IIAE 特別企画

自動車の未来と大気環境に関する IIAE ワークショップ

『自動車と環境』

期　日　　2020 年 1 月 21 日（火）

会　場　大気環境総合センター後楽 1 丁目ビル 6F セミナールーム

一般財団法人大気環境総合センター

〒112-0004　東京都文京区後楽 1 丁目 2-8 後楽 1 丁目ビル 6F
TEL：03-6801-6082　FAX：03-6801-6083
https://iiae.or.jp/

2020/01/21
自動車の未来と大気環境に関する
IIAEワークショップ

日本における自動車の環境影響の経緯と現状

一般財団法人大気環境総合センター
元国立環境研究所
小林伸治

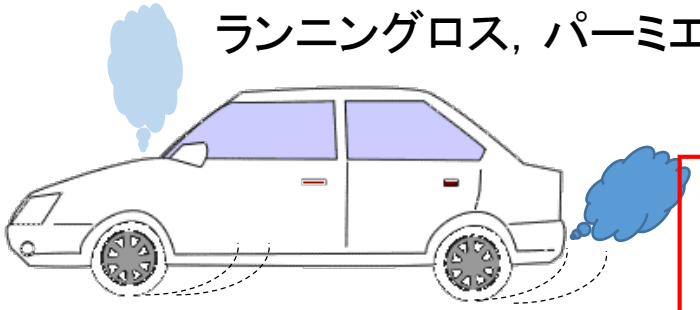
内容

- 自動車からの大気汚染物質の排出
- 自動車排出ガス低減対策の概要
- 自動車排出ガス規制（単体対策）とその効果
  - 規制の経緯と排出原単位の推移
  - 常時監視局データから見た規制の効果
- 排出ガス削減対策を支えた要因
  - 主な排出ガス低減技術
  - 排出ガス低減に向けた活動
    - 自動車と石油業界の大気改善研究（JCAP）
    - 高圧噴射ディーゼルエンジンの共同研究（ACE)
- これからの自動車、社会
  - 温暖化対策
  - CASE

自動車からの大気汚染物質の排出過程

走行時

燃料蒸発ガス（VOC）
ランニングロス，パーミエーション

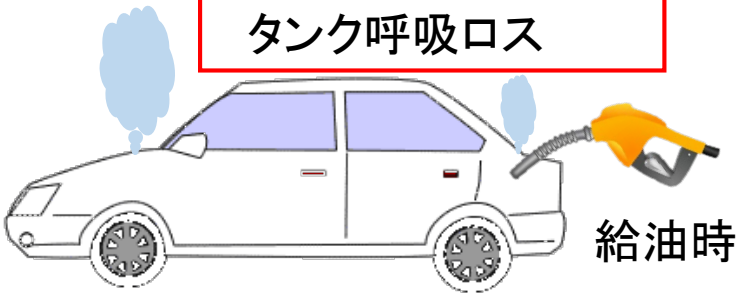


走行による排気ガス
CO, VOC, NOx, PM

タイヤ，ブレーキ摩耗
路上巻き上げ粉じん(PM)

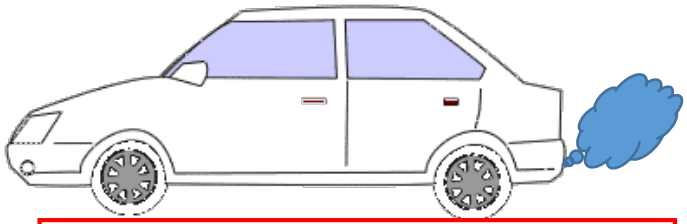
停止（駐車）時

燃料蒸発ガス（VOC）
ホットソークロス
タンク呼吸ロス



給油時(VOC)

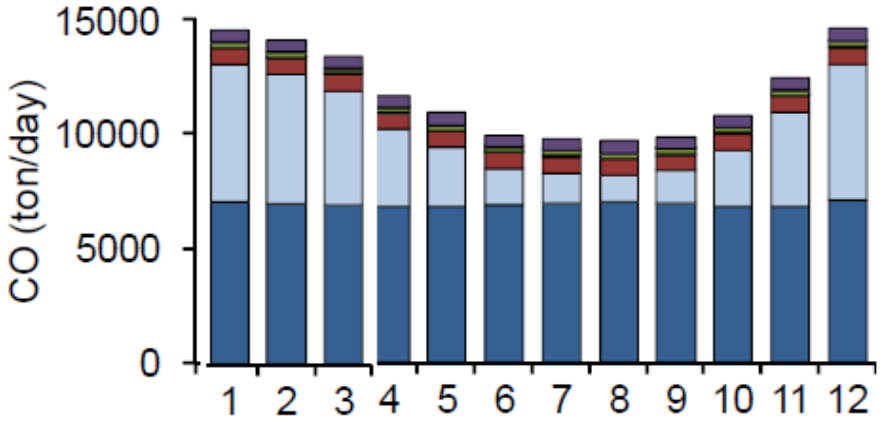
始動時

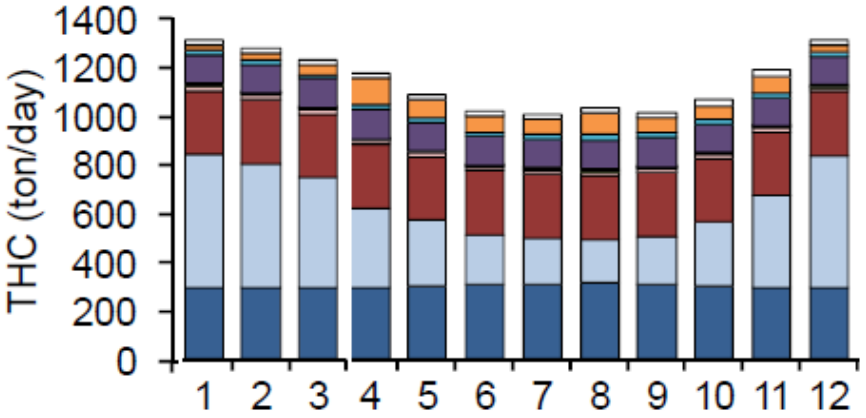


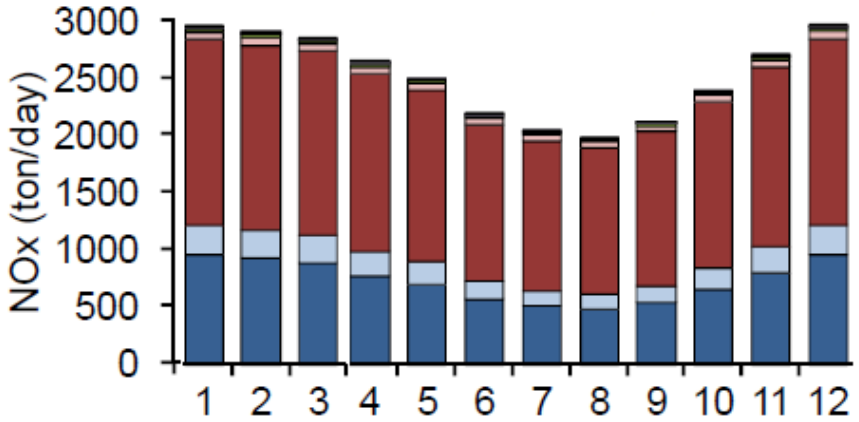
冷間始動による排気ガス増分
CO, VOC, NOx, PM

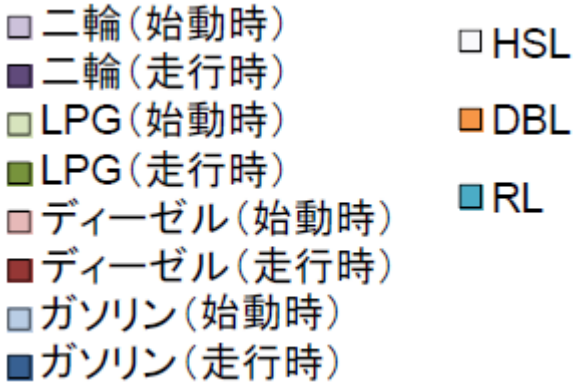
排出ガス試験時の温度：25±5℃
蒸発ガス（DBL）試験：20～35℃

排出過程別排出量









排出量の多くは、走行時と始動時に排出される

出典：JATOP 技術報告書，JPEC-2011AQ-06

主な自動車排出ガス削減対策

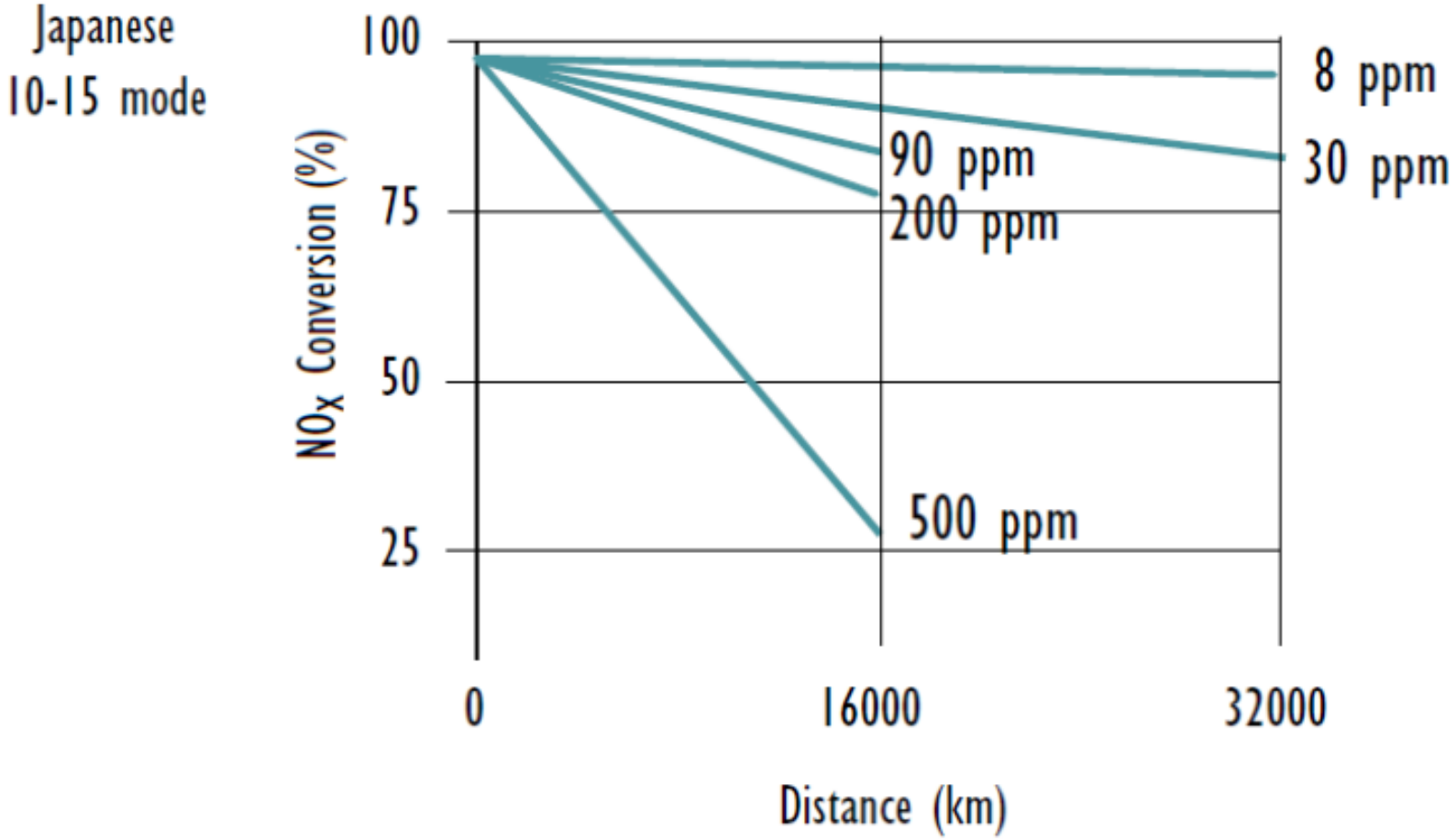
- 自動車単体に対する対策
  - 自動車排出ガス規制（新車）
    - 乗用車、トラックバス、特殊自動車、二輪車
    - OBD（車載故障診断システム）の装備義務化
  - 使用過程車（及び新車）
    - ガソリン、LPG車：アイドリング　CO、HC
    - ディーゼル車：黒煙（無負荷急加速試験）
- 自動車燃料品質に対する規制
  - ガソリン
    - 鉛、硫黄分、ベンゼン、MTBE
  - 軽油
    - 硫黄分、セタン価、90%留出温度
- 総量削減対策（運行規制）
  - 自動車NOx・PM法
    - 自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法
    - 首都圏、愛知県、三重県、大阪府、兵庫県の276市区町村
  - 自治体によるディーゼル車規制
    - 埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県
    - 兵庫県、大阪府

自動車燃料品質規制

自動車の燃料の種類	燃料の性状又は燃料に含まれる物質	許容限度
ガソリン	鉛	検出されないこと
	硫黄	0．001質量パーセント以下
	ベンゼン	1体積パーセント以下
	メチルターシャリーブチルエーテル(MTBE)	7体積パーセント以下
	酸素分	1．3質量パーセント以下（バイオエタノール10体積パーセント混合ガソリン及びエチルターシャリーブチルエーテル22体積パーセント混合ガソリンにあっては、1．3質量パーセントを超え3．7質量パーセント以下）
軽 油	硫黄	0．001質量パーセント以下
	セタン価	45以上
	90パーセント留出温度	摂氏360度以下

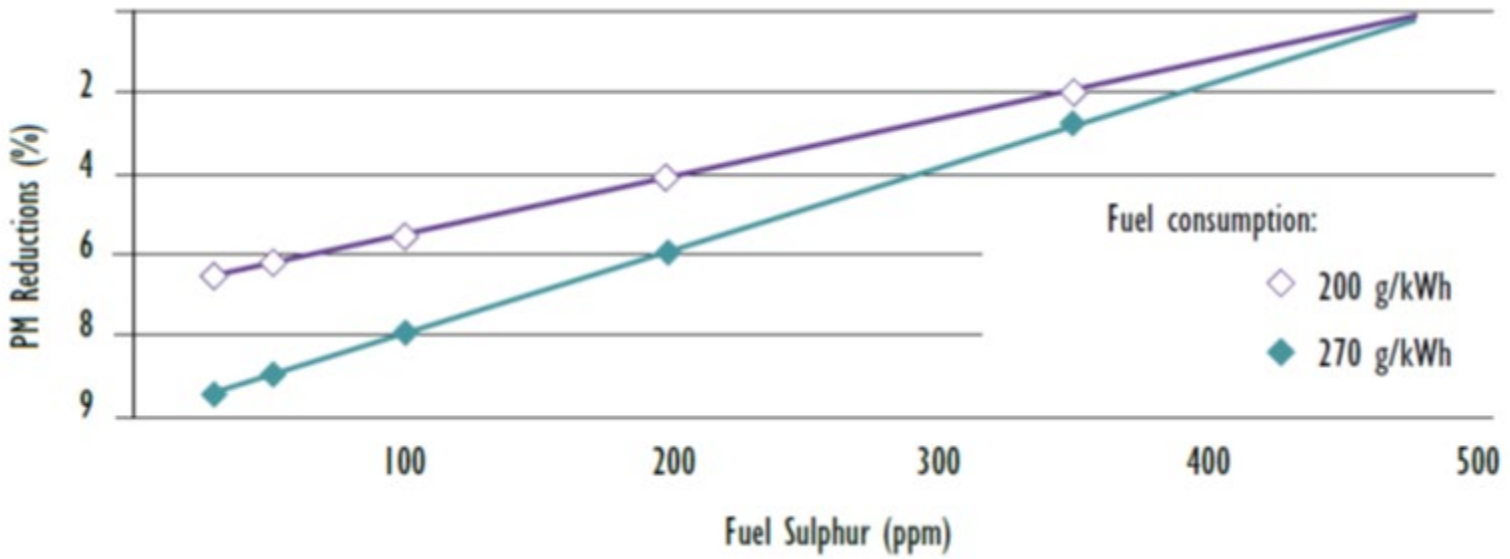
ガソリンの夏季における蒸気圧の上限　RVP=65kp以下（石油連盟が自主規制）

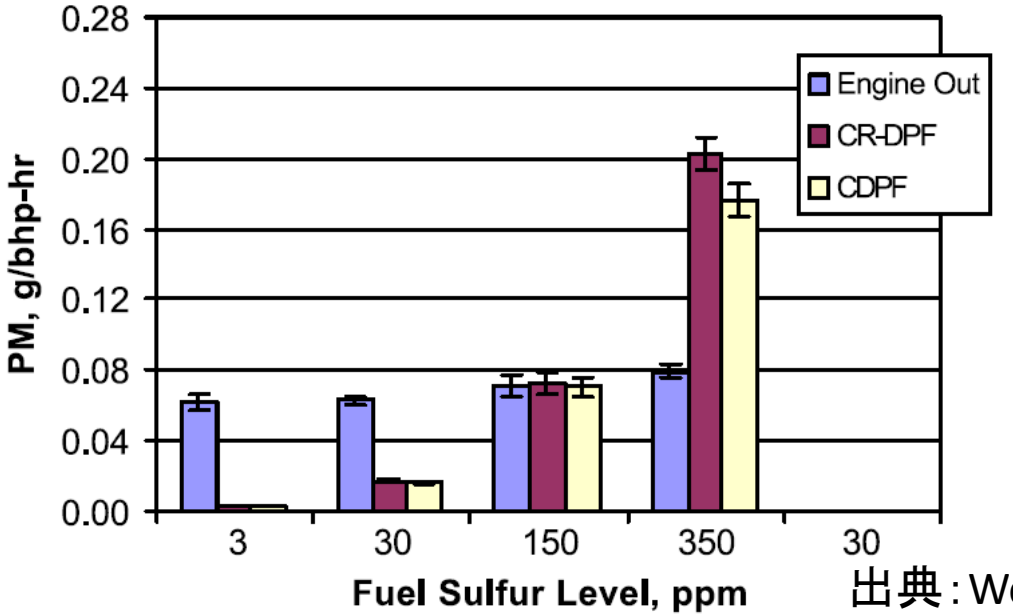
触媒の耐久性に及ぼすガソリン中の硫黄分の影響



出典：Worldwide Fuel Charter Sixth Edition

軽油中の硫黄分の影響





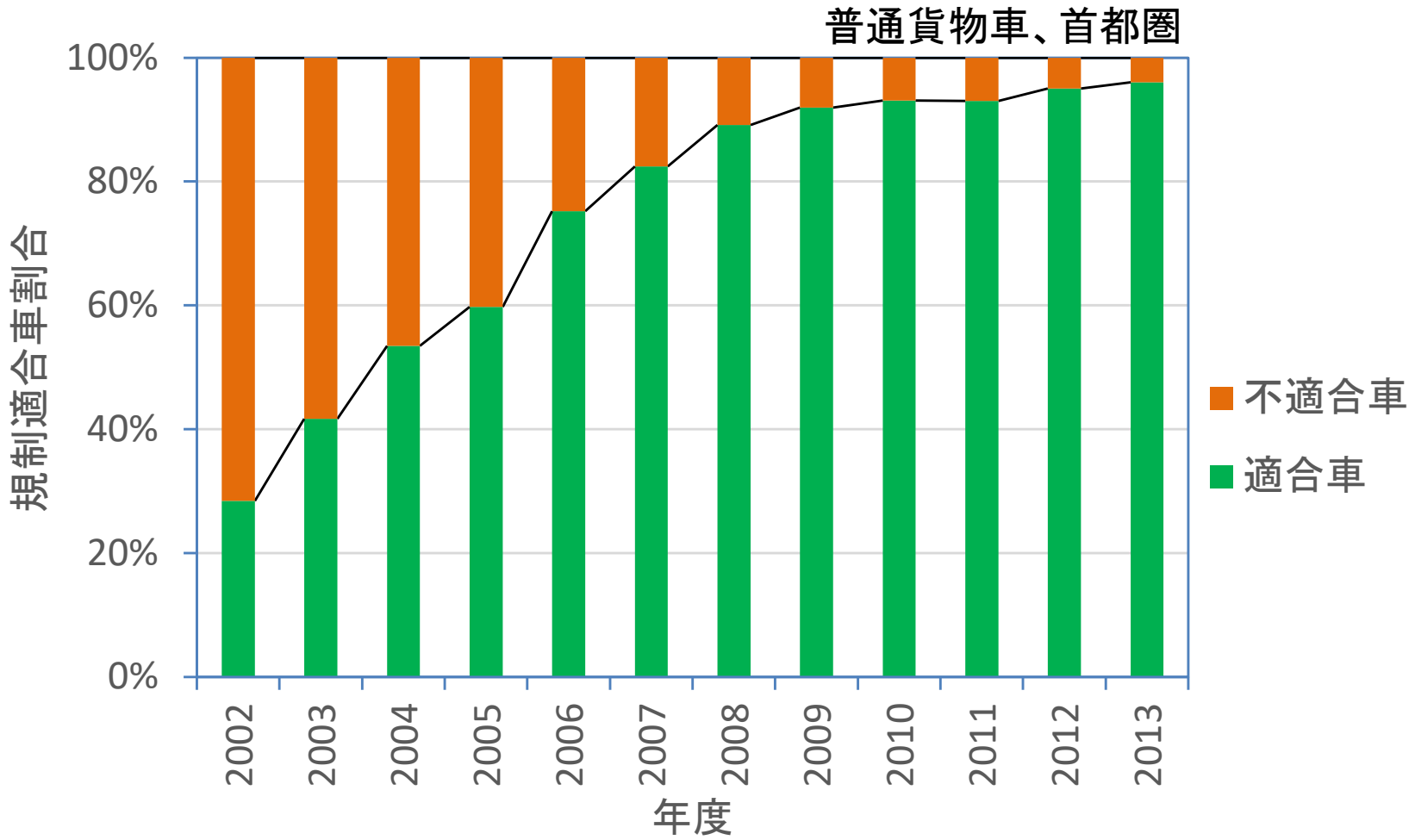
PM中Sulfateの低減

酸化触媒におけるSulfateの生成抑制

触媒の触媒被毒防止

出典：Worldwide Fuel Charter Sixth Edition

NOx・PM法規制適合割合の推移



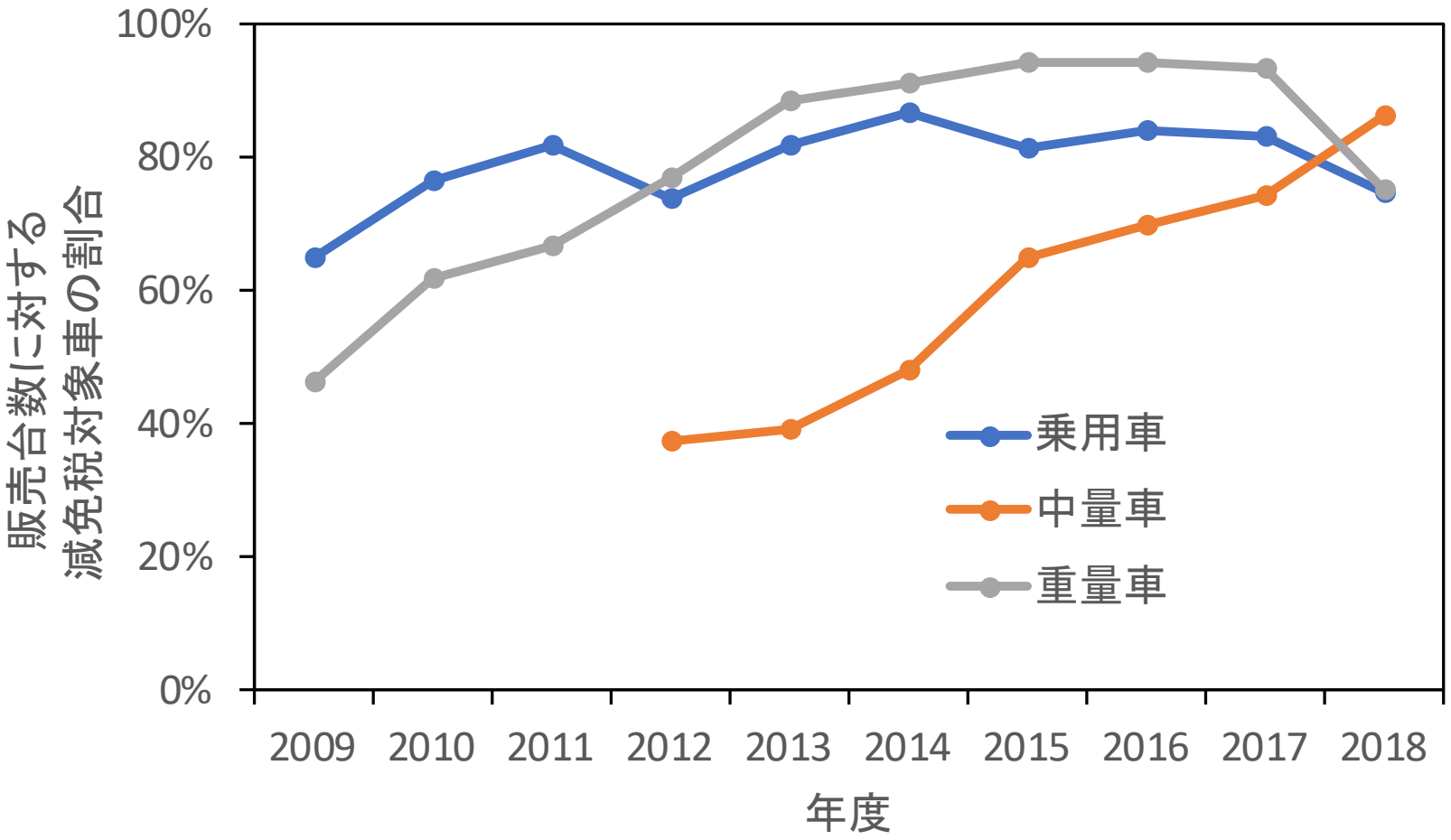
出典：環境省「自動車交通環境影響総合調査」結果をもとに作成

自動車税における環境特例

- 自動車税
  - グリーン化特例（2001年度）
    - CO_2排出量の抑制とNOx・PM対策の双方を目的とし て創設
    - 環境負荷の小さい自動車を軽課税
    - 新車新規登録から一定年度（ディーゼル車：11 年、ガソリン車 13 年）経過した自動車を重課税
- 自動車重量税
  - エコカー減税（2009年度）
    - 排出ガス性能及 び燃費性能の優れた自動車に対して、税率を50％軽減、75％軽減又は非課 税とする特例
- 自動車取得税
  - 低公害車特例（1975年度）
    - NOx・PM対策や省エネ対策の観点から、技術的先駆性の 高い自動車の普及促進を支援
  - 低燃費車特例（1999年度）
    - CO_2排出抑制を目的として創設
  - エコカー減税（2009年度）
    - 排出ガス性能及 び燃費性能の優れた自動車に対して、税率を50％軽減、75％軽減又は非課 税とする特例

出典：自動車関係税制に関する研究会報告書、総務省

自動車の減免税制の効果



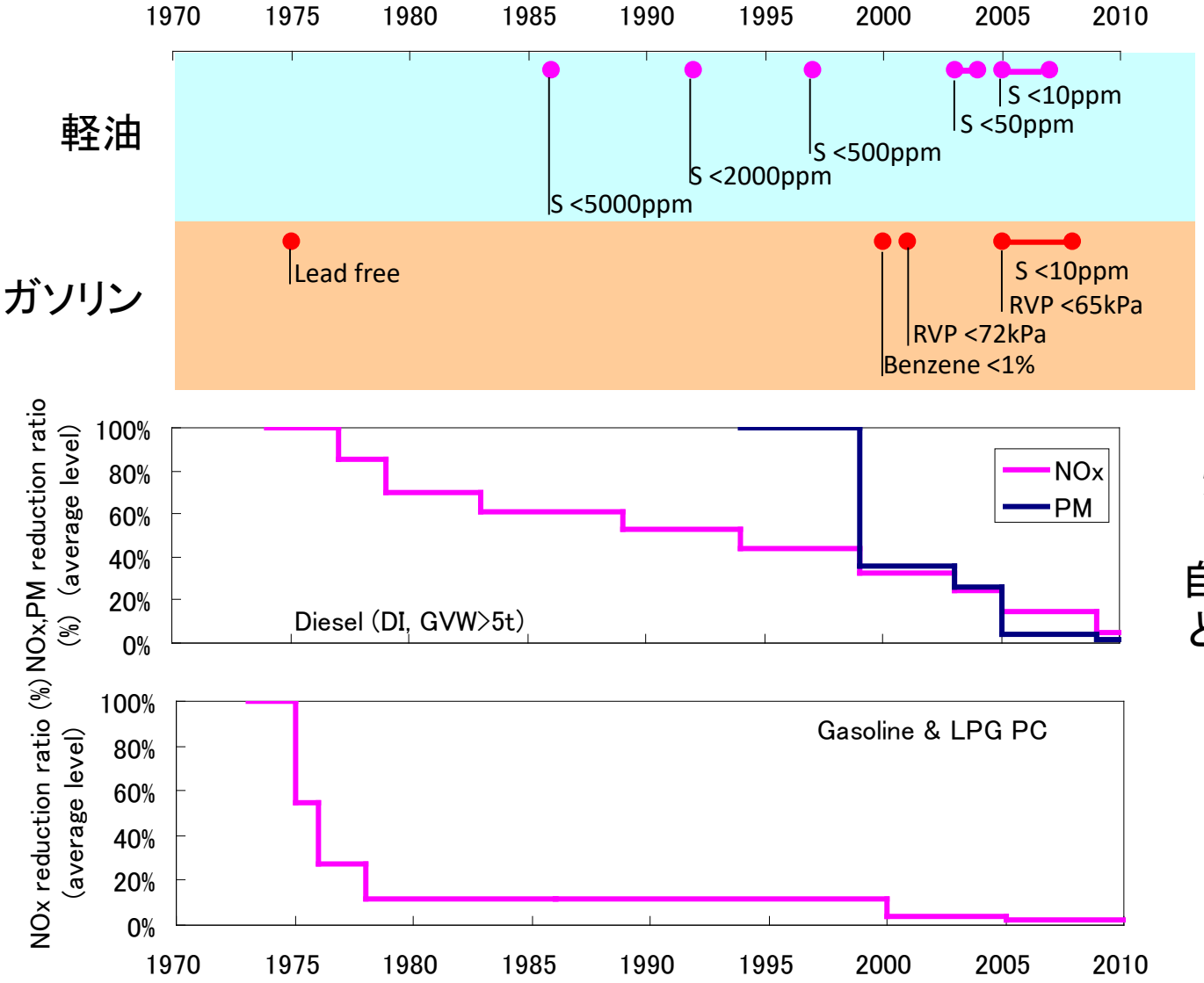
出典：自工会データを元に作成

自動車排出ガス規制（単体対策）の効果

- 規制の効果評価法
  - 環境省自動車排出ガス原単位と排出ガス規制の低減率の経緯を比較
- 排出原単位
  - 排出量推計を目的に環境省が設定している排出係数
    - 実走行モードの試験データをもとに、平均旅行速度別に設定
    - 用途、燃料別に14の車両区分について設定
  - ここでは，都市内の平均速度に近い，20km/hにおける原単位の推移を比較
- 規制値の低減率
  - 規制導入時の資料（削減率）を参考に設定

解析対象データの出典：数理計画、平成30年度　自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査報告書

自動車排出ガス対策の経緯



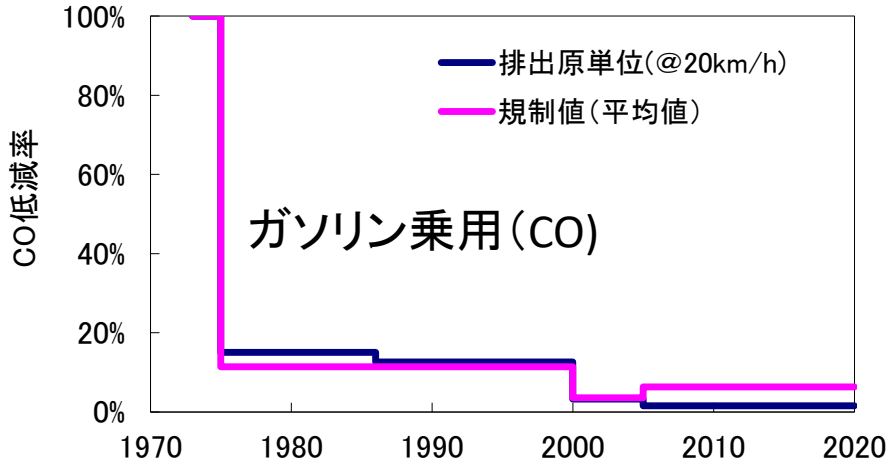
燃料の改良
と
自動車の改良
との組合せで
対策を実施

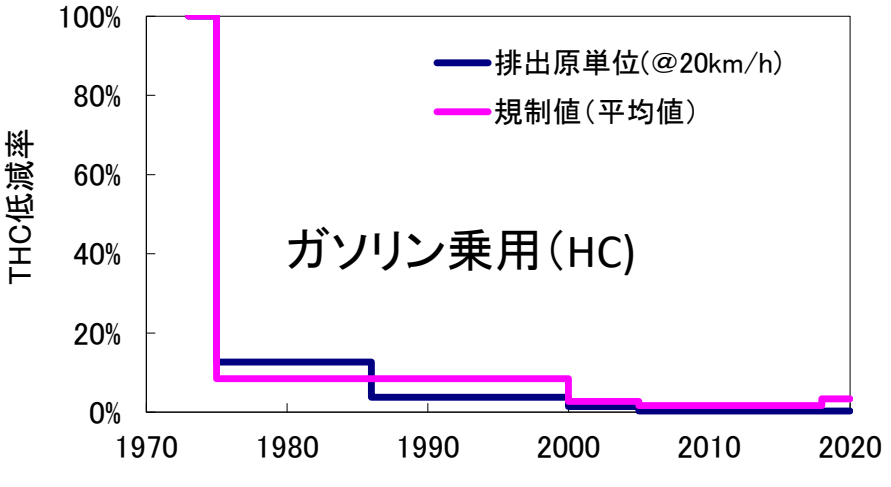
排出ガス規制の車種区分

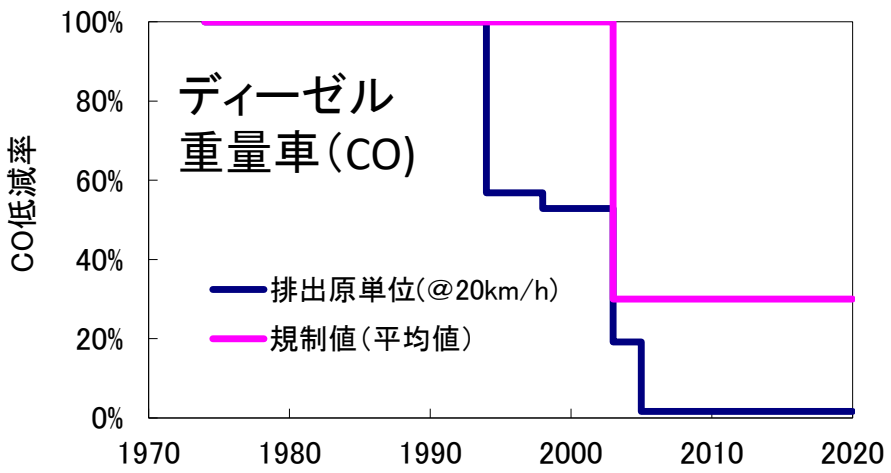
ガソリン・LPG車	乗用車（含む軽乗用車）	
	トラック・バス	軽自動車
		軽量車　GVW1.7t以下
		中量車　GVW1.7t超、3.5t以下
		重量車　GVW3.5t超
ディーゼル車	乗用車	
	トラック・バス	軽量車　GVW1.7t以下
		中量車　GVW1.7t超、3.5t以下
		重量車　GVW3.5t超
二輪車※	第一種原動機付自転車	
	第二種原動機付自転車	
	軽二輪自動車	
	小型二輪自動車	
ディーゼル 特殊自動自動車	定格出力19kW以上37kW 未満のもの	
	定格出力37kW以上56kW 未満のもの	
	定格出力56kW以上75kW 未満のもの	
	定格出力75kW以上130kW 未満のもの	
	定格出力130kW以上560kW 未満のもの	
ガソリン・LPG 特殊自動車	定格出力19kW以上560kW 未満のもの	

