

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5577380号  
(P5577380)

(45) 発行日 平成26年8月20日 (2014. 8. 20)

(24) 登録日 平成26年7月11日 (2014. 7. 11)

(51) Int. Cl.	F 1
E 2 1 F 1/00 (2006. 01)	E 2 1 F 1/00 A
F 2 4 F 7/06 (2006. 01)	F 2 4 F 7/06 F

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-122672 (P2012-122672)	(73) 特許権者	505413255 阪神高速道路株式会社 大阪市中央区久太郎町4丁目1番3号
(22) 出願日	平成24年5月30日 (2012. 5. 30)	(73) 特許権者	000000974 川崎重工業株式会社 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2013-249578 (P2013-249578A)	(74) 代理人	100085291 弁理士 鳥巢 実
(43) 公開日	平成25年12月12日 (2013. 12. 12)	(72) 発明者	金沢 和仁 大阪府大阪市中央区久太郎町4丁目1番3号 阪神高速道路株式会社内
審査請求日	平成25年7月11日 (2013. 7. 11)	(72) 発明者	原 秀史 大阪府大阪市中央区久太郎町4丁目1番3号 阪神高速道路株式会社内
早期審査対象出願			最終頁に続く
前置審査			

(54) 【発明の名称】 排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置及びその換気方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

道路トンネル内に換気機として一以上のジェットファン及び排風機が設置され、前記各換気機の風量が無段階に調整可能であり、必要換気風量となるように前記各換気機の風量制御を行う、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置であって、

前記必要換気風量に基づき、ジェットファン風量を決定し、その後、集中排気風量を決定することで前記必要換気風量を満たす前記各換気機の運転組合せを選出する選出手段と

前記選出手段よりの信号を受け前記各運転組合せでの前記道路トンネル内の風速を算出する風速算出手段と、

予測される交通量による煤煙排出量及び前記必要換気風量に基づき前記道路トンネル内の汚染濃度比を算出する濃度比算出手段と、

前記選出手段よりの信号を受け前記選出された各運転組合せについての合計消費電力を算出する消費電力算出手段と、

前記消費電力算出手段、前記風速算出手段及び前記濃度比算出手段よりの信号を受け、前記選出された各運転組合せのうち、前記汚染濃度比が設定濃度比未満かつ前記風速が設定風速以上のものの中から、前記合計消費電力が最小となる運転組合せを選定し、前記選定された運転組合せに基づき、前記各換気機を駆動制御する制御手段とを備えることを特徴とする、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置。

【請求項2】

前記制御手段は、第1の時間間隔で前記消費電力が最小となる運転組合せを選定する選定手段と、前記第1の時間間隔毎に前記選定した運転組合せによる前記各換気機の運転風量を決定する風量決定手段とを有し、

さらに、

前記第1の時間間隔前に選定されている現在の運転組合せでの合計消費電力が、今回新たに選定した運転組合せでの合計消費電力よりも小さく、かつ、前記道路トンネル内の煙霧透過率、道路トンネル内の一酸化炭素濃度及び道路トンネル内の風速がそれぞれ目標値を満足している場合には、前記今回新たに選定した運転組合せへの変更を行うことなく、前記現在の運転組合せによる運転風量をそのまま維持させる判定手段を備える、請求項1記載の排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置。

10

【請求項3】

トンネル内の風速に基づき、前記第1の時間間隔よりも短い第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第1の補正値を算出する第1の補正値算出手段と、

トンネル内の煙霧透過率に基づき、前記第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第2の補正値を算出する第2の補正値算出手段と、

トンネル内の一酸化炭素濃度に基づき、前記第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第3の補正値を算出する第3の補正値算出手段と、

前記第1～第3の補正値算出手段よりの信号を受け、前記各換気機毎に、前記第1～第3の補正値を比較して、その中の最大値を前記各換気機の目標運転風量についてのフィードバック補正値とするフィードバック補正値設定手段とを備え、

20

前記制御手段は、前記各換気機毎に、前記運転風量となるように前記フィードバック補正値を用いてフィードバック制御を行う、請求項2記載の排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置。

