson, R. Bornstein, Q.F. Xiao, G. Mcpherson, J. Simpson, et al. : An urban-forest control measure for ozone in the Sacramento, CA Federal Non-Attainment Area (SFNA), Sustainable Cities and Society, 21, pp.51-65 (2016)

T. Kroeger, F.J. Escobedo, J.L. Hernandez, S. Varela, S. Delphin, J.R.B. Fisher, et al. : Reforestation as a novel abatement and compliance measure for ground-level ozone, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111, 40, pp.E4204-E4213 (2014)

⁷⁷ ドイツ環境省へのヒアリングによる。

⁷⁸ Plan to Improve Air Quality in the Metropolitan Washington, DC-MD-VA Region: State Implementation Plan (SIP) for 8-Hour Ozone Standard

	○大型トラックのエンジンをよりクリーンなエンジンに交換するインセンティブプログラムを実施⁷⁹。 ○自動車メーカーにゼロエミッションビークル（ZEV）の年間販売台数を要求して排出削減目標を達成⁸⁰。 ○オゾン汚染改善と都市ヒートアイランド対策のための植生キャノピー保全⁸¹。（ワシントンD.C周辺） ○建物の暖房燃料のクリーン化⁸²。（ニューヨーク州）
欧州	○脱炭素化の動きが大気汚染物質濃度の低減に寄与することを分析 ⁸³ 。

2.2 考察

- ・ 当初の研究計画では、わが国の都道府県あるいは政令市ベースでの対策に資する情報の入手を試みたが、米国および欧州を調査した結果、オゾンは二次的汚染で非常に広域的な汚染であることや、周辺地域からの移流による影響も大きく、米国では州レベル、欧州では国レベルの対策が主流となっていたことから、わが国の都道府県あるいは政令市が直ちに導入できるような対策に関する情報は得られなかった。
- ・ 米国は連邦政府が政策を決め、州において実際の対策を行っている。EUにおいても環境大気質指令、NEC 指令などの指令があり、それを各国が実際に対策として実施している。米国連邦政府と州あるいは EU と各加盟国の関係を、日本における国と都道府県・政令市の関係に対比させながら、日本におけるオゾン対策への適用可能性を以下に考察した。

2.2.1 大気環境政策のフレームワーク

- ・ EU の NEC 指令に準じたフレームワークは、O₃ 濃度での評価に比べて、大気汚染物質の排出量で管理することから対策による効果が評価（見える化）しやすいであろう。その場合、排出インベントリ及び排出削減量のデータの科学的妥当性、算出技術、精度管理等が課題と考えられる。また、排出インベントリは、都道府県別に整備されている必要がある。
- ・ 米国の大気汚染政策のフレームワーク（すなわち、各州は環境基準を達成するまで対策を義務付け、非達成の場合には厳しい罰則）を日本に取り入れることは、1つの地方自治体が対策したところでオゾン濃度が低減するものではないこと、環境基準を達成する見通しが現時点で得られていないこと、予算措置上等の観点から、米国の SIP のフレームワークをそのまま導入することは難しい面がある。ただし、地方自治体が対策を実行することを考えれば、段階的に実現可能な達成できる目標を設定し、各地方自治体に削減目標量を割り当てて国全体で排出量を低減していくフレームワークは考えられる。

⁷⁹ California Air Resources Board 提供資料

⁸⁰ California Environmental Protection Agency Air Resources Board. Revised Proposed 2016 State Strategy for the State Implementation Plan. 2017.

⁸¹ Plan to Improve Air Quality in the Metropolitan Washington, DC-MD-VA Region: State Implementation Plan (SIP) for 8-Hour Ozone Standard

⁸² The City of New York. PlaNYC: A Greener, Greater New York. Retrieved on September 6, 2019 from http://www.nyc.gov/html/planydc/downloads/pdf/publications/full_report_2007.pdf.

⁸³ 欧州委員会環境局へのヒアリングによる。分析結果を報告した EU 資料：「THE SECOND CLEAN AIR OUTLOOK」(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TEXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0003&from=EN>)

2.2.2 環境基準

- ・ アメリカでは、大気浄化法により、5年ごとに大気汚染物質の健康影響などの科学的知見をレビューし、大気環境基準の変更について検討することを義務付けている。
- ・ EUでは、ヒトの健康を守るための大気環境基準では、PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、COに基準値 (Limit Value) が規定されている。しかし、O₃には目標値 (Target Value) が規定されている。すなわち EU では、オゾン濃度の環境基準値は、“目標とする値”である。
- ・ 日本では、光化学オキシダントの環境基準は1973年に告示され、1時間値が0.06ppm以下と定められた。その後、光化学オキシダントの環境基準の改訂はなされていない。日本の光化学オキシダント濃度の環境基準達成率(平成30年度)が一般局で0.2%、自排局で0%であり、現時点で環境基準を達成する見通しが得られていないことから、実現可能な目標を段階的に設定し、環境基準を達成に導くためのルールを敷くようなことを含めたフレームワークを検討することが望まれる。また、米国及び EU で適用されている植生保護のための基準の追加の必要性なども、地球温暖化によるオゾン濃度の上昇により植生への影響が指摘されていることから検討することが望まれる。

