

# 局地汚染対策としてのフクガイの提案研究

井手 靖雄\*・堀内 健司\*\*・岡林 一木\*\*\*・河内 昭紀\*\*\*

## Study on a new road cover or Fukugai as a local pollution countermeasure

Yasuo IDE\*, Kenji HORIUCHI\*\*, Kazuki OKABAYASI\*\*\*  
and Akinori KOUCHI\*\*\*

### Abstract:

Road pollution due to exhaust gases and noise from running cars represents a traffic public nuisance as well as a social and environmental problem that should be improved in big cities in Japan. Such pollution countermeasures as ①car emission reduction, ②traffic flow control and ③road structural betterment have been steadily carried out by relevant environmental agencies, producing long-expected environmental improvement. However, locally polluted areas of lesser improvement remain, and a new road cover of Fukugai has already been proposed for local countermeasure related to ③. This paper presents more details and possibilities for Fukugai, which has an adiabatic and transmissive cover with a longitudinal traffic fair wind of low speed, incorporating recent advanced air purification engineering.

**Key Words:** motorization, air pollution, local pollution countermeasure, air purification, traffic fair wind, concentration

### 1. はじめに

都市環境問題の代表である交通公害の背景を Fig. 1 にまとめた。道路交通は移動する人および荷物と移動手段のクルマと移動インフラの道路の、3者の総合伸長によりモータリゼーションとして順調に発展してきた。この結果、過大なる環境負荷の地域では、不幸にして交通公害を招来するに至り<sup>1)</sup>、交通公害裁判になっているところもある。

公害防止対策の基本は①単体規制である低公害車、環境適合車の開発導入であり②人流、物流を含めた交通量制御の交通流対策である。これらは広域汚染対策として関係各方面で鋭意努力されており、長期的に見ると緩慢ではあるが改善の方向にある。しかし、気象学的もしくは地形・環境的な特殊条件により環境改善が困難な地点が局地的には依然として残ることが予想される。かよう

な局地汚染までを上記の①で対応するには、非汚染地区を走るクルマにとって余りに苛酷であり社会的に非経済である。そこで局地汚染対策としては上記の②および③新たな道路構造の開発が必要となる。②については、ロードプライシング導入等が検討されているが、一般には代替として新たなバイパスや環状道路等の道路整備（立体交差化）を必要とする。現状のままでは②での対応は限界近くになっている所が多く③の期待が大きい。特に最近は新たな環境浄化技術<sup>2, 3)</sup>が開発されつつあるので、これを組み込んだ、新たな道路構造の開発研究が緊急の課題となっている。

そこで、一案として、一方通行の道路に蓋を覆せて、密閉した道路覆蓋を局地汚染対策として先に提案した<sup>4)</sup>。この種の提案、研究は著者の知る限り、国内外にて公表されているものは皆無なので、その内容および可能性について、ここに報告する。なお、交通安全上、もしくは