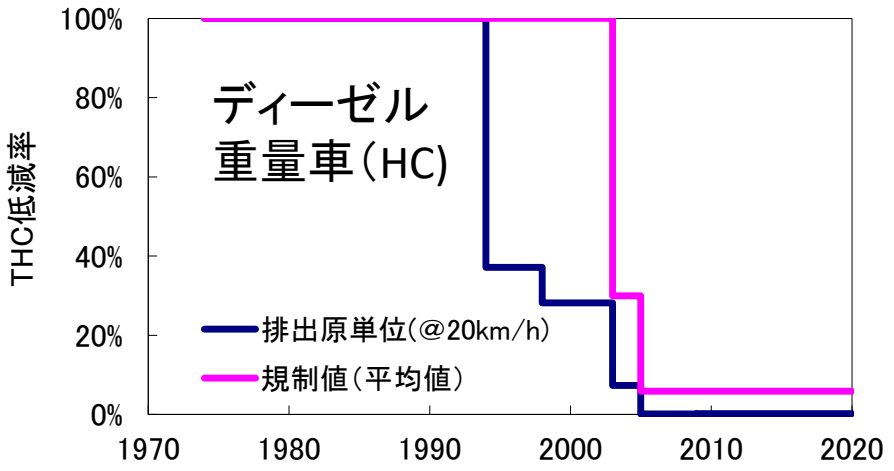
GVW：車両総重量
※二輪車は2013年規制までの区分

排出原単位の推移　CO，HC（NMHC）





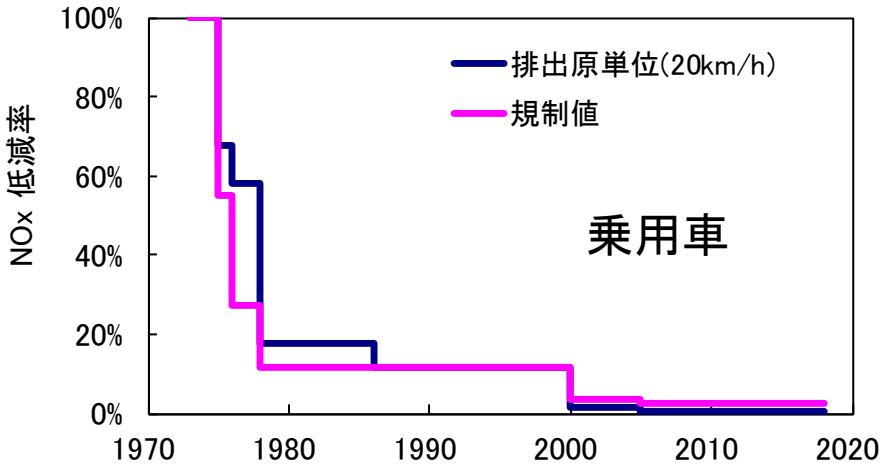


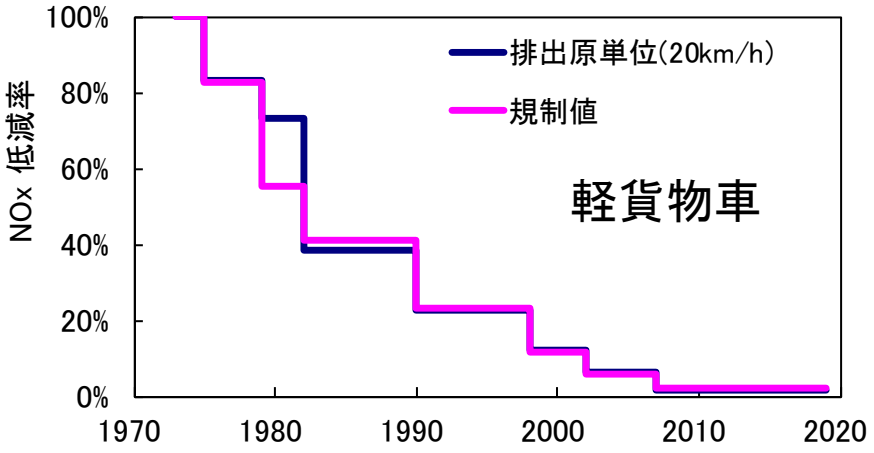


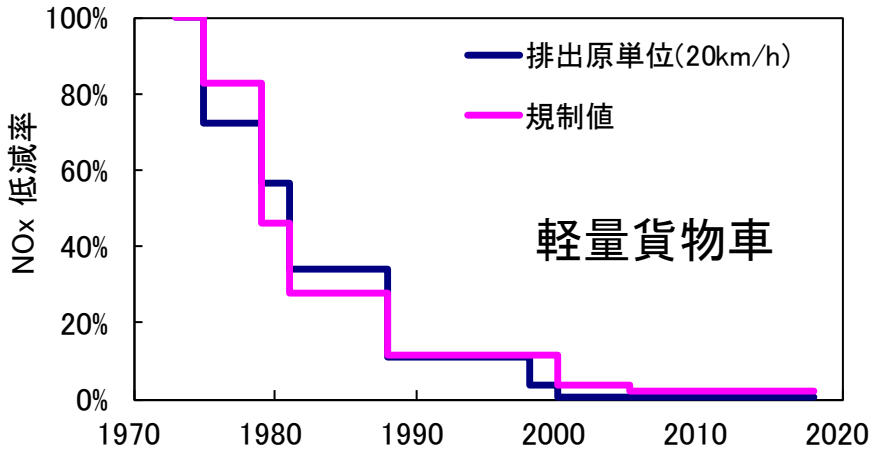
CO，THC排出係数は，概ね，規制値の低減率と同様に低下

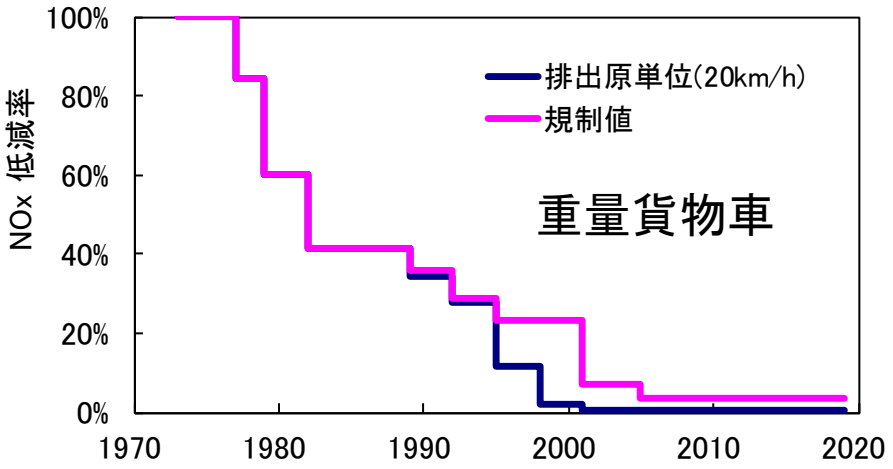
規制値の低減率が上昇しているのは，試験法の変更（コンバインドモードやWLTCの採用等）に応じ，コールドを含む規制値に変更されたことによる。

排出原単位の推移　ガソリン車のNOx



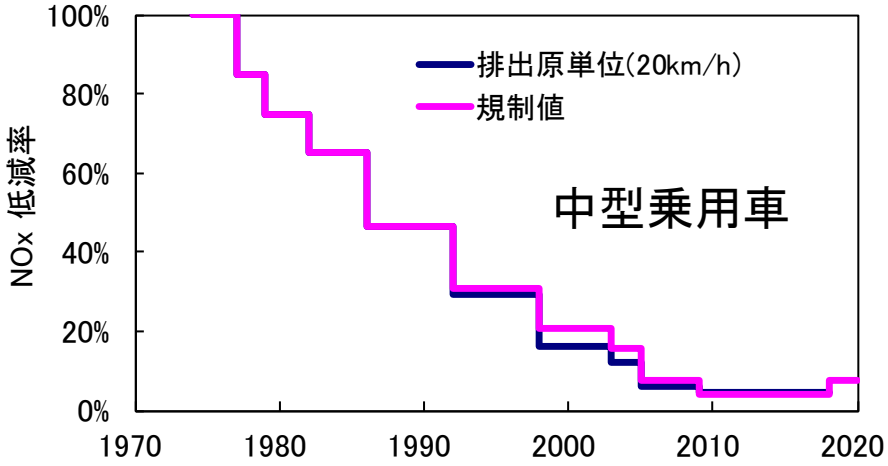


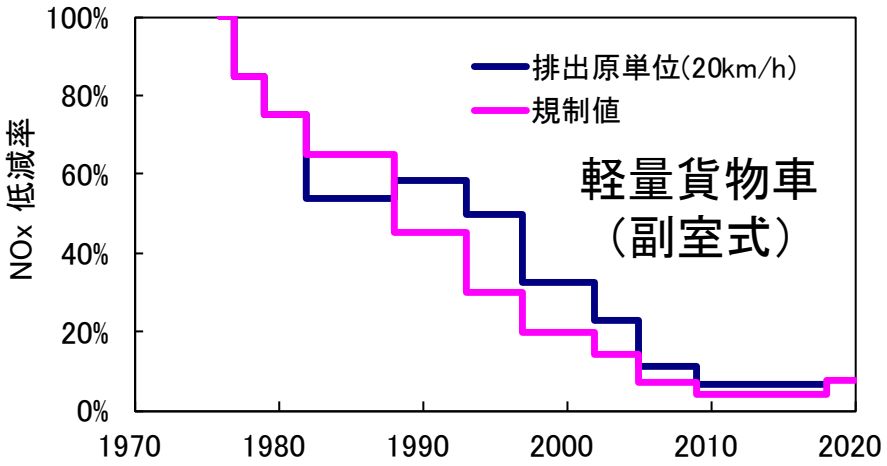


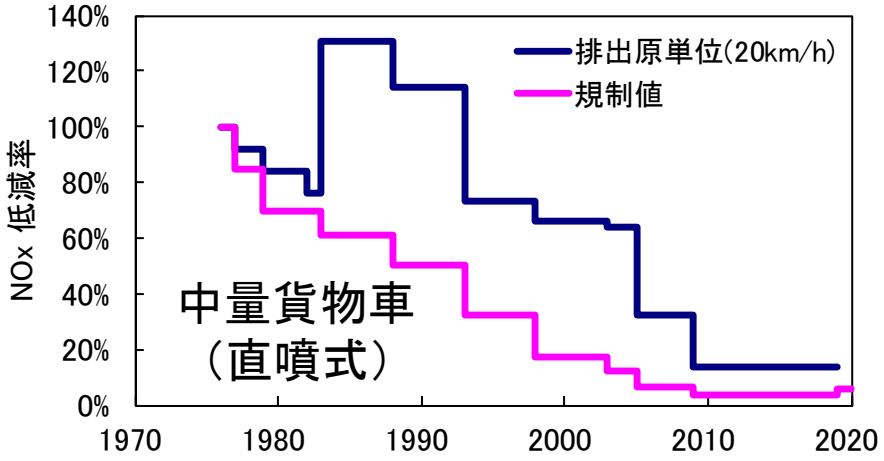


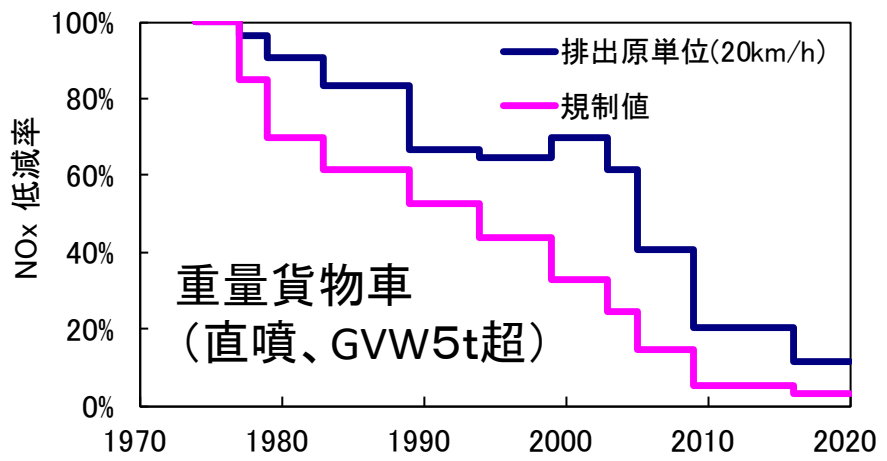
排出規制導入当初は，排出係数が，規制値の低減率を上回る時期があったが，近年では，規制値の低減率を下回る状況が続いている

排出原単位の推移　ディーゼル車のNOx



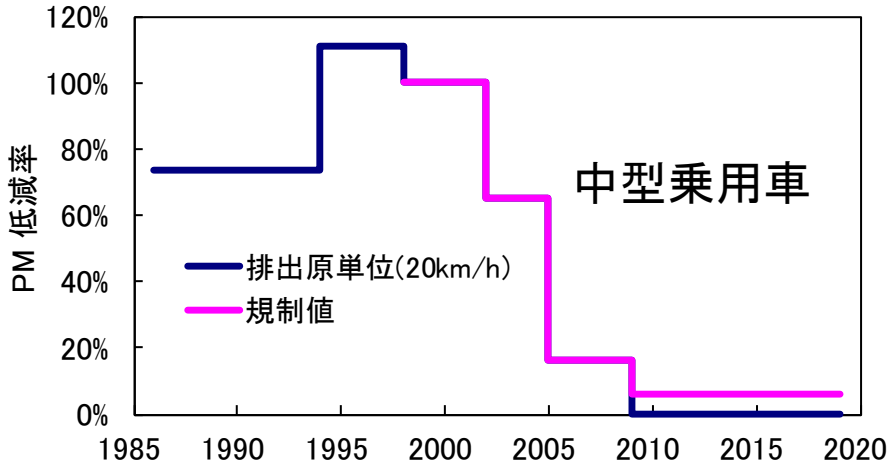


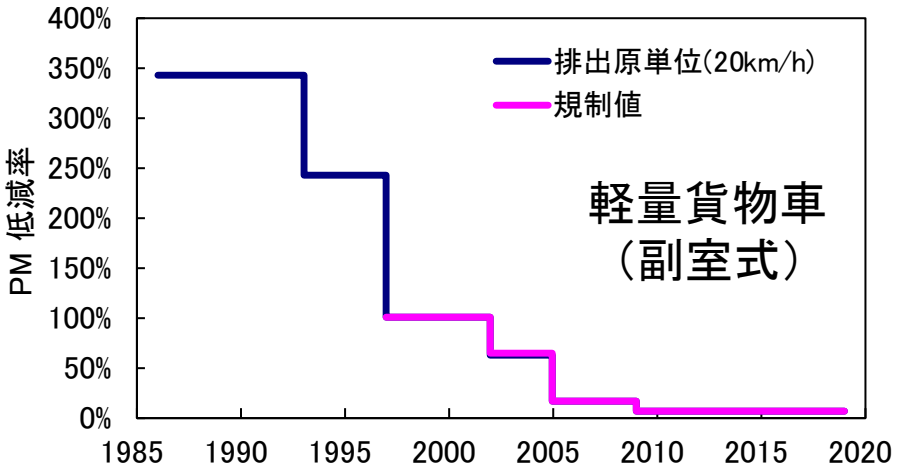


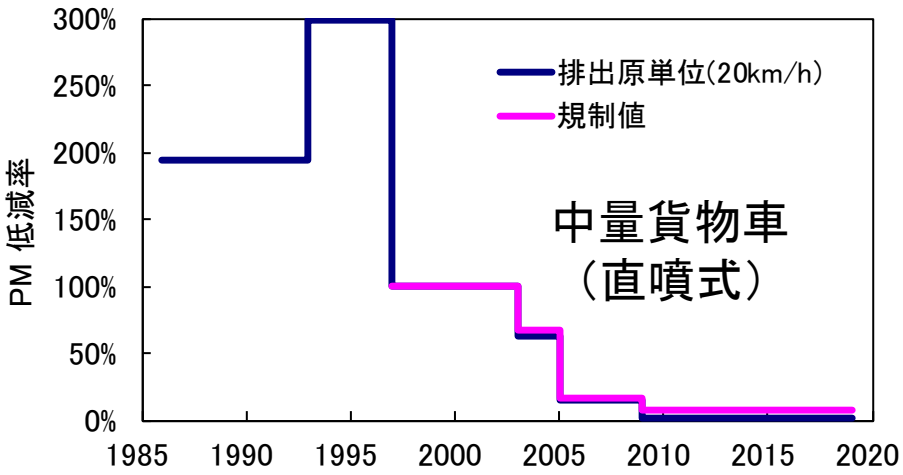


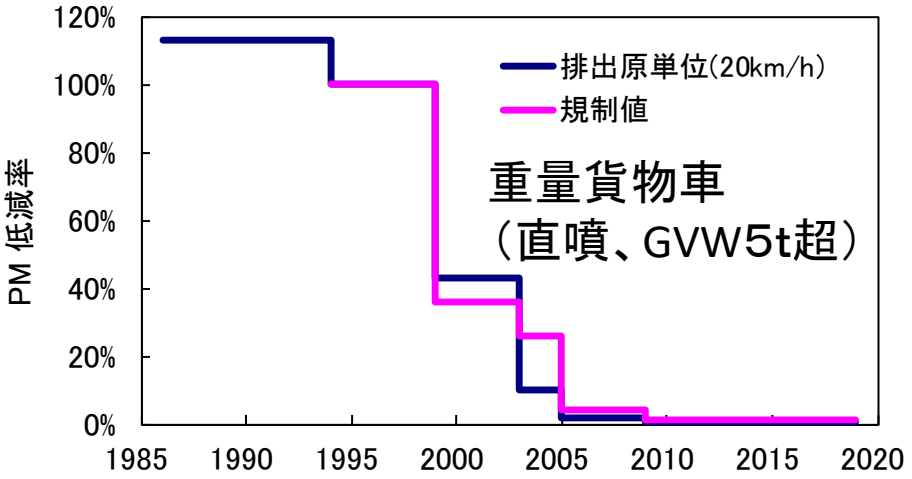
乗用車は，概ね，規制値の低減率に応じて，排出係数が低下
貨物車は，規制値通りに排出係数が低下しておらず，1990年代には，規制の効果が見られない時期が存在

排出原単位の推移　ディーゼル車のPM









排出重量規制導入後は，規制値の低減率と同様に低下

自動車排出ガス規制（単体対策）の効果

- 実走行時の排出係数（排出原単位）
- CO、HC（NMHC）、PM
  - ほぼ規制値通りに低下
- NOx
  - ガソリン車
    - ほぼ規制値通りに低下
  - ディーゼル乗用、軽量貨物車
    - ほぼ規制値通りに低下
  - 中・重量ディーゼル車
    - 全体的に規制値通りに低減されていない
    - 一時期、規制の効果が認められない時があった
    - 最近では、低下傾向にある

ディーゼル車のNOx削減が滞った要因

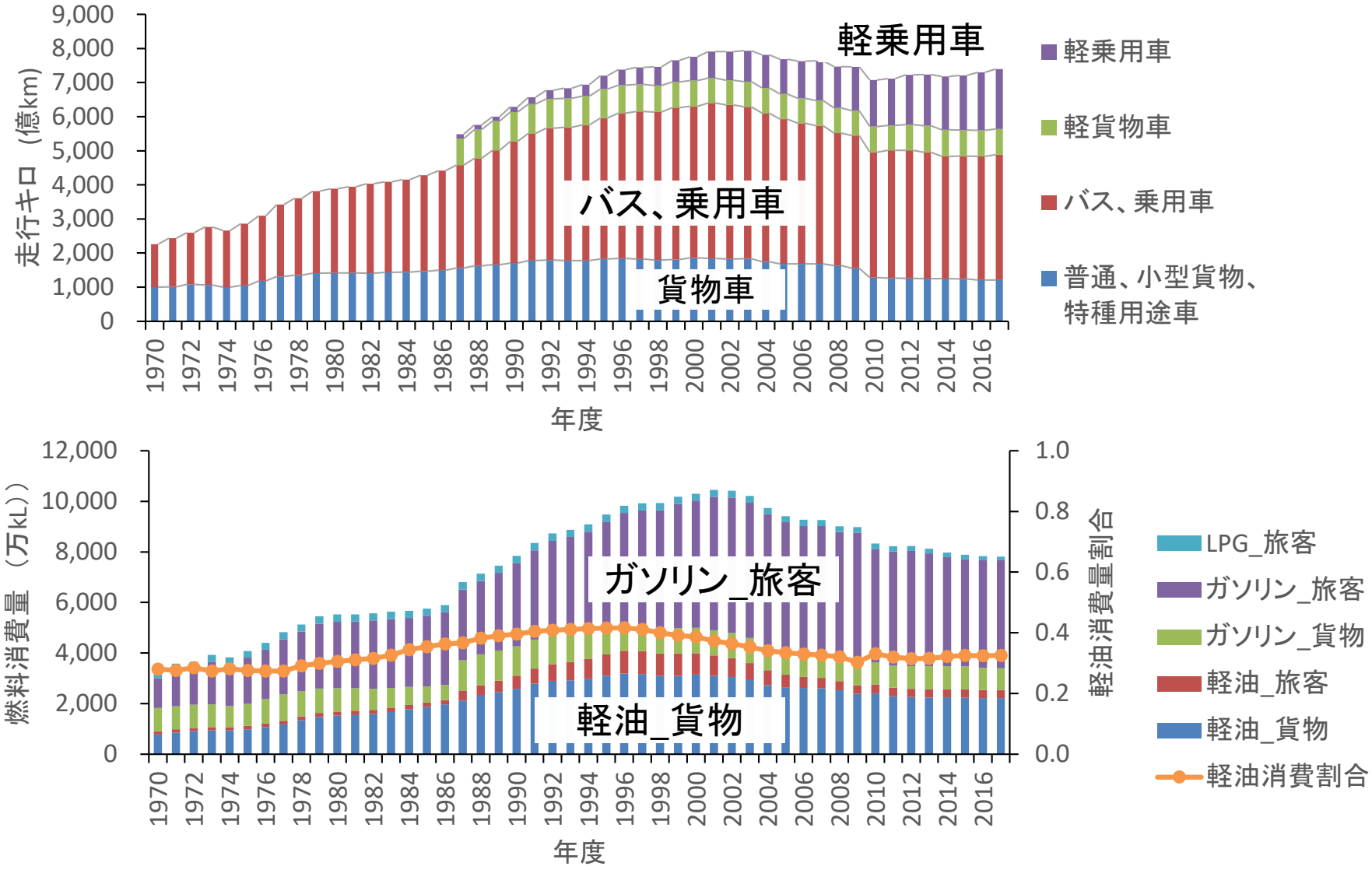
- ディーゼル機関特有の問題
  - NOxとPMのトレードオフ，燃焼での同時低減が困難
  - 排気後処理装置の適用が難しい
    - ススの存在、酸化雰囲気（NOxの還元が困難）
- 排出ガス試験法
  - 大型ディーゼル車はエンジン単体で試験を実施
    - 車種が多く車両での試験が難しい
  - 2005年までは，定常状態での試験
    - 1974：6モード(濃度規制)　　1994：13モード（重量規制）
  - 定常試験と実使用条件（過渡条件）で，排出ガス性能に乖離が存在
    - 過渡条件でEGRが十分入らないなど
  - 2005年以降は，試験法の開発が進み、過渡モードの試験に移行
    - NOxが減少傾向に転じた

排出量の推移と大気濃度

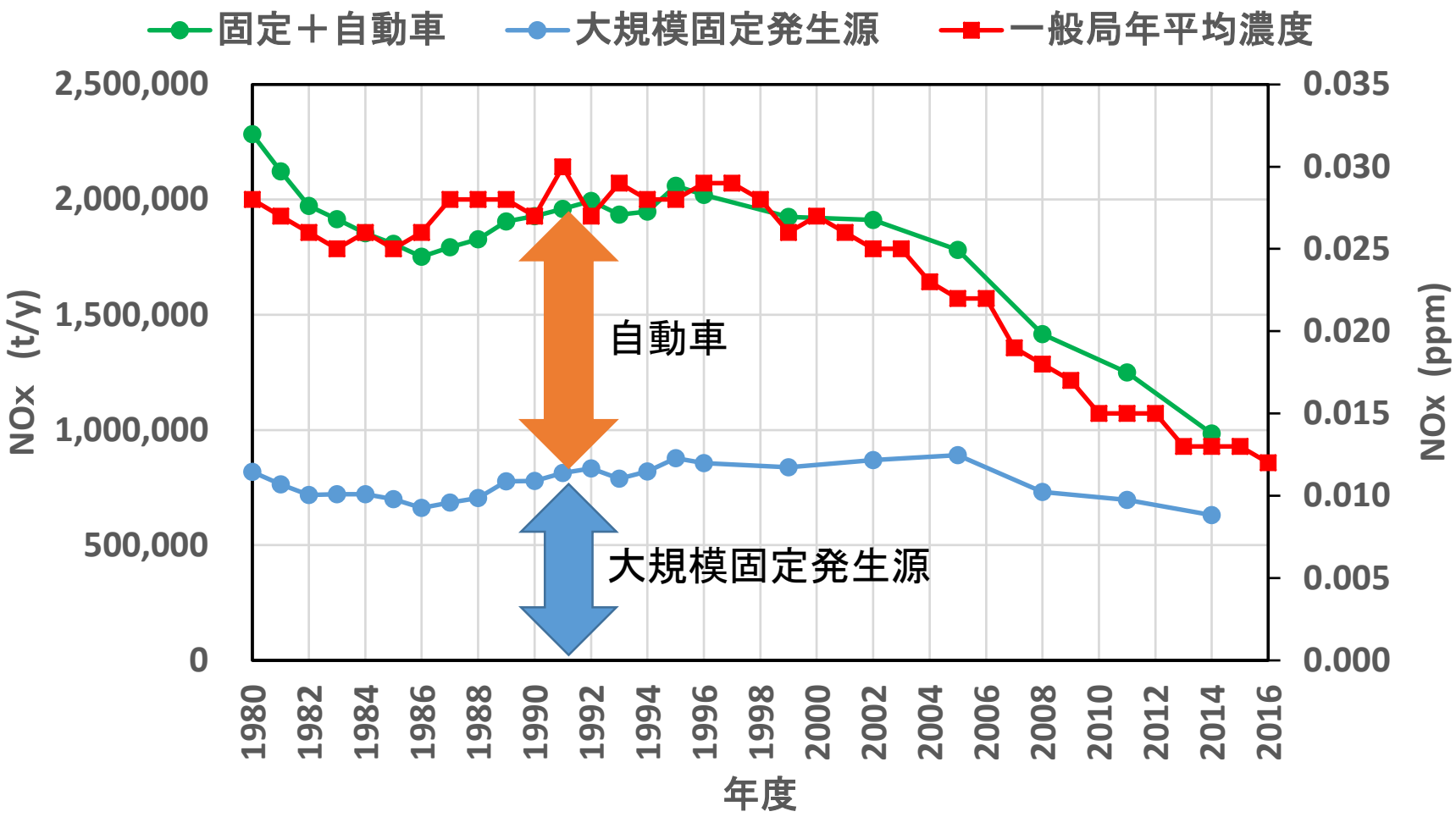
- 排出量＝固定発生源＋自動車　（全国の総排出量）
  - 未把握発生源
    - 船舶、航空機、特殊自動車、民生、農業廃棄物、その他の小規模発生源
  - 固定発生源の排出量
    - 環境省大気汚染物質排出量総合調査の集計結果
  - 自動車の排出量
    - 神成、国領、「日本における自動車由来大気汚染物質排出の30年史」、大気環境学会誌　第48巻　第1号（2013)
    - 2010以降、環境省推計値の削減率を元に推計

- 大気濃度：環境省モニタリングデータ
  - 一般局の年平均値

自動車の走行キロと燃料消費量

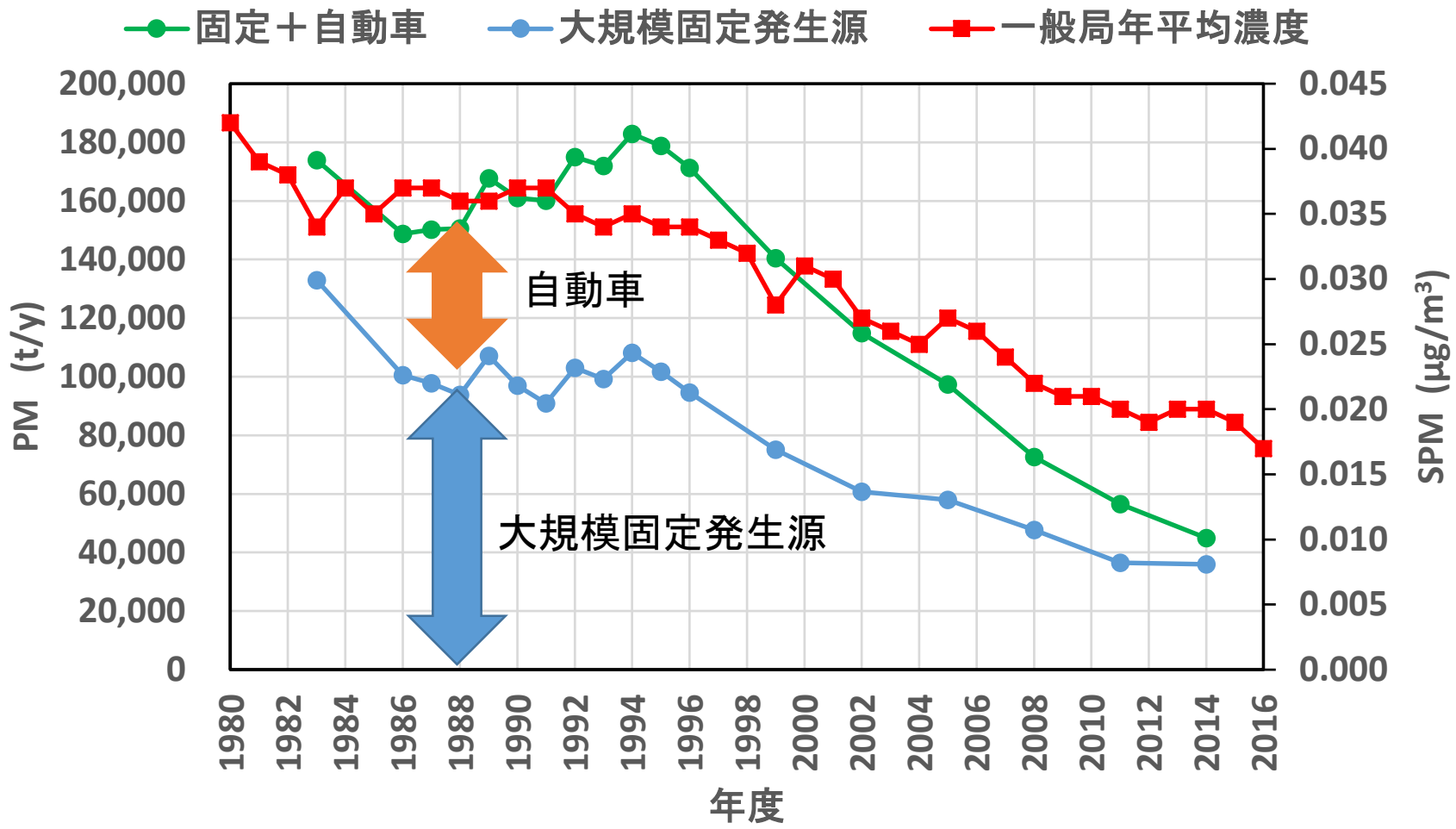


排出量と環境濃度（NOx）



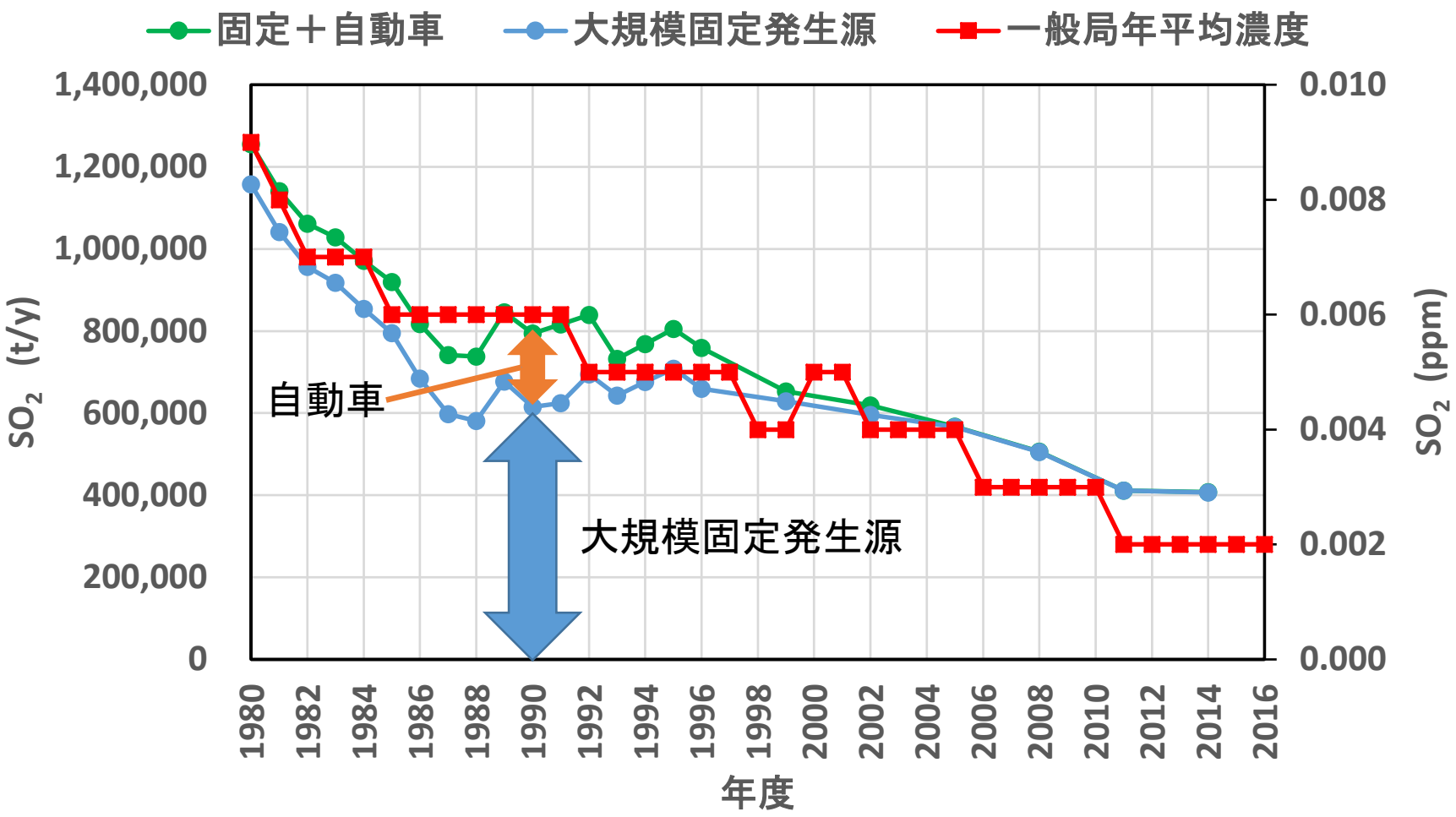
排出量と大気濃度の低下傾向は、ほぼ一致
自動車は、2000年以降、大幅に低下、固定は横ばい

排出量と環境濃度（PM, SPM）



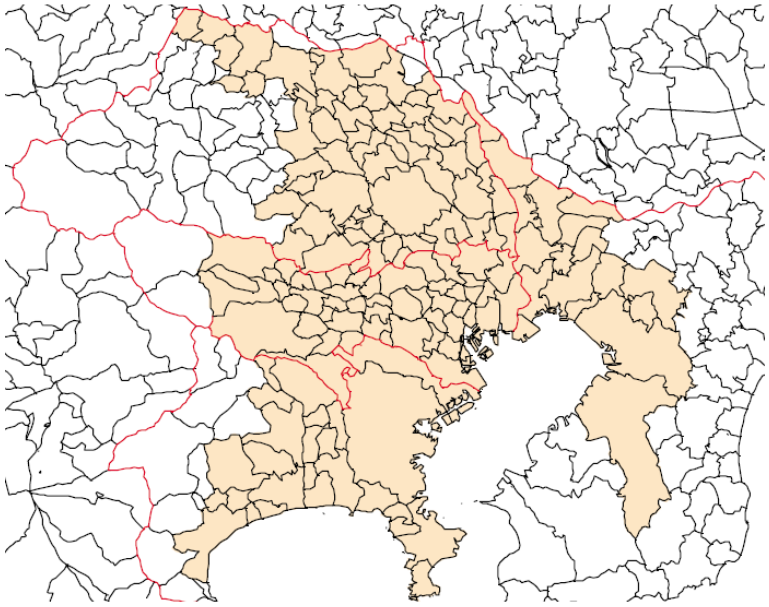
排出量に比べて、大気濃度の低下は鈍い（二次生成粒子の影響？）
1990年代半ばから、固定、自動車とも排出量は低下傾向

排出量と環境濃度（SO_2）

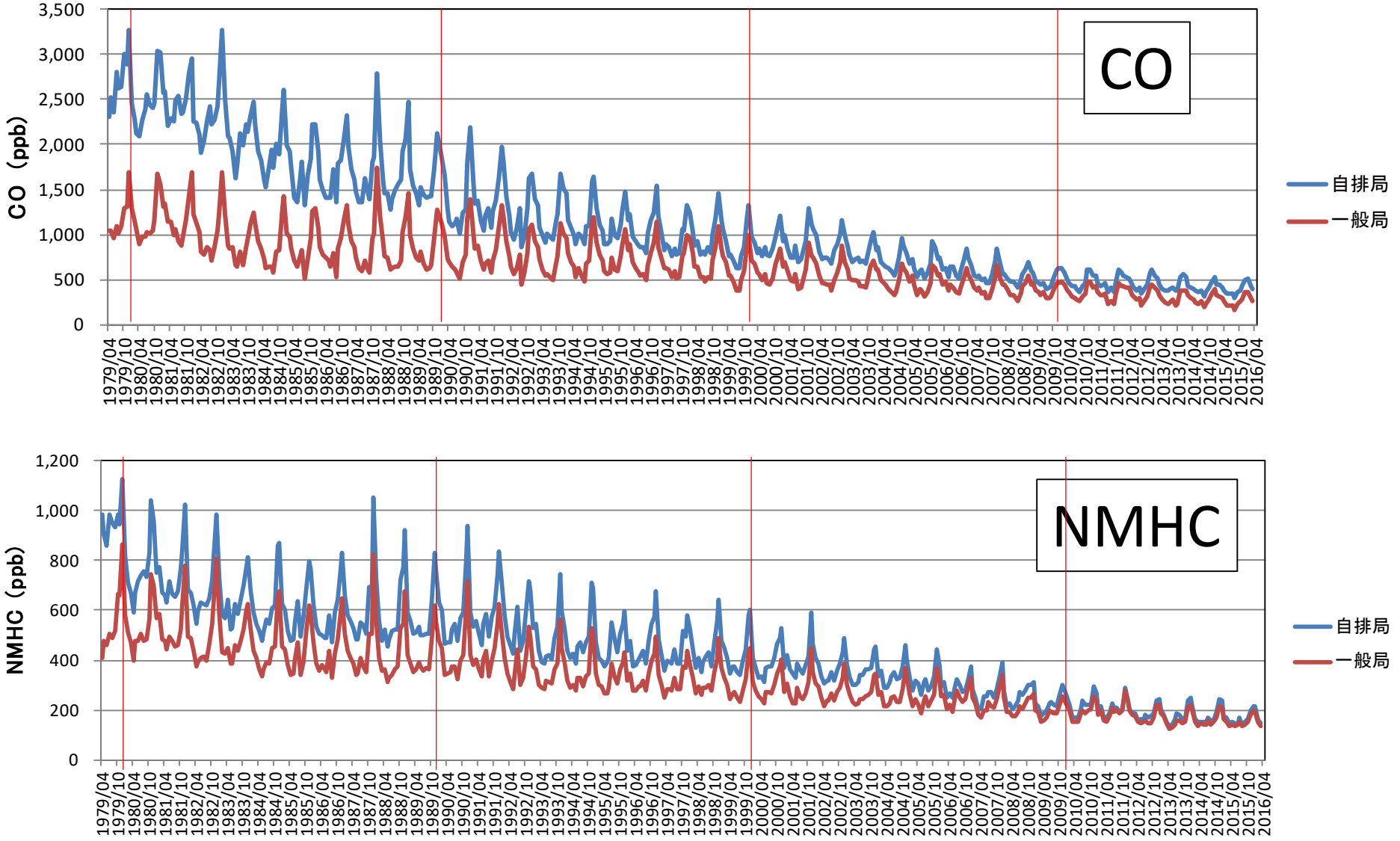


常時監視局データから見た排出ガス規制の効果

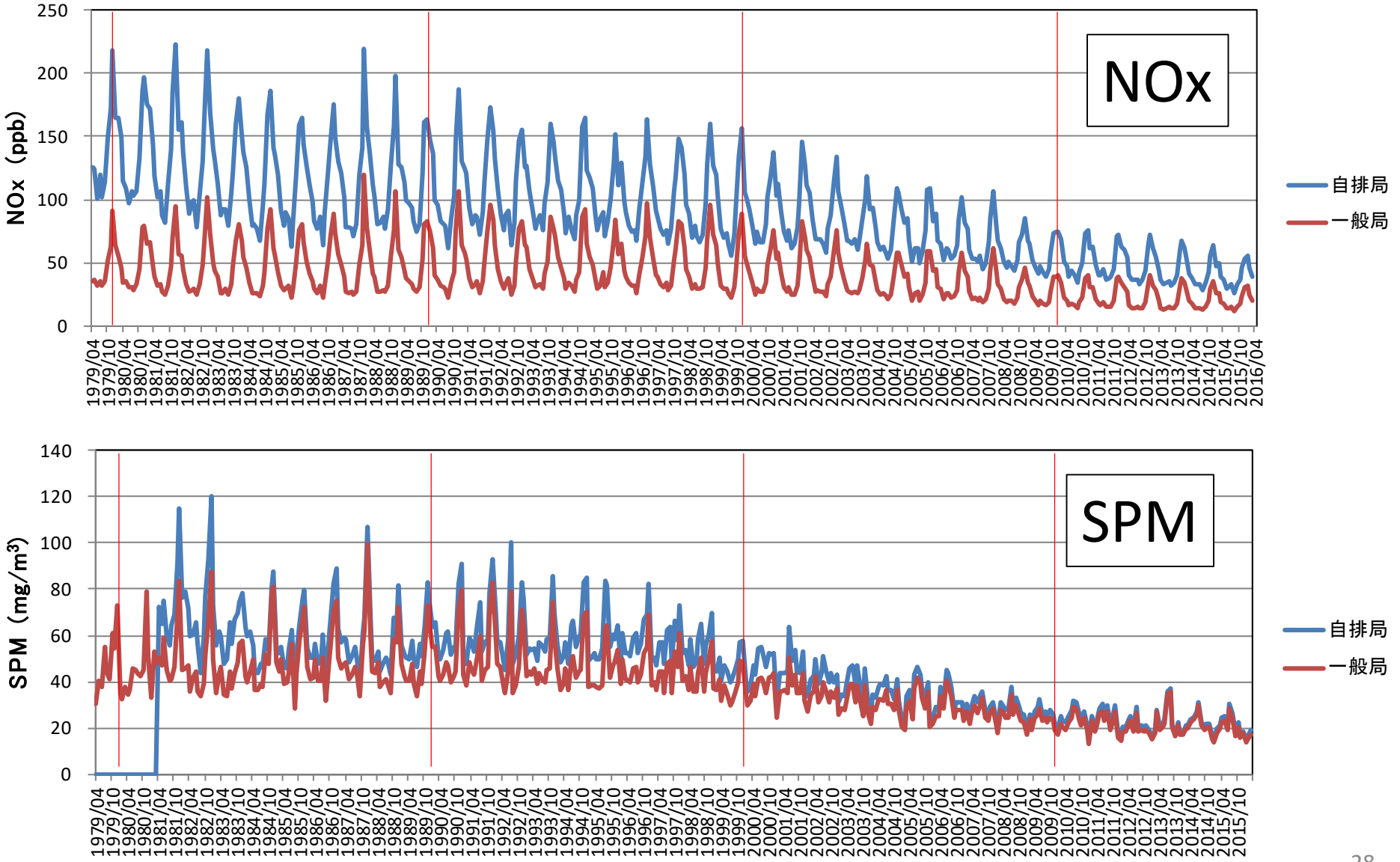
- 対象地域
  - 千葉県，埼玉県，東京都，神奈川県
    - 首都圏自動車NOx・PM法対策地域
- 解析対象データ
  - 対象地域内の常時監視データ（月平均値）
- 対象期間
  - 1980年度～2015年度
- 対象物質
  - CO ，MNHC，NO_2
  - NOx，SO_2，Ox，SPM