2.2.3 排出インベントリと削減目標

- ・ 米国及び各州、EU 及びその加盟各国は、いずれも排出インベントリを整備しており、米国、EU ではインベントリ整備のための支援を行っている。EU では、2030年までに粒子状物質と O₃ による早期死亡数を2005年と比較して半減させることを目指し、排出インベントリに基づくモデルにより、排出上限値を国別に設定して削減目標を設定している。
- ・ 日本では、2000年代に VOC 削減目標を設定した時期があったが、現在ではそのような削減目標はされていない。2006年の改正大気汚染防止法に基づき、その後5年間、法規制と自主的取組を組み合わせた施策手法によって、2010年末までに日本全体で固定発生源からの VOC 排出量を2000年比で約3割削減するという目標が掲げられた。この期間の排出量は、2000年比で約44%削減となり目標を達成した。一方、光化学オキシダント注意報レベル非超過の測定局の割合は、2000年以降10年間で5~6割と横ばいのままであった。こうした状況に対し、産業界にとっては、VOC 処理装置等の導入や稼働による使用エネルギーの増大等、経済的な負担が大きく、法の施行は時期尚早ではなかったかとの指摘がある^{84, 85, 86}。以上のような背景があり、信頼性のある推計モデルとインベントリの整備が課題となっている。
- ・ 一方、隣国の韓国では、2024年までの VOC 削減量について、2016年を基準に7%削減を掲げている。
- ・ 削減目標を示さなくても、現状維持の政策によるオゾン前駆物質の増減とオゾン濃度について将来推計を行うことは、環境基準達成する時期の見通しや追加対策の検討をする上で重要であると考えられる。このため、地方自治体が主体となって当該地域のオゾン濃度を将来予測するためには、都道府県別の排出インベントリ等が必要になる。しかしながら、ワシントン D.C. における Ozone Transport Commission の事例と同様に、都道府県別に整備することはコ

⁸⁴ 油井喜春：印刷産業の VOC 排出抑制対策 (VOC など臭気対策の最新動向)，産業と環境，40，12，pp.73-76 (2011)

⁸⁵ 遠藤小太郎：VOC など臭気対策の最新動向 VOC 排出削減の取組成果と今後の展開，産業と環境，42，12，pp.33-37 (2013)

⁸⁶ 橋森武志：揮発性有機化合物(VOC)排出抑制の取組に関する最近の動きについて-産業構造審議会産業環境対策小委員会における検討と VOC 排出抑制セミナー等の再開について，環境管理，50，7，pp.52-57 (2014)

スト及び技術面から容易ではないことから、国が整備している排出インベントリを活用するなど、国・地方・民間の研究所の連携が重要となる。

2.2.4 対策の戦略

- ・ オゾン対策の戦略として、米国では、1つの州・地区だけではオゾン対策ができないため、大きい地域（Regional）で対策に取り組む例がみられる。ワシントン DC、メリーランド州、バージニア州は、オゾン前駆物質が越境汚染で飛来することから、Ozone Transport Commission (OTC) という複数の州からなる委員会を組織し対策に取り組んでいる。
- ・ カリフォルニア州の SIP には、対策の戦略として、経済的、技術的、将来的に実践性・持続可能性を考慮し、市民、企業、科学者、他国など様々な関係者を巻き込んで規制を検討することが示されている。また、Cost-Effective、Long-Investment の視点が盛り込まれている。対策の種類としては、規制、インセンティブ、自主的取組がある。
- ・ また、カリフォルニア州では、環境基準を達成する戦略の一つとして森林制御対策に関する研究^{87, 88} が行われている。同様の研究はテキサス州⁸⁹でも行われており、自然由来の BVOC 対策をしなければ環境基準を達成できない切実な事情と、広大な土地を有するという両州の特徴を表している。
- ・ EU における戦略をみると、大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスと同時に大気汚染物質を排出削減する Win-Win Solution に主軸を置いている。具体的には、石炭による発電の段階的廃止、再生可能エネルギーの発電シェアの引き上げ、電気自動車の普及などである。排出削減コミットメントの達成可能性は、現状対策シナリオと追加対策シナリオで推計が行われており、例えば気候変動対策を含むドイツの WM (With measure) シナリオは、Win-Win Solution の一例と考えられる。
- ・ 温室効果ガス対策を優先的課題として進めていくことは国際社会のコンセンサスであることから、わが国においても温室効果ガスと同時に大気汚染物質を削減することへの賛同は得られるであろう。そこで、今後のわが国のオゾン対策の第1ステップは、現状維持の対策で、2030年に大気汚染物質が何%削減又は増加するか、将来のオゾン濃度がどの程度になるか推計すること（日本版 WM シナリオ）。第2ステップは、気候変動対策である温室効果ガス削減の Win-win solution に主軸を置いた追加対策を推進した場合、オゾン濃度がどうなるか推計すること（日本版 WAM シナリオ）が考えられる。