\* 交通機械工学科  
平成13年9月18日受理

\*\* (株)千代田コンサルタント、交通環境部

\*\*\* 三菱重工業(株)、長崎研究所

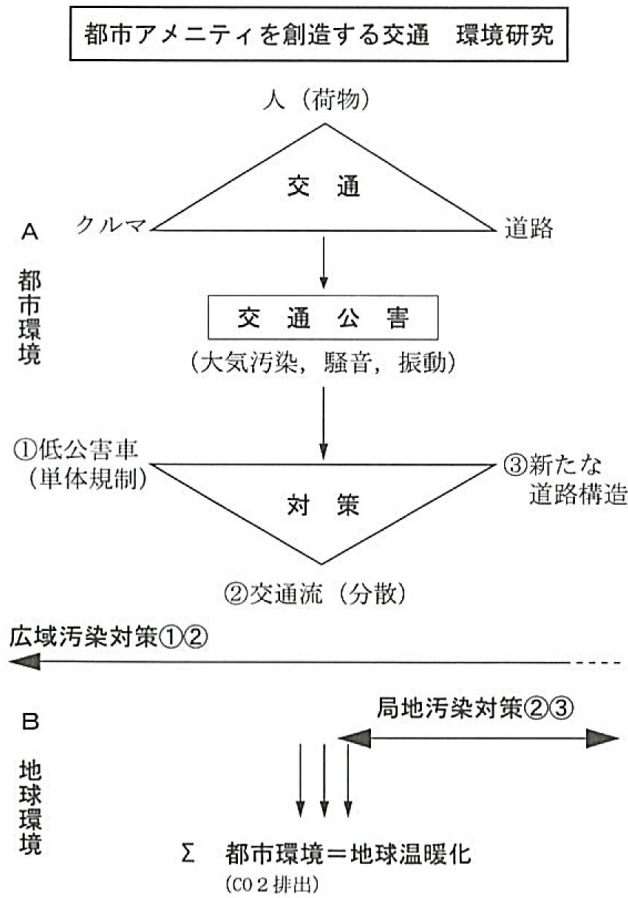


Fig. 1 Regional and local countermeasures against the traffic pollution resulting from motorization in the cities

事故や災害については、別途検討は行うものとして、ここでは大気環境面より水平排気に限定した。なお、Fig. 1の上段に交通公害によるA：都市環境問題を記したがクルマからのCO<sub>2</sub>排出を考えると、同時に下段に示すB：地球環境問題となる。提案した局地汚染対策が同時にBの対策としても将来発展の可能性（順風を利用した省エネ道路）については別途報告の予定である。

## 2. 新しい道路覆蓋

### 2.1 道路覆蓋の必要性

局地汚染対策の現況を Fig. 2 に示す。既述したように①大気汚染の防止のために各種の新たな浄化技術が開発され、また②騒音の防止のために排水性舗装や新型遮音壁が付設されつつある。覆蓋によって道路騒音は著しく減少することは当然期待出来るので<sup>5, 6, 7)</sup>、以下、大気環境汚染に限定して考える。

一般に、閉鎖空間での環境汚染改善は、前段の気流の吸気（換気技術）と取り込んだ気流の後処理としての浄化技術の二つの連続で成り立っている。換気技術（吸気、排気）は流体力学の分野で、浄化技術は化学工学や物理、物性工学の分野で研究されている。前段の換気技術が劣れば、後段の浄化技術はどんなに高級なものであっても生かされない。

一般の道路のような開放空間では、これまでの通常の換気技術はほとんど無力化してしまい、この結果、どんな高度な浄化技術を後処理に適用しても、道路周辺の環境改善効果は期待できない悩みがあった。このため、やむなく、汚染気流の吸気口を、出来るだけ発生源（クル

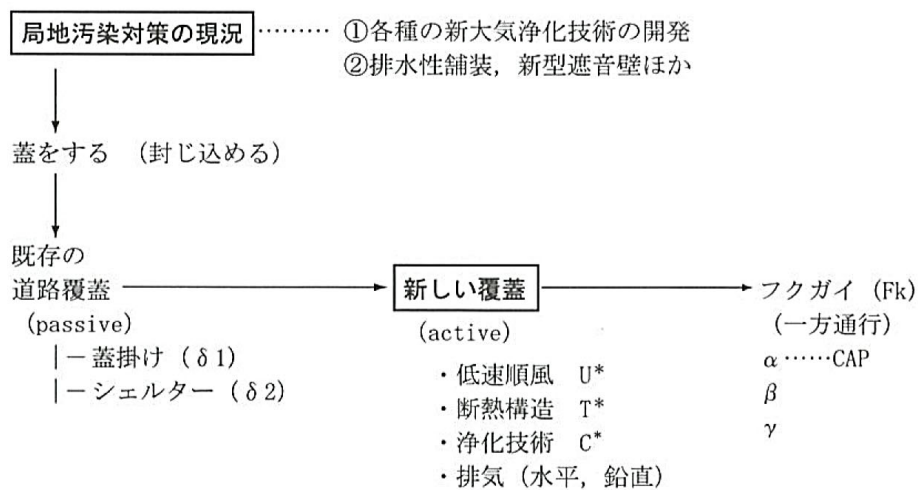


Fig. 2 Recent local pollution countermeasure and a new road cover structure of Fukugai

マ)に近接する方法(可能なら発生源に吸気口を直接接続する)がこれまで採られてきた。しかし、発生源は車の排気管の位置で高低の変化があり、風向も変わる場合もあり、どうしても環境改善向上には限界があり課題であった。たとえば、沿道浄化システムとして最も進んでおり、実用化に近いと見られている土壌浄化では、処理ガス量に対してNOx浄化率は約90%と高効率であるが、環境改善効果は高々20%程度の濃度低減であると報告されている<sup>8)</sup>。現実には、この程度で満足出来る局地汚染地点もあるので今後の成果が注目される。