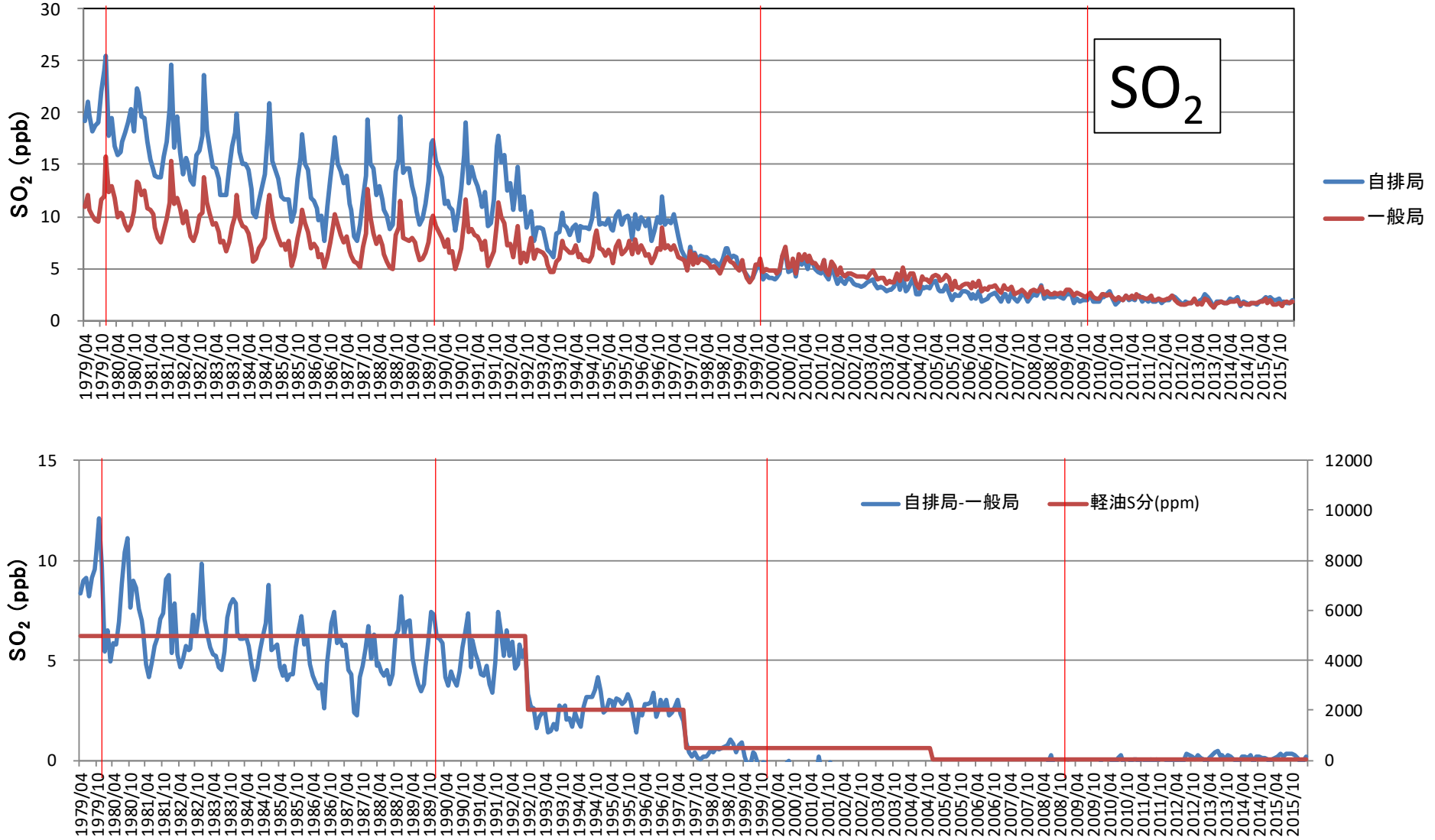
月平均値の推移（対策地域内）



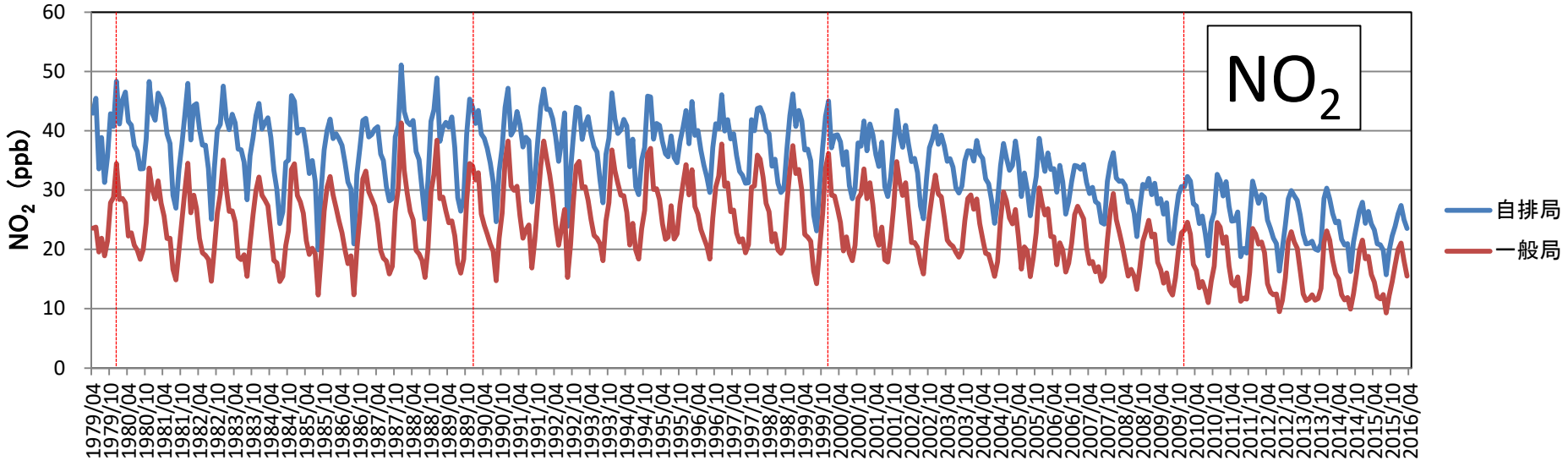
月平均値の推移（対策地域内）

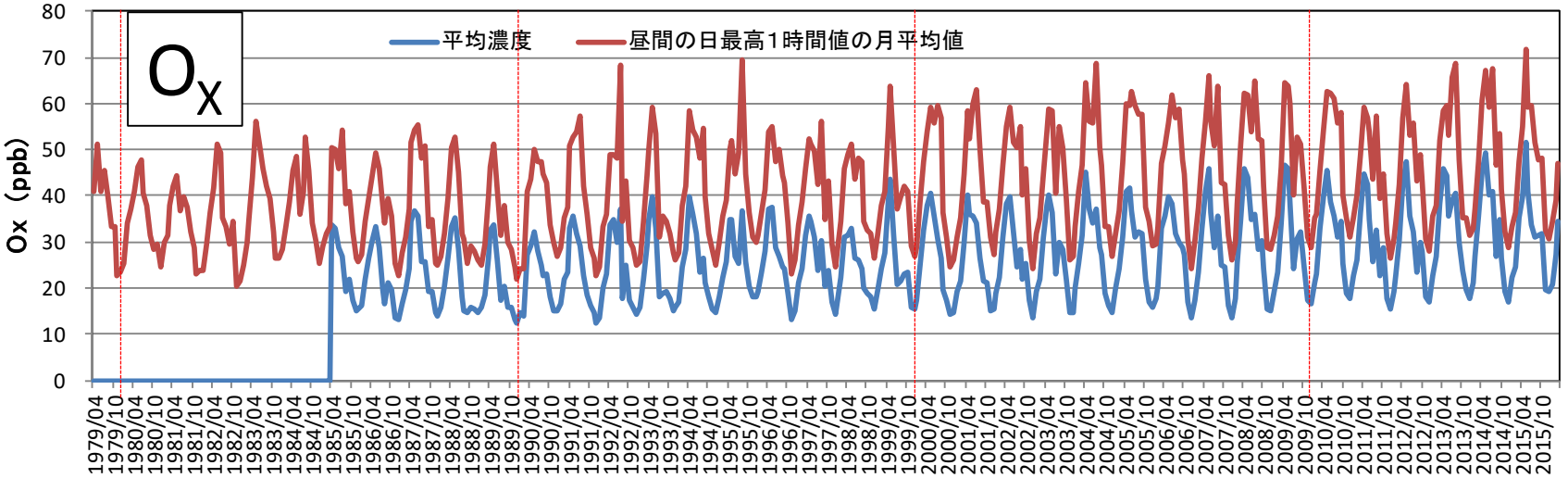


月平均値の推移（対策地域内）



月平均値の推移（対策地域内）

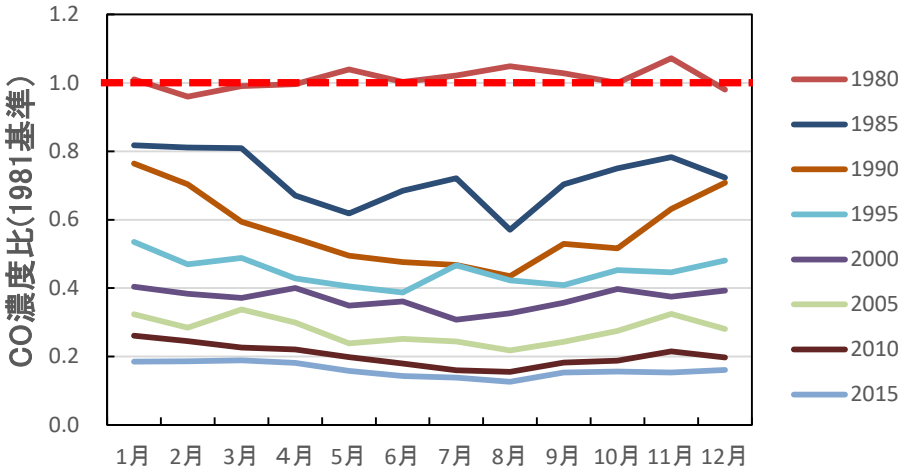




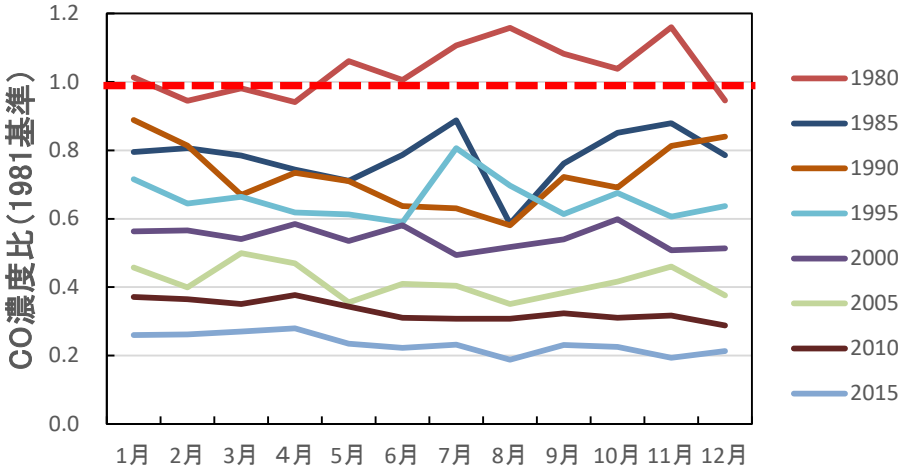
月別の濃度変化率

CO

自排局

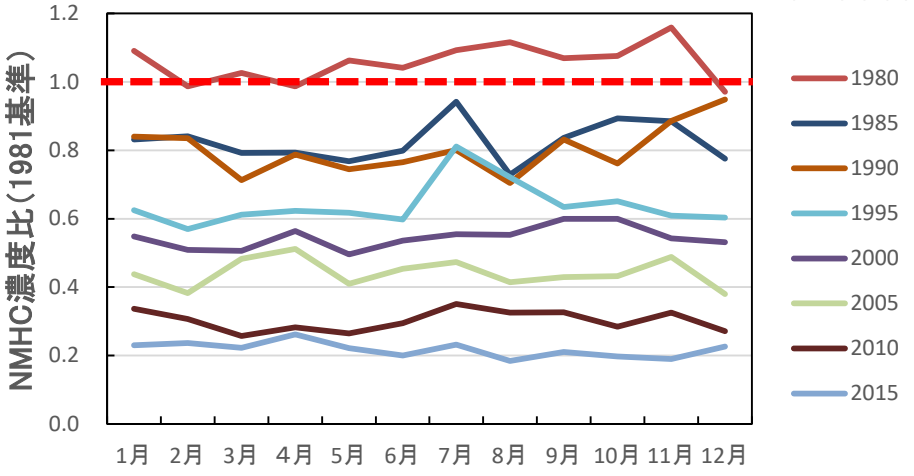


一般局

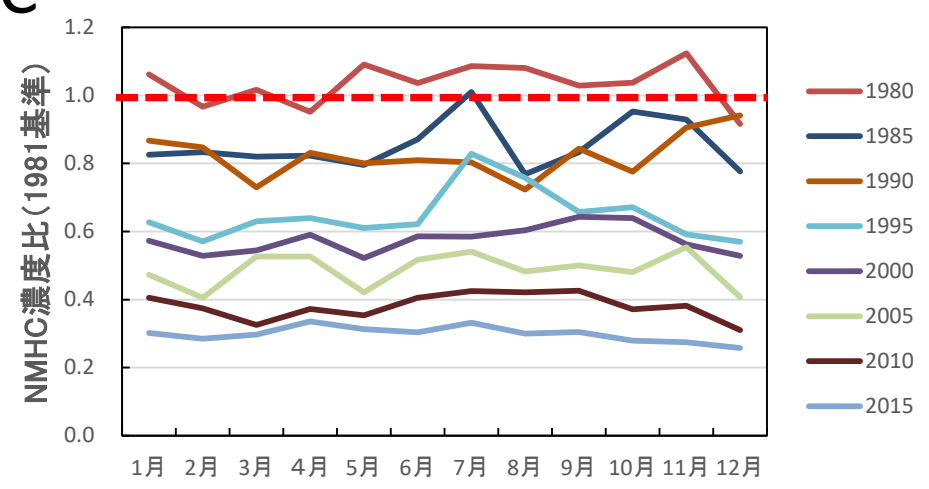


NMHC

自排局



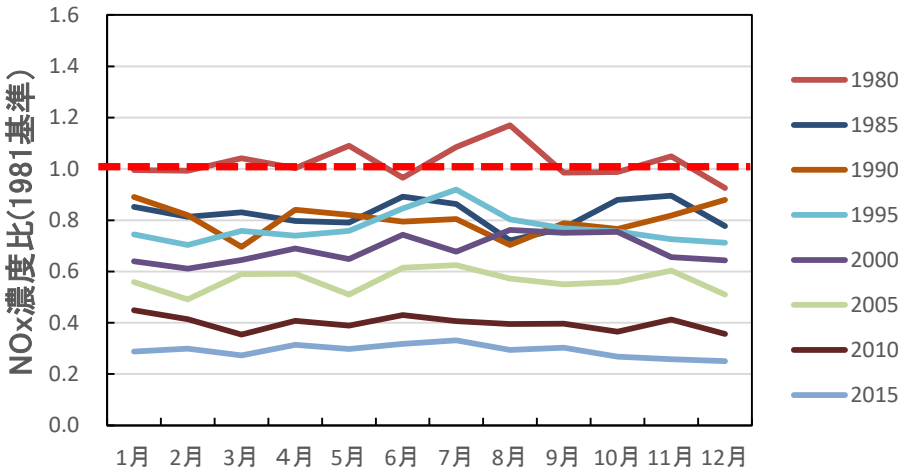
一般局



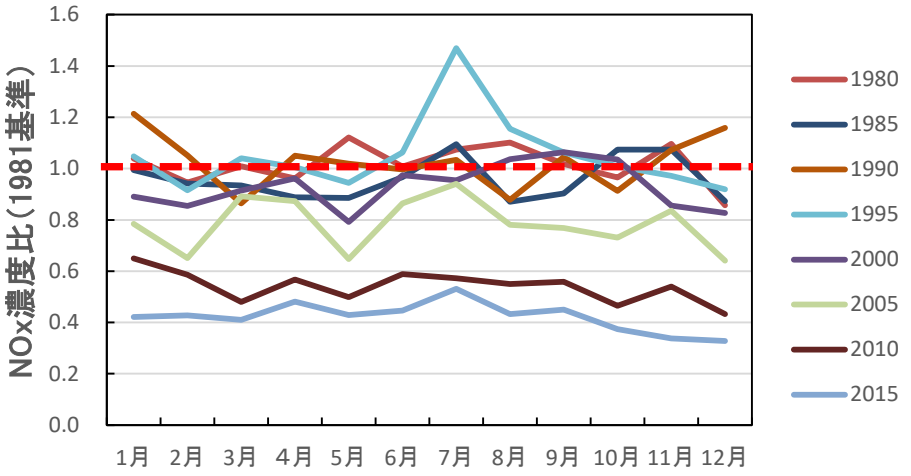
月別の濃度変化率（一般局）

NOx

自排局

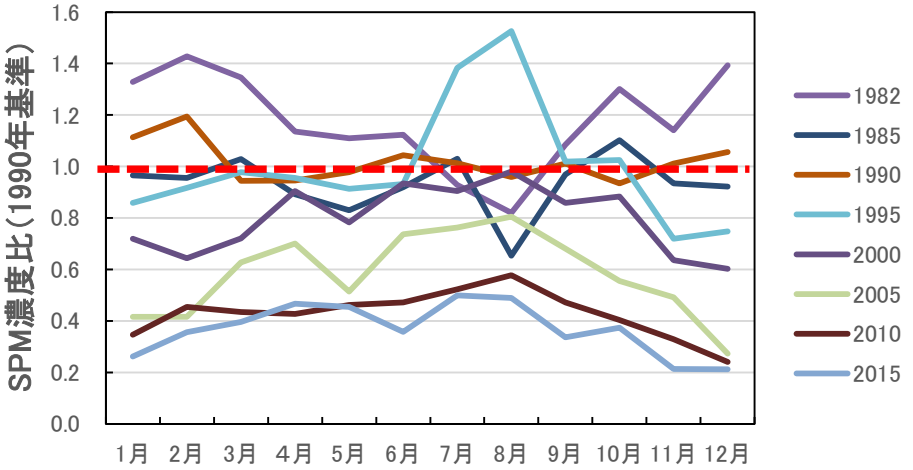


一般局

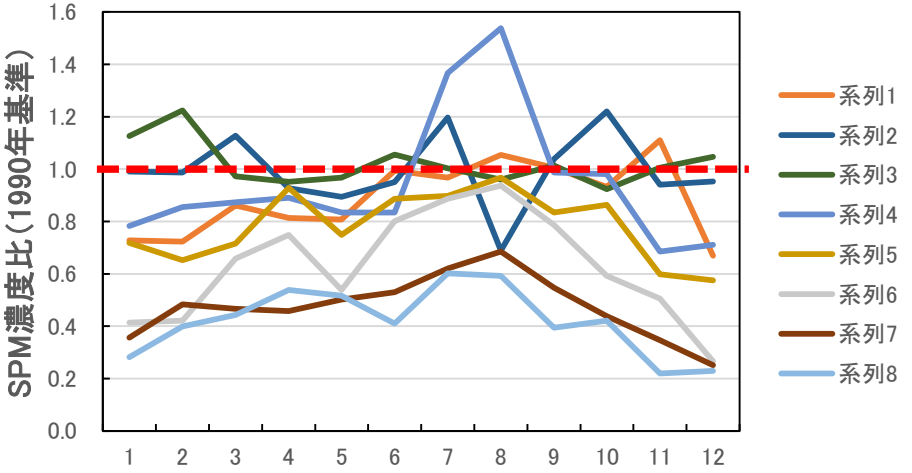


SPM

自排局



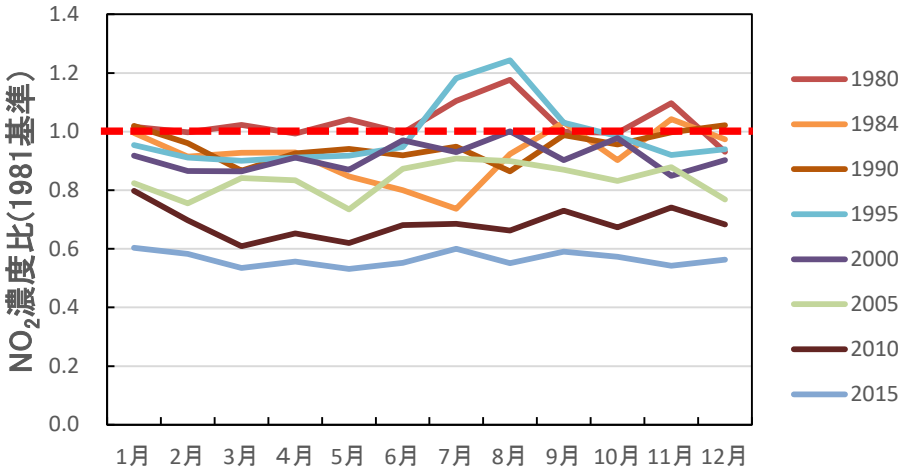
一般局



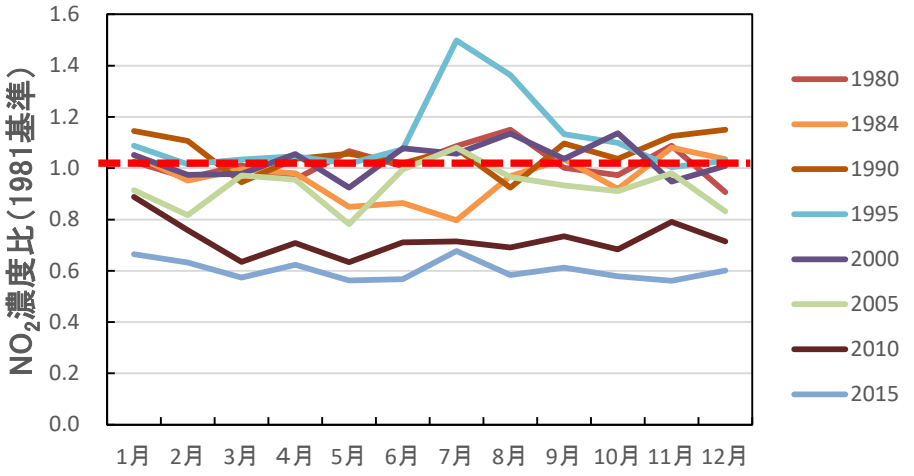
月別の濃度変化率

NO_2

自排局

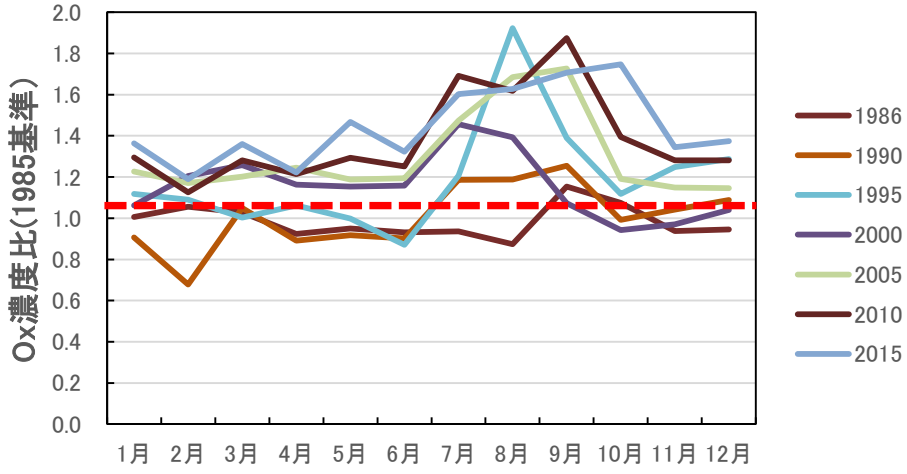


一般局

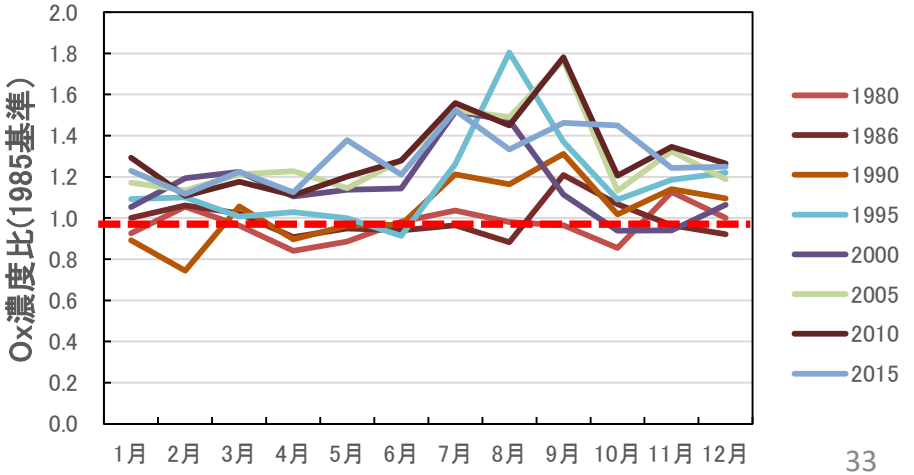


Ox

一般局_月平均濃度



一般局_最高1時間値の月平均濃度



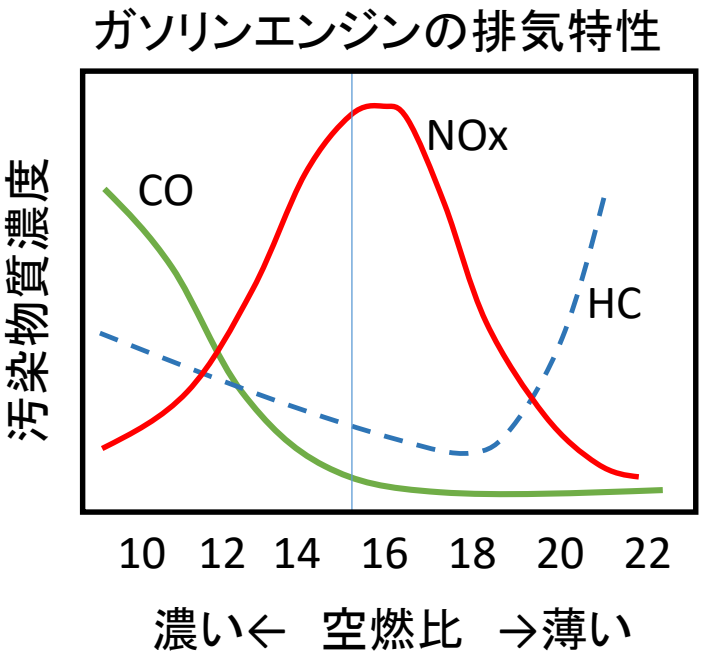
常時監視局データ解析のまとめ

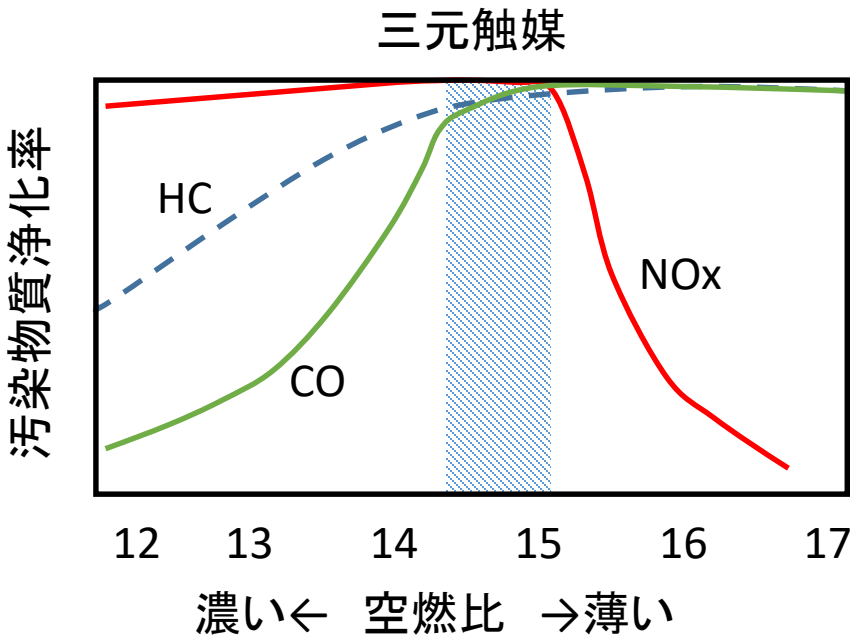
- 排出ガス規制の影響は、自排局濃度の変化からも、その効果が確認できる
  - CO, NMHC は、季節によらず1980年ごろに比べ約80%、NOxは約70%低下
  - SPMは約40%（夏季）～70%（冬季）低下
    - 春から夏にかけて、光化学反応による二次生成粒子の影響か？
  - SO_2 濃度は、燃料中の硫黄分削減により著しく低下
- NO_2の濃度の低下は、他の物質に比べて緩やか
  - 1980年ごろに比べて、約40%低下に留まる
  - Oxによる酸化や自動車排気のNO_2/NOxの増加の影響か？
- 光化学反応生成物に関する対策が課題として残る
  - Oxは、上昇傾向が続いており、8～9月の上昇率が高い
  - 二次生成粒子の寄与が増加傾向
  - 効果的な対策はあるか？？？

ガソリン車の主な排出ガス低減対策

- 燃焼改善
  - NOx
    - 燃焼温度を下げる
      - 点火時期遅延
      - 排気再循環（EGR）
  - CO,THC
    - 混合気の均質化
      - 空燃比制御の精密化
      - 壁面への燃料付着の削減
    - 隙間容積の縮小
- エンジン制御技術
  - O_2センサによる空燃比制御
- 後処理
  - 三元触媒
  - 触媒の改良
    - 活性開始温度を下げる
    - 始動時のHC吸着
- 燃料・潤滑油改善
  - 触媒被毒防止
    - 硫黄分低減
    - 潤滑油添加剤の改良
  - 蒸気圧調整（蒸発ガス）
- 蒸発ガス対策
  - 活性炭キャニスター
  - 配管材料改良
  - タンク温度上昇防止対策

三元触媒





酸化反応

$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$

$HC + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

還元反応

$2NO + 2CO \rightarrow 2CO_2 + N_2$

$NO + HC \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2$

空燃比の精密制御：

酸素センサーと電子燃料噴射装置により実現

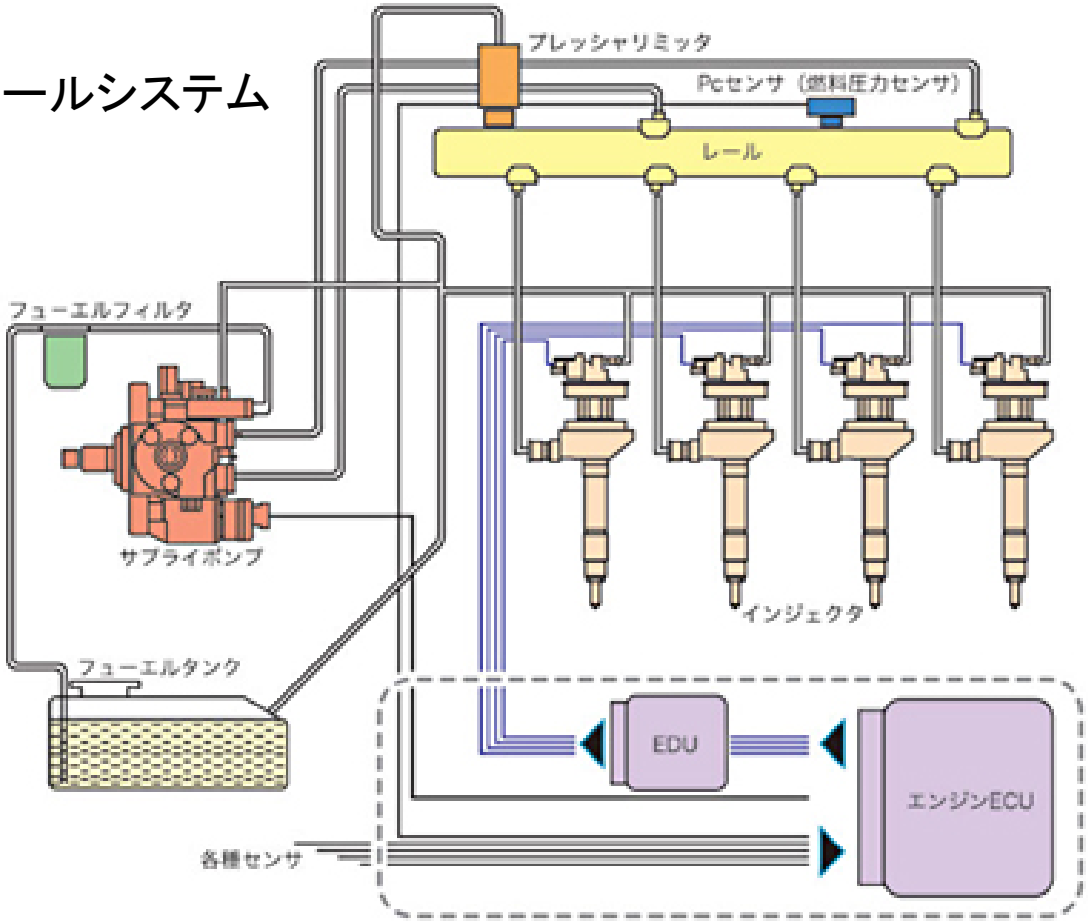
ディーゼル車の主な排出ガス低減対策

- 燃焼改善
  - NOx
    - 燃焼温度を下げる
      - 噴射時期遅延
      - 排気再循環（EGR）
  - PM
    - 燃料と空気の混合促進
      - 高圧噴射，燃焼室内空気流動改善
    - SOF（OC）低減
      - 噴射弁改善，オイル消費量低減
- 燃料改善
  - 硫黄低減（Sulfate低減，触媒被毒防止、腐食防止）
  - アロマ低減，軽質化（PM低減）
- 後処理
  - 酸化触媒，NOx触媒，DPF