2.2.5 対策効果の経年変化をみる指標

- ・ EU における日最大8時間値の 93.2 パーセントイルのオゾンの経年変化(2009年～2018年)の解析では、95%の測定局で有意な増減傾向はみられない。NO_x の排出量は2010年から2017年に約 20%削減、NMVOC の排出量は約 13%削減されたが、オゾン濃度の経年的な傾向とは

⁸⁷ J.R. Simpson, E.G. Mcpherson : The tree BVOC index, Environmental Pollution, 159, 8-9, 2088-2093 (2011)

⁸⁸ H. Taha, J. Wilkinson, R. Bornstein, Q.F. Xiao, G. Mcpherson, J. Simpson, et al. : An urban-forest control measure for ozone in the Sacramento, CA Federal Non-Attainment Area (SFNA), Sustainable Cities and Society, 21, 51-65 (2016)

⁸⁹ T. Kroeger, F.J. Escobedo, J.L. Hernandez, S. Varela, S. Delphin, J.R.B. Fisher, et al. : Reforestation as a novel abatement and compliance measure for ground-level ozone, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111, 40, E4204-E4213 (2014)

整合しない、と報告されている⁹⁰。その理由として、オーストリアの NAPCP では、NO_x と NMVOC を削減しても、気候変動による気温上昇、東アジアでのオゾン生成の増加、世界的なメタン排出増加によって相殺されることが報告されている⁹¹。オゾン濃度は移流や地球温暖化による影響が大きく、前述の通り、EU、ドイツやわが国においても、前駆物質削減によるオゾンの対策効果をオゾンの基準値を超える頻度で評価した場合、対策効果が検出しづらいことが報告されている。日本では、光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標として、8 時間値の日最高値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年平均値を提唱した。しかしながら、この指標でも、気象条件によって越境汚染の影響を強く受けることが近年指摘されており、Fukunaga らは、気象条件によらないローカル地域のオキシダント生成量を評価する新たな指標を提案している⁹²。

- ・ 最近の研究で、EU 諸国の前駆物質削減対策だけでは限界があり、長距離移動や対流圏の垂直拡散による移流、地球温暖化による影響が大きいことを指摘している。
- ・ このようにオゾンは移流による影響が大きいことから、東アジア諸国でのインベントリの整備と共有が必要であるとともに、ローカル地域の対策による効果が見える化できるような指標での評価が望まれる。

2.2.6 オゾン感度レジーム

- ・ 欧州環境庁が毎年発行している “Air quality in Europe” や EU 加盟国の NAPCP では、オゾン濃度対策に考慮すべき事項として、オゾン感度レジームに関する言及は見られなかった。その理由として、NO_x と VOC のどちらの濃度も下げる必要があること、NO₂ は遵守すべき基準値が定められているのに対し、オゾン濃度は基準値ではなく目標値であることと考えられた。しかし、Barros らは、オゾン生成は非線形の化学反応であるため、NEC 指令は単なるガイドライン値とするのではなく、NO_x/NMVOC 比に着目して排出量の削減を課すべきであると指摘している⁹³。(N. Barros et al., 2015)
- ・ オゾン対策をする上で、オゾン感度レジームを考慮する場合には、NO_x と NMVOC の排出削減バランスを適切にコントロールすることが考えられるが、その排出削減バランスは、各地方自治体（または地域の共同体）が当該地域の日本版 WM シナリオや WAM シナリオによる排出削減量と濃度推計シミュレーションにより検討することができるであろうと考えられる。
- ・ なお、現在、日本の NO₂ の環境基準達成率(2019 年度)は一般局で 100%、自排局で 100% と高いこと、都市部のオゾン感度レジームは主として VOC 律速であることから、都市部における光化学オゾン対策は、(NO₂ よりも) VOC 排出削減に重点が置かれていた面があった。一方、2021 年 9 月に WHO は新基準として年平均値 10 μg/m³ (≒5.3ppb) と定めており、この基準を当てはめた場合、達成している局はわずかに全国の一般局で 29%、自排局で 2% (筆者らの調べ) であり、今後 VOC と NO₂ の両物質についてさらなる排出削減を推進していく必要があると考

⁹⁰ European Environment Agency. (2020) Air Quality in Europe 2020 Report.