【請求項4】

前記制御手段は、前記第1の時間間隔での運転組合せの選定時と、前記第2の時間間隔でのフィードバック補正値の設定時とが一致する場合には、前記フィードバック補正値の設定を行うことなく、前記運転組合せの選定を行う、請求項3記載の排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置。

【請求項5】

前記選定手段は、前記各換気機についての運転風量と消費電力との関係を示すマップを用いて、前記合計消費電力が最小となるものを選定することができる、請求項2～4のいずれか1つに記載の排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置。

30

【請求項6】

道路トンネル内に換気機として一以上のジェットファン及び排風機が設置され、前記各換気機の風量が無段階に調整可能であり、必要換気風量となるように前記各換気機の風量制御を行う、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気方法であって、

前記必要換気風量に基づき、ジェットファン風量を決定し、その後、集中排気風量を決定することで前記必要換気風量を満たす前記各換気機の運転組合せを選出するステップと

、

前記各運転組合せでの前記道路トンネル内の風速を算出するステップと、

40

予測される交通量による煤煙排出量及び前記必要換気風量に基づき前記道路トンネル内の汚染濃度比を算出するステップと、

前記選出された各運転組合せについての合計消費電力を算出するステップと、

前記選出された各運転組合せのうち、前記汚染濃度比が設定濃度比未満かつ前記風速が設定風速以上のものの中から、前記合計消費電力が最小となる運転組合せを選定し、前記選定された運転組合せに基づき、前記各換気機を駆動制御するステップとを備えることを特徴とする、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気方法。

【請求項7】

前記各換気機を駆動制御するステップは、前記第1の時間間隔前に選定されている現在の運転組合せでの合計消費電力が、今回新たに選定した運転組合せでの合計消費電力より

50

も小さく、かつ、前記道路トンネル内の煙霧透過率、道路トンネル内の一酸化炭素濃度及び道路トンネル内の風速がそれぞれ目標値を満足している場合には、前記今回新たに選定した運転組合せへの変更を行うことなく、前記現在の運転組合せによる運転風量をそのまま維持させる、請求項 6 記載の排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、排風機とジェットファンとを組み合わせた道路トンネル換気装置及びその換気方法に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

道路トンネルにおいては、トンネル利用者の安全性・快適性を確保するために、視環境を確保し、道路トンネル内の大気汚染物質（煤煙、一酸化炭素（CO）など）を許容値以下に維持することが望まれる。そのため、道路トンネル内に設置された換気機（排風機、ジェットファン）を用いて換気制御が行われている。道路トンネルの換気には様々な方式があるが、近年、環境に対する意識の高まりから、集中排気式と呼ばれる方式が採用されている（例えば、特許文献 1、2、3 参照）。

【0003】

一般的な集中排気式の道路トンネルは、交通方向が一方向である一方通行トンネルにおいて、内部に縦流方向の換気を行うジェットファンを設けるとともに、道路トンネルの中間部に集中排気設備を設けている。この集中排気設備は、道路トンネル内の縦流方向中間部（例えば、出口分岐付近）に開口する排出口を通じて、排風機の運転により道路トンネル内から集中排気するようになっており、道路トンネルの入口／出口の両坑口から外部の空気を吸い込み、大気汚染物質を含んだ道路トンネル内の空気を、排出口から外部に排出する。外部への排出時には大気汚染物質の除去を行う場合もある。このような集中排気式道路トンネルでは、トンネル坑口からの大気汚染物質の流出が抑えられ、坑口周辺的环境に対する影響を極力小さくしている。

20

【0004】

前記特許文献 1 に記載の技術は、トンネル内の汚染濃度が設定値以下となるように排風機の運転量とジェットファンの運転方向及び運転量のみを制御するものであり、また、特許文献 2、3 に記載のものは、交通量予測値、車両通行量などに基づいて、ジェットファンのみによる換気方式とジェットファンと排風機とによる集中排気方式とを切り換えて、消費電力を少なくするものである。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2004 - 019250 号公報（段落 0032 ~ 0053）