ディーゼル車用電子制御式燃料噴射装置

高圧噴射と電子制御噴射装置の組み合わせ

コモンレールシステム

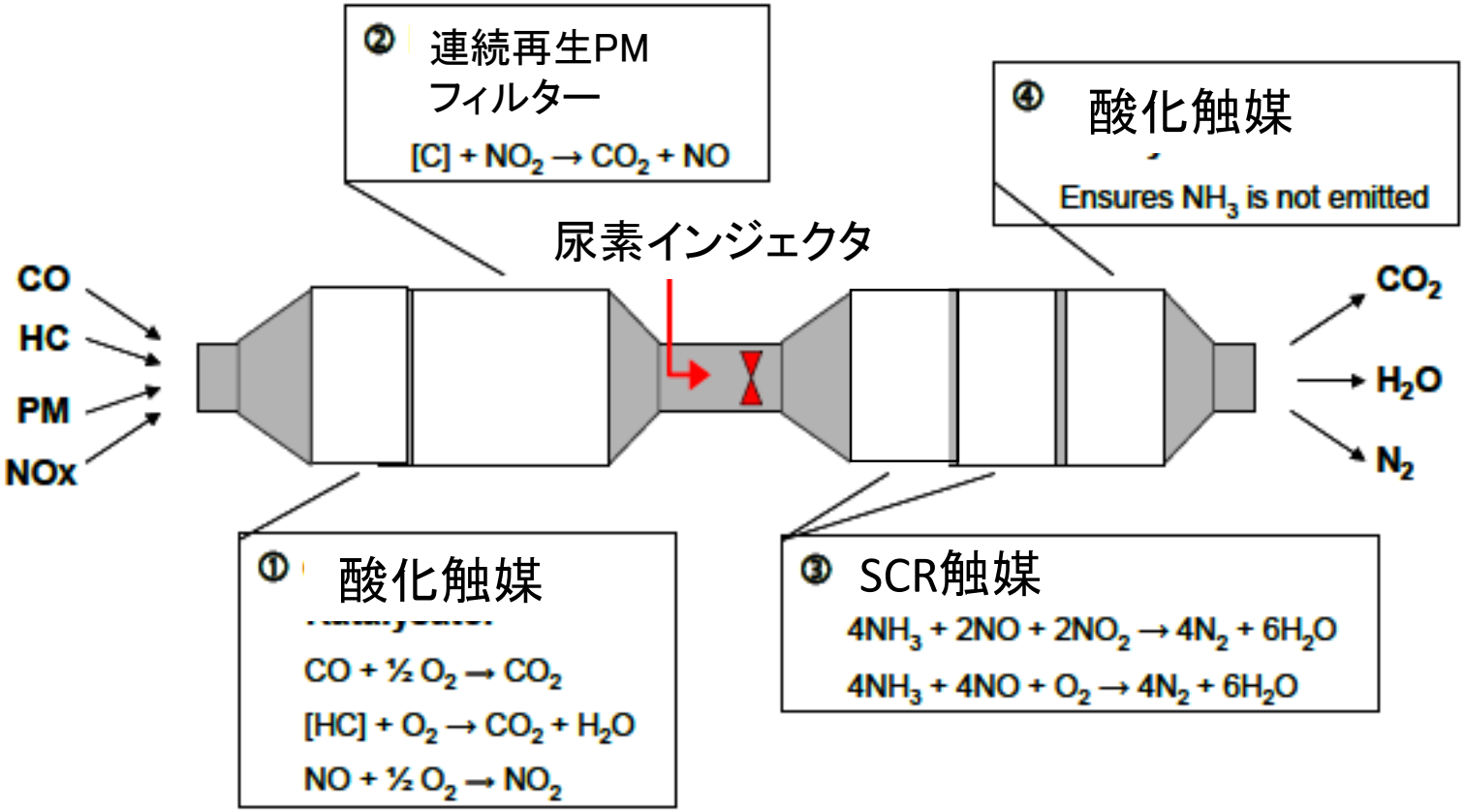


出典：DENSO　HP

ディーゼル車用排気浄化システム

エンジンの燃焼改善＋
酸化触媒、DPF、NOx触媒の組み合わせ

CRT® System + SCR System = SCRT® System



出典：Johnson　Matthey 社資料

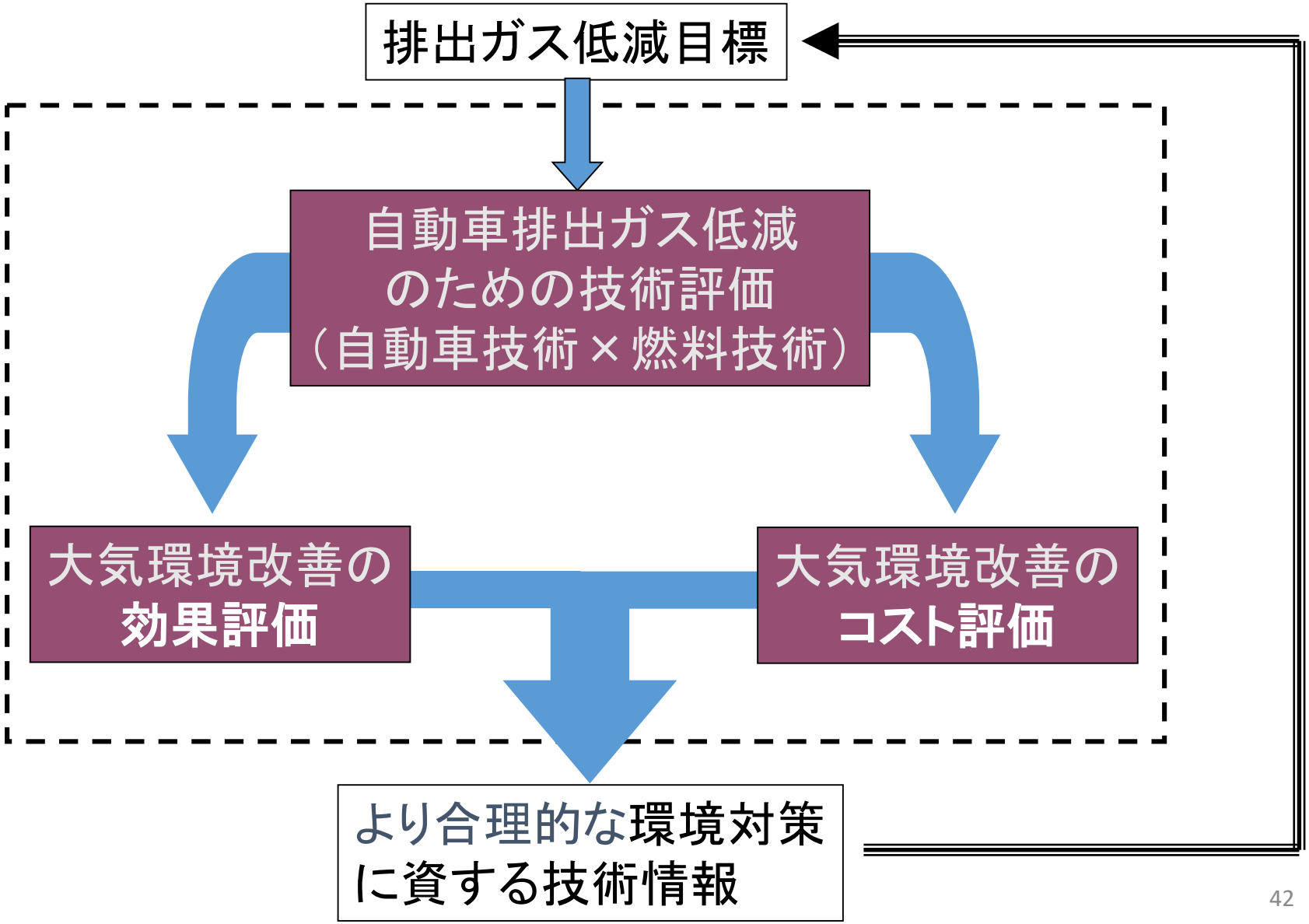
JCAP(Japan Clean Air Program)

- 日本版オートオイルプログラム
- 目的
  - より良い大気環境をめざした自動車と燃料技術の開発
- 事業の概要
  - 自動車と石油業界の共同研究
  - 通産省（後の経産省）の補助事業（2/3補助）
  - 期間；1997年度～2001年度（５年間）
  - 予算：約５４億円（５年間）
  - 関係者：約２００名
- JCAP Ⅱ（2002～2006）
- JATOP（2007～2011）
- JATOP Ⅱ（2012～2014）
- JATOPⅢ（2015～2017）

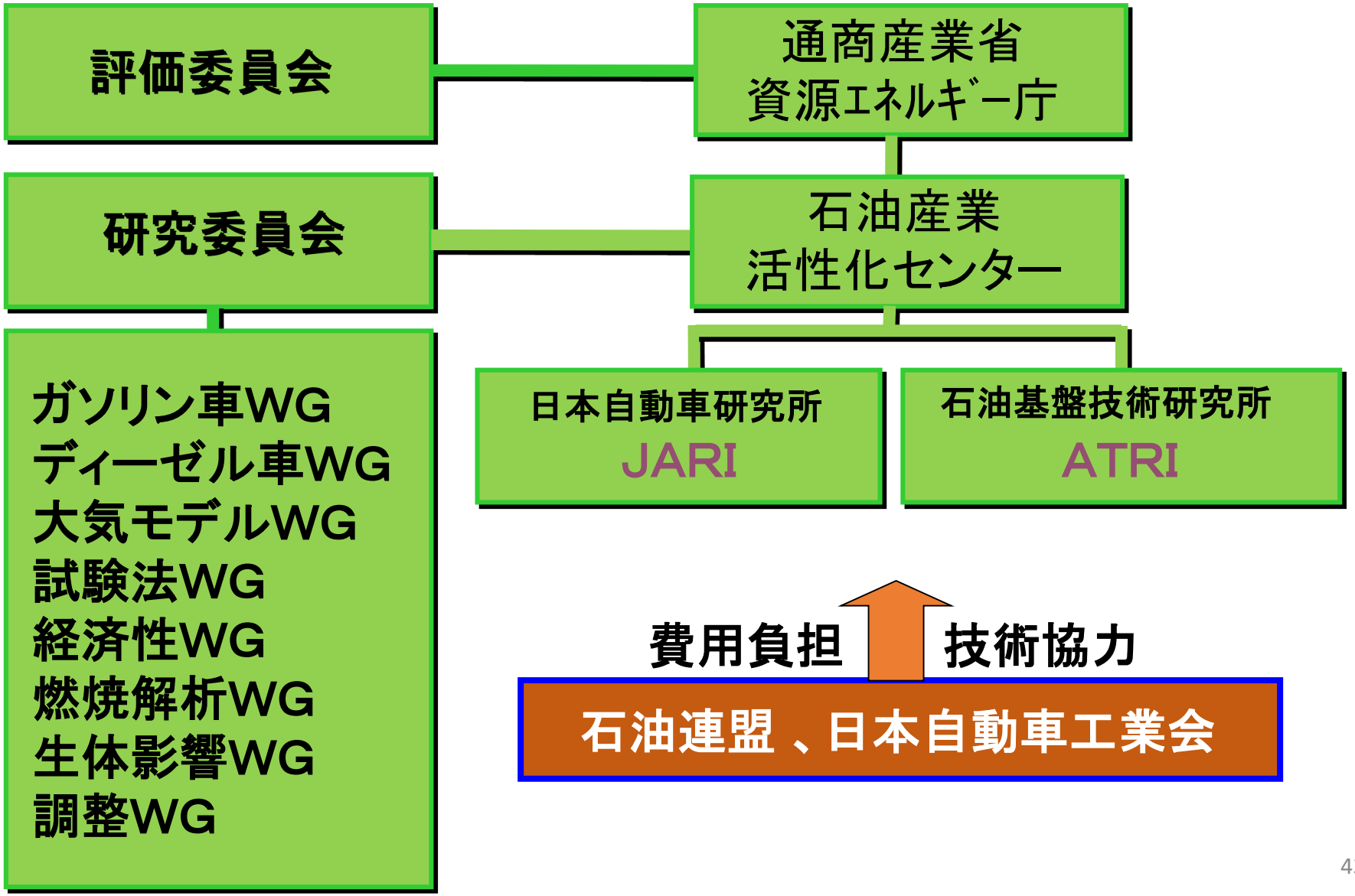
JCAPの立ち上げ

- 背景
  - 排出ガス低減のためには、自動車と燃料双方の改良が必要
  - 欧米におけるオートオイルプログラムの実施
- スタートの前年（1996)：欧州AOP調査
  - 環境庁の調査団、自工会、石連代表、環境庁、JARI
  - 自動車と燃料の研究、大気研究、経済性評価
- 日本版AOPの計画立案
  - 予算の問題から通産省の補助事業として実施することに決定
  - 6億（補助金　4億、業界2億）×2（JARI,ATRI)＝12億／年
- プレ事業として、自動車、石油の共同事業立ち上げ
  - JARI、日本石油、出光興産の共同研究スタート
- 1997　JCAPスタート

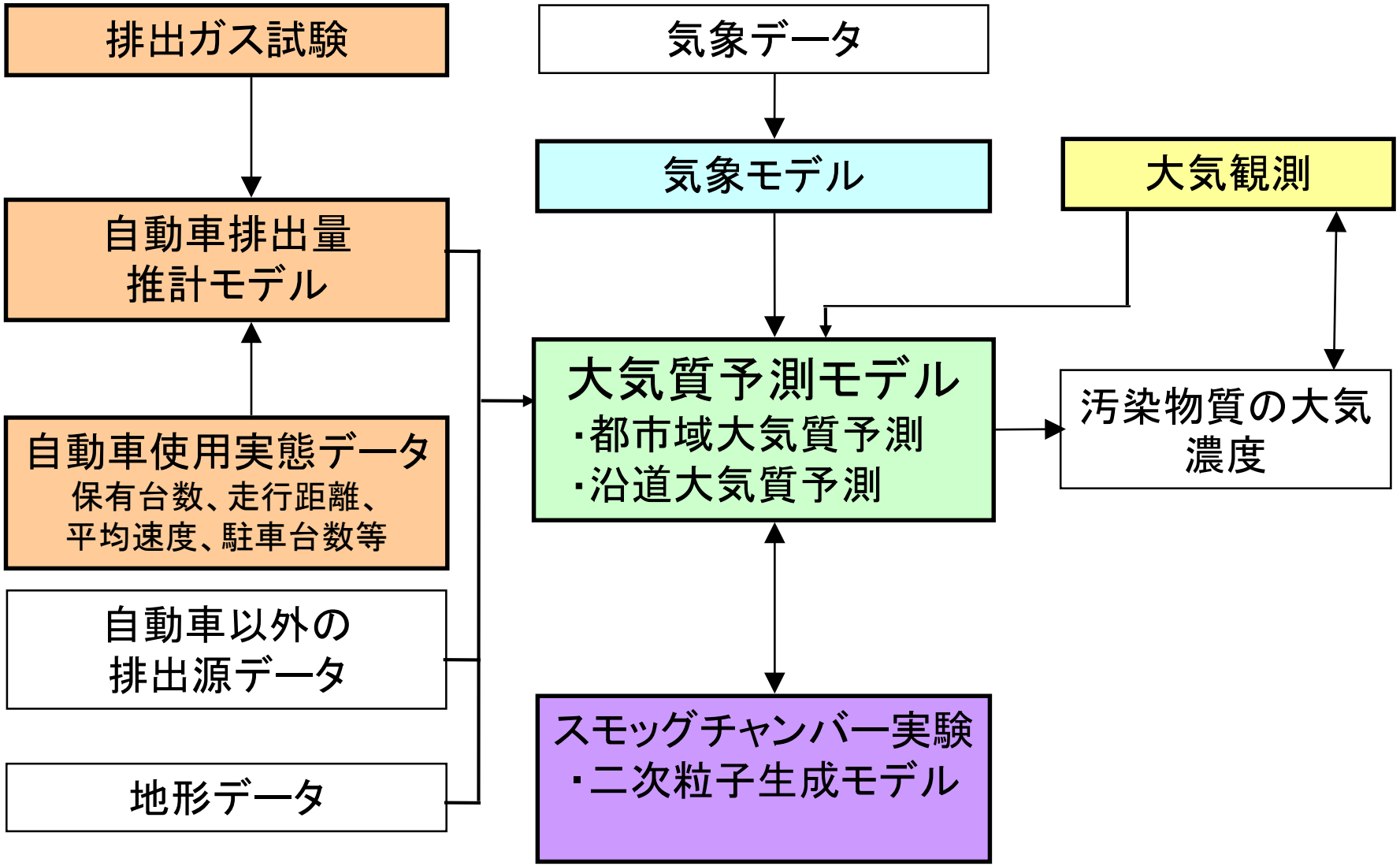
JCAPのフレームワーク



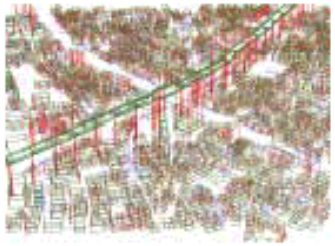
JCAPの体制

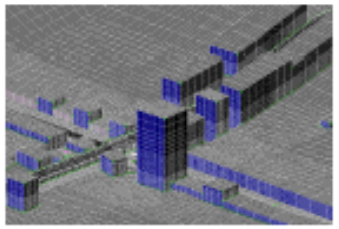

評価委員会
通商産業省
資源エネルギー庁
研究委員会
石油産業
活性化センター
ガソリン車WG
ディーゼル車WG
大気モデルWG
試験法WG
経済性WG
燃焼解析WG
生体影響WG
調整WG
日本自動車研究所
JARI
石油基盤技術研究所
ATRI
費用負担
技術協力
石油連盟、日本自動車工業会

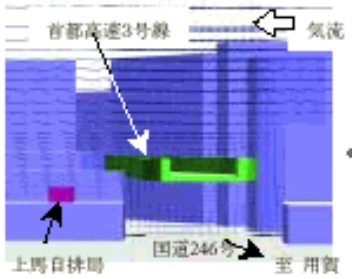
JCAPにおける大気研究の概要

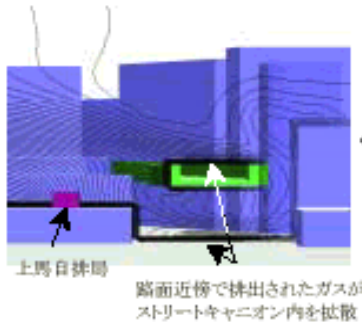


沿道モデルの全体構成









ビル等の沿道構造物
形状データ

計算格子

気流モデル

沿道における気流場

移流拡散モデル

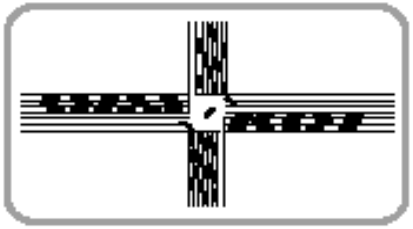
沿道における自動車排気の
拡散濃度場

沿道における濃度場

今回の検証の範囲

沿道の交通パラメータ
（道路レイアウト、
信号設定、交通量、etc.）

ミクロスケール
交通流モデル

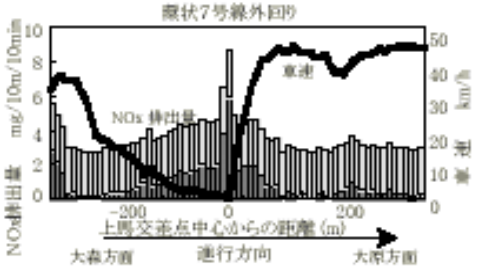


沿道における交通流
（一秒毎の全車両の位置、速度、加速度）

過渡排出係数

沿道における排気排出量の分布

広域モデルによる
バックグラウンド濃度



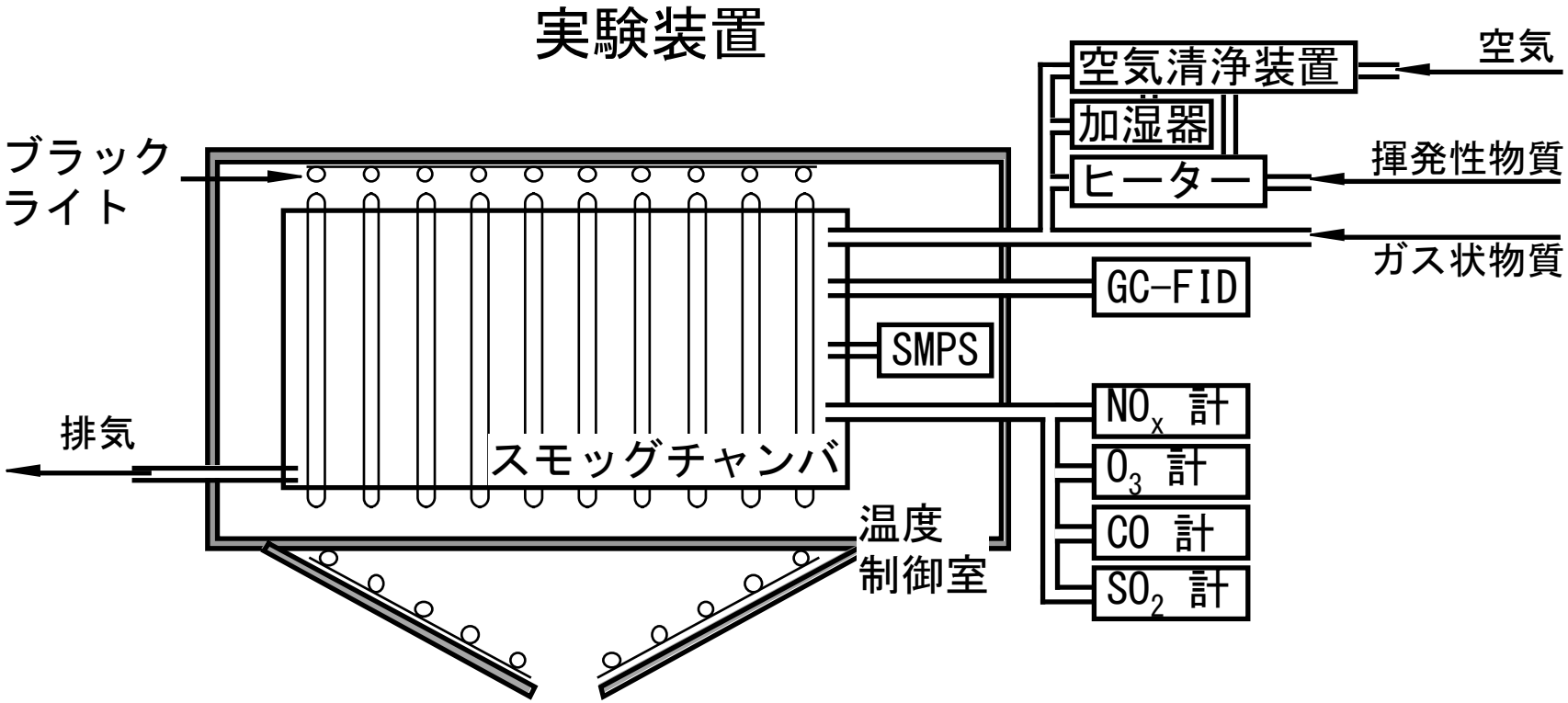
自動車排出量の推計

リアルワールドにおける排出量の推計

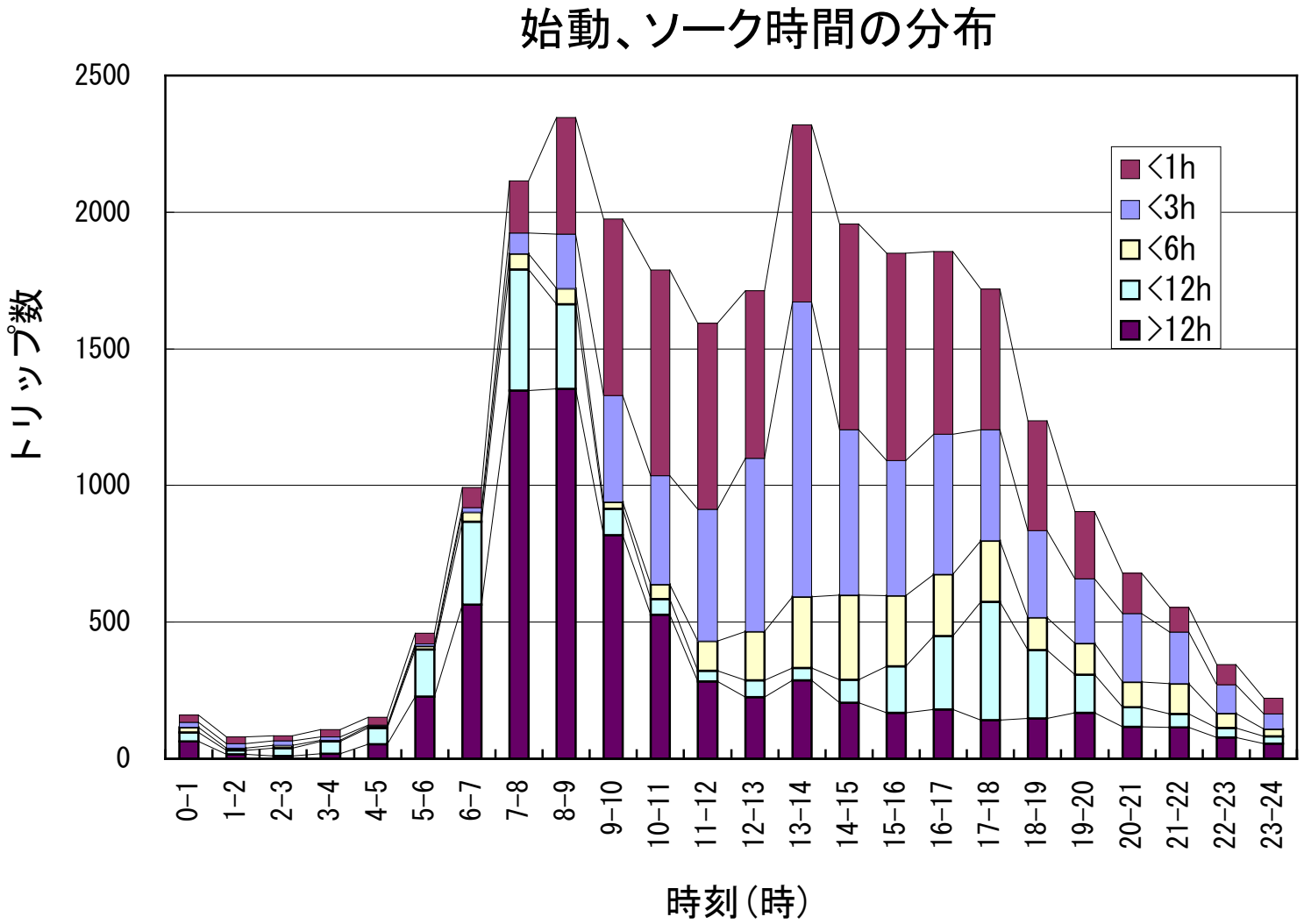
- テールパイプ排出量＝排出係数×走行量
  - 排出係数：環境庁排出原単位、JCAPデータ
  - 交通量：交通センサス（現況）、交通流モデルにより予測（将来）
- それまで未把握の排出量を推計
  - 始動時の排出ガス増量
    - １始動あたりの排出ガス増加量と始動回数より推計
  - DBL排出量
    - GMの式から求めた蒸発量と車両の駐車挙動を考慮して算出
  - HS排出量
    - エンジンの停止１回あたりの排出量とエンジン停止挙動を考慮して算出
  - R/L排出量
    - JCAP試験データをもとに算出
  - ハイエミッター車の排出量（JCAPⅡ）
    - リモートセンシング結果を基に推計

有機二次粒子モデルの開発

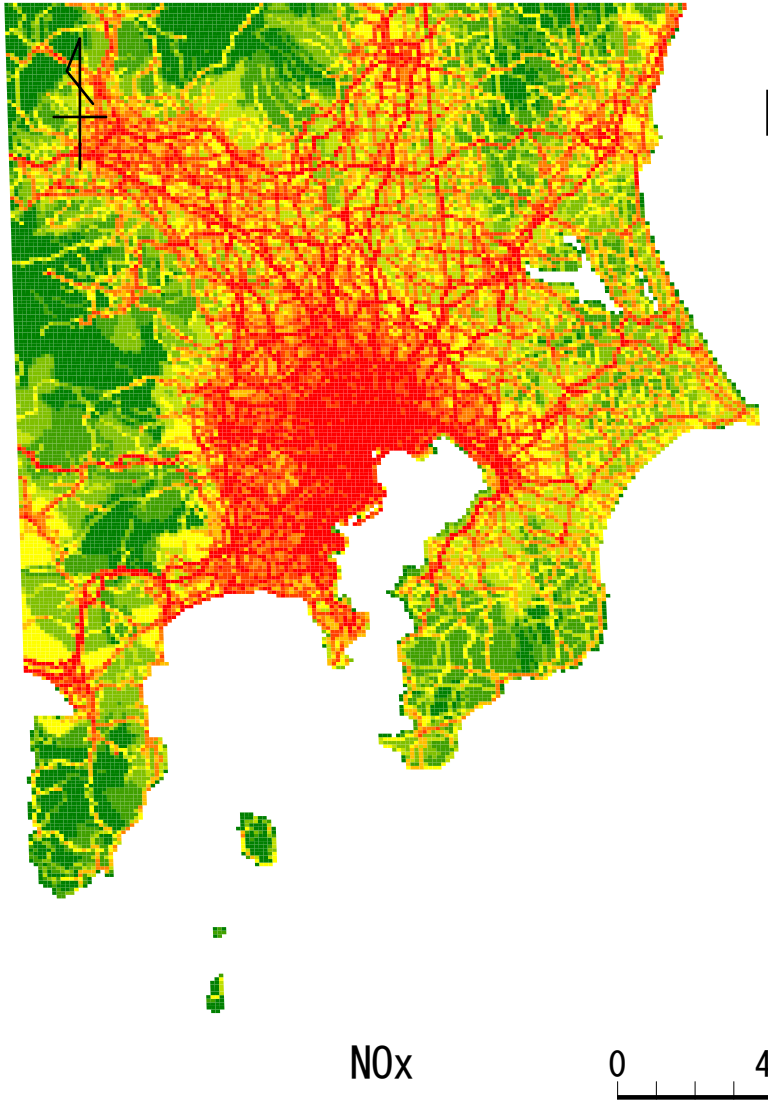
チャンバー実験により、主要炭化水素の二次粒子生成能（粒子収率）を測定し、それをもとに三次元シミュレーションモデルに組み込む有機二次粒子生成モデルを構築する



自動車の使用実態調査

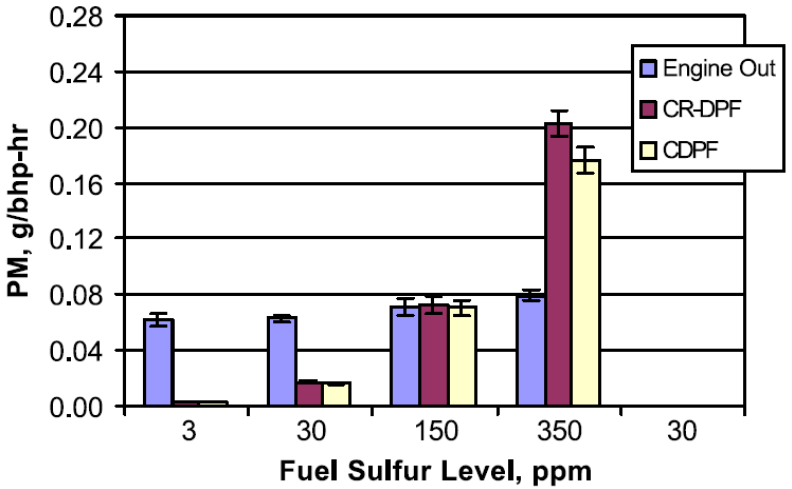

始動、ソーク時間の分布
トリップ数
2500
2000
1500
1000
500
0
<1h
<3h
<6h
<12h
>12h
0–1
1–2
2–3
3–4
4–5
5–6
6–7
7–8
8–9
9–10
10–11
11–12
12–13
13–14
14–15
15–16
16–17
17–18
18–19
19–20
20–21
21–22
22–23
23–24
時刻(時)

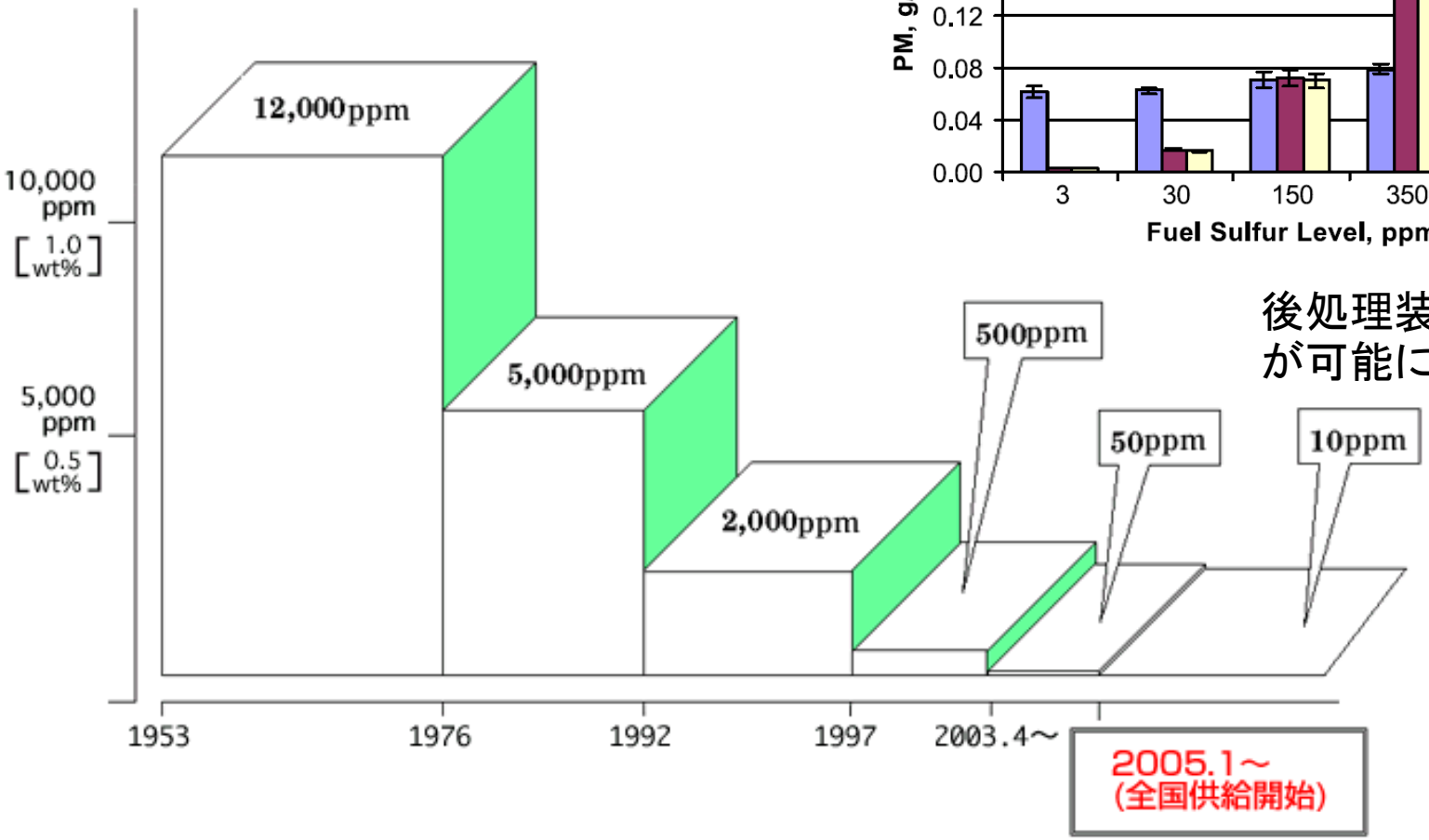
自動車排出インベントリ



時間・空間分解能の高い
自動車排出インベントリの作成

軽油中に含まれる硫黄分の推移





後処理装置の使用が可能になった

出典：石油連盟資料

JCAPの意義

- 自動車と石油業界
  - 異質の体質
    - 石油：設備産業、資本集約的、各社で製品間の差はない、消耗品
    - 自動車：高額な製品、労働集約的、製品の競争力に依存、耐久消費財
    - お互いに被害者意識、自動車は石油の消費者
- 自動車、石油両業界の風通しが良くなった
  - お互いの事情が理解できた
  - 石油業界も自動車業界の苦労を理解
- その結果、燃料の改良がスムーズに進んだ
  - 現在、S=10ppm以下
- 自動車排気の影響を規制される側が自ら把握した
  - 規制の必要性が理解できた
    - 社内に規制の効果を説明できる
  - 長期的な、課題、見通しを把握できる
    - 開発計画等に反映
- 大気環境の評価手法の開発
  - 排出インベントリ、大気モデルの公開

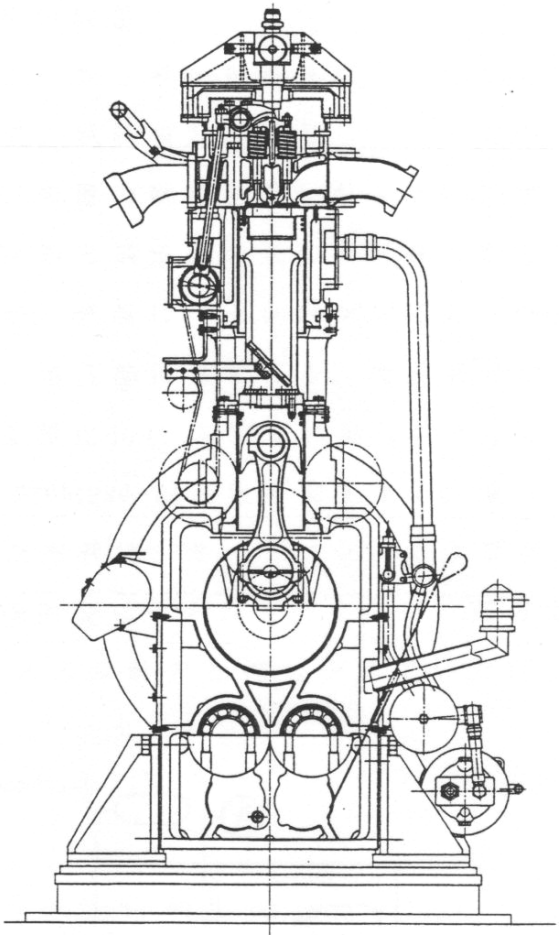
大気環境の専門家との交流

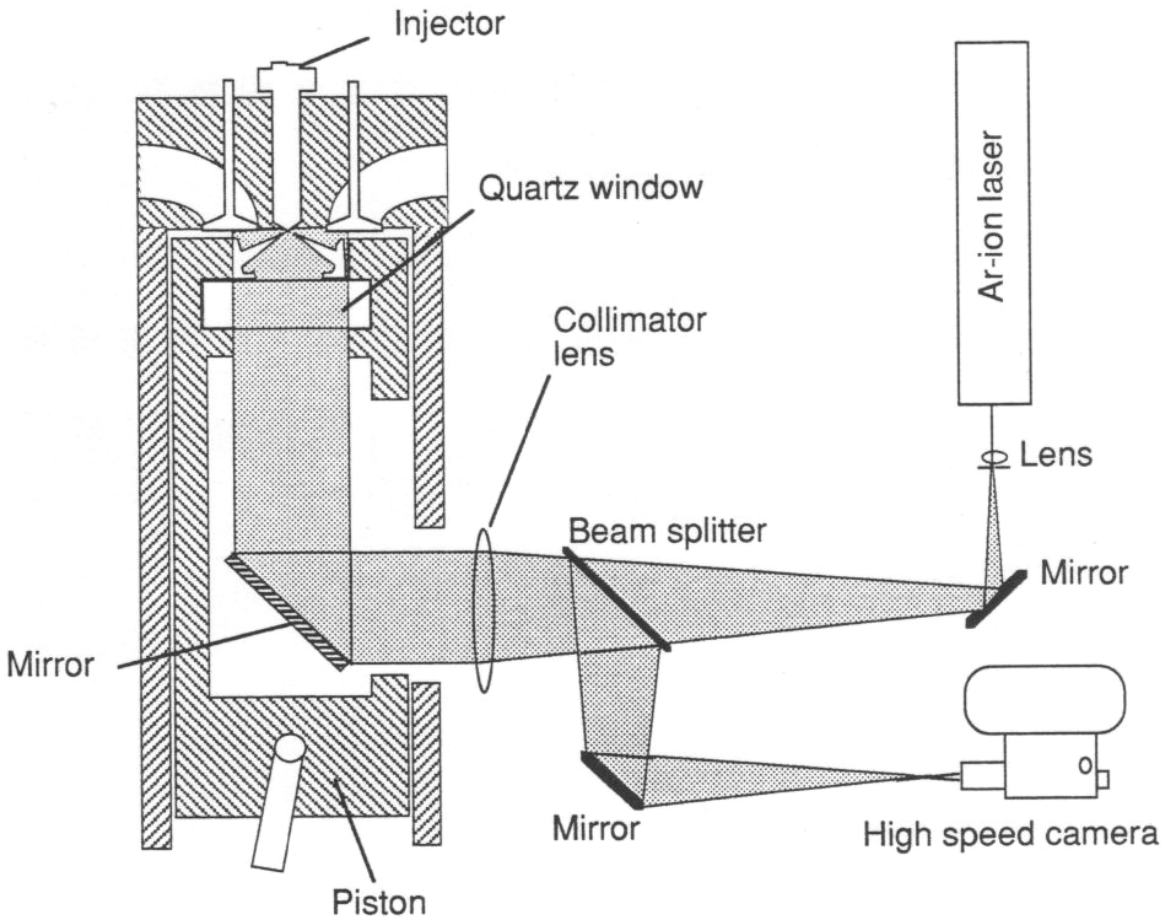
超高圧噴射ディーゼルの燃焼研究（1987～）

- 新燃焼システム研究所（ACE：1987-1992)
  - 基盤技術研究促進センター 70.0%　（NTT株の売却益が基金）
  - いすゞ自動車株式会社 5.8　　日産ディーゼル工業株式会社 5.8
  - 日野自動車工業株式会社 5.8　　三菱自動車工業株式会社 5.8
  - トヨタ自動車株式会社 1.3　　日産自動車株式会社 1.3
  - マツダ株式会社 1.3　　ダイハツ工業株式会社 0.6
  - 株式会社ゼクセル0.6　　日本電装株式会社 0.6
  - 日本触媒化学工業株式会社 0.6　　東京炉器株式会社 0.6
- 将来の自動車用エンジンに用いられるべき独創的な次世代の燃焼システムのコンセプトを確立
  - 超高圧噴射エンジンの性能、排気特性
  - 超高圧噴射による燃焼改善の要因解析
  - 次世代排気後処理技術の開発
- 1992年以降は新エィーシーイー（NACE：1992～）に引き継がれ現在も研究が行われている