今後各種の新たな浄化技術(特にNOxについては光触媒技術)が研究開発されており、これを局地汚染の改善に有効活用するには、どうしても「道路上の開放空間に適用できる換気技術」が不可欠となる。しかし、現状の流体工学では、このような換気技術は効率的に見て“狂った夢”であると考えざるを得ない。とすれば、逆に、道路上に閉鎖空間をactiveに創る夢をみることにした。

そこで、一方通行の道路に蓋を覆せて、道路を密閉(車の入り口と出口がある半閉鎖空間)した道路覆蓋を考えた。一見したところ、これも“狂った夢”のように見えるが、この蓋でちゃんとした半閉鎖空間が出来ており、しかも、汚染、すなわち、排出ガスも騒音も道路内に密閉されるので、沿道環境は局地的に改善されるので“狂った夢”ではない。

もう少し流体工学的に説明する。無風時に勾配が無い平地道路を走行するクルマは、道路から転がり摩擦抵抗と空気から流体抵抗(ピストン圧力)を受ける。クルマのエンジンは両抵抗に打ち勝つだけの動力と併せて廃熱と排出ガスと騒音を出している<sup>9)</sup>。流体抵抗の反力としてクルマの周囲には空気の伴流(wake)が生じる。この伴流がクルマの走行風である。当然、走行風はクルマの進行方向に吹く追風となっている。

今考えている半閉鎖空間の入り口から多数のクルマが連続的に流入すると、それぞれの走行風も入口より流入し、集積(ピストン圧力の集積効果)して縦流、すなわち順風の交通風(traffic fair wind)を形成する。流体の連続の法則(非圧縮流体を仮定)に従って同量の交通風が覆蓋内を流れ、出口より流出する。この交通風を、たとえば入り口と出口に壁を敷設するなどの手段を講じて止めることが出来れば、立派な閉鎖空間が出来ると。しかしクルマが走行する入り口、出口は必要なので壁は敷設不可能である。そこで、交通風の速度U(横断面内の平均流速)を考えると、Uが有限である限り、半閉鎖空間

であるが、Uが小さくなれば閉鎖空間に近くなる。U=0であれば完全な閉鎖空間となる。したがって、換気空間の広さに対して相対的に出来るだけUを小さく、すなわち低速の交通風にすれば近似的に閉鎖空間をactiveに創ることが出来る。これが低速の交通(順)風を特徴とした道路覆蓋である。

## 2.2 フクガイの特徴

提案したような道路覆蓋が過去に無かったかを調査してみると、資料が極めて少なく詳細は不明であるが、道路建設土木分野で「蓋掛け」や「シェルター」と呼ばれているものが既に存在していることが分かった<sup>5, 10, 11)</sup>。先見性ある先輩エンジニアたちは既に覆蓋を実用化していたのである。しかし、残念ながら、これらは単にpassiveに道路上に“蓋を掛けた”だけで、換気技術もしくは浄化技術のactiveな応用までをも目的としていなかったようである。なぜなら当時としては必要性も無かったであろうし、有っても適用出来る浄化技術(特に脱硝)が無かったから当然である。

そこで、最近の浄化技術の進展を前提に、低速の交通風(追風)を特徴とした断熱構造の新しい覆蓋(採光のために半透明材製作)の浄化システムを、フクガイ(Fkと略記)と呼んで先に提案した訳である。

覆蓋は採光・断熱構造であるが、下を走るクルマから見える幾何学的形状は、表面的に普通の道路トンネルに極めて近い物となる。そこでフクガイとトンネルの相違について簡単に言及しておく。

トンネルは道路建設上、地形的に不可欠のものであり、フクガイは環境汚染さえ無ければ無い方が良い代物であり、両者の必要性は根本的に異なる。したがって、共通の適用技術はあるものの、設計思想は根源的に相違(熱力学的には極端に異なる)して当然である。トンネルでの追加工事(装置の追設)は大変困難なので基本計画が極めて大事であるが、フクガイでは交通安全を守れば可能であろう。したがって、逆に、一旦フクガイを設置した後、その性能および環境影響評価をしながら、必要な追加工事のフィードバックが出来る特徴がある。

以上より結論的にまとめると、フクガイには下記の①集煙効果、②集積効果、③集熱効果がある。

### ① 集煙効果(質量保存則)

排出ガスを道路周辺に拡散させず覆蓋内に集煙するので、比較的高濃度での浄化となり、浄化技術上、効率的である。一旦拡散して低濃度になったガスを集めて浄化

することは極めて無駄である。

② 集圧効果 (運動量保存則)