【特許文献 2】特開 2005 - 068762 号公報（段落 0025、0027）

【特許文献 3】特開 2008 - 248692 号公報（段落 0028 ~ 0033）

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、前述した特許文献 1 に記載の集中排気方式では、通常、ジェットファンと排風機の風量との関係は、坑口での大気汚染物質の持出し防止のために、（ジェットファンによる風量）（排風機による風量）となる。排風機の風量を必要最小限に抑制する場合には、排風機による換気風量はジェットファンによる換気風量に連動して決定される。つまり、台数制御（ノッチ制御）でジェットファンの実換気風量が段階的に変化する場合には排風機の実換気風量も段階的に変化することになる。

【0007】

50

そして、ジェットファンの台数制御では、ジェットファン必要換気風量がジェットファン実換気風量となる運転点以外では、過剰な運転となり、消費電力が大きくなる。また、排風機により集中排気を併せて行う場合には、トンネル内での車両進行方向を+側として、 $[(\text{ジェットファンによる風量}) + (\text{交通換気力による風量}) + (\text{自然風による風量})] < (\text{排風機による風量})$ となるため、ジェットファンが過剰な運転となる場合には、排風機も過剰な運転となる。その結果、ジェットファンの必要換気風量(トンネル内縦流換気風量、坑口持出し防止風量) = ジェットファン実換気風量となる運転点以外では、各換気機の消費電力が大きくなる。

#### 【0008】

そこで、近年、風量を無段階に制御できるインバータジェットファンが用いられつつあり、それをいれれば、ジェットファンによる実換気風量がリニアに変化する場合に排風機の実換気風量もリニアに変化させることで、必要換気風量を無段階で細かく制御できることに、発明者は着目し、また、特許文献2、3に記載の技術のように、ジェットファンのみによる換気方式とジェットファンと排風機とによる集中排気方式とを切り換えて、消費電力を少なくするのではなく、必要換気風量と、各換気機の運転組合せとの関係に着目し、前記必要換気風量を満たす運転組合せを選択し、その運転組合せのうちから各換気機の合計消費電力が最小となるものを採用すれば、過剰な風量となる運転を防止し、消費電力を小さくすることができることに着想し、本発明をなしたものである。

10

#### 【0009】

本発明は、集中排気方式において、排風機又はジェットファンの風量を無段階に制御することで、必要換気風量を細かく制御でき、過剰な風量となる運転を防止し、消費電力を小さくすることができる、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置及びその換気方法を提供することを目的とする。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

請求項1の発明は、道路トンネル内に換気機として一以上のジェットファン及び排風機が設置され、前記各換気機の風量が無段階に調整可能であり、必要換気風量となるように前記各換気機の風量制御を行う、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置であって、前記必要換気風量に基づき、ジェットファン風量を決定し、その後、集中排気風量を決定することで前記必要換気風量を満たす前記各換気機の運転組合せを選出する選出手段と、前記選出手段よりの信号を受け前記各運転組合せでの前記道路トンネル内の風速を算出する風速算出手段と、予測される交通量による煤煙排出量及び前記必要換気風量に基づき前記道路トンネル内の汚染濃度比を算出する濃度比算出手段と、前記選出手段よりの信号を受け前記選出された各運転組合せについての合計消費電力を算出する消費電力算出手段と、前記消費電力算出手段、前記風速算出手段及び前記濃度比算出手段よりの信号を受け、前記選出された各運転組合せのうち、前記汚染濃度比が設定濃度比未満かつ前記風速が設定風速以上のものの中から、前記合計消費電力が最小となる運転組合せを選定し、前記選定された運転組合せに基づき、前記各換気機を駆動制御する制御手段とを備えることを特徴とする。

30

#### 【0011】

このようにすれば、排風機とジェットファンとの風量を無段階に制御することにより、必要換気風量を細かく制御することが可能となり、過剰な風量となる運転を防止することができる。よって、排風機とジェットファンとの運転組合せで、最適な換気風量が得られるとともに、消費電力を必要最小とする運転組合せを決定することができる。

40

#### 【0012】

この場合、請求項2に記載のように、前記制御手段は、第1の時間間隔で前記消費電力が最小となる運転組合せを選定する選定手段と、前記第1の時間間隔毎に前記選定した運転組合せによる前記各換気機の運転風量を決定する風量決定手段とを有し、さらに、前記第1の時間間隔前に選定されている現在の運転組合せでの合計消費電力が、今回新たに選定した運転組合せでの合計消費電力よりも小さく、かつ、前記道路トンネル内の煙霧透過