可視化エンジン

日野、いすゞ、三菱、日デの合作エンジン



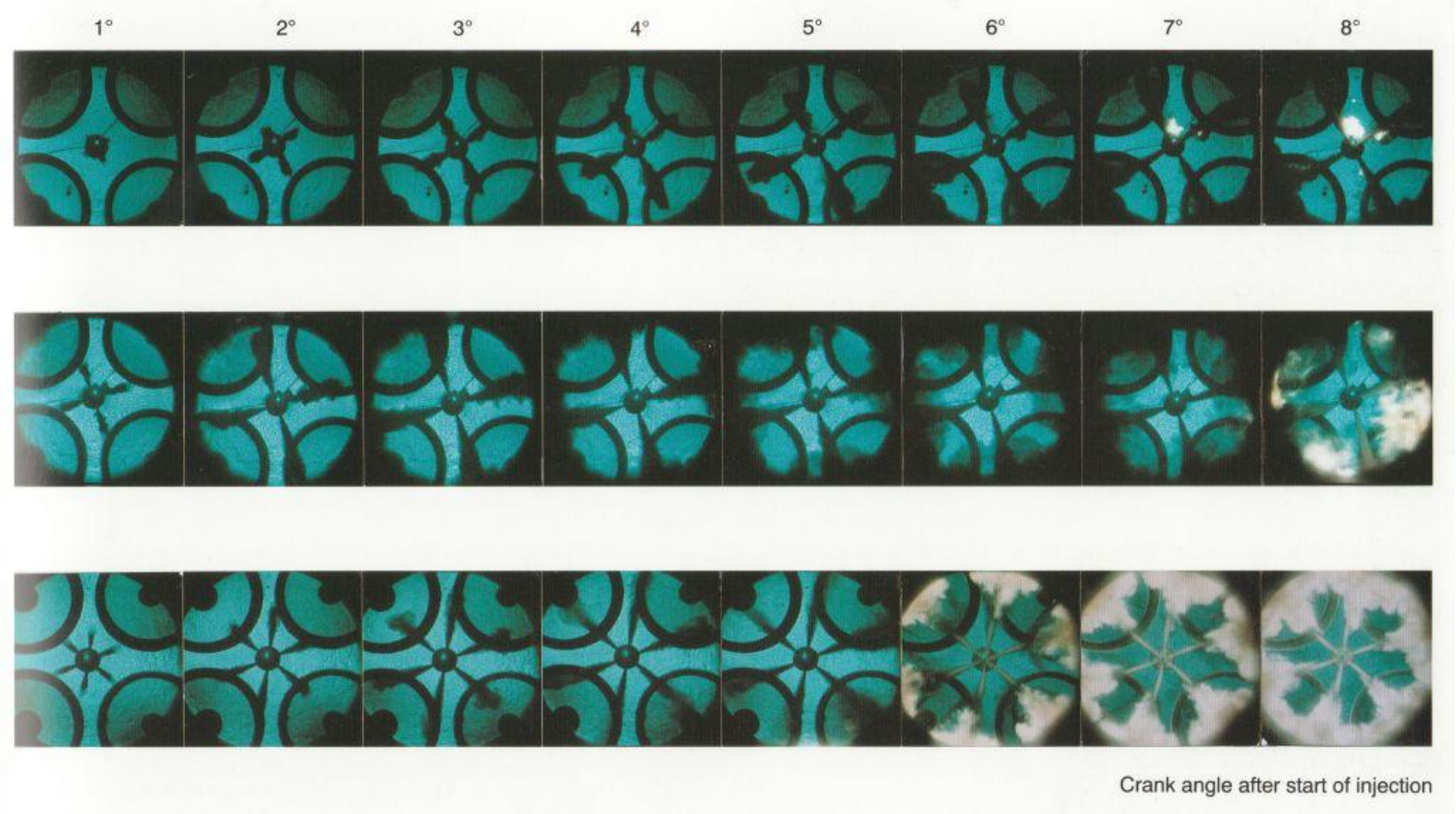


高圧噴射エンジンの燃焼（燃焼初期）

従来エンジン
Pinj.=40MPa

従来エンジン
高圧噴射
Pinj.=150MPa

小噴孔
高圧噴射
Pinj.=150MPa

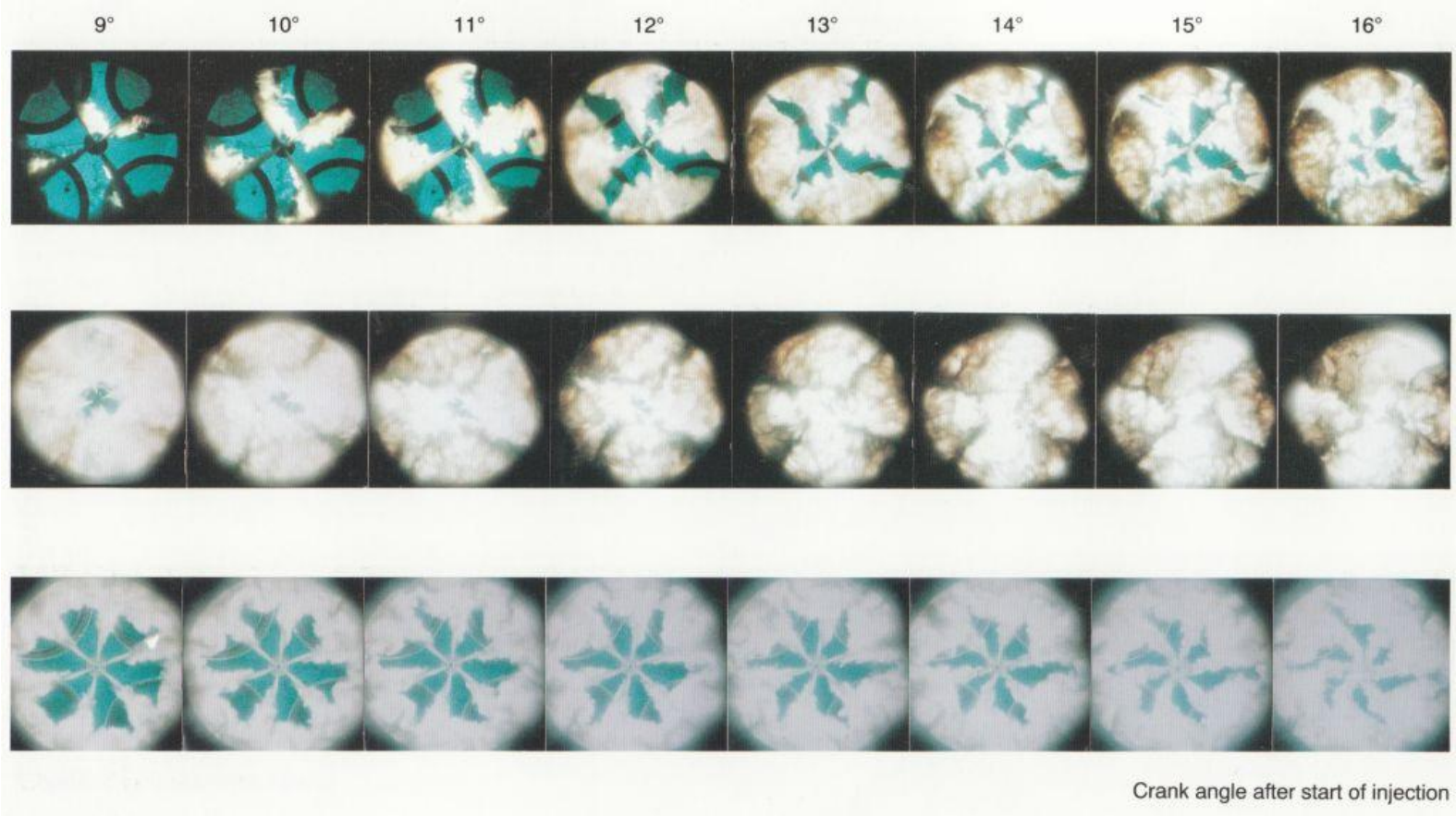


高圧噴射エンジンの燃焼（中期）

従来エンジン
Pinj.=40MPa

従来エンジン
高圧噴射
Pinj.=150MPa

小噴孔
高圧噴射
Pinj.=150MPa

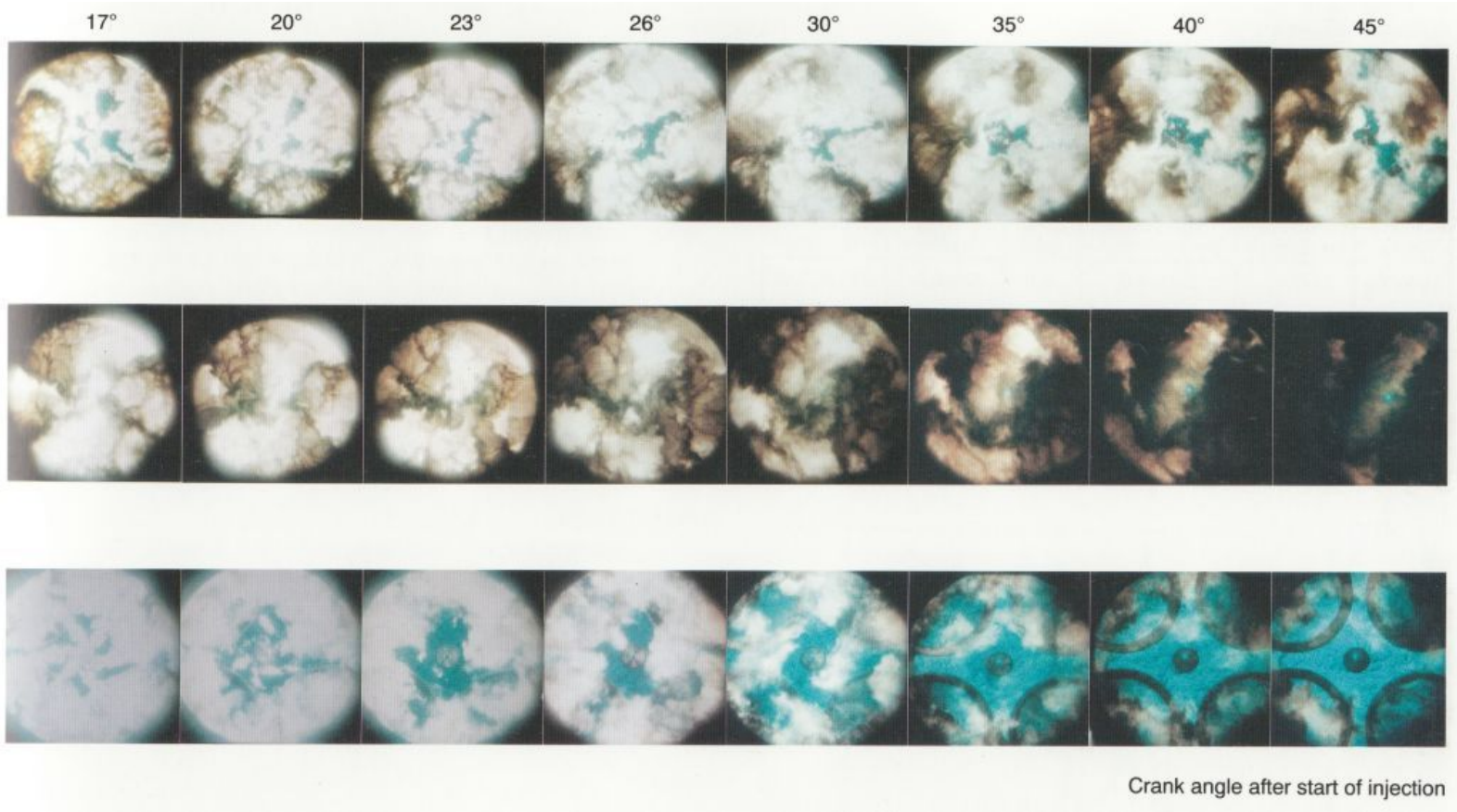


高圧噴射エンジンの燃焼（後期）

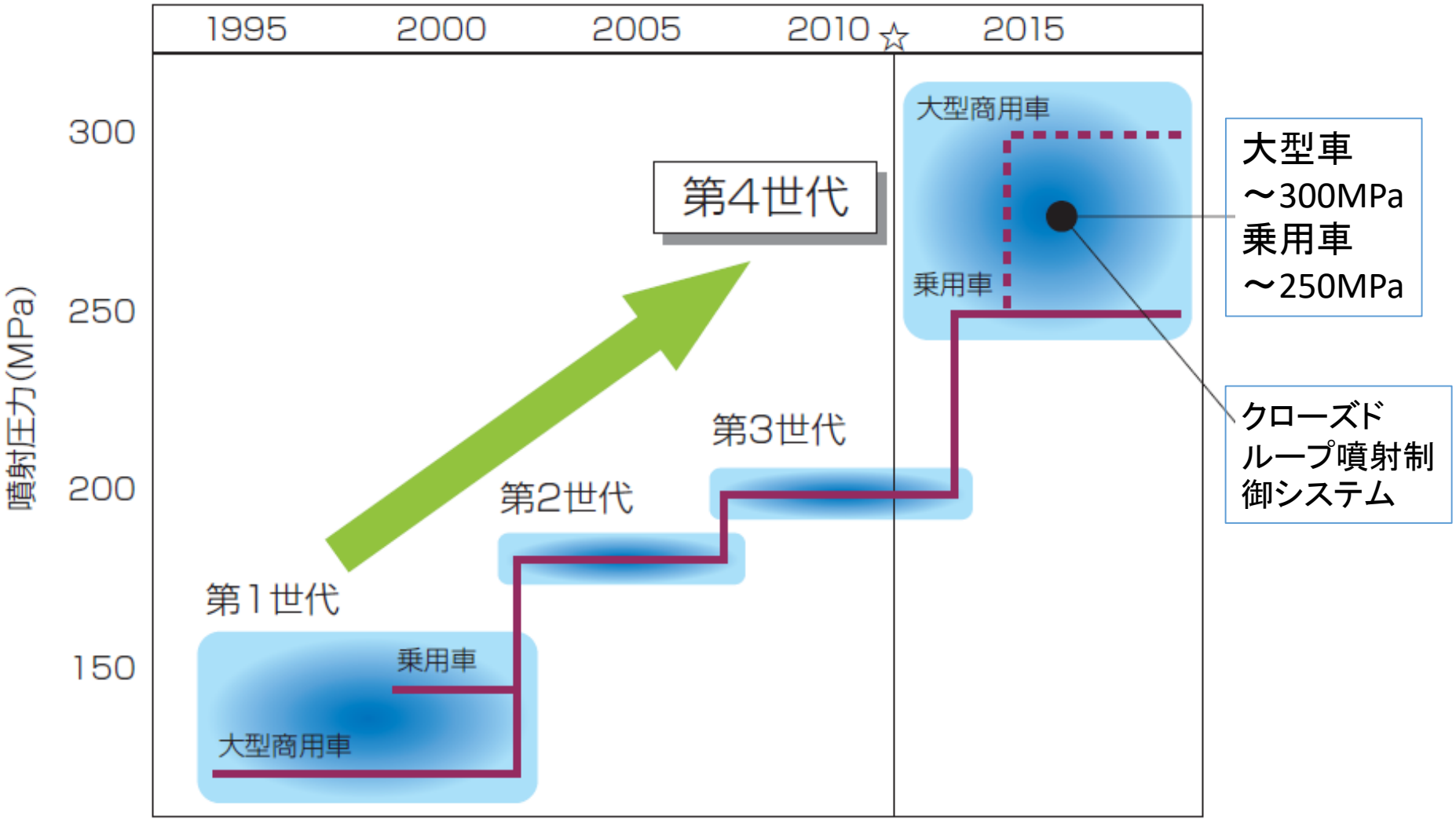
従来エンジン
Pinj.=40MPa

従来エンジン
高圧噴射
Pinj.=150MPa

小噴孔
高圧噴射
Pinj.=150MPa



燃料噴射圧力の推移



出典：DENSO資料

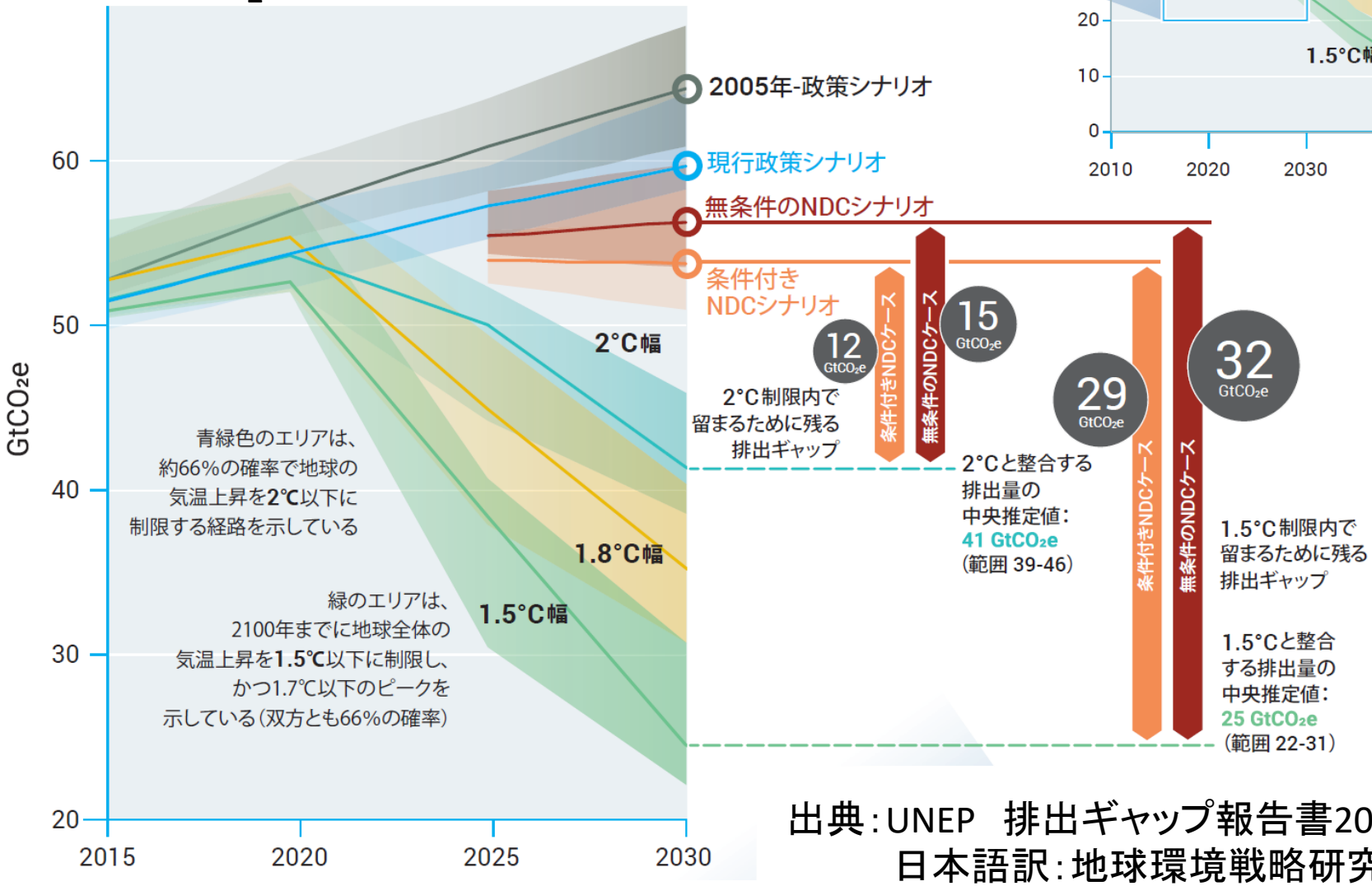
これからの社会と自動車

- 社会情勢
  - パリ協定
    - 脱化石燃料への急速な動き
    - 再エネへのシフト
    - 国連気候行動サミット2019
      - 77カ国が2050までに温室効果ガス排出実質ゼロを表明
- 自動車の変化（最近のキーワード）
  - CASE
    - **C**onnected：繋がる車
    - **A**utonomous：自動運転
    - **S**hared：シェアリング、サービス
      - ライドシェア、カーシェア、MaaS（**M**obility **a**s **a** **S**ervice）
    - **E**lectric：パワートレインの電動化
      - 地球温暖化対策
      - 化石燃料から再生可能エネルギーへ

自動車、社会の転換期

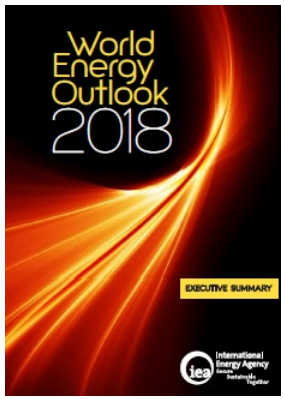
Global greenhouse gas emissions under different scenarios and the emissions gap in 2030

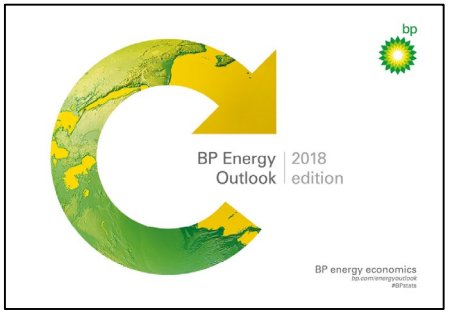
今後、CO_2削減の更なる努力が必要

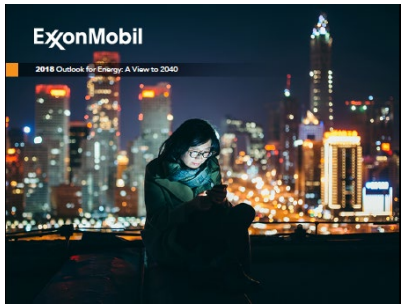


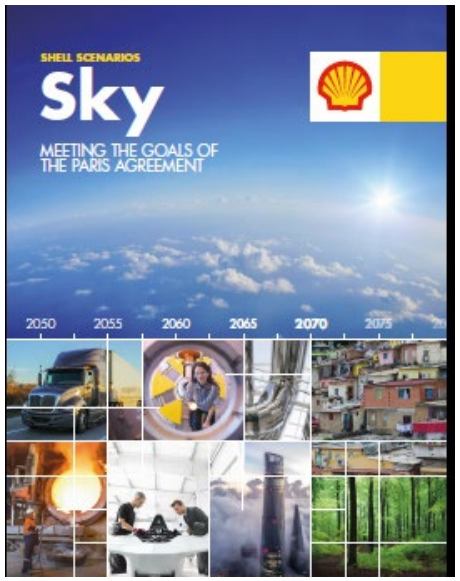
出典：UNEP　排出ギャップ報告書2019
日本語訳：地球環境戦略研究機関

Energy　outlookから読み解くこれからの社会

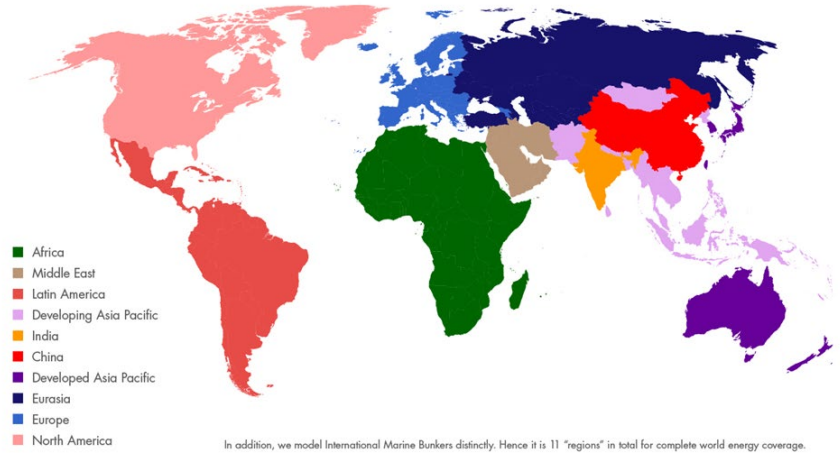






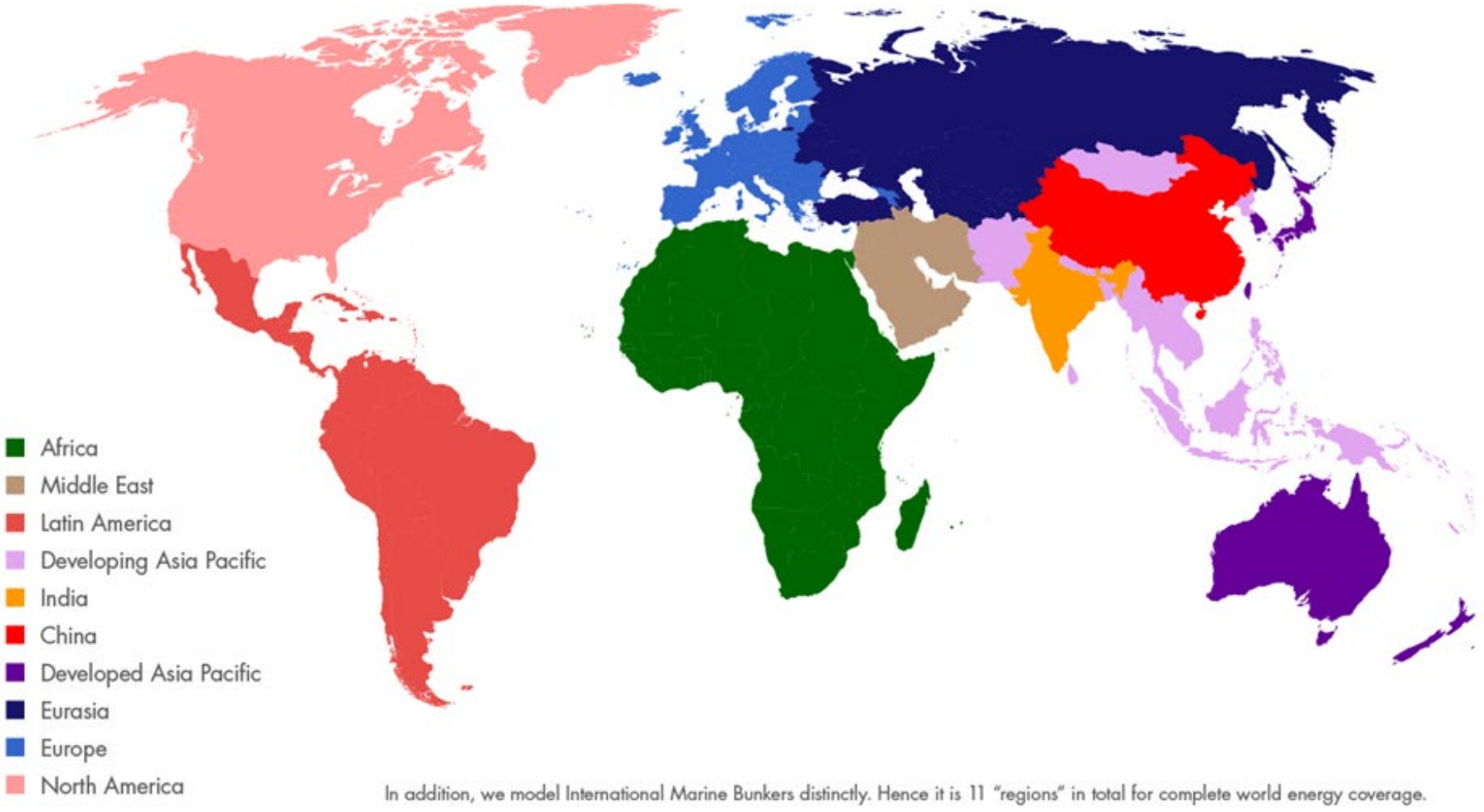


- Shell　Sky シナリオ
- パリ協定のゴールを達成するための技術的、マクロ経済学的に可能なシナリオ
- 全世界の平均気温の上昇を2℃以下に抑えるという野心的なシナリオ
- 2070までに、CO_2排出量ネットゼロを目指す
- 世界を10の地域に分けて、エネルギーの将来予測を実施



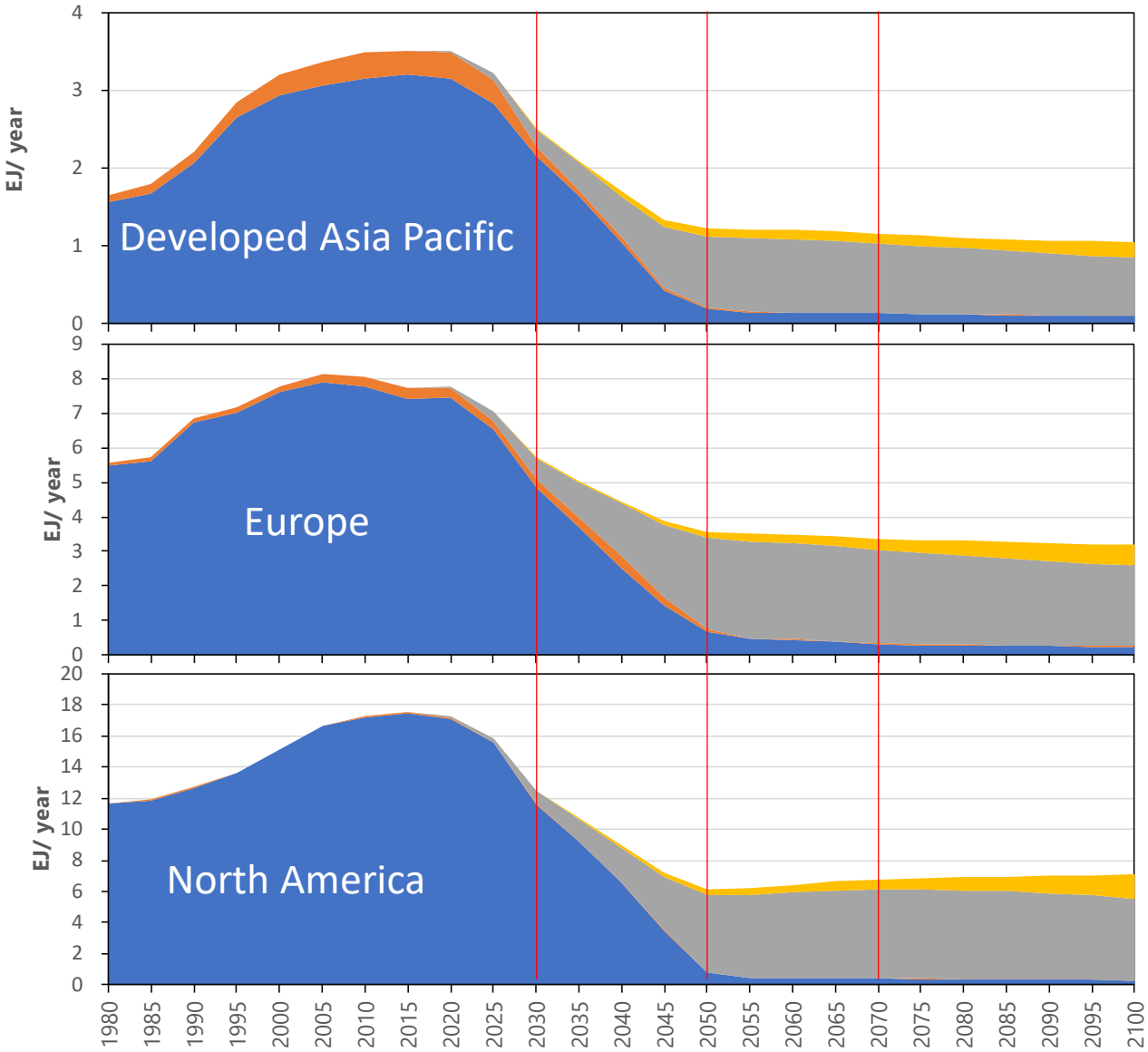
Developed Asia Pacific :
日本、韓国、台湾、オーストラリア、ニュージーランド

The 10 major regions in the World Energy Matrix



Developed Asia Pacific : 日本、韓国、台湾、オーストラリア、ニュージーランド

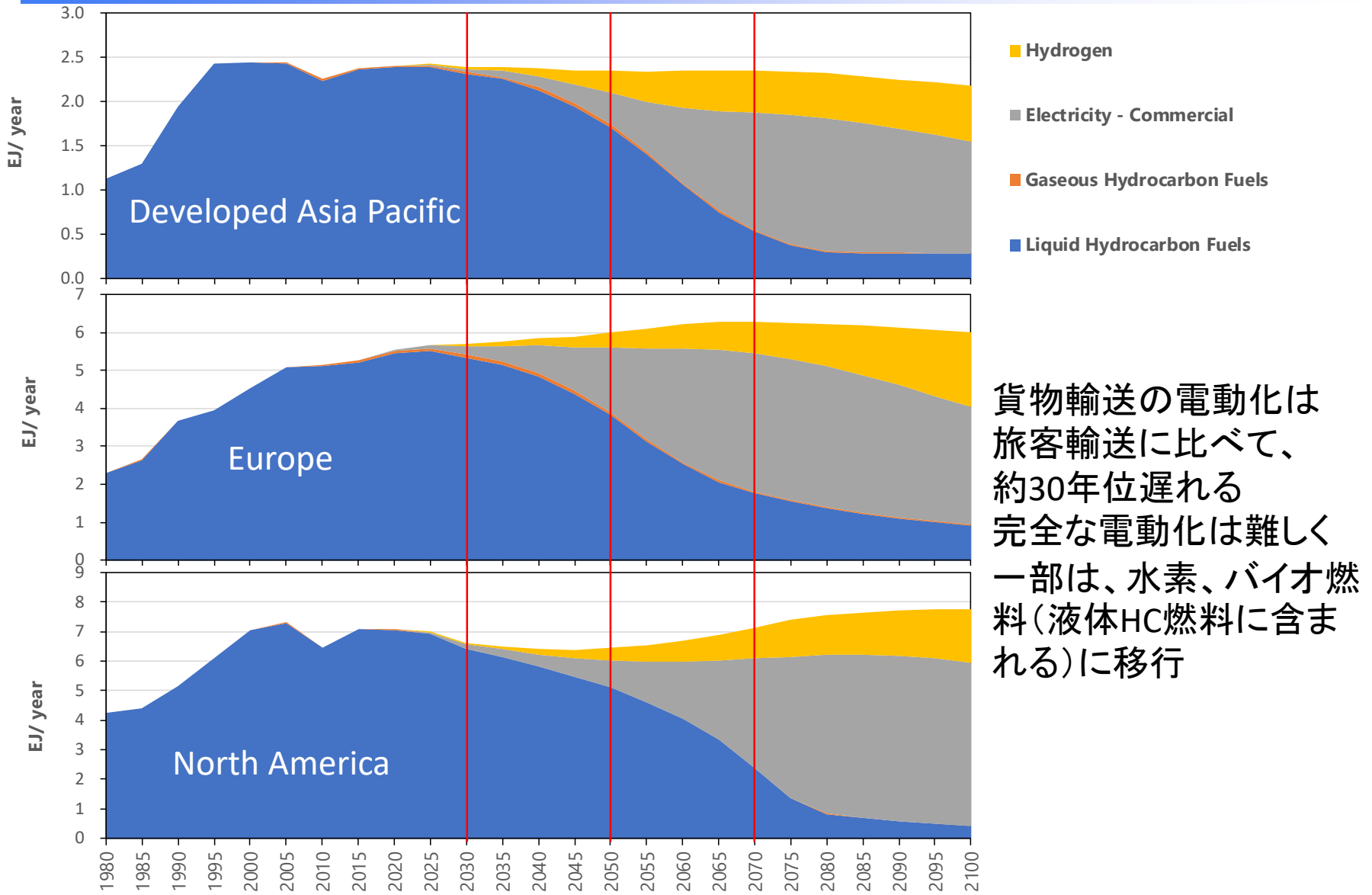
エネルギ源別消費量の推移
道路輸送-旅客-走行距離（台・km）



先進地域では、2050年までに、旅客輸送の電動化を完了させる必要がある

出典：Sky scenario，https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html：shell-sky-scenario-data-2018.xlsxをもとに作成