別に動力を加えること無く、走行するクルマのピストン圧力の集圧効果によって覆蓋内には、順風の交通風が発生し、出口より水平に排気される省エネ型である。交通風を抵抗板、小型風車などを用いて低速に制御することは、流体力学的にさほど困難なことではない。

③ 集熱効果 (エネルギー保存則)

走行するクルマからは同時に廃熱が出ており、交通風の中に集熱される。覆蓋の採光・断熱構造により集熱量は交通量が多い日中に増大し、排気の浮力上昇 (ground plume) として利用できる。

これらの効果と今後の応用の夢を Fig. 3 にまとめたが、低速の交通 (順) 風になるほど効果は良くなる。また、覆蓋の側面および上面を通してクルマからは、外部が見える (必要によっては残像効果を利用する) ので、クルマに対するフクガイの圧迫感は減少するであろう。この他、たとえばフクガイの上面の利用工夫がある。部分的に保守作業場所として、太陽光電池の設置場所としても利用でき、場所によっては小さい公園、遊歩道にもなるう。

2. フクガイの可能性検討

フクガイの key 技術は、覆蓋の中に集煙された排出ガスの浄化処理であり、フクガイの可能性はこれで決ると考えた。そこで浄化処理についてまず検討することにした。排出ガスとしては、NOx, PM (煤煙), SOx, CO など複数種類を考える必要あるが、いずれも同じ取り扱いになるので、ここでは対象を一つに絞り、道路は排出

ガスの線源 (線源強度 q) とした。

浄化を検討する時に、まず浄化装置を分散配置 (小型装置を多数台設置する) するか、集中式 (大型装置を一台設置する) にするか調査が必要になる。浄化技術の進化につれて、経済性、安全性、運転保守、騒音振動等の環境特性などにより、いずれが有利であるか、一長一短があり簡単に決められるものではない。ここでは交通量 (環境負荷) の変動特性から①負荷変動 (台数制御) と②増設可能性 (台数増加) を考慮して、分散配置を採用することとした。なぜなら、交通量は毎日、時間変動しており、一般に負荷変動に大型装置は不向きで、小型の台数制御の方が機械効率上、有利となる。また、長期的には、低公害車の普及と交通量の伸びを見て、将来必要になった時点で浄化装置を増設すれば、初期投資が少なくて済むことになる。

さらに、今回の分散配置で、数多くの、小型の浄化装置を縦断方向に近似的に連続に配置した『連続分布浄化』を新たに考える。一例として覆蓋内面に光触媒を連続的に塗布した場合に相当する。この連続分布浄化の第一近似として、クルマ走行に伴う攪拌混合があるので完全混合を仮定した、最も簡単な“排出ガス量の置換モデル”を以下は適用する。(浄化率を用いる第二近似については、井手ら<sup>12)</sup> 参照)

交通 (順) 風の速度 U のフクガイの横断面内 (横断面積 A) の交通風内 (入り口より x 位置) の断面平均濃度 (C) は、質量保存則より、次式で与えられ、その分布 (γ) を Fig. 4 に示す。

$$C = C_0 + qx/UA \tag{1}$$

	特 徴	効果の内容	備 考
① 集煙効果	1) 入り口周辺の気流 (濃度 Co) を吸い込む。 2) 閉鎖空間となるので浄化技術の適用が可能となる。 3) 水平排気と鉛直排気 (集中と分散) がある。	1) 自動車排出ガスおよび騒音を周辺に拡散させない。 2) 浄化装置が有効に働く。(浄化効率が高い) 3) 高濃度としてから浄化すれば、更に浄化効率は上がる。	・ 煤煙, NOx の浄化 ・ VI の確保 ・ (半) 透明材 ◎ 防風, 防霧 ◎ スノーシェルター
② 集圧効果	1) 一方通行方向に縦流を誘起する。	1) 連続して高速で走行する車のピストン圧を利用する省エネ型である。	・ 低速縦流の利用と制御 ・ 断面形状の選択
③ 集熱効果	1) 車からの廃熱を集める省エネ型である。 2) 太陽からの日射も利用。	1) 集熱で縦流を昇温 (ΔT) させて ground plume として出口より排気する。	・ 保温材, 断熱材 ◎ 冬季 (接地逆転層) 対策