50

率、道路トンネル内の一酸化炭素濃度及び道路トンネル内の風速がそれぞれ目標値を満足している場合には、前記今回新たに選定した運転組合せへの変更を行うことなく、前記現在の運転組合せによる運転風量をそのまま維持させる判定手段を備えることが望ましい。

【0013】

このようにすれば、より消費電力を少なくするのに有利となる。

【0014】

また、請求項3に記載のように、トンネル内の風速に基づき、前記第1の時間間隔よりも短い第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第1の補正値を算出する第1の補正値算出手段と、トンネル内の煙霧透過率に基づき、前記第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第2の補正値を算出する第2の補正値算出手段と、トンネル内の一酸化炭素濃度に基づき、前記第2の時間間隔で前記各換気機毎に前記運転風量についての第3の補正値を算出する第3の補正値算出手段と、前記第1～第3の補正値算出手段よりの信号を受け、前記各換気機毎に、前記第1～第3の補正値を比較して、その中の最大値を前記各換気機の目標運転風量についてのフィードバック補正値とするフィードバック補正値設定手段とを備え、前記制御手段は、前記各換気機毎に、前記運転風量となるように前記フィードバック補正値を用いてフィードバック制御を行う、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置とすることができる。

10

【0015】

このようにすれば、刻々と変化する道路トンネル内の状況に応じて、最適な運転風量となるよう随時補正することができる。

20

【0016】

なお、請求項4に記載のように、前記制御手段は、前記第1の時間間隔での運転組合せの選定時と、前記第2の時間間隔でのフィードバック補正値の設定時とが一致する場合には、前記フィードバック補正値の設定を行うことなく、前記運転組合せの選定を行う構成とすることが望ましい。

【0017】

このようにすれば、消費電力を最小とすることと、道路トンネル内の状況の変化に対する補正との両立が図れる。

【0018】

請求項5に記載のように、前記選定手段は、前記各換気機についての運転風量と消費電力との関係を示すマップを用いて、前記合計消費電力が最小となるものを選定することができる、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置とすることができる。

30

【0019】

このようにすれば、消費電力が最小となる運転組合せを選定することが容易となる。

【0020】

一方で、請求項6の発明は、道路トンネル内に換気機として一以上のジェットファン及び排風機が設置され、前記各換気機の風量が無段階に調整可能であり、必要換気風量となるように前記各換気機の風量制御を行う、排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気方法であって、前記必要換気風量に基づき、ジェットファン風量を決定し、その後、集中排気風量を決定することで前記必要換気風量を満たす前記各換気機の運転組合せを選出するステップと、前記各運転組合せでの前記道路トンネル内の風速を算出するステップと、予測される交通量による煤煙排出量及び前記必要換気風量に基づき前記道路トンネル内の汚染濃度比を算出するステップと、前記選出された各運転組合せについての合計消費電力を算出するステップと、前記選出された各運転組合せのうち、前記汚染濃度比が設定濃度比未満でかつ前記風速が設定風速以上のものの中から、前記合計消費電力が最小となる運転組合せを選定し、前記選定された運転組合せに基づき、前記各換気機を駆動制御するステップとを備えることを特徴とする。

40

【0021】

このようにすれば、請求項1の発明と同様な作用効果を期待できる。

50

## 【 0 0 2 2 】

この場合、請求項 7 に記載のように、前記各換気機を駆動制御するステップは、前記第 1 の時間間隔前に選定されている現在の運転組合せでの合計消費電力が、今回新たに選定した運転組合せでの合計消費電力よりも小さく、かつ、前記道路トンネル内の煙霧透過率、道路トンネル内の一酸化炭素濃度及び道路トンネル内の風速がそれぞれ目標値を満足している場合には、前記今回新たに選定した運転組合せへの変更を行うことなく、前記現在の運転組合せによる運転風量をそのまま維持させることで、より消費電力を少なくするのに有利となる。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 3 】