エネルギ源別消費量の推移
道路輸送-貨物-輸送量（ton・km）

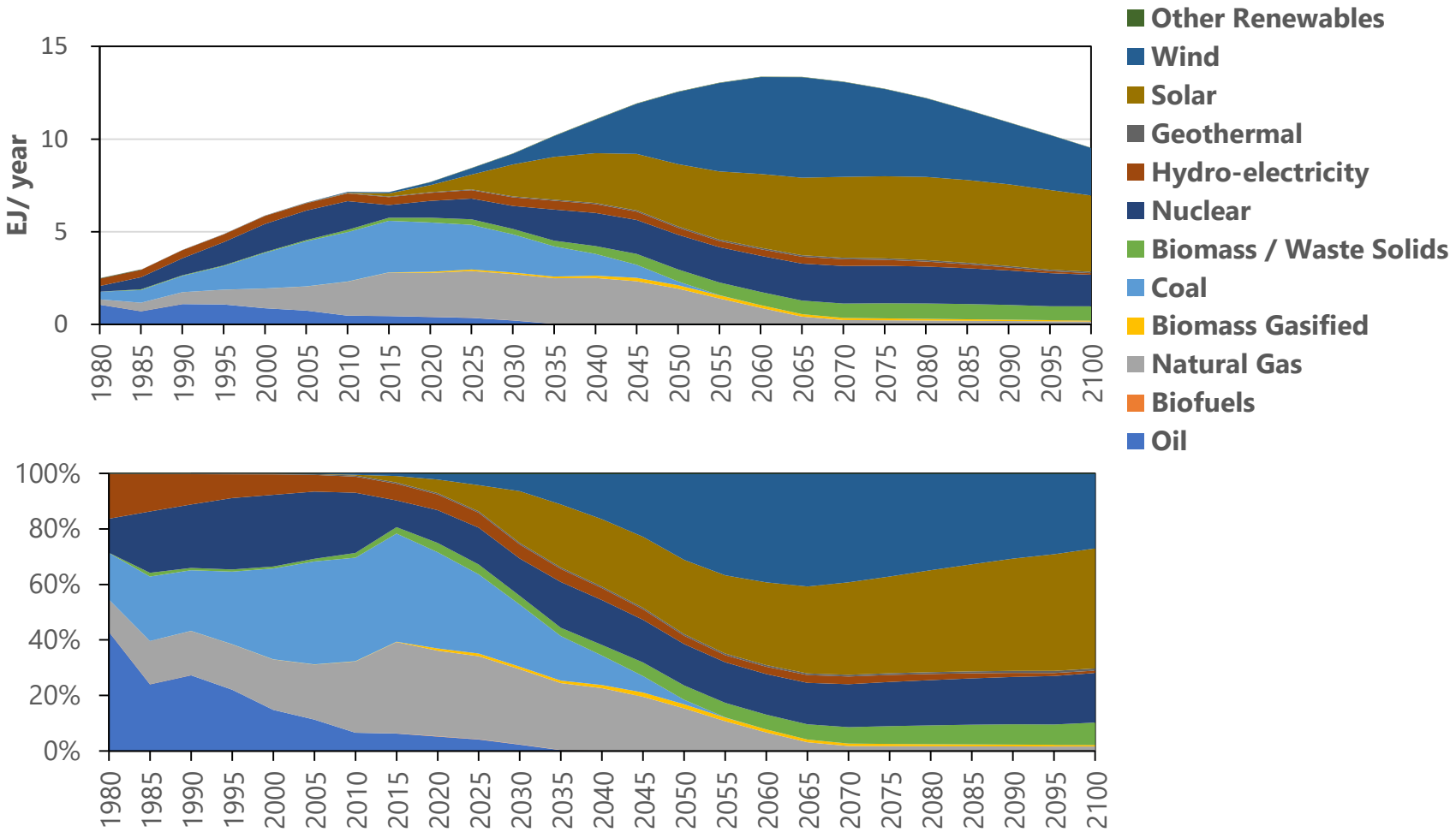


貨物輸送の電動化は
旅客輸送に比べて、
約30年位遅れる
完全な電動化は難しく
一部は、水素、バイオ燃料（液体HC燃料に含まれる）に移行

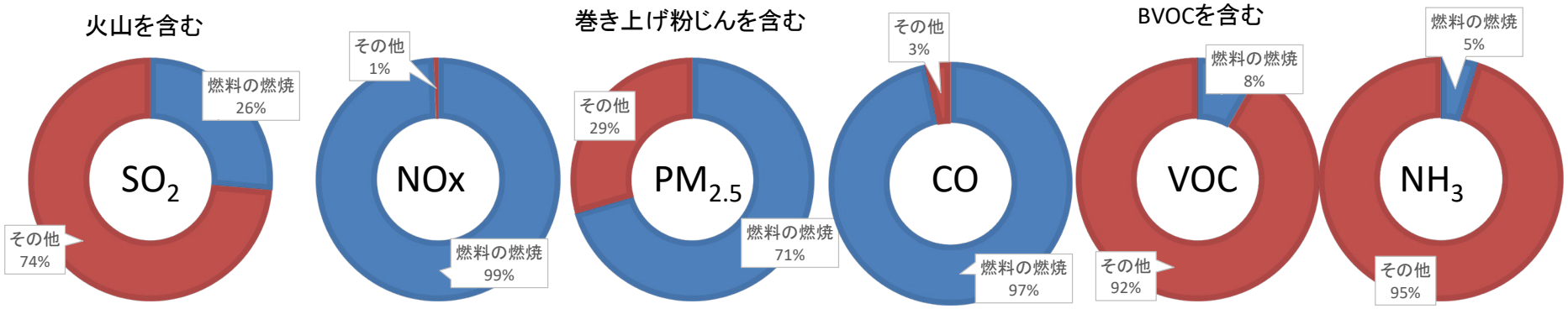
出典：Sky scenario，https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html：shell-sky-scenario-data-2018.xlsxをもとに作成

電源構成

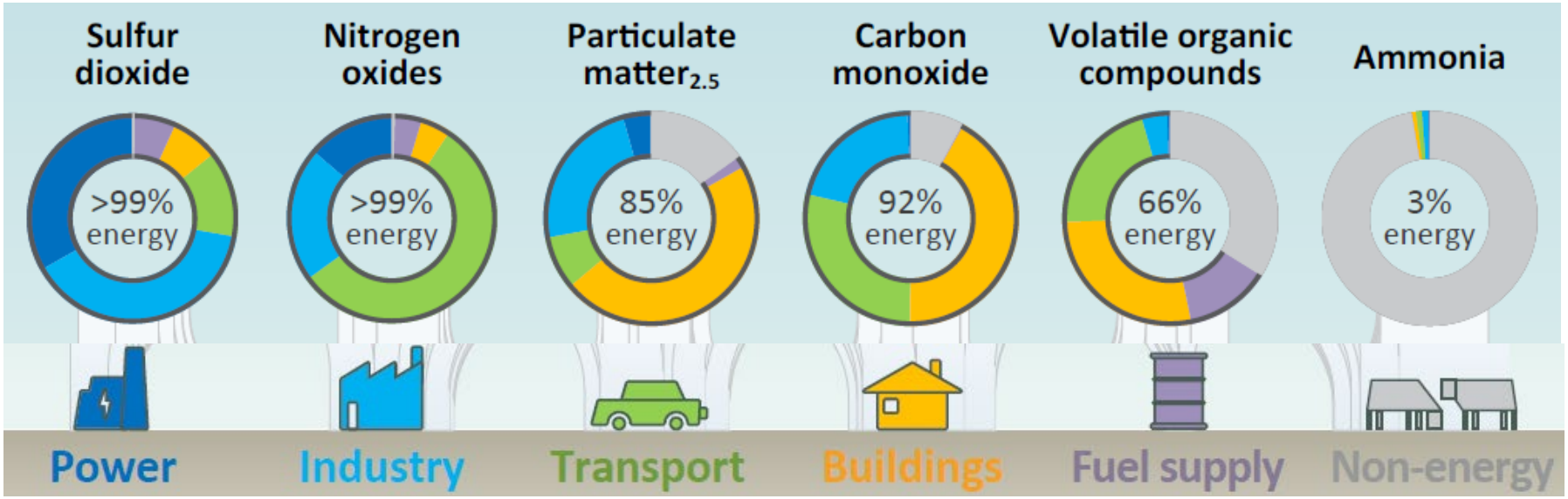
Developed Asia Pacific



大気汚染物質の発生原因



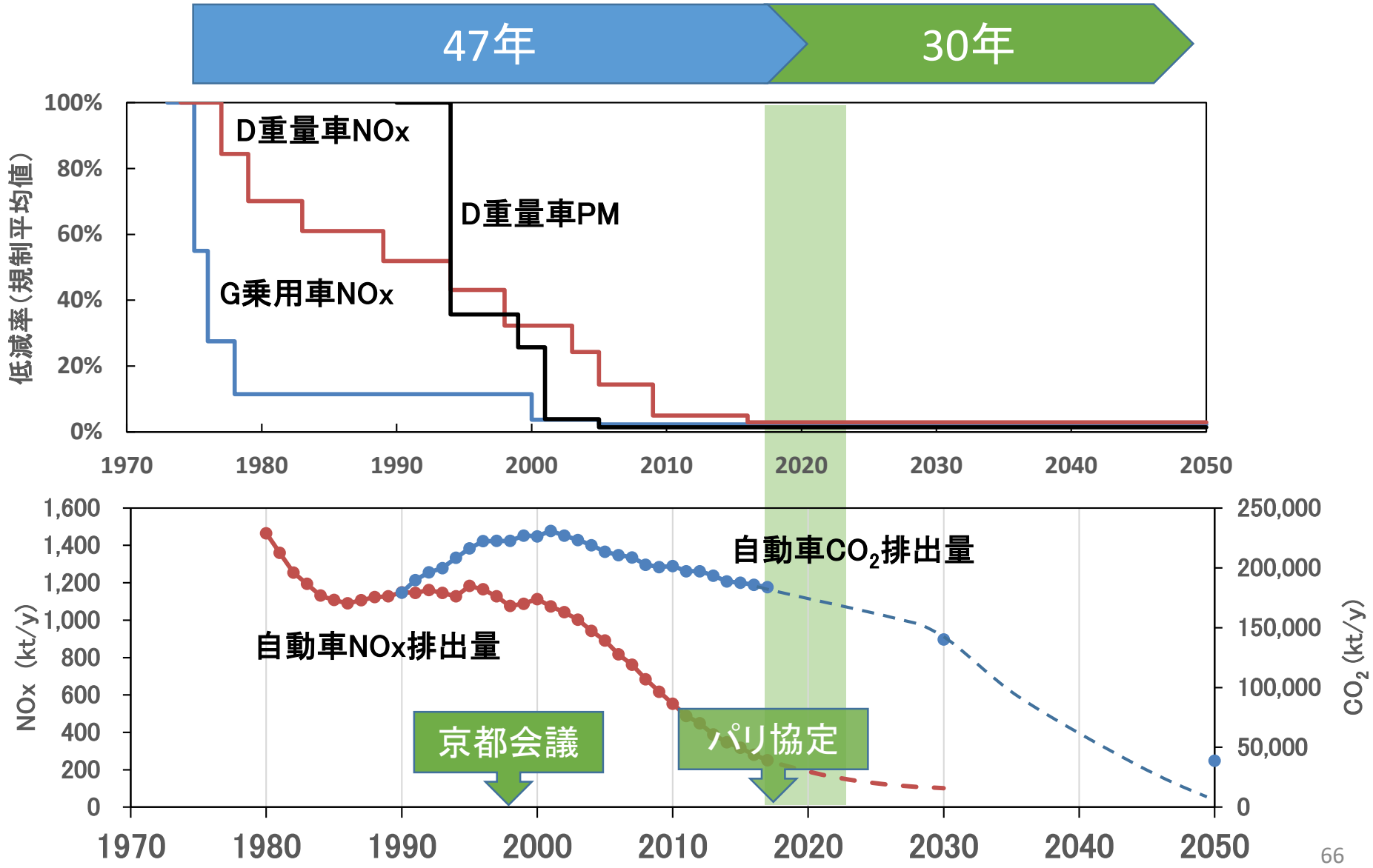
出典：JATOP排出インベントリを元に作成（2012、全国）



出典：Energy and air pollution ,IEA World Energy Outlook 2016 Special Report

温暖化対策が進むと汚染物質の排出バランスが大きく変化する

環境と自動車


47年
30年
100%
80%
60%
40%
20%
0%
低減率（規制平均値）
D重量車NOx
D重量車PM
G乗用車NOx
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
2050
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
NOx（kt/y）
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0
CO2（kt/y）
自動車CO2排出量
自動車NOx排出量
京都会議
パリ協定

最後に

- 近年、我が国の大気環境は著しく改善
  - 世界的に見ても，環境の良い地域となっている
- 大気環境の改善には、自動車排出ガスの低減が大きく寄与
  - 様々な排出ガス低減対策が実施されてきた
    - 規制、税制優遇、技術開発、業界を超えた共同研究
  - 多くの技術は、当初、達成不可能と考えられていた
    - 現在では、それらの多くが達成できている
- 今後は，パリ協定が発効したこともあり
  - 温室効果ガスの削減（≒エネルギー源の変更）は必須
  - 大気汚染物質の排出量のバランスが大きく変化
    - 光化学反応に起因する汚染物質は注意が必要
  - 温暖化対策に残された時間は少なく、グローバルな視点で速やかに対策を進めることが重要

END

ご清聴有難うございました

自動車の大気環境・健康影響研究の経緯と現状と欧米での最新研究の動向

ーHEI の最新健康影響研究等を中心としてー

2020年1月21日

『自動車の未来と大気環境に関するIIAE ワークショップ』

柴田　芳昭

柴田の略歴

- 1976年～1979年；早稲田大　斎藤研究室でエンジン燃焼と排ガスを研究
- 1979年～2019年；トヨタ自動車に所属

  1979年～1993年；エンジン開発、主に排気対策システムの開発に従事

  1993年～1997年；Toyota Technical Center, USAに出向

  1997年～2001年；エンジン開発企画、認証取得業務に従事

  2001年～2005年；JCAP（Japan Clean Air Program）事務局に出向、
  大気モデル開発に従事

  2003年～2005年；自動車排出量原単位検討会委員

  2007年～2019年；自動車工業会ヘルスエフェクト分科会長
  自動車排気の大気環境・健康影響研究をJARIと推進

  2009年～2017年；JATOP（Japan Auto Oil Program）の大気モデル研究主査
  大気モデルの高精度化を推進

  2014年～2019年；中環審　大気・騒音部会　微小粒子状物質等専門委員会委員

  2014年～　　；PM2.5排出ｲﾝﾍﾞﾝﾄﾘ及び発生源ﾌﾟﾛﾌｧｲﾙ策定検討会委員

本日の内容

- はじめに
  - ✓ 大気汚染の健康影響研究の始まり
  - ✓ 自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
  - ✓ 日本の自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
- 自工会の大気環境・健康影響研究の取り組み
  - ✓自動車環境を取り巻く社会情勢
  - ✓日本の大気汚染物質濃度の推移
  - ✓大気環境研究
  - ✓健康影響研究
- 将来の自動車技術と大気環境改善取組み
  - ✓米国の研究動向（HEIの動向など）
  - ✓欧州の研究動向
- まとめ

大気汚染の健康影響研究の始まり

1952(昭和27)年にロンドン・スモッグ事件

12月5日から9日の約1週間、気温逆転が発生
例年に比べ約4千人も多く死亡者が増加

- 大気汚染物質濃度への曝露と死亡率や罹患率などの健康影響との曝露−反応(影響)関係を評価
- 大気汚染(主に煤煙)と健康影響(急性死亡率)の研究が注目され、大気基準の設定に至った

1971年;米国でTotal Suspended Particulate (TSP:総浮遊粒子状物質)の環境基準設定
1973年;日本でSPMの環境基準 (Suspended Particulate Matter:10μm以下)
1987年;米国でPM_{10}の環境基準
1997年;米国で$PM_{2.5}$の環境基準
2006年;WHOで$PM_{2.5}$の指針
2009年;日本で$PM_{2.5}$の環境基準

1952年スモッグ時のロンドンの写真
引用:Wikipedia

自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり

1950～60年代　米国の“ロサンゼルスの光化学スモッグ事件
夏季の日中に光化学オキシダントとサルフェートやナイトレートの微粒子が混合して視程が低下する現象が発生

- 高濃度の炭化水素化合物や窒素酸化物が光化学反応を介してオゾンを生成
- 自動車排気などの石油類の燃焼が主な原因とされる

ロサンゼルススモッグの写真
引用：Yahoo画像

1960年代；
カリフォルニア州が自動車排気規制を制定(66年)
大気浄化法（Clean Air Act)を改正、保健教育厚生省が連邦レベル自動車排気を開始(68年)

1970年代；
マスキー法が成立（自動車排気規制の強化）
1980年；HEI（Health Effect Institute)が設立
EPAと自動車業界の共同出資のNPO
CAAの排気キャラクタリゼーション要件に適合

米国の自動車排気規制と健康影響研究の構図

CAA（大気浄化法）

自動車排気規制

EPA(環境庁)；連邦州
- TierO（1990年）
- Tier1（1994年～）
- Tier2（2004年～）
- Tier3（2017年～）

CARB(カリフォルニア州大気資源局)；
CAAで唯一独自規制の権限を担保
NY州やMA州など東部12州も採用
- LEV Ⅰ（1994年～）
- LEV Ⅱ（2004年～）
- LEVⅢ（2015年～）
- ZEV規制（2005年～）
  ゼロエミッション車義務付け

自動車排気の健康影響

HEI；
- 1980年の設立
- CAA適合のための研究機関
- EPAと自動車メーカーが共同出資
  (大型車/小型車/海外メーカー)
- 米国内外の研究機関に研究委託
- 議会上院に研究状況を報告

欧州の自動車排気規制と健康影響研究の構図

EU委員会

NEC（National Emission Ceiling）
各国の達成すべきエミッション
レベルを決定

→

DG-E；環境局
自動車排気規制を
設定

→

各国；
EUの規制を施行

WHO

Air Qualityガイドラインを
設定目標とすべきレベル

IARC； International Agency for Research on Cancer

- 化学物質の発がん性レベルを設定
- 1989年；ガソリン排気をグループ2B
  ディーゼル排気をグループ2A
- 2012年；ディーゼル排気をグループ1

IARC評価表

		実験動物における証拠			
		十分	限定的	不適当	発がん性なしを示唆
人における証拠	十分	グループ 1			
	限定的	グループ 2A	グループ2B（例外的に2A）		
	不適当	グループ 2B	グループ3		
	発がん性なしを示唆	グループ 3			グループ4

グループ 1：人に対して発がん性がある
グループ 2A：人に対して恐らく発がん性がある
グループ 2B：人に対して発がん性があるかも知れない
グループ 3：人に対する発がん性を分類できない
グループ 4：人に対して恐らく発がん性はない

日本の自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり

1960年代;
高度経済成長に伴い、大気汚染問題も深刻化
四日市喘息　訴訟(67年)
大気汚染防止法(68年)

1970年代;
東京都の光化学スモッグ事件
杉並の高校で運動中に目や気道の刺激症状、呼吸困難、意識障害が発生(70年)
石神井の中学で目や気道の刺激症状が発生(72年)
公害健康被害補償法（公健法、73年）

東京の光化学スモッグ写真
引用：東京都環境局HP

自動車排気影響;
新宿区牛込柳町で沿道住民の鉛中毒の疑惑(70年)
レギュラーガソリン無鉛化(75年)、プレミアムガソリン無鉛化(87年)
自動車排気規制の強化(78年)
公健法第1種地域の指定解除（86年、大気汚染が一般環境から局地汚染へ移行）
東京訴訟（96年、都/首都高速道路公団/ディーゼル車メーカーを提訴）

- 大気汚染物質もSOx、NOxからSPM/$PM_{2.5}$、Ox、VOCへと変遷
- 健康影響も喘息/呼吸器系疾患から心血管系疾患、神経系疾患等へ拡大

パラケルススの格言

パラケルスス（Paracelsus）
1493～1541　医師/化学者

「医化学の祖」、「毒性学の父」と呼ばれる

「全てのものは毒であり、毒でないものなど存在しない。その**服用量こそが毒であるか、そうでないかを決める**のだ」
（ドイツ語: Alle Dinge sind Gift und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis macht es, dass ein Ding kein Gift ist.）

パラケルススの肖像画
引用：Wikipedia

健康リスク ＝ 暴露量 ＊ 毒性の強さ

本日の内容

- はじめに
  - ✓ 大気汚染の健康影響研究の始まり
  - ✓ 自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
  - ✓ 日本の自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
- 自工会の大気環境・健康影響研究の取り組み
  - ✓ 自動車環境を取り巻く社会情勢
  - ✓ 日本の大気汚染物質濃度の推移
  - ✓ 大気環境研究
  - ✓ 健康影響研究
- 将来の自動車技術と大気環境改善取組み
  - ✓ 米国の研究動向（HEIの動向など）
  - ✓ 欧州の研究動向
- まとめ

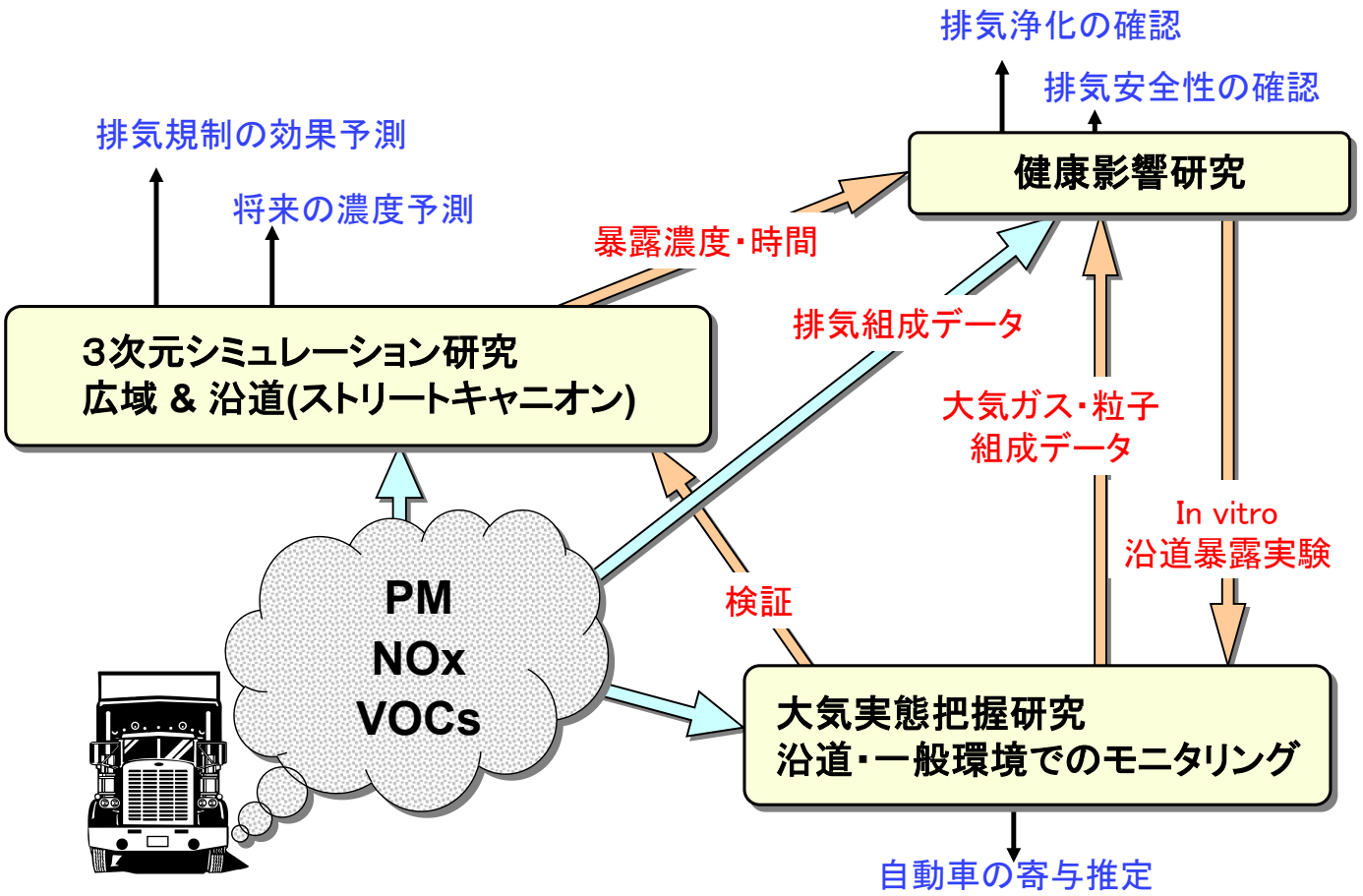
自工会(JAMA)の大気環境・健康影響研究の取り組み

基本的な考え方

① 健康影響・大気環境について、自動車寄与を明確にする。

② 公正なネットワークを構築し、適切な情報発信を行い正しく理解を得る。

③ 常に世の中の動きに注意し、必要な課題には新たな取り組みにも挑戦する。



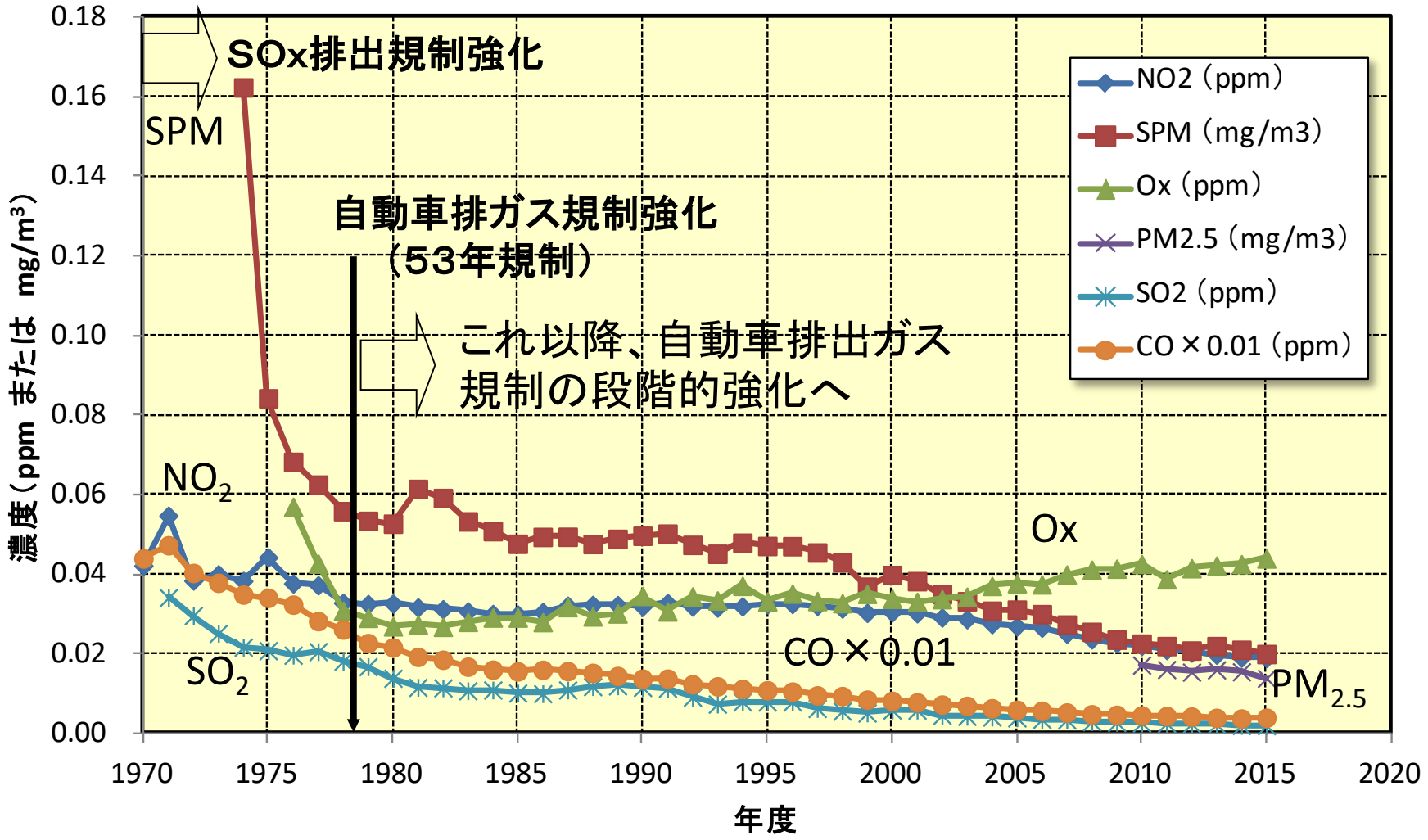
引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

自動車環境を取り巻く社会情勢

	社会動向	
1960年代	公害健康被害の表面化 ガソリン車排ガス規制開始(66)　四日市訴訟(67)　公害対策基本法(67)　大気汚染防止法(68)　公害救済法(69)	
1970年代	公害健康被害補償法，　浮遊粒子状物質(SPM)環境基準設定(73) ディーゼル車排ガス規制開始(76) 自動車排ガスが訴訟対象となる 43号線訴訟(76)　西淀川訴訟(78)	米欧　排ガス発がん研究開始(70代末～)
1980年代	川崎訴訟(82)　倉敷訴訟(83) 公害健康被害補償法改正(87)　地域指定解除 尼崎訴訟(88)　名古屋訴訟(89)	国環研　排ガスの健康影響研究推進(80～) IARC　ディーゼル排ガスの発がん性評価を公表(89)
1990年代	自動車NOx法(92) 東京訴訟(96)　メーカーが被告となる	米　$PM_{2.5}$環境基準制定(97)
2000年代	都ディーゼル規制条例(00)　自動車NOx・PM法(01) 名古屋訴訟和解(01) 広島訴訟(02)　騒音・排ガスの差止 東京訴訟和解(07) $PM_{2.5}$環境基準制定　(09)	東京理科大　排ガスの子ども影響報告(05)
2010年代	国内$PM_{2.5}$問題の表面化(13) 広島訴訟・高裁判決(14)　国・市　敗訴 $PM_{2.5}$　国内排出抑制策の中間取りまとめ　(15) 東京都医療費助成見直し(15)	国環研・大気二次粒子の毒性研究開始(11) 環境省SORAプロジェクト　排ガスと健康影響の関連を指摘(11) IARC　ディーゼル排ガスの発がん性評価引上げ(12) 大気汚染、粒子状物質の発がん性評価公表(13) HEI　ガソリン排気の健康影響研究WS(18)