⁹¹ Federal Ministry of sustainability and Tourism, Austria. (2019) National Air Pollution Control Programme.

⁹² Fukunaga A., Sato T., Fujita K., Yamada D., Ishida S., Wakamatsu S. (2021) Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki. *Atmosphere*, 12(4), 446.

⁹³ Barros N., Fontes T., Silva M. P., Manso M. C., Carvalho A. C. (2015) Analysis of the effectiveness of the NEC Directive on the tropospheric ozone levels in Portugal. *Atmospheric Environment*, 106, 80-91.

えられる。

2.2.7 適用可能性のまとめ

- ・ 各国のオキシダント対策の考え方や枠組み・取組の適用可能性について整理した結果を次表に示す。

表 17 海外におけるオキシダント対策の適用可能性（導入すべきこと・学ぶべきこと、まとめ）

	導入すべきこと・学ぶべきこと		参考事例
	日本でも取り組むべき対策	日本の事情を踏まえた検討が必要な対策	
1. 環境基準の考え方	■環境基準の定期的な見直し ・5年ごとに大気環境基準の変更について検討(米国)	■健康保護に加え植生保護等をねらいとした環境基準 ・健康を保護する環境基準と公共の福祉(植生など)を保護する環境基準の2つを設定(米国) ・ヒトの健康を守るための大気環境基準と、植生保護のための環境基準を設定(EU)	■参考となる環境基準の考え方 ・粒子状物質とO ₃ による早期死亡数の半減という指標を明示し削減目標を設定(EU) ・世界保健機関 WHO の指針に基づき対策のシナリオを検討(EU)
		■削減目標の設定方法 ・モデルにより EU 全体の排出削減値を設定し加盟国に割り振り(EU 及び加盟国)	■削減目標の設定方法 ・より幅広い業種に対し排出基準を策定(中国) ・地方がより厳格な地方排出基準を制定することを奨励(中国)
2. オゾン対策のフレームワーク			■フレームワーク ・大気環境基準を達成するために州・地方政府に州実施計画の策定を義務付け(米国) ・排出量を国別に設定し、排出削減コミットメントの達成状況を評価(EU)
		■対策の役割分担(優良事例の共有) ・EU から加盟国への支援として加盟国間での優良事例の共有(EU)	■対策の役割分担 ・加盟国が対策を実施し、EU は対策の支援、実施状況のチェック等を行う役割分担(EU)
3. 排出インベントリの整備			■排出インベントリ作成の役割分担 ・排出インベントリを各州が整備(米国) ・毎年、各国が排出インベントリを報告(EU) ・EU から加盟国に対し排出インベントリの作成を支援(EU)
			■排出インベントリの精度向上 ・各国のインベントリがセクターを網羅しているか等、レビューがチェック(EU) ・リモートセンシングを用いてインベントリを検証(ドイツ) ・排出インベントリがもれていないかモデルの予測値と実測値を比較(ドイツ)
4. 対策実施	■EU における対策戦略 ・大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスを排出削減する Win-Win Solution が主軸(EU) ・排出削減コミットメントの達成可能性を WM シナリオと WAM シナリオで推計(EU)	■米国における対策戦略 ・複数の州からなる協議会を設置し広域で対策を推進(米国) ・実践性・持続可能性を考慮し、様々なステークホルダーを巻き込んで規制を検討(カリフォルニア州) ・環境基準を達成するため自然由来 BVOC 対策を推進(カリフォルニア州、テキサス州他) ■SDGs への位置づけ ・都市の大気環境の改善を SDGs の目標 11“住み続けられる街づくり”の施策として位置付けて推進(オーストリア)	■EU における対策戦略 ・気候変動対策を含めた WAM シナリオで将来のオゾン濃度平均値を推計(ドイツ)
			■オゾン対策としてのメタンへの着目 ・排出削減コミットメントの対象物質にメタンを入れることについて協議(EU)