本発明は、排風機とジェットファンとによる風量を無段階に制御することにより、必要換気風量を細かく制御することができ、過剰な風量となる運転を防止することができる。よって、排風機とジェットファンとの運転組合せで、最適な換気風量が得られるとともに、消費電力を必要最小とする運転組合せを決定することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 4 】

【 図 1 】本発明に係る排風機とジェットファンを組み合わせた道路トンネル換気装置の構成要素を示す概略説明図である。

【 図 2 】制御装置による風速制御の流れを示す流れ図である。

【 図 3 】30分先予測交通量の説明図である。

【 図 4 】1時間先予測交通量の説明図である。

【 図 5 】風量制御の流れを示すブロック図である。

【 図 6 】風量制御の流れを示すブロック図である。

【 図 7 】風量制御の流れを示すブロック図である。

【 図 8 】ジェットファン、排風機を用いた風量制御における時間と、風量及び消費電力との関係を示し、( a )は無段階制御の場合の図、( b )は台数制御(ステップ制御)の場合の図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 2 5 】

以下、本発明の実施の形態を図面に沿って説明する。

## 【 0 0 2 6 】

図 1 に示すように、道路トンネル 1 は一方通行で、入口側 P 1 には、2つのトンネル換気所(坑口側トンネル換気所 1 A、中央トンネル換気所 1 B)が設置されており、そのトンネル換気所 1 A、1 B 内に、風量を調整できる排風機(坑口側排風機 2、中央排風機 3)がそれぞれ設置されている。この排風機 2、3 は、インバータ駆動方式、動翼可変機構などにより、無段階で風量変更が可能である。

## 【 0 0 2 7 】

また、出口側 P 2 には、一以上のジェットファン( J F ) 4 が、風向風速計( A V 計) 5 A、5 B、煙霧透過率測定装置( V I 計) 6 A、6 B 及び一酸化炭素検出装置( C O 計) 7 A、7 B の間に挟まれて配置され、それらの更に出口側には、道路トンネル 1 内を走行する車両の車種(例えば、大型車、小型車)、平均速度、交通量を検知する交通量測定装置(トラフィックカウンタ) 8 が設置されている。

## 【 0 0 2 8 】

このような構成に基づき、風向風速計 5 A、5 B、V I 計 6 A、6 B 及び C O 計 7 A、7 B や交通量測定装置 8 からの信号に基づいて、制御装置(制御手段) 9 が、現状の交通量を把握し、一定時間先(例えば、30分先、1時間先)の予測交通量から煤煙排出量を算出し、目標運転風量を決定するようになっている。この決定した目標運転風量に基づき、最小消費電力の運転組合せを選出する。また、この制御装置 9 は、道路トンネル 1 内の煙霧透過率、一酸化炭素濃度及び風向・風速情報を取り込み、後述する濃度風速制御により現状の換気風量を補正する機能も有する。なお、この実施の形態では、トンネル出口ラ

10

20

30

40

50

ンプ1Cとしての分岐部があるので、2つの風向風速計5A、5B、VI計6A、6B及びCO計7A、7Bが設置されているが、分岐部がない道路トンネルの場合には道路トンネル内の風向・風速、煙霧透過率、一酸化炭素濃度は一様であると推測されるので、それらは1つずつで足りる。

【0029】

ここで、ジェットファン4は、インバータ駆動方式で、無段階で風量を変更できるようになっている。風向風速計5A、5Bは、道路トンネル1内の風向・風速を測定するものである。VI計6A、6Bは、道路トンネル1内の煙霧透過率を測定するものである。CO計7A、7Bは、道路トンネル1内の一酸化炭素濃度を測定するものである。交通量測定装置8は、道路トンネル1内を走行する車両の車種（例えば、大型車、小型車）、平均速度、交通量についての情報に基づき、道路トンネル1内の渋滞の有無を判断し、制御装置9に出力するようになっている。

10

【0030】

続いて、制御装置9による風量制御について説明する。

【0031】

図2に示すように、まず、交通量予測、汚染発生量予測（煤煙排出量予測）、換気運転計画の順に実行される。なお、道路トンネル1内を任意の複数の区間に分割して、各区間毎に風量制御するものとし、交通量予測と汚染発生量予測については、次に説明する一般的な算出手法を採用している。なお、図2における各処理を並行して行うようにしてもよいのはいうまでもない。