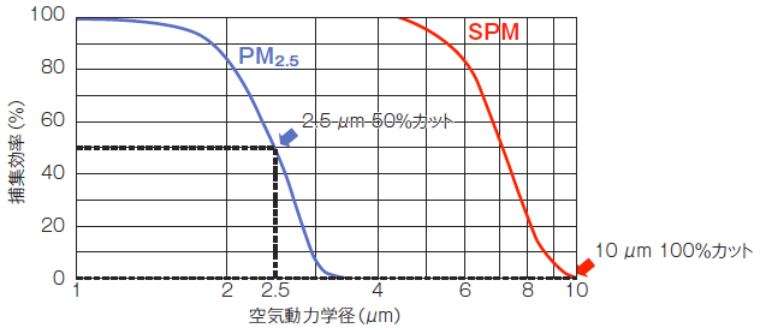
日本の大気汚染物質濃度の推移

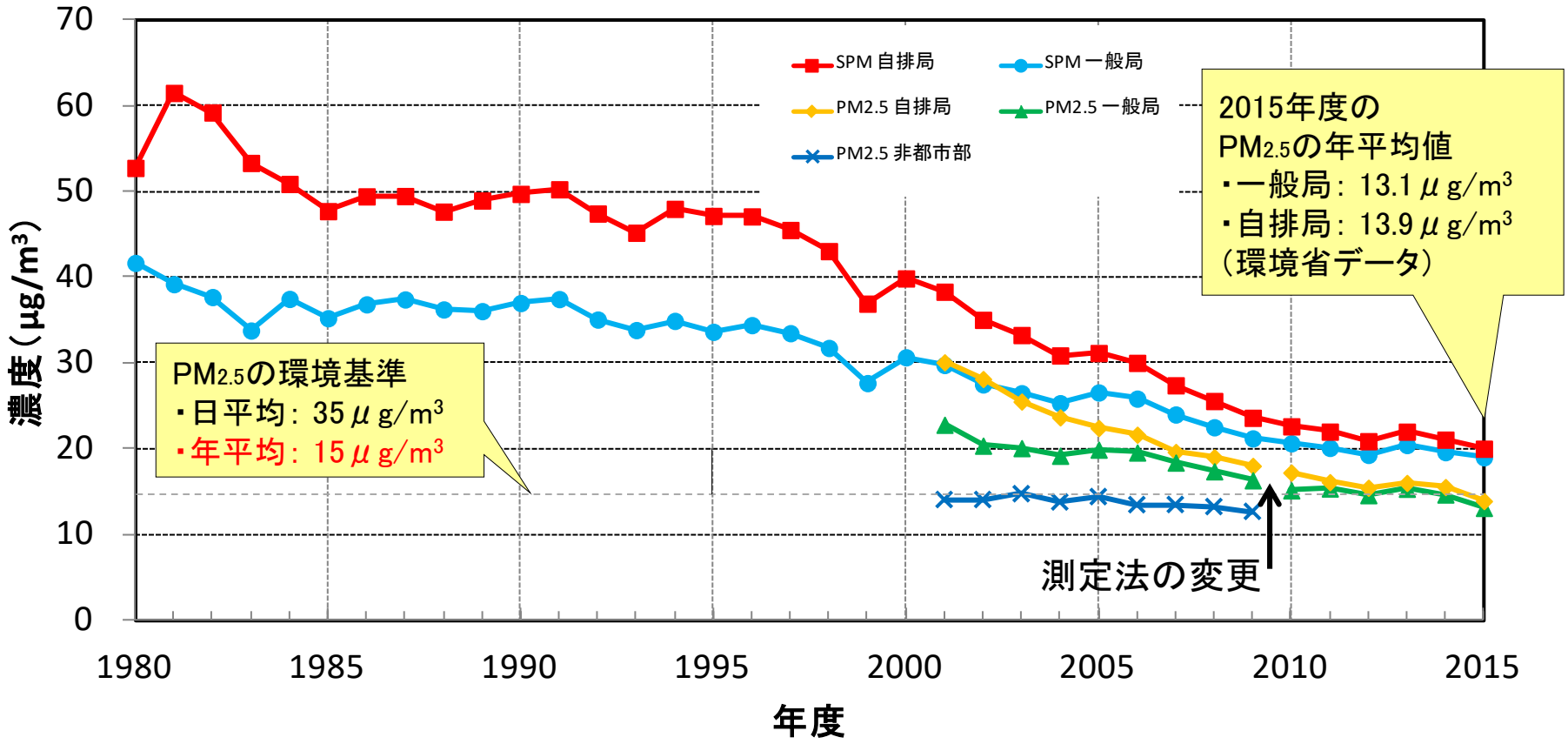
（自動車排出ガス測定局平均値）



引用；環境省HP資料より作成

SPMとPM$_{2.5}$年平均濃度の推移

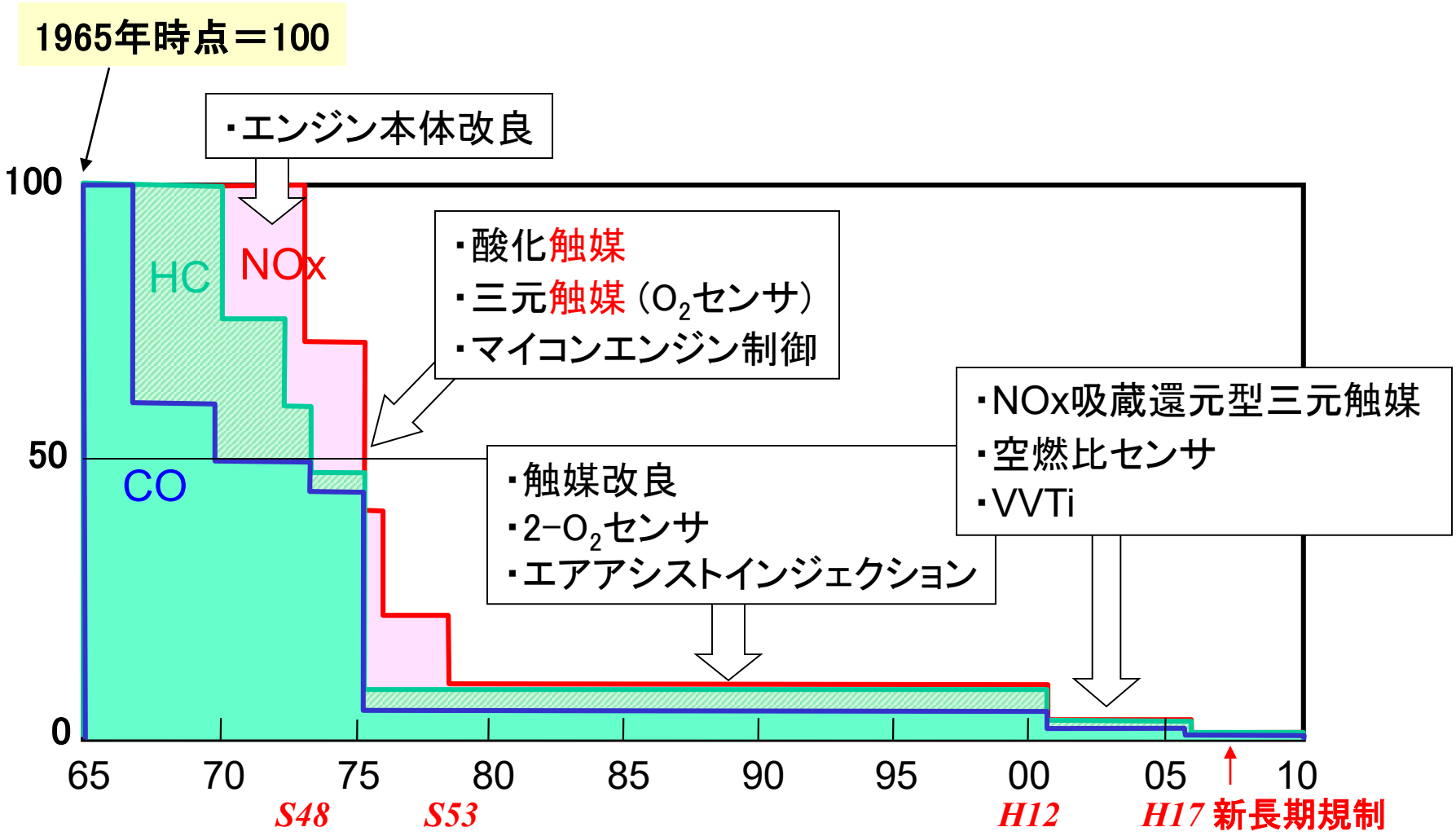




引用；環境省HP資料より作成

排気ガス規制と導入技術

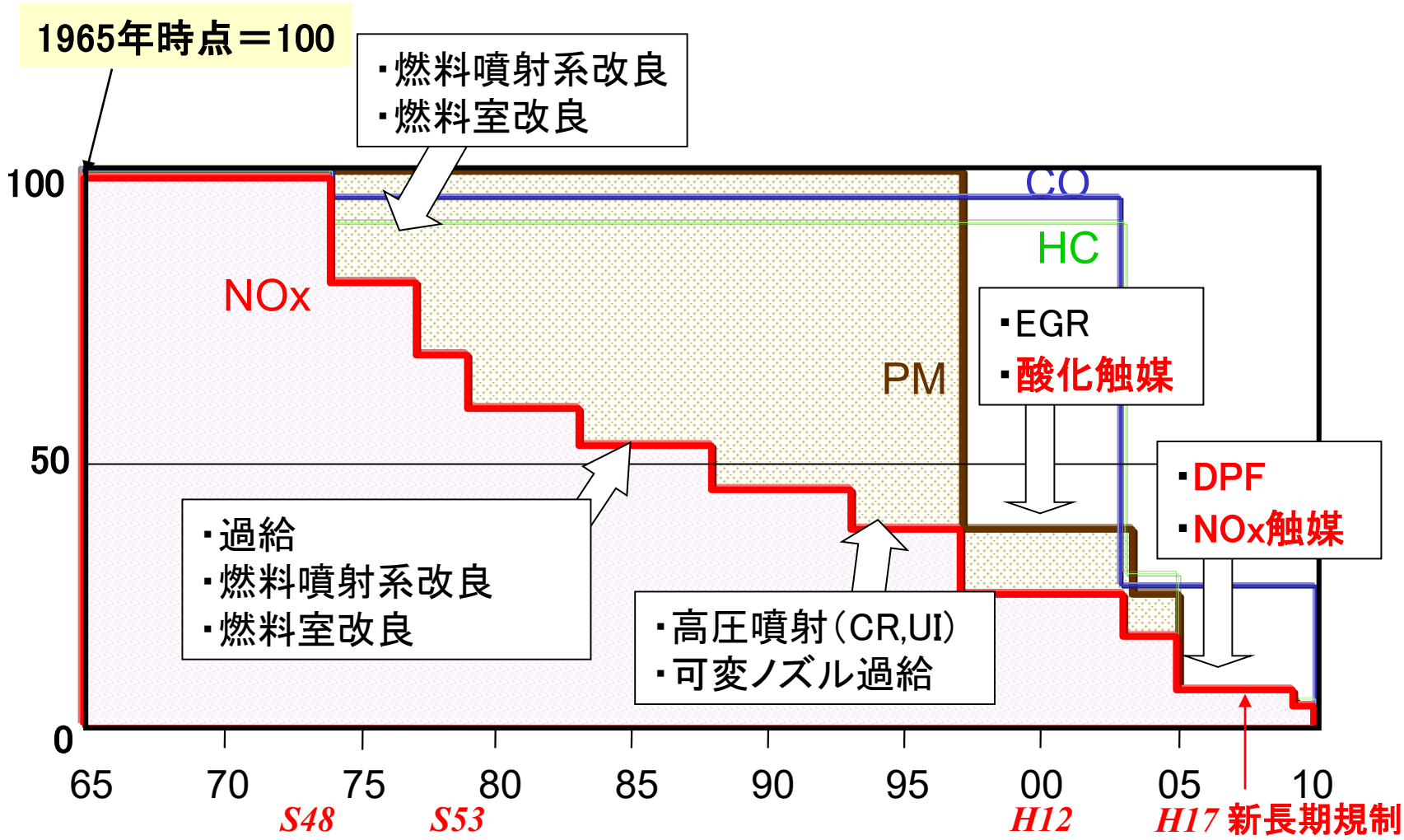
（日本・ガソリン乗用車）



引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

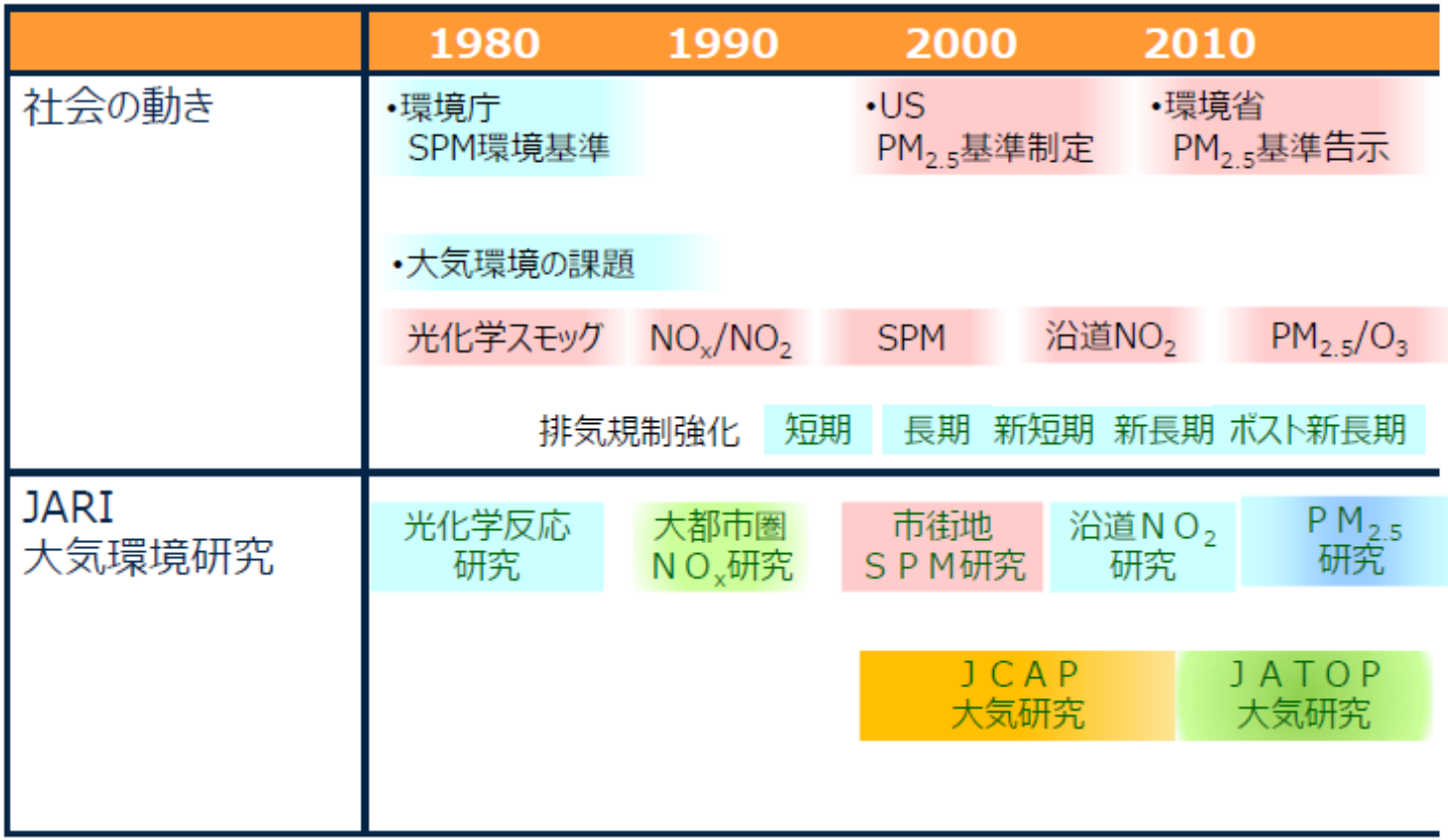
排気ガス規制と導入技術

（日本・ディーゼル重量車）



引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

大気環境研究



光化学反応研究；
オキシダント低減
移動式スモッグ
チャンバー実験

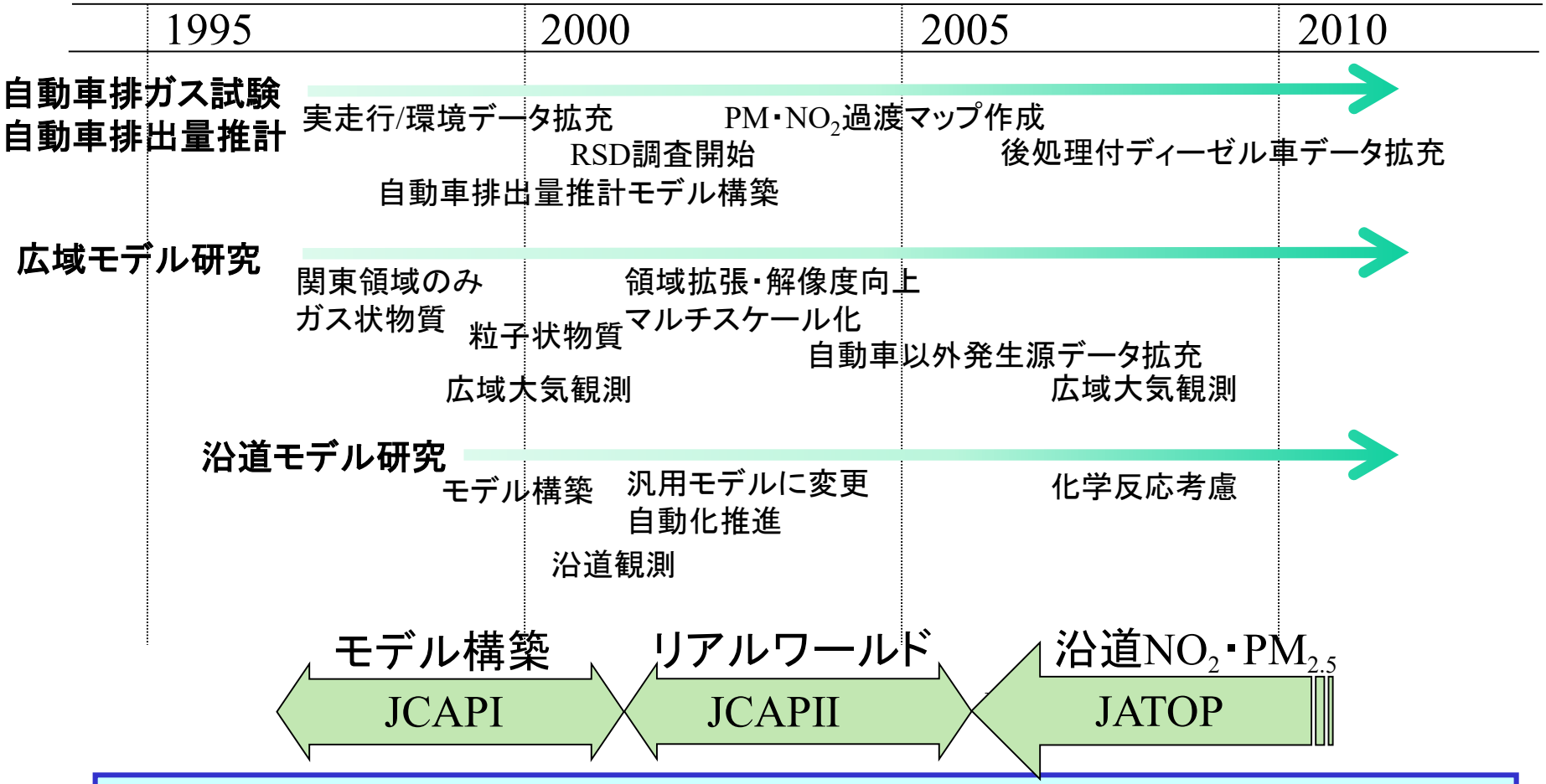
大都市NOx研究；
NO2の大気挙動、
二次生成要因の
解明

市街地SPM研究；
SPM高濃度時の
要因、EC濃度の
解析

沿道NO2/PM2.5研究；
排気低減効果の把握、
自動車寄与度の解析

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料より作成

大気モデル研究（JCAP/JATOP研究）



JCAP；Japan Clean Air Program　JATOP；Japan Auto-Oil Program
石油産業と自動車産業の共同研究で、経産省の補助により実施
デファクトスタンダードを目指した大気質モデルを開発し、将来の大気質を予測し、大気改善の施策提言のための科学的データを提供する

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

健康影響研究

◆世界最大規模の（財）日本自動車研究所（JARI）動物暴露実験施設を用いた，現実的濃度レベルでの自動車排気健康影響研究の継続的な実施。

◆これらの研究で得られた成果をもとにヒトの健康や環境にやさしい車作りに反映。

JARI実験動物暴露施設

◆動物暴露システムと実験動物

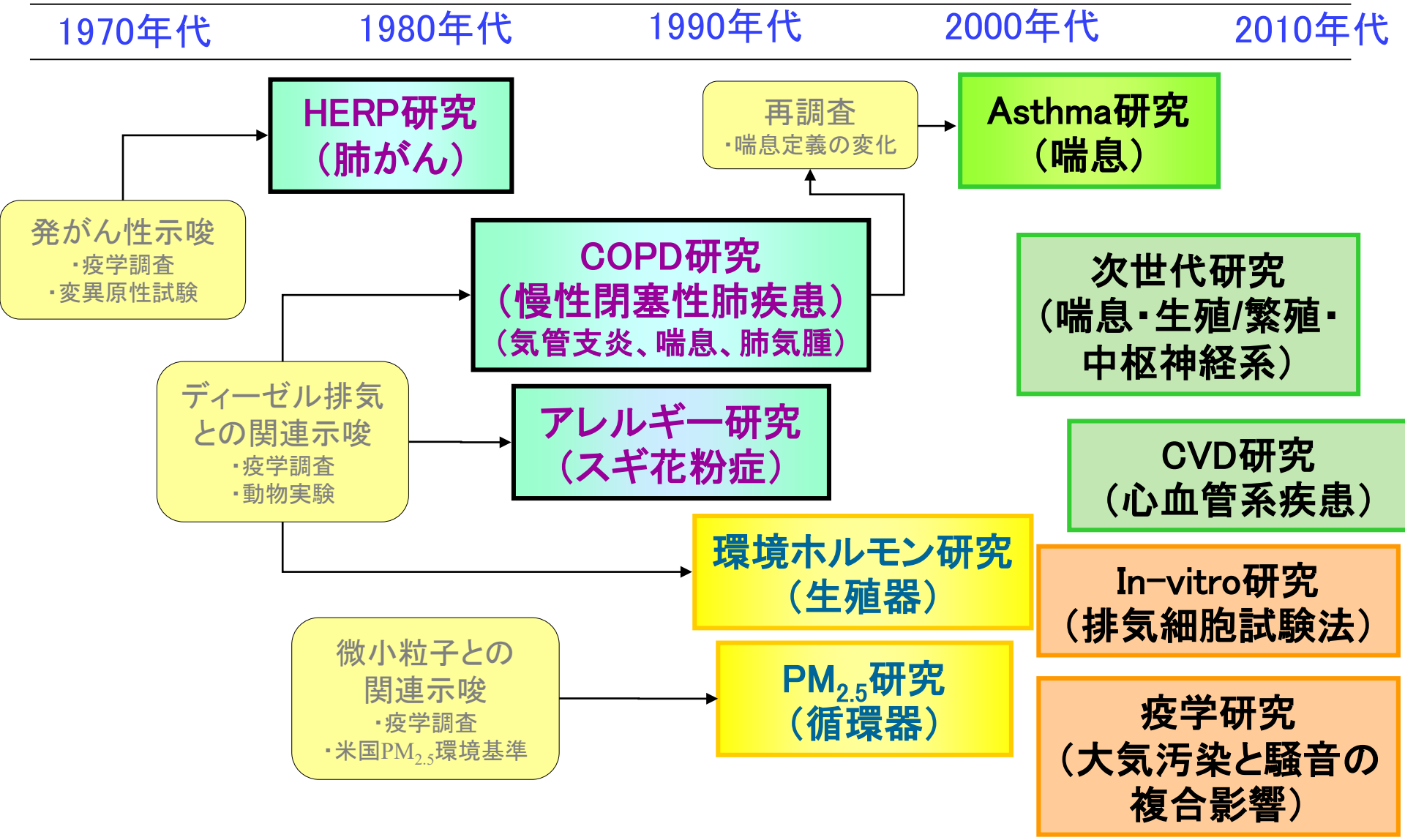
エンジン・ダイナモ・希釈トンネル

動物吸入暴露チャンバー

実験動物

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

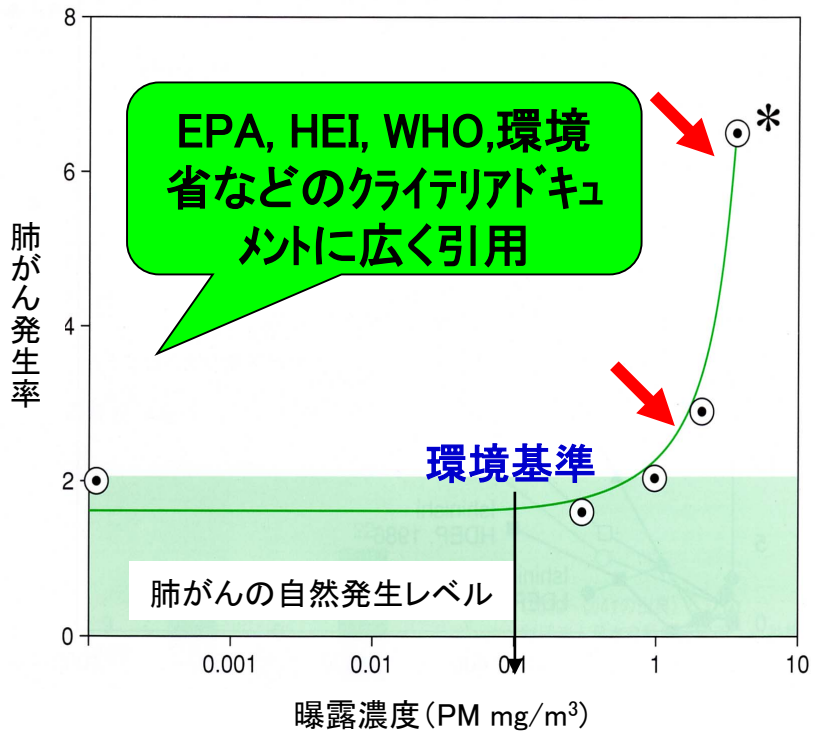
健康影響研究の経緯



引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料に一部追記

HERP研究：1978-1987年

ディーゼル排気と肺がんとの関連調査



環境基準
PM ： 0.1 mg/m^3
NO_2 ： 0.04～0.06 ppm

HERP研究のまとめ

- 2mg/m3以上の高濃度生涯曝露で発がん性を認めるが、現実的な濃度(0.1mg/m3)では認めない
- ガス成分のみでは発がん性は認められない

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

COPD研究：1989−1994年

ディーゼル排気と慢性閉塞性肺疾患との関連調査

WHO,環境省などのｸﾗｲﾃﾘｱﾄﾞｷｭﾒﾝﾄに引用

COPD	高濃度群	中濃度群	中濃度除粒子群	低濃度群
慢性気管支炎	A	A	C	C
気管支喘息	A	C	C	C
肺気腫	B	B	B	C

A：COPDの基本病態がみられる状態
B：COPDの基本病態はみられないが、COPDの基本病態の発生～増悪に係わると考えられる
C：AやBとは考えられない状態

COPD研究のまとめ

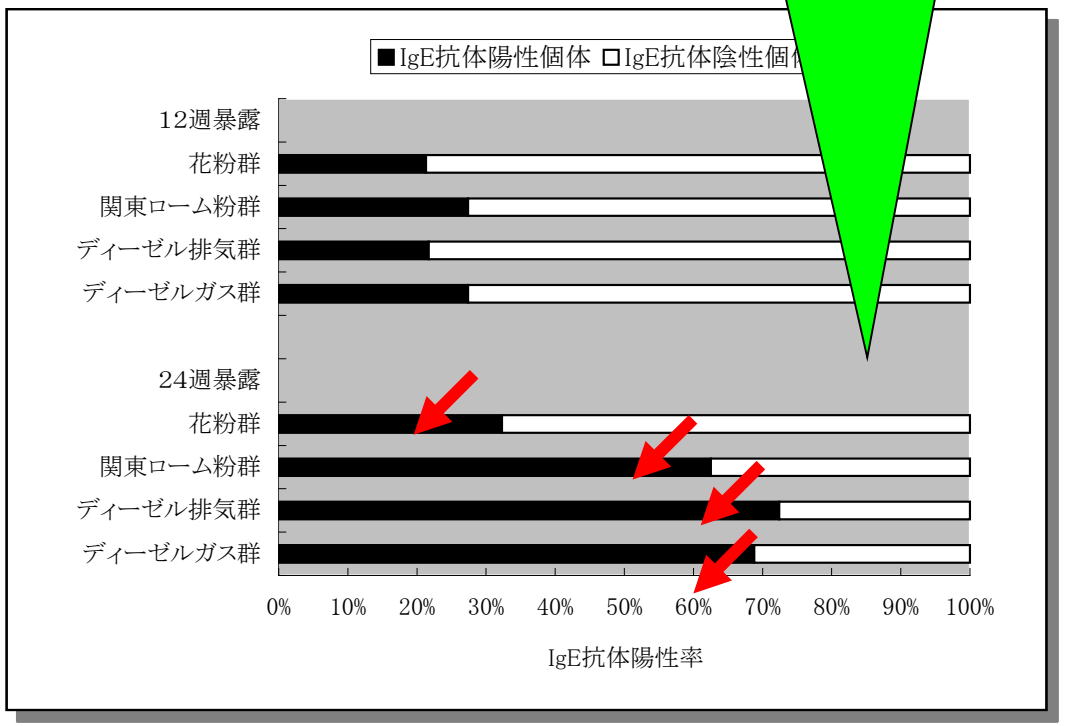
- COPD基本病態は、1mg/m3以上の高濃度長期曝露で観察されるが、現実的な環境濃度に近い0.2mg/m3の生涯曝露では認められない

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

アレルギー研究：1994-1999年

ディーゼル排気とスギ花粉症との関連調査

EPA, HEI, Ca EPA,環境省などのクライテリアドキュメントに引用



アレルギー研究のまとめ

- ディーゼル排気、除粒子ディーゼル排気および関東ローム粉は、いずれも花粉症の発症率を高める方向に作用するが、その強さの程度はほぼ同じ

引用：大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

$PM_{2.5}$研究：2000-2004年

ディーゼル排出微粒子と循環器疾患との関連調査

心電図モニターと送信機
を埋め込んだラット

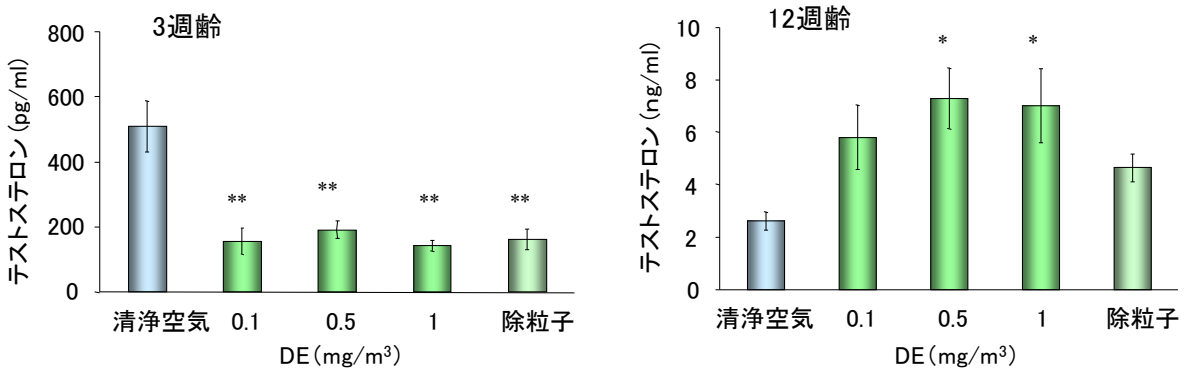
PM2.5研究のまとめ

- 高濃度群での死亡率が有意に高かった老齢正常ラットに比べ、老齢高血圧ラットでは低濃度群での早期死亡傾向が見られた。一方、心不全モデルラットでは、死亡率に及ぼす明確な影響は見られなかった。
- 老齢ラットに軽微な心機能への影響を認めたものの、疫学で指摘されている心筋梗塞　や致死性不整脈などの重篤な循環器疾患の発症は認められなかった。

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

環境ホルモン研究：2001-2004年

ディーゼル排気と環境ホルモン作用との関連調査



血中男性ホルモン濃度
- 3週齢
  対照群に比較して曝露群の方が有意に減少
- 12週齢
  対照群に比較して曝露群の方が増加

胎仔・新生仔期暴露ラットの血液中の男性ホルモン濃度（*：$p<0.05$，**：$p<0.01$）

胎仔・新生仔期曝露ラットの交配試験

DE（mg/m^3）	交配（組）	交尾（組）	受胎(匹)	交尾率（%）	受胎率（%）
清浄空気	9	7	6	77.8	85.7
0.1	12	8	4	66.7	50.0
0.5	13	12	9	92.3	75.0
1	12	8	4	66.7	50.0
除粒子	10	9	6	90.0	66.7

受胎率
- 有意ではないが，低／高濃度群で低下傾向

環境ホルモン研究のまとめ
- ディーゼル排気曝露による精子産生能の低下は認めない
- 胎仔・新生仔期曝露が血中の男性ホルモン濃度と繁殖に影響を及ぼす可能性を示唆

引用：大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

Asthma研究：2004–2006年

ディーゼル排気と喘息（気道リモデリング*）の発症・増悪との関連調査

ディーゼル排気曝露マウスの喘息（気道リモデリング）の発症・増悪の評価

長期暴露　マウス		低濃度群		高濃度群		高濃度ガス群	
		3ヶ月目	6ヶ月目	3ヶ月目	6ヶ月目	3ヶ月目	6ヶ月目
気道過敏性（Penh）	PC120	−	−	−	−	−	−
	曲線下面積	−	−	−	−	−	−
気道炎症	全炎症細胞	−	−	−	−	−	−
	マクロファージ	−	−	−	−	−	−
	リンパ球	−	−	−	−	−	−
	好中球	−	−	−	−	−	−
好酸球	好酸球数	−	−	−	↓	−	−
	エオタキシン	↑	−	↑	−	−	−
	IL-5	−	−	−	−	−	−
Th1/Th2	IL-4	↑	↓	−	↓	−	●
	IL-13	−	−	−	−	−	−
	IFNγ	−	−	−	−	−	−
抗原特異的免疫反応	抗原特異IgE	−	−	−	−	−	−
	抗原特異IgG1	−	−	−	−	−	−
	抗原特異IgG2a	−	−	−	−	−	−
肺線維化	TGFβ1	−	−	−	−	−	−
	ヒドロキシプロリン	−	−	−	−	−	−
組織変化	杯細胞の過形成	−	−	−	−	−	−
	気道上皮の肥厚	−	−	−	−	−	●
	基底膜下の線維化	−	−	−	−	−	−
生育	体重の推移	−	−	−	−	−	−

↑ ↓：有意な増減（対清浄空気群）　○●：有意な増減（対高濃度群）

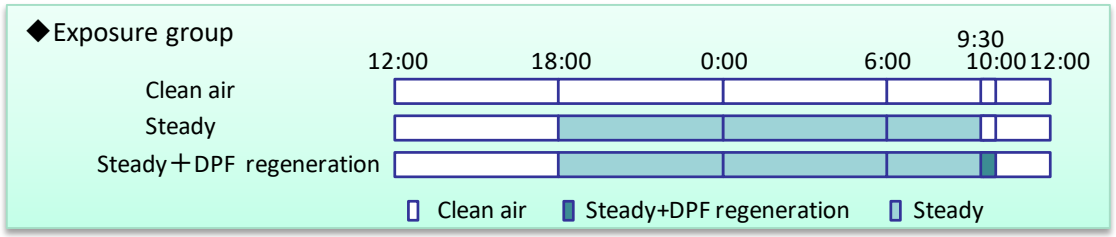
喘息研究のまとめ

- 最新のディーゼル排気や抗原の現実的な曝露条件では、実験動物の気道リモデリング（気道の壁が厚くなって気管支の内腔が狭くなり、呼吸が困難になる病態）形成に対する増悪作用は少ない

引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料

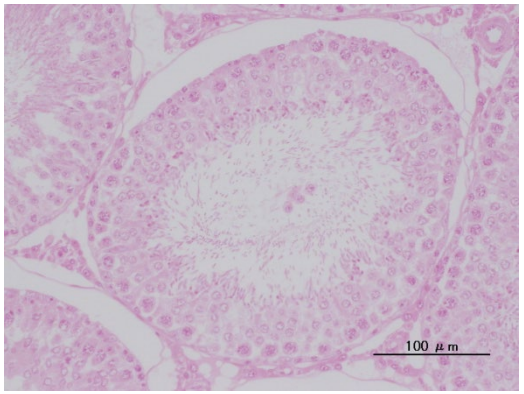
次世代研究：2006-2011年

ディーゼル排気の胎児・子供への影響
胎児期暴露による以下の影響を評価
（1）小児喘息 （2）中枢神経系 （3）生殖・繁殖

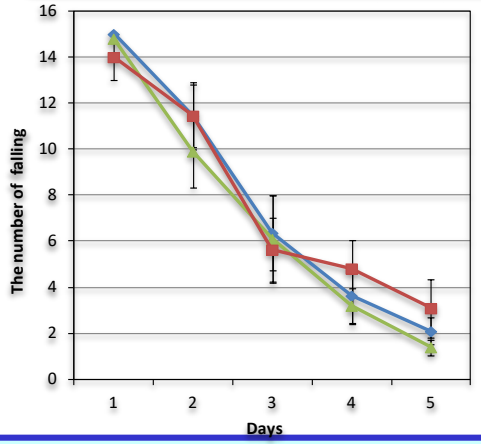


Exposure		PM conc.(μg/m^3)
Clean air		0.7
Steady		1.6
Steady + DPF regeneration	Steady	2.5
	Regeneration	686.6

精子産生能



学習機能



次世代研究のまとめ

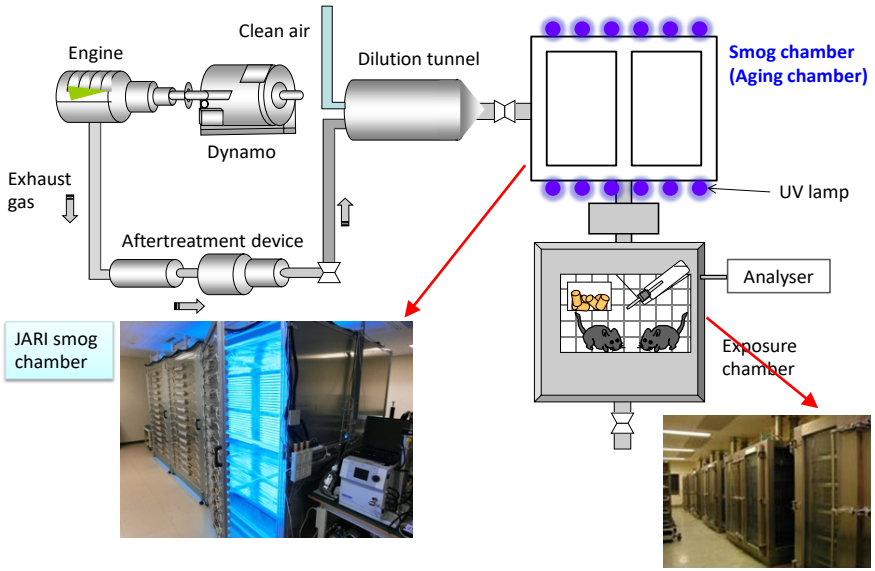
- 最新のDPF付ディーゼル排気曝露は、炎症、精子産生能、学習機能への影響は見られなかった

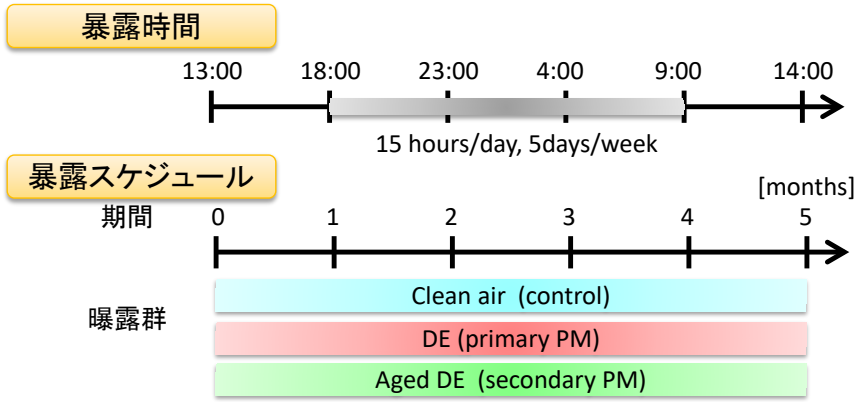
引用；大気環境学会50周年記念シンポジウム資料より作成

CVD研究：2012-2016年

ディーゼル排気の心血管系疾患への影響
現実大気反応を想定した二次粒子生成チャンバーを構築し、
二次粒子を含むディーゼル排気の動物曝露

Exposure system of diesel exhaust (secondary PM)





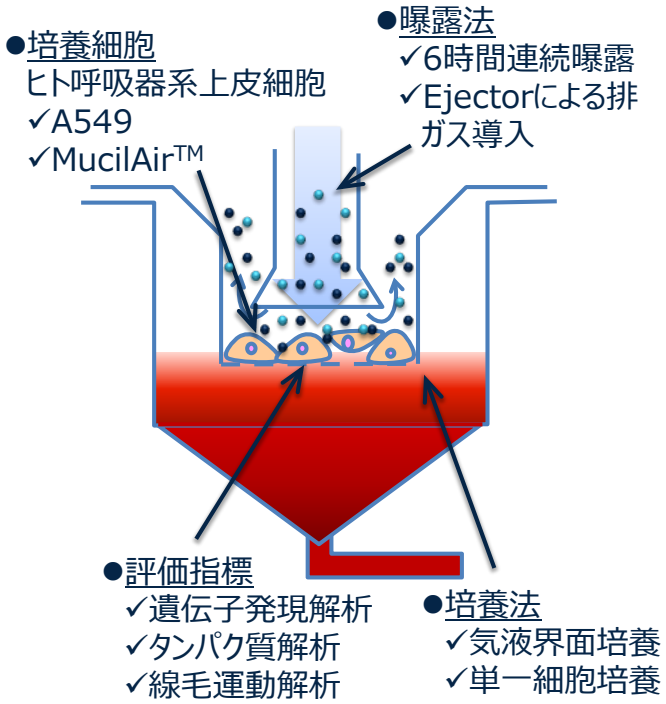
CVD研究のまとめ

- 二次粒子を含むディーゼル排気暴露が心血管系疾患(自律神経系およびアテローム性動脈硬化)に影響を及ぼす明確な証拠は得られなかった

引用；第58回大気環境学会年会資料より作成

In-vitro研究：2012-2016年

近年、動物愛護気運の高まりから動物曝露実験の代替法として
細胞試験(In−vitro試験)が注目されてきたので、In−vitro試験法の基本骨格を研究



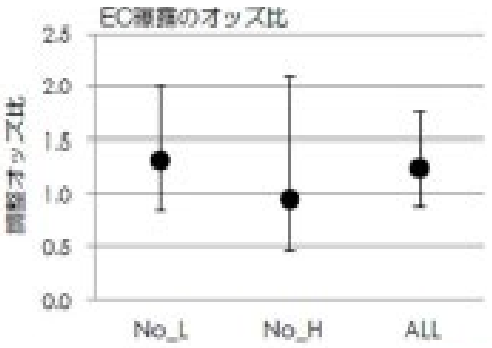
In−vitro研究のまとめ
4つの要素技術(「培養法」,「細胞曝露法」,「細胞」,「評価指標」)を確定したことより、炎症応答評価のためのin vitro排ガス影響評価法の基本骨格と細胞曝露システムを確立

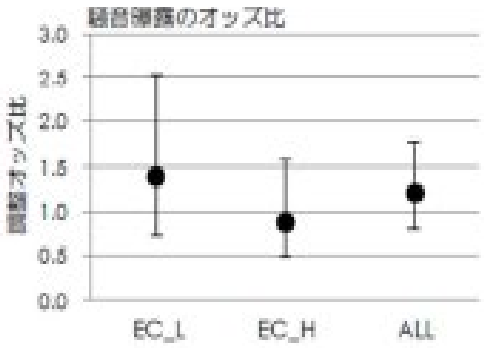
引用；第58回大気環境学会年会資料より作成

疫学研究：2010-2014年

大気汚染物質（元素状炭素〔EC〕等）もしくは騒音の曝露と，虚血性心疾患（IHD）の有症率との関連性について，高齢者を対象とした疫学断面調査

排気と騒音の複合影響





疫学研究のまとめ
排気と騒音の暴露は、それぞれ独立してIHD有症率オッズ比を高くするが、
排気と騒音の複合影響は観察されなかった

引用；第57回大気環境学会年会資料より作成

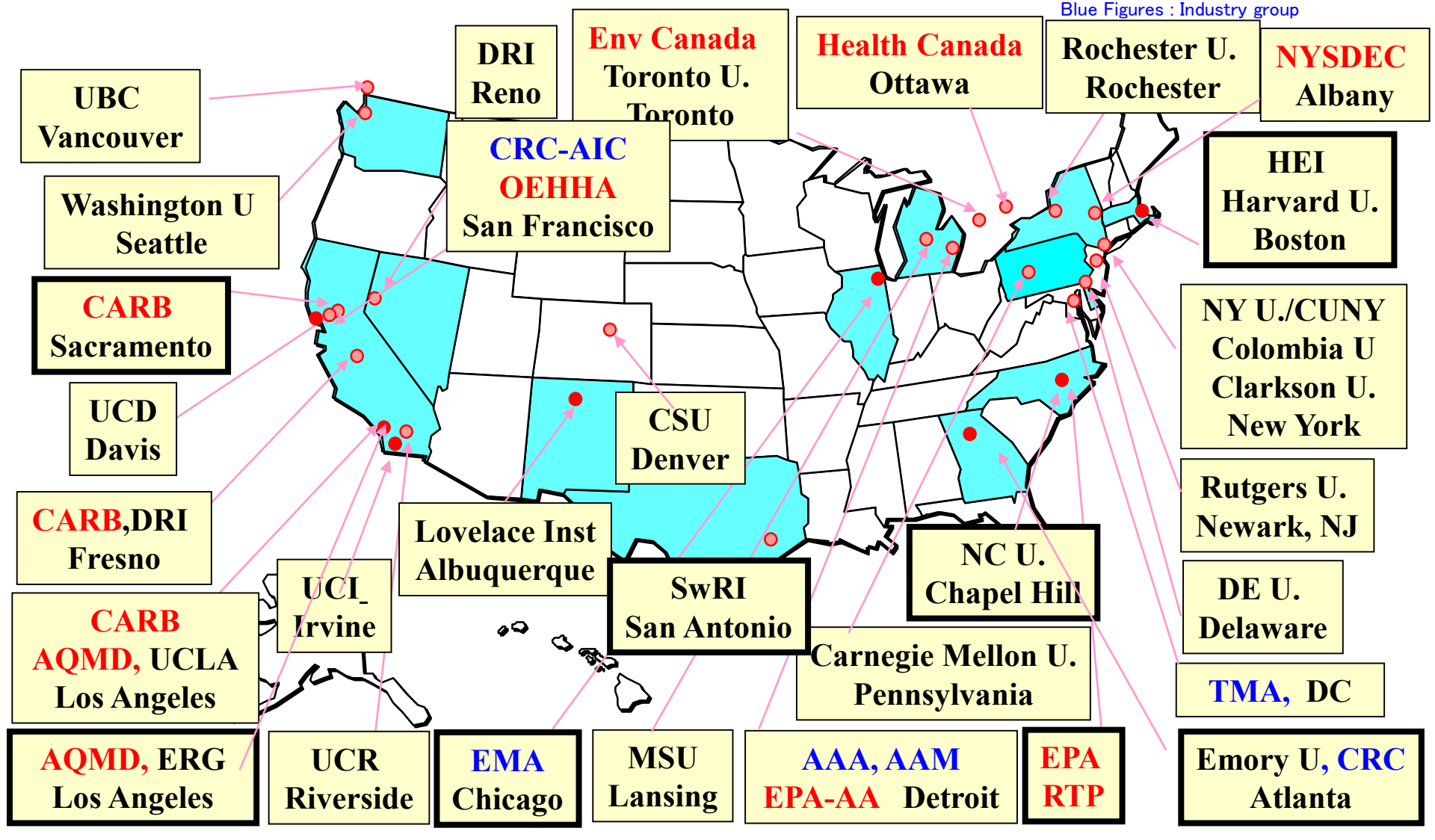
本日の内容

- はじめに
  - ✓ 大気汚染の健康影響研究の始まり
  - ✓ 自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
  - ✓ 日本の自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
- 自工会の大気環境・健康影響研究の取り組み
  - ✓ 自動車環境を取り巻く社会情勢
  - ✓ 日本の大気汚染物質濃度の推移
  - ✓ 大気環境研究
  - ✓ 健康影響研究
- 将来の自動車技術と大気環境改善取組み
  - ✓ 米国の研究動向（HEIの動向など）
  - ✓ 欧州の研究動向
- まとめ