Fig. 3 Fukugai's usefulness for traffic local pollution countermeasure

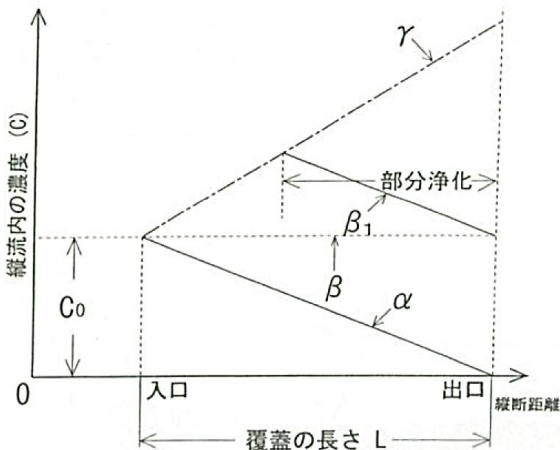


Fig. 4 Concentrations of exhausted pollutant in the longitudinal traffic fair wind in Fukugai, assumed perfectly mixing

Fk	都心	市街	郊外
long	$\alpha$ ( $C_0 > C^*$ )	$\beta$ ( $C_0 < C^*$ )	$\gamma$ (浄化なし)
short	$\alpha, (\gamma)$	$\gamma$	$\gamma$
note	$C_0$ ; 大 渋滞	$C_0$ ; 中 渋滞	$C_0$ ; 小 定速走行

Fig. 5 Expected application of Fukugai in the central, urban and suburban cities

ここに、 $C_0$ ; 入り口におけるバックグラウンド濃度

$q$ ; 単位長さあたりの排出ガス量=線源強度

濃度  $C$  は、 $C_0$  より、縦断方向に距離 ( $x$ ) に比例して増大し、出口で最大濃度となる。この出口位置に浄化装置を設置 (これは集中式に相当する) できれば、“高濃度にして浄化”の原則に従い浄化効率は最良となる。

これに対し、浄化作用を負の排出ガス量で置換近似した時の濃度は、同様にして次式で与えられ、その分布 ( $\alpha$ ) を同図に示す。

$$C = C_0 - (q_{ex} - q)x/UA \quad (2)$$

ここに、 $q_{ex}$ ; 浄化による単位長さあたりの除去量

この  $\alpha$  の浄化 ( $q_{ex} > q$ ) ができれば、 $x$  の増加につれ  $C$  は減少するので、覆蓋の長さを適当に選ぶことにより、出口濃度はゼロとなり、完全にクリーンとなる理想型である。これ以上浄化しても無駄になる。(覆蓋が無ければ、どんなに浄化してもこの  $\alpha$  には近づかない限界である)

以上の  $\alpha$  と  $\gamma$  の中間として、フクガイ内での排出ガス分だけを浄化 ( $q_{ex} = q$ ) する濃度分布 ( $\beta$ ) があり、入り口と出口の濃度 ( $C_0$ ) は等しくなる。さらに、この  $\beta$  の場合でも、入り口より  $x_1$  まで浄化なし ( $\gamma$ ) で濃度  $C_1$  になってから、出口側の高濃度部に  $\alpha$  の浄化を部分浄化 ( $x > x_1$ ) として用いる  $\beta_1$  もある。この場合の濃度は式 (2) より次式となる。

$$C = C_1 - (q_{ex} - q)(x - x_1)/UA, \quad (x > x_1) \quad (3)$$

ここに、 $C_1 = C_0 + qx_1/UA$  (4)

この他、式 (1)~(3) を用いて、出口濃度  $S_g$  を許容濃度以下にする、いろいろの浄化組み合わせが工夫できるので、フクガイの成立が可能であることが分かる。特

に部分浄化が出来ることは、交通量に応じた負荷変動および複数の汚染質にも自由に対応可能であり、浄化装置の設計上および運転コスト上、極めて有利となる。なお、出口周辺の大気環境濃度は、汚染質の総排出量  $Q_g (= S_g UA)$  に比例することが知られているので、低速の  $U$  が有利となる。