20

・交通量予測

現在～30分先の予測交通量が算出され（ステップS1）、30分先～1時間先の予測交通量が算出され（ステップS2）、現在～1時間先の予測交通量が算出され（ステップS3）、それから、各区間の予測交通量が算出される（ステップS4）。

【0032】

交通量の予測は、周知の方法で行い、30分の周期で現時点から1時間先の予測平均交通量を求める。処理は道路トンネル内を走行する車両の車種毎とし、例えば、以下の手順(i)～(iii)又は(i)～(iv)の手順で行う。

(i) 30分先予測交通量の算出

既知の30分積算交通量 $(N_{30k}, N_{30k-1}, \dots, N_{30k-p+1})$ と交通パターンテーブルの差から30分先予測交通量 $N_{30k+1}$ （台/30分）を、次のようにして求める（図3参照）。ここで、30分積算交通量に除外データが含まれる場合は、交通量パターンを積算交通量として使用する。

30

【0033】

【数1】

$$Y_{30, K-i} = N_{30, K-i} - NP_{K-i} \quad (i=0, 1, \dots, p-1)$$

$$Y_{30, K+1} = \sum_{i=1}^{p-1} b_{li} \cdot Y_{30, K-i}$$

$$N_{30, K+1} = NP_{K+1} + Y_{30, K+1}$$

40

$Y_{30}$  : 30分積算交通量と交通量パターンテーブルの差（台/30分）

$NP_K$  : 交通量パターンテーブル（台/30分）

$N_{30, K+1}$  : 30分先予測交通量（台/30分）

$b_{li}$  : 予測係数（パラメータ）

$p$  : 予測次数（パラメータ）

(ii) 1時間先予測交通量の算出

50

30分先予測交通量 $N_{30, K+1}$ として、同様の手法により1時間先予測交通量 $N_{30, K+2}$ を求める。ここで、30分積算交通量に除外データが含まれる場合、交通量パターンを積算交通量として使用する。

【0034】

【数2】

$$Y_{30, K-i} = N_{30, K-i} - NP_{K-i} \quad (i=0, 1, \dots, p-2)$$

$$Y_{30, K+2} = \sum_{i=1}^{p-1} b_{li} \cdot Y_{30, K-i}$$

$$N_{30, K+2} = NP_{K+2} + Y_{30, K+2}$$

10

(iii)現在から60分先までの予測平均交通量の算出

(i)(ii)で求められた予測交通量 $N_{30, K+1}$ 、 $N_{30, K+2}$ （台/30分）から1時間先までの予測平均交通量 $T_{160K}$ （台/h）を求める（図4参照）。

【0035】

【数3】

$$T_{160K} = (N_{30, K+1} + N_{30, K+2}) \quad (\text{台/h})$$

20

(iv)なお、トンネル途中に分岐路がある場合には、分岐路から下流あるいは上流の交通量は積算交通量比率で分割すればよい。

・汚染発生量予測

大型車混入率が算出され（ステップS5）、煤煙排出量平均値が算出され（ステップS6）、単位基準換気量が算出され（ステップS7）、それから、各区間の所要換気量が算出される（ステップS8）。処理は、例えば、以下(i)～(iv)の手順で行う。

【0036】

汚染発生量予測は、周知のように、1時間先予測平均交通量から煤煙排出量平均値を算出し、区間所要換気量を求める。

(i)大型車混入率の算出

30

次の式により各区間の大型車混入率を算出する。

【0037】

【数4】

$$\gamma_L = T_{160K} / N$$

$\gamma_L$  : 大型車混入率 (=大型車交通量/トンネル内合計交通量)

$N$  : トンネル内合計交通量 (台/h)