	導入すべきこと・学ぶべきこと		参考事例
	日本でも取り組むべき対策	日本の事情を踏まえた検討が必要な対策	
4. 対策実施(続き)	■対策コスト等の分析 ・費用対効果や実現可能性から対策の評価を実施(ワシントン DC と周辺2州) ・排出削減目標を達成するためにモデルを使用して費用対効果を算出(EU)		■対策コスト等の分析 ・すべての対策についてアセスメント(評価)を実施(費用対効果が 5,000 US\$/ton-NOx 以下であること、その対策が 1ton-NOx/day 以上であること)(ワシントン首都圏政府調整協議会) ・脱炭素化の動きが大気汚染物質濃度の低減に寄与することを分析(EU)
		■広域連携による対策の推進 ・複数の州からなる協議会を設置し広域で対策を推進(米国、再掲)	■広域連携による対策の推進 ・ポー川流域の大気質を改善するため複数の省庁・自治体が協定を締結(イタリア)
		■越境汚染対策 ・排出削減コミットメントにおいて越境汚染について言及(EU 加盟国)	■越境汚染対策 ・複数の州からなる協議会を設置し越境汚染対策を推進(米国) ・メキシコの政府機関と Work Group meeting を実施(米国) ・越境汚染による基準未達成の場合の規制緩和(米国) ・越境汚染対策に係る二国間協議を実施(ドイツ)
		■オゾン感度レジームに対する考え方 ・オゾン感度レジームを考慮した対策の実施(ワシントン DC ほか) ・VOC と NOx、両方の削減の推進(EU)	
			■ガソリンベーパー対策 ・VOC の放散を削減した改質ガソリンの販売義務付け(米国) ・ガソリン貯蔵タンクや車両燃料タンクからの蒸気回収システムの導入(ニューヨーク州) ・燃料システムの密閉を強化しタンクに活性炭フィルターを設置(ドイツ) ・首都圏を中心とした大気管理ゾーンにおける蒸気回収装置のとりつけ義務(韓国) ・零細ガソリンスタンドへの蒸気回収設備設置を支援(韓国)
			■インセンティブプログラム ・大型トラックのエンジンをよりクリーンなエンジンに交換するインセンティブプログラムを実施(米国) ・認定されたクリーンエネルギー商品の購入に対してインセンティブを付与(米国)
			■その他 ・自動車メーカーにゼロエミッションビークル(ZEV)の年間販売台数を要求して排出削減目標を達成(米国) ・オゾン汚染改善と都市ヒートアイランド対策のための植生キャンピの保全(米国)

3 総括

欧米諸国及び中国・韓国におけるオゾン対策の実態を整理した。米国と欧州では大気汚染対策の法制度や環境基準の考え方が異なっており、オゾン対策の枠組みや方針が異なることが示された。米国では、オゾン濃度の環境基準を非達成の州は SIP を策定することが義務付けられ、環境基準を達成するまで継続することが法律で定められており、複数の州による広域連携や自然由来の BVOC 対策の検討までしなければ環境基準を達成できない切実な事情がみられた。欧州では、NO₂ には遵守すべき基準値が定められているのに対してオゾン濃度には目標値を設定しており、NAPCP に森林制御対策やオゾン感度レジームに関する言及はみられず、大気保全施策とエネルギー政策との一貫性から温室効果ガスと同時に大気汚染物質を排出削減する Win-Win Solution に主軸を置いていた。米国と欧州では法制度や環境基準の考え方によってオゾン対策の方針にも影響していた。わが国の環境基準は、1973 年に告示されたが、環境基準達成率は一般局で 0.2%（平成 30 年度）と低く、現時点で達成する見通しが得られていないことから、実現可能な目標を段階的に設定し、環境基準の達成を導くためのルールを敷くようなことを含めたフレームワークを検討することが望まれる。オゾン濃度は、移流による影響が大きいことから、欧米諸国では越境汚染に向けた取組がみられており、わが国においても、東アジアでのオゾン生成の増加が指摘されていることから、一層の前駆物質対策とその効果としての前駆物質削減量や濃度予測の必要性が求められると考える。地方自治体が主体となって当該地域のオゾン濃度を将来予測するためには、都道府県別の排出インベントリ等が必要になる。しかしながら、都道府県別に整備することはコスト及び技術面から容易ではないことから、国が整備している排出インベントリを活用するなど、国・地方・民間の研究所の連携が重要となる。気候変動対策を進めていくことは国際社会のコンセンサスであることから、気候変動対策である温室効果ガス削減との Win-win solution に基づく日本版 WM シナリオ／WAM シナリオの検討が考えられる。

4 学会発表・論文

- ・諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー，大気環境学会年会講演要旨集，60，P-02，2019.
- ・諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー(第 2 報)，大気環境学会年会講演要旨集，61st (Web) , 2020.
- ・諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー(第 3 報)，大気環境学会年会講演要旨集，237，2021.