浄化の基本的分類は、Fig. 4 に示されるように、出口濃度を入り口濃度程度以上まで浄化する  $\beta$  ( $q_{ex} < q$ ) と、更に低濃度まで浄化する  $\alpha$  ( $q_{ex} > q$ ) に大別し、それぞれを  $Fk(\beta)$ ,  $Fk(\alpha)$  と略記する。 $\alpha$  は入口周辺の汚染ガスを吸気し浄化して排気する CAP (Clean Air Producer) として稼動する。現状の環境状況 (NOx と SPM) で取って予想すると、高濃度の都心では  $Fk(\alpha)$ 、やや低濃度の市街や郊外では  $Fk(\beta)$  が必要になる。いずれの浄化方式 ( $\alpha, \beta, \beta_1, \gamma$ ) を選択するかは、排出ガスの種類ごとに現地の局地汚染 (環境濃度) との比較にて詳細に決定されることになる。

以上より、連続浄化の第一近似 (完全混合・置換近似) を用いているものの、低速交通風のフクガイの技術的可能性は極めて高く、有用な局地汚染対策の一つと考えられる<sup>13)</sup>。

さらに、採光・断熱覆蓋なので集熱効果が大きく立地環境条件によっては、浄化しない  $\gamma$  ( $q_{ex} = 0$ , これを  $Fk(\gamma)$  と略記) で環境適合可能な場合もある。なぜならば汚染質総量は減少しないものの、集熱で交通風が昇温し、出口から浮力で上昇・拡散 (ground plume) してしまい、出口周辺への影響が少なくなるからである。特に短いフクガイであれば、式 (1) より出口濃度増加は小さいので、 $Fk(\gamma)$  は市街や郊外に適用可能であろう。環境条件によっては都心にも可能性があるが、余り短くと集熱量が不足する。

以上より予想されるフクガイの可能性を、“クルマの夢”として Fig. 5 に取ってまとめた。この image を Fig.

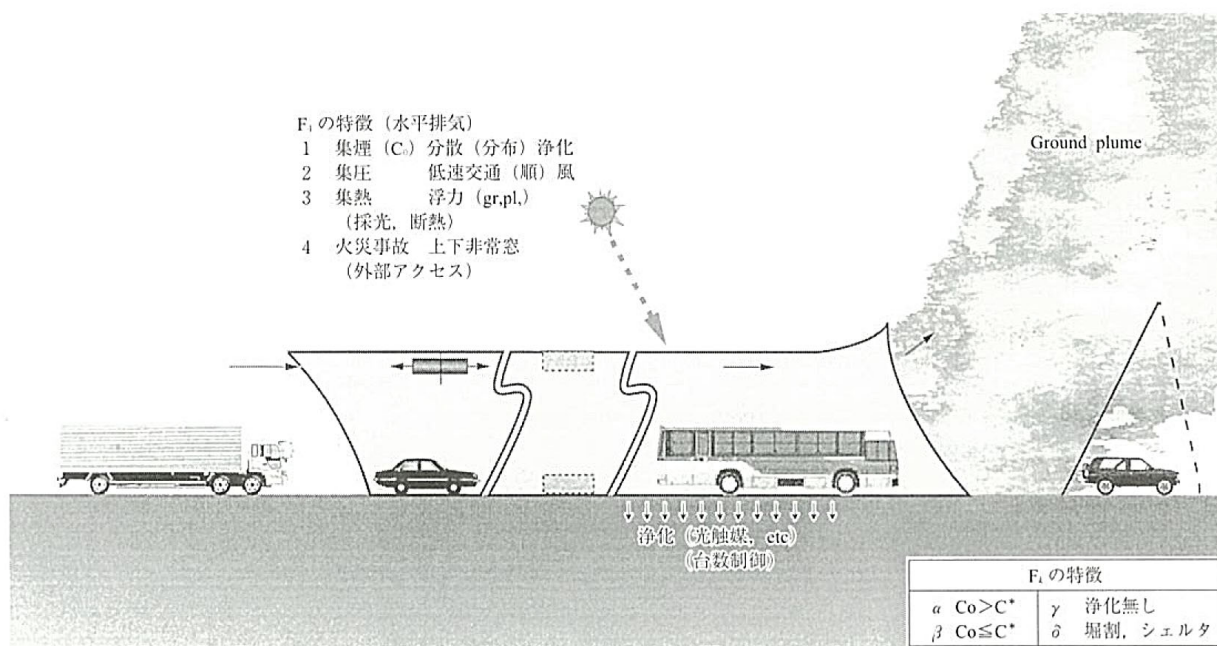


Fig. 6 Imaged illustration of Fukugai

6に示す。ここに $C^*$ は長さが充分 long のフクガイの出口濃度である。なお既存の覆蓋は何の浄化もないので $Fk(\gamma)$ に相当するが、熱力学的に採光・断熱構造となっていないので別のフクガイに分類 ( $Fk(\delta)$ )と略記) する必要があり、 $Fk(\delta 1)$ =蓋掛け、 $Fk(\delta 2)$ =シェルターとし、Fig. 2に記入した。