(ii)煤煙発生量の算出

40

次の式により煤煙排出量平均値を計算する。

【0038】



## 【数5】

$$\begin{aligned}\mu &= \gamma_L \times \mu_1 + (1 - \gamma_L) \times \mu_2 \\ \sigma_2 &= \gamma_L \times \{\sigma_1^2 + (\mu_1 - \mu)^2\} + (1 - \gamma_L) \times \{\sigma_2^2 + (\mu_2 - \mu)^2\} \\ \mu_1 &= \{\sigma_L \times R_L \times K_V \times K_S \times K_{h,VI}\} + \sigma_L \times (1 - R_L) \\ \\ \sigma_1 &= \{\sigma_L \times R_L \times K_V \times K_L \times K_{h,VI}\} + \sigma_L \times (1 - R_L) \\ \mu_2 &= \{\mu_S \times R_S \times K_V \times K_S \times K_{h,VI}\} + \mu_S \times (1 - R_S) \\ \sigma_2 &= \{\sigma_S \times R_S \times K_V \times K_S \times K_{h,VI}\} + \sigma_S \times (1 - R_S)\end{aligned}$$

10

- $\mu$  : 煤煙排出量平均値 (m<sup>2</sup>/km)  
 $\mu_S$  : 小型車平均煤煙排出量 (m<sup>2</sup>/km)  
 $\sigma$  : 煤煙排出量平均値  $\mu$  に対する標準偏差 (m<sup>2</sup>/km)  
 $\sigma_L$  : 大型車煤煙排出量標準偏差 (m<sup>2</sup>/km) (パラメータ)  
 $\sigma_S$  : 小型車煤煙排出量標準偏差 (m<sup>2</sup>/km) (パラメータ)  
 $R_L$  : 大型車煤煙微粒子率 (%) (パラメータ)  
 $R_S$  : 小型車煤煙微粒子率 (%) (パラメータ)  
 $K_V$  : 速度補正係数 (パラメータ)  
 $K_L$  : 速度勾配補正係数 (大型) (パラメータ)  
 $K_S$  : 速度勾配補正係数 (小型) (パラメータ)  
 $K_{h,VI}$  : 標高補正係数 (煤煙) (パラメータ)

20

## (iii) 単位基準換気風量の算出

次の式により、煤煙の単位基準換気量  $q_{VI, n}$ 、COの単位基準換気量  $q_{CO}$  を計算する。

【0039】

## 【数6】

(煤煙)

$$q_{VI, n} = (A/B)^2$$

$$\text{ここで、} A = 3\sigma + \sqrt{9\sigma^2 + 8\mu \cdot K_{VI} \cdot A_{r, n} \cdot 1000}$$

$$B = 60 \times \sqrt{8A_{r, n} \cdot 1000} \cdot K_{VI}$$

(CO)

$$q_{CO} = \mu_{CO} / (3600 \times K_{CO} \times 10^{-6})$$

$\mu_{CO}$  : 大型車小型車CO排出量平均値 (m<sup>3</sup>/km)

$K_{VI}$  : VI目標濃度(1/m)  $K_{VI} = (-1/100) \times \ln(VI\text{目標値}(\%)/100)$

$K_{CO}$  : CO目標濃度(ppm)  $K_{CO} = CO\text{目標値}(\text{ppm})$

$A_r$  : 区間断面積 (m<sup>2</sup>) (パラメータ)

$q$  : 単位基準換気量 (m<sup>3</sup>/s・m)

$Q$  : 所要換気量 (m<sup>3</sup>/m)

$n$  : 区間の番号

40

## (iv) 区間所要換気量の算出

煤煙の排出に必要な風量、COの排出に必要な風量及び出入口ランプに起因する風量を算出し、最も多いものを区間所要換気量  $Q$  とする。

【0040】

50

## 【数 7】

(煤煙)

$$Q_{VI,n} = L_n \cdot (1/1000) \cdot k_{VI,n} \cdot q_{VI,n} \cdot N$$

 $Q_{VI}$  : 煤煙の排出に必要な風量

L : 区間延長 (m) (パラメータ)

 $k_{VI}$  : 所要換気量補正係数 (煤煙) (パラメータ)

(CO)

$$Q_{CO,n} = L_n \cdot (1/1000) \cdot k_{VI,n} \cdot q_{VI,n} \cdot N$$

 $Q_{CO}$  : COの排出に必要な風量

(出入口・ランプ風量)

$$Q_{AV,n} = |\text{最低風速}| \times A_{r,n}$$

ここで、最