米国の研究動向

自動車排気の健康影響にかかわる最近の主な研究機関

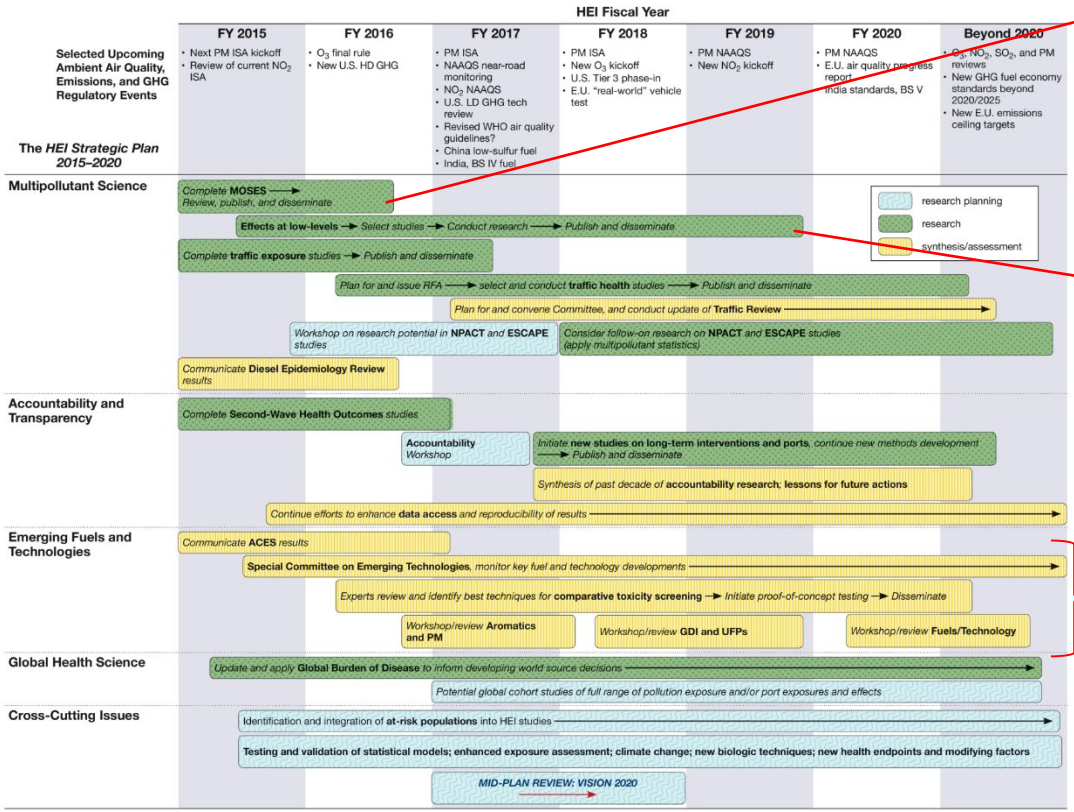
Red Figures ：Governments
Block Figures：
Universities/laboratories
Blue Figures : Industry group



HEIの研究動向(1)

HEI　2015-2020年　研究計画と成果

Implementation of the Strategic Plan 2015 – 2020



<u>低濃度オゾン暴露評価</u>(MOSES);
2017年に最終結果を公表。更に“何故影響が見られなかったか”の追加解析を実施

<u>低濃度PM/オゾン暴露評価</u>;
欧州、カナダ、米国の数千万人規模のコホート疫学調査は中間報告の段階。大気基準の12 μg/m3 以下の濃度で死亡率との関連性が見出されているが解析中。

<u>交通関連の健康影響評価</u>;
ブレーキ/タイヤ粉塵等の暴露量調査
新たな研究(沿道住民の騒音等の要因影響調査)にも着手
ディーゼル排気の健康影響;ACES調査結果を公表
交通関連大気汚染の健康影響に関する最新知見レビューを開始

HEIの研究動向(2)

HEI 2020-2025年 研究計画案

今後の研究テーマ

① 説明責任：大気質と健康影響の関連性評価
大気質と健康影響の関連性評価
局所的な短期暴露の大気質対策から地域/国レベルの長期暴露の大気質対策の効果を解析

② 大気汚染物質の複合汚染の解明
低濃度大気汚染物質の暴露影響の解明
低濃度の長期暴露影響のメカニズム解析
PM成分の毒性の解明

③ 移動発生源と都市部での健康影響
古い車やGDIの排気影響
GHG対策のEVの影響
排気と騒音の関連調査
自動運転車の増加とVMTの関連
暴露対象物質；UFP、非テールパイプ排出物(ブレーキ/タイヤ粉塵)

④ 地球規模での健康影響(開発途上国、特にアジア地域)

⑤ テーマ横断的な課題
科学知見の透明性、再現性や安定性を担保、暴露評価の高精度化、
高感受性集団の疾患影響、遺伝子的/非遺伝子的因子の層別など

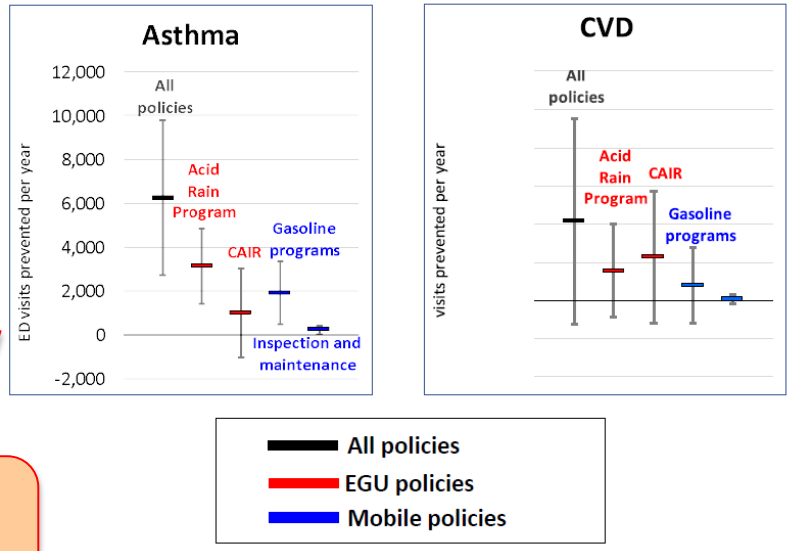
自動車規制の効果

自動車規制の大気・健康影響改善効果の解析も始まった

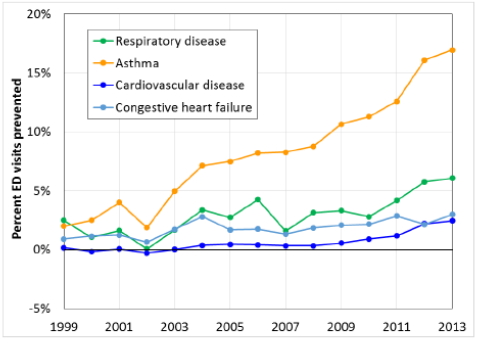
- GATechの研究；アトランタ周辺の発電所の規制や自動車規制、酸性雨対策と急患者数による健康影響を解析。ガソリン車規制よりも発電所規制や酸性雨対策の方が健康影響改善への寄与が大きい結果

Improving Air Quality, linked to specific regulations, led to avoided Emergency Department visits

ED visits prevented, 2012-2013



% ED visits prevented in Atlanta 5-County Area



Regulation impacts increasing with time

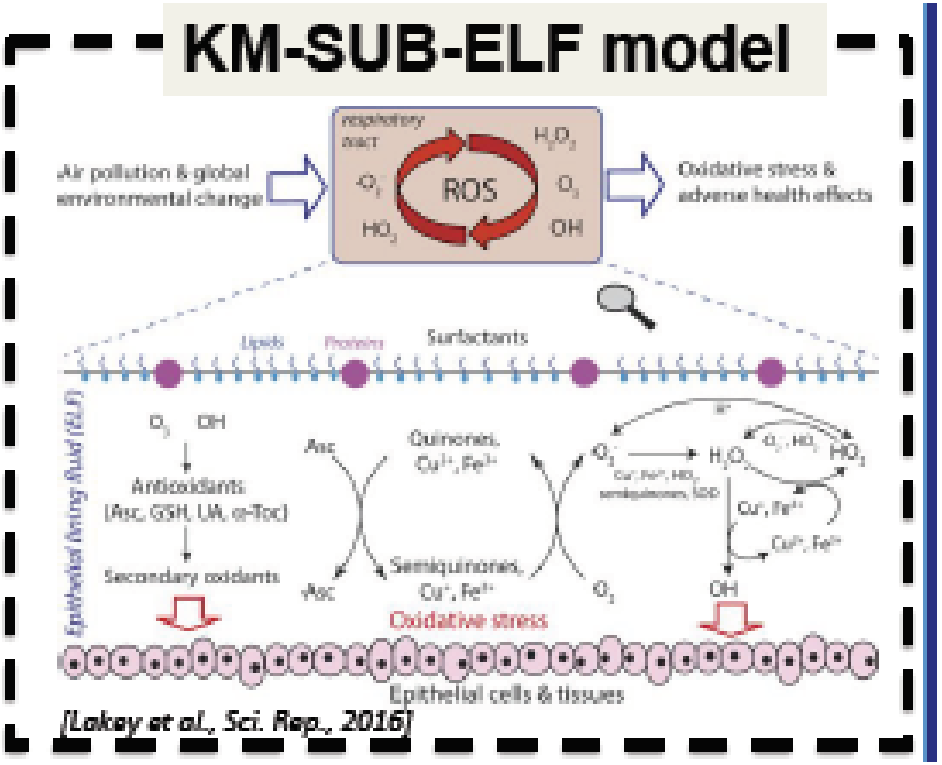
Russell et al. (2018) HEI report

酸性雨対策などにより、喘息や心血管系疾患での救急搬送数が少なくなることが見込まれる

PMの酸化能評価

ROS（活性酸素種）を対象とした研究

- UCI　Shiraiwa教授；大気汚染の健康影響を大気粒子の化学的側面、とくにROSをキーワードに包括的に解析
- 実験的にSOAを作り、EPR（電子常磁性共鳴法）でSOAのROSを測定（化学的ROS）
- マクロファージにSOAを処置して細胞内のROS生成を化学発光で測定（生物学的ROS）

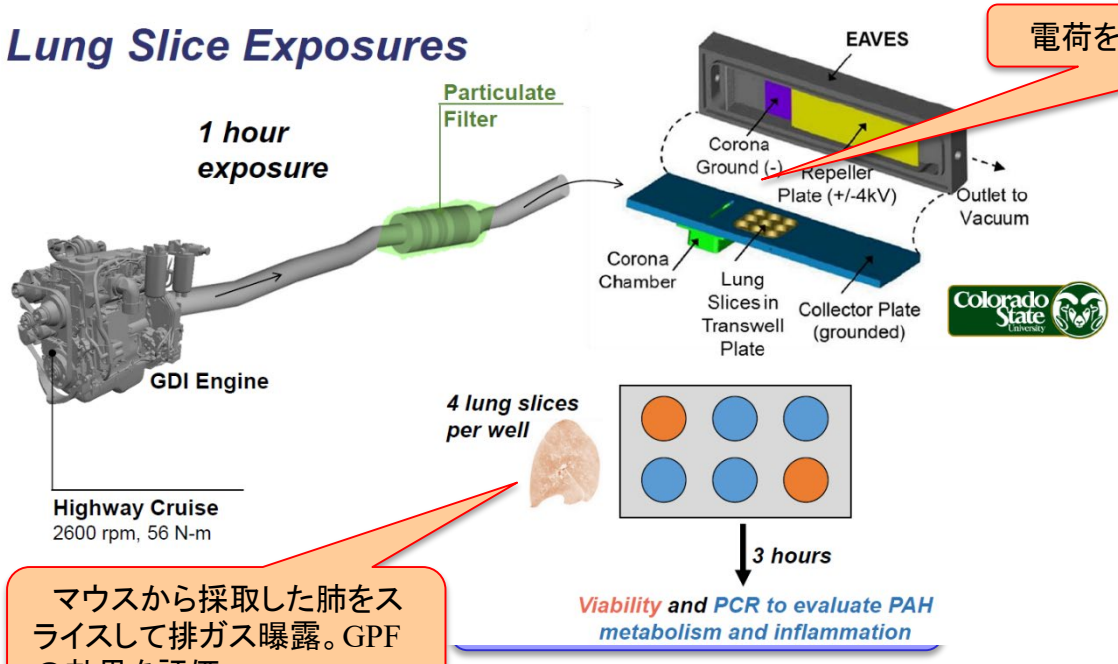


引用；2019　HEI　Annual Conf.資料

in-vitro評価法研究

in vitro評価技術

- In-vitro技術の進化により、米国でもin-vitro研究は広がっている
- 直噴ガソリン排気粒子のマウスの肺組織培養曝露実験
  - Colorado州立大の排ガス曝露装置EAVESを使用、マウスの肺組織(250 μmスライス)に曝露、GDI排気粒子を100倍希釈(10～20 μg/m3)後、電苛してセルに曝露。粒子吸着率は4%程度
- ブレーキやタイヤ粉塵への関心が増加、その健康影響研究として活用される可能性あり

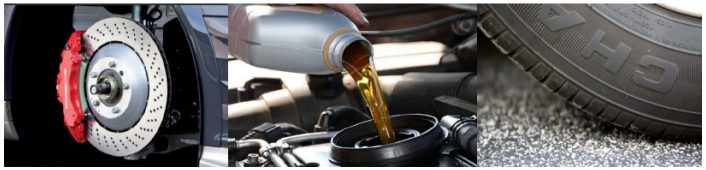


電荷をかけて粒子を沈着させる

マウスから採取した肺をスライスして排ガス曝露。GPFの効果を評価

Interest in non-tailpipe emissions of motor vehicles is increasing

- Tire wear, brake wear and lubrication oil products
- Formulations highly variable and proprietary
- PM include: metals, organic and inorganic compounds, crustal materials, and other
- Under-studied area

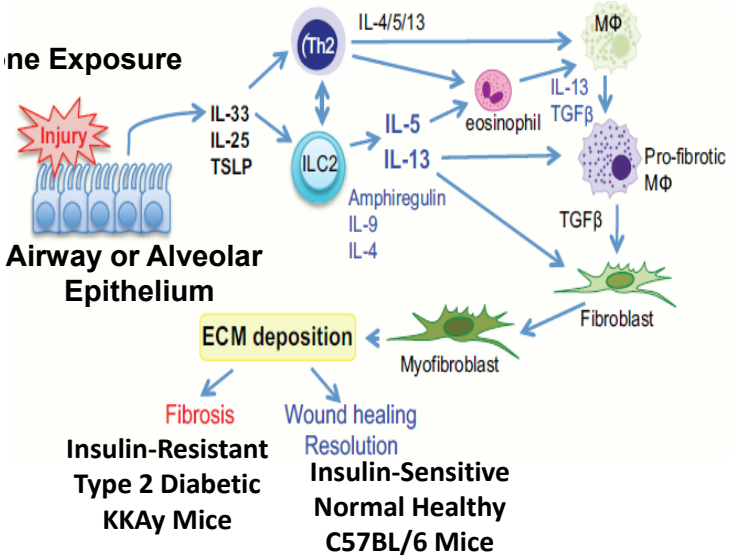


Yale大/Colorado大の細胞曝露装置

新たな対象疾患

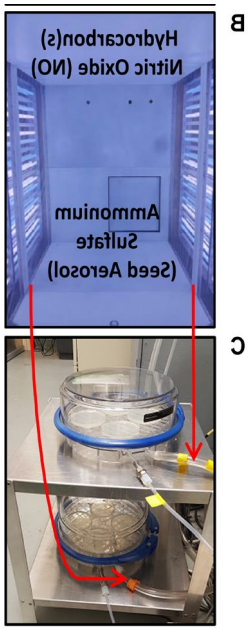
従来の心疾患系/呼吸器系以外に、疫学研究を中心に神経系（認知症/アルツハイマ）や糖尿病の研究に関心が高まっている

- オゾンの呼吸器系炎症やコラーゲン生成への影響をインシュリン抵抗性ノックアウトマウスで評価 （糖尿病患者での増悪作用を示唆）



オゾンやPM2.5の単独影響でなく、混合影響の研究も関心が増えている

- EPA-RTP；ガソリン排気とVOCの混合の組み合わせで、AQHI(大気質インデックス)が同等であるがPMとオゾン濃度が異なる大気を生成してin vitroおよびin vivoで評価
  健康影響指標は概ねオゾン高濃度の方がPM高濃度より大きいとの結果



引用：HEI Workshop on Gasoline Exhaust Exposure Study資料

疫学研究動向

疫学研究の曝露評価手法として、成分別曝露や排出源別曝露を評価する動きあり

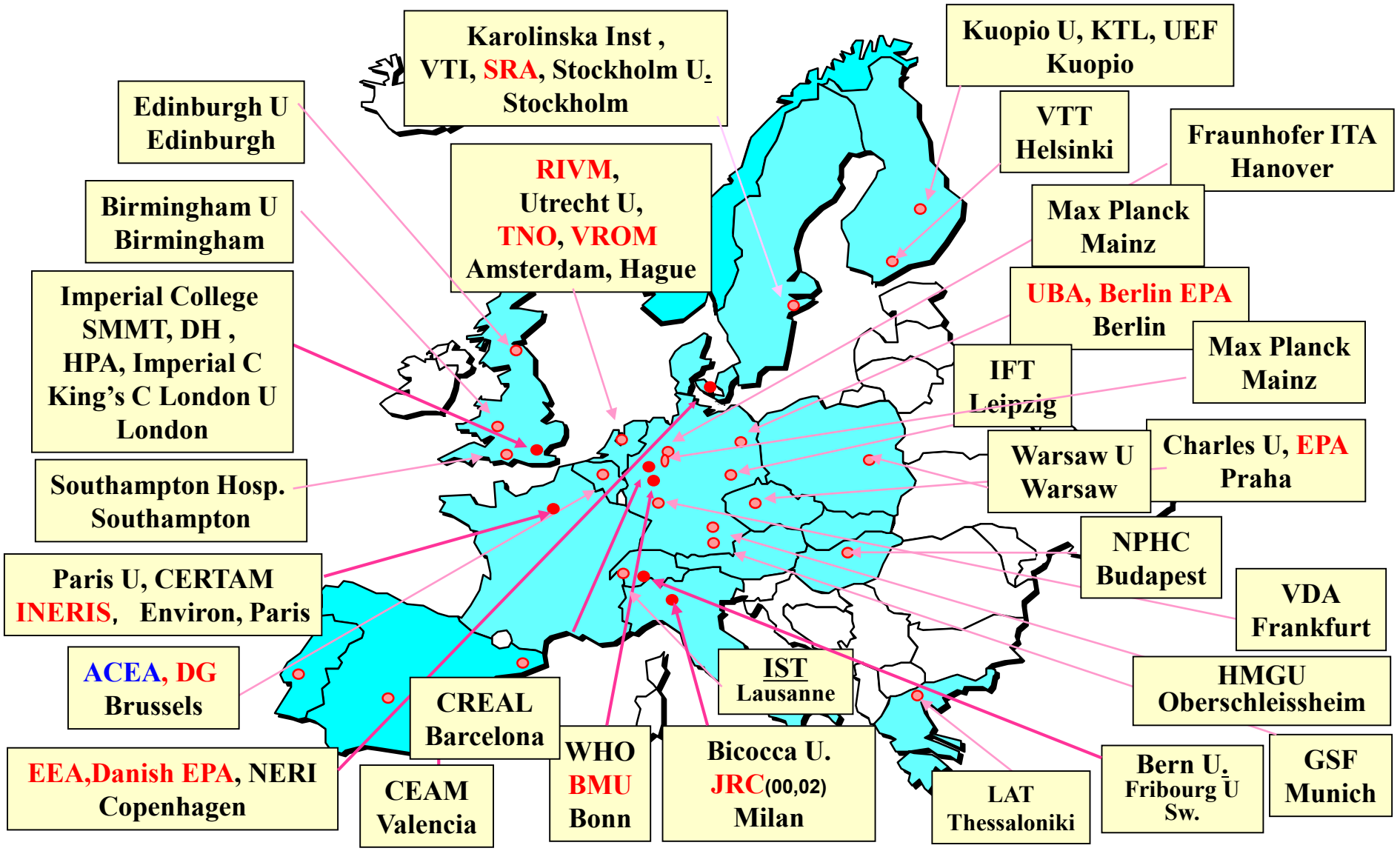
- 大気環境疫学の曝露評価は大気汚染物質アプローチと排出源アプローチ
- 大気汚染物質アプローチ；動物実験への適応がしやすく、より科学的だが、発生源の議論が難しい
- 排出物アプローチは、政策立案者が扱いやすいが、研究結果の比較が難しく、まだ課題も多く、研究段階

Pollutant-oriented approach	Source-oriented approach
Ambient Monitors	Traffic Indicator
Personal Monitor	Landuse Regression
Satellite Estimation	Receptor-based Model
Chemical Transport Model (CMAQ)	Chemical Transport Model (UCDP Model)

- Personal monitor: Directly usable
- Point/line sources: Attention is necessary in exposure assignment

欧州の研究動向

自動車排気の健康影響にかかわる最近の主な研究機関



欧州で有害な大気汚染レベルに曝されている人の割合[41]

5. Many Europeans still exposed to harmful levels of air pollution

EU urban population exposed to harmful levels of air pollutant concentrations in 2013–2015, according to:

依然として多くのヨーロッパ人は有害な大気汚染にさらされている。

European Environment Agency

Source: CSI004

大気汚染は未だ欧州では大きな課題

欧州研究プログラム

Horizon2020
「科学基盤の強化」「産業技術におけるリーダーシップ発揮」「社会的課題への取組み」を目的とした欧州の研究プログラム．総額800億ユーロ（約11兆円）．
Work Program (WP) 2018-2020
低炭素＆持続可能な交通社会・安全・自動運転・アカウンタビリティなど約35プログラムからなる．研究公募が2017年10月開始．(2018年予算：約40億円)

- Horizon2020
  - WP 2018-2020
    - 11. Smart, green and integrated transport
      - LC-MG-1-1-2018: InCo flagship on reduction of transport impact on air quality
        - A) Driving behavior
        - B) RDE
        - C) Sensing & monitoring
        - D) Shipping EM
        - E) Aircraft EM
        - **F) in-vitro & in-vivo assessment** ← 交通関連の健康影響

HORIZON2020　健康影響関連プロジェクト

◆ TUBEコンソーシアム（Horizon2020採択課題）

- 2019年5月開始の4ヵ年プロジェクト。自動車(乗用車・トラック・バス)/船舶由来の超微小粒子/ナノ粒子の脳への影響の評価を目的とした研究。
- 欧州＋中国、チリの共同研究。疫学～毒性学（in vitro、in vivo）まで、それぞれの研究機関の得意分野で相互補完。主な役割分担は、下図の通り。

TUBEコンソーシアム

Coordinator		
	東フィンランド大学	フィンランド
Participants (14)		
1	ハインリッヒハイネ大学デュッセルドルフ　環境医学研究機関	ドイツ
2	ユトレヒト大学	オランダ
3	ウメオ大学	スウェーデン
4	気象研究所	フィンランド
5	VTT技術研究センター	フィンランド
6	サウスハンプトン大学	イギリス
7	ケベンベンズ大学	デンマーク
8	ミメタス社	オランダ
9	BioTalentum社	ハンガリー
10	タンペレ高等教育SR	フィンランド
11	チェコ共和国 公的研究機関 科学アカデミー 実験医学研究所	チェコ
12	中山大学	中国
13	VSPARTICLE社	オランダ
14	エネルギーと環境のチリ制限に関する戦略的研究のためのノーベル・マリオ・モリーナ賞センター	チリ

吸入、ALI
認知症疫学、ヒト曝露
粒子移行
Organ on a Chip
幹細胞
エピジェネティクス
疫学、粒子採取
ナノ粒子技術
電動化バス

Transport derived Ultrafines and the Brain Effects
https://cordis.Europa.eu/project/rcn/223132/factsheet/en

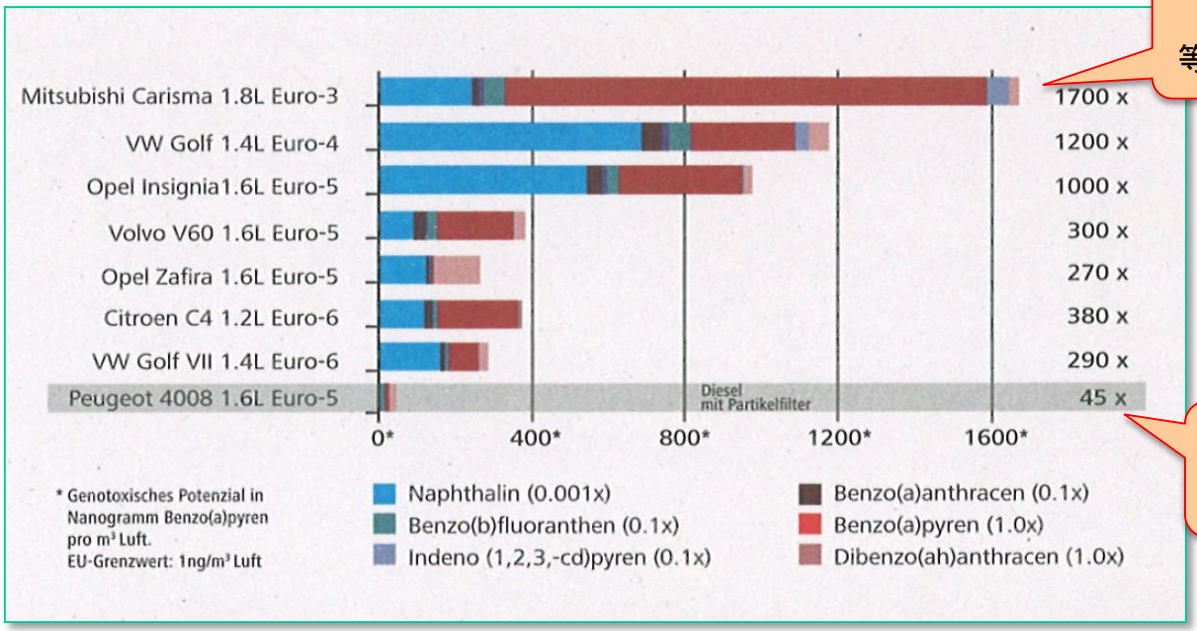
自動車以外の発生源と同じ評価法で比較することが狙い

ガソリン直噴エンジンの健康影響

【ガソリン1次排出物の有害性】

ディーゼルはDPF装着により，PAHs排出量が下がり，毒性等価量が大幅に抑制される．
　　ディーゼル排気とその健康影響はメイン課題ではなくなった．

GDIにおけるPAHs排出は多く，毒性等価量が高い．



GDIの発がん性に係わる毒性等価量は高い

DPF装着によりディーゼルの毒性等価量は低くなる

自動車排出ガスの毒性等価量（PAHs含量による算出）の比較【EMPA】

The carcinogenic potential in one cubic meter of exhaust gas from gasoline direct injectors is up to 1,700 times higher than the EU limit for clean air. By contrast, diesel cars with particle filters exceeded the limit only 45-fold.

Empa Quarterly Research & Innovation #56 May 17, 2017, p14

EUにおけるPAHsのtarget valueは1 ng/m^3
(Benzo(a)pyrene濃度換算，年平均値)

2017年調査では研究が盛んであったが、2019年調査ではトーンダウン気味

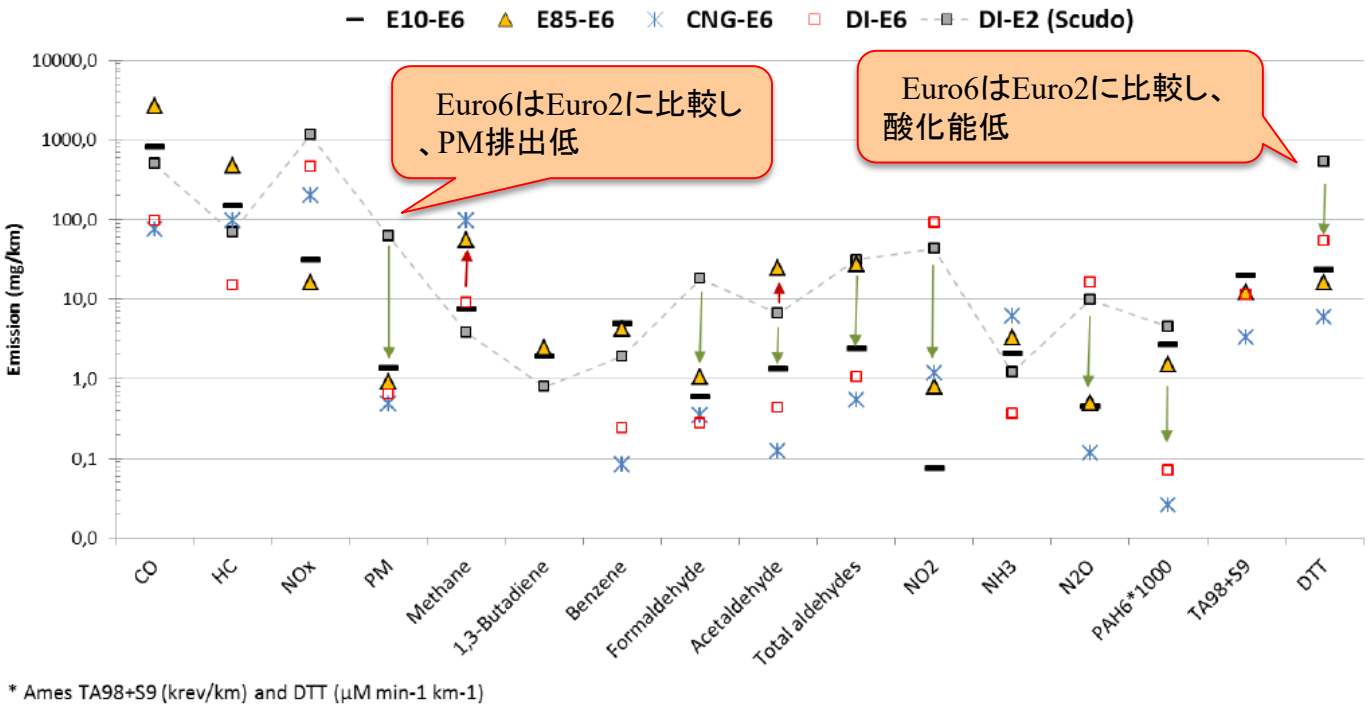
PMの酸化能評価

<u>酸化能はPM毒性の予測に有効</u>

<u>m^{-3}（容積あたり）、μg^{-1}（粒子重量あたり）の両方必要</u>

μg^{-1}あたりの酸化能は夏に活性が高、OC濃度は冬に高い

走行距離当たりの比較で、<u>Euro6はEuro2に比較して酸化能が低下</u>



Aakko-Saksa et al. (2016) VTT Report VTT-R-04494-16
https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2016/VTT-R-04494-16.pdf

PMの健康影響には依然関心が高く、酸化能評価は欧州でも盛ん

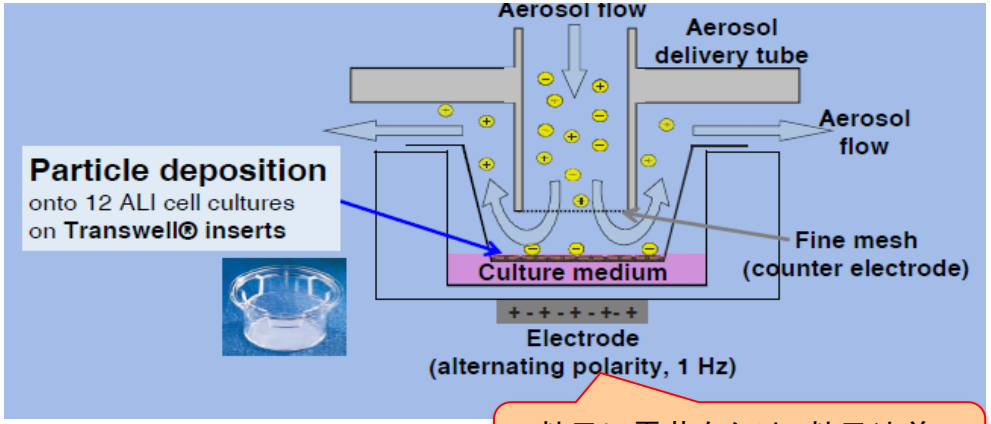
in-vitro評価法研究

in vitro評価技術

動物実験の制限が厳しい欧州では、in-vitro評価が毒性学研究の中心

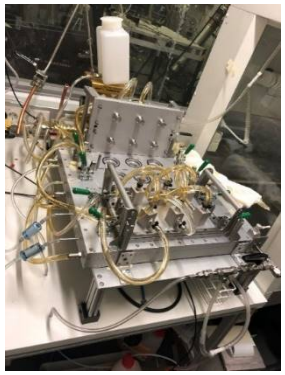
in vitro評価において，「現実の模擬」，「濃度反応関係」の2つが重要．

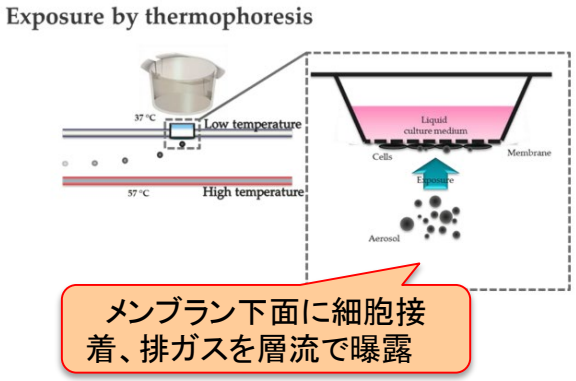
粒子の荷電や気液界面暴露で上側に培地、下側に細胞播種し、層流で排ガス曝露による「沈着率向上」の工夫あり



Bern大の細胞曝露装置

http://www.nacivt.ch/





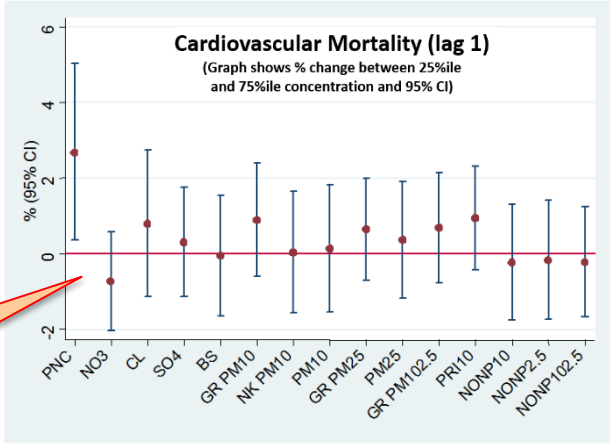
H. Hakkarainen, Genotoxicity of the A549 cells from the different combustion exposures detected with thermo-ALI-system, Nov. 2018

東フィンランド大の細胞曝露装置

健康影響研究の動向

UFP（超微小粒子）曝露評価・疫学

- ロンドンの疫学研究において、CVDの死亡率と粒子個数濃度に関連ありの報告
- ナノ粒子/UFP/PNの疫学研究はあるが、曝露評価が十分とは言えない



粒子個数濃度で有意差あり

R Atkinson and HR Anderson Epidemiology, 21, 501-511, 2010

新たな対象（認知症、脳への影響）

- ヒトの繊維芽細胞からiPS細胞を作り、免疫応答性を持つ脳を評価（脳神経分野の最先端技術）
- PMの脳への影響は直接より、酸化ストレス・炎症を介したもの
- 鼻から嗅球へのPMの嗅覚神経を介した移行を実験
- 大気汚染の脳への影響としてアルツハイマー型認知症が重要
  認知機能、学習・記憶、メンタルヘルスへの影響も重要

本日の内容

- はじめに
  - ✓ 大気汚染の健康影響研究の始まり
  - ✓ 自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
  - ✓ 日本の自動車排気と大気環境・健康影響研究の始まり
- 自工会の大気環境・健康影響研究の取り組み
  - ✓ 自動車環境を取り巻く社会情勢
  - ✓ 日本の大気汚染物質濃度の推移
  - ✓ 大気環境研究
  - ✓ 健康影響研究
- 将来の自動車技術と大気環境改善取組み
  - ✓ 米国の研究動向（HEIの動向など）
  - ✓ 欧州の研究動向
- まとめ

欧米の健康影響研究動向のまとめ

1. HEIの動向は米国だけでなく世界の健康影響研究に大きな影響を引続き与えると考えられるので、今後も注視することが重要

2. 今後の健康影響研究の主な注目点
   ① 低濃度複合大気汚染物質（$PM_{2.5}$/ O_3/ NO_2）の暴露影響
   ② $PM_{2.5}$対策時の発生源寄与を考える上で重要な要因である成分毎の健康影響研究
   ③ 自動車関連物質(MSAT)の健康影響研究の新たな方向性
   (EVやGDI排気の影響、排気と騒音、非テールパイプ排出物質影響等)
   ④ 動物実験の代替としてのin-vitro評価法研究
   ⑤ 健康影響のスクリーニングとしてのPMの酸化能評価
   ⑥ UFP(超微小粒子)の大気環境基準に備えた暴露評価や疫学研究
   ⑦ 新たなエンドポイント（認知症、脳への影響）

ご静聴ありがとうございました

IIAE 特別企画『自動車と環境』

主催：一般財団法人大気環境総合センター

本誌の無断転載を禁じます