### 3. むすび

交通公害の広域汚染対策がとられても特殊条件により環境改善が困難な地点が局地的に残ることが予想され、局地汚染対策がいずれ必要となろう。提案された新しい道路覆蓋システム、すなわち、フクガイは $NO_x$ やPMなどの排出ガスの浄化方式 ( $\alpha, \beta, \beta 1, \gamma$ ) の選択によって、局地汚染対策 (排出ガス, 騒音) として可能性が高く、“狂った夢”ではないことを示した。既述した通りフクガイの研究は前例が無くこれから始まるころであり、このため報告内容がやや具体性に欠け、定性的である。しかし、巧く行くと省エネ型の clean way (環境適合型の順風道路) となる将来性がある。今後検討すべき課題は下記のように数多いが、関係者 (機関) のご批判, ご指導, ご支援を賜れば幸いです。

フクガイの研究機会とご指導を頂いた国土交通省国土技術政策総合研究所, 国土技術研究センターに心より感謝申し上げます。

### 今後検討すべき課題

- 1) フクガイの交通安全面からの検討 (火災, 事故時ほか)
- 2) フクガイによる道路空間利用障害の検討
- 3) 各種の排出ガス汚染質の浄化技術の開発検討 (小型で台数制御)  
特に $NO_x$ , PM (煤煙) を早急に。
- 4) フクガイ効果の詳細検討
  - ・集煙効果……第二近似の浄化方法 (浄化率  $\eta$ , 浄化風量, 濃度  $C^*$ )
  - ・集圧効果……横断面形状, 断面積 A, 風量 Q, 交通 (順) 風速度  $U^*$  の制御
  - ・集熱効果……採光・断熱構造 (熱伝達率 a, 交通 (順) 風の温度  $T^*$ ) による昇温検討
- 5) 有風時の検討 (水平, 上方排気) ほか。

### 引用文献

- 1) 環境庁編, 環境白書, 平成13年版, ぎょうせい, pp.130-140 (2001)
- 2) 環境庁大気保全局自動車環境対策第1課・第2課, 道路沿道における大気汚染の実態と対策の状況, 資源環境対策, 35, 6, 533-538, (1999)
- 3) 指宿堯嗣, 環境浄化技術開発への期待と展望, 大

- 気環境学会誌, 35, 2, (2000)
- 4) 井手, 岡林, 河内, 局地汚染対策としての新しい道路覆蓋の提案, 第41回大気環境学会年会講演要旨集, 平成12年, 浦和, p.512, (2000)
  - 5) 日本音響学会編, 騒音・振動 (下), コロナ社, 66-69, (1982)
  - 6) 中村金次, 井手靖雄, 道路構造の覆蓋化による騒音の低減とその対象区域設定に関する考察, 日本音響学会, 騒音・振動研究会資料, N-2000-33, (2000)
  - 7) 中村金次, 井手靖雄, 覆蓋道路構造による環境改善とその施工範囲設定に関する考察, 久留米工業大学研究報告 No.24, (2000)
  - 8) 金子和己, 島田幸司, 高見勝重, 土壌を用いた大気浄化システムの実施例と今後の展開, 資源環境対策, 35, 6, 542-550, (1999)
  - 9) 交通工学研究会編, 交通工学ハンドブック, 博報堂, 43-48, 56-60, (1998)
  - 10) 山崎八郎, 環境影響評価の実例 (I), 中国縦貫自動車道青葉台の環境問題について, 土木学会関西支部, 昭和51年度講習会テキスト, 騒音・振動に関する環境問題, 65-69, (1976)
  - 11) 日本道路公団, 高速道路はじめて事典, 高速道路技術センター, p.246, (1997)
  - 12) 井手, 堀内, 岡林, 河内, フクガイの浄化濃度に関する研究, 第42回大気環境学会年会講演要旨集, p.583, 平成13年, 北九州, (2001)
  - 13) 井手, 沿道環境浄化システムの現状と展望, 第42回大気環境学会年会講演要旨集, p.160-161, 平成13年, 北九州, (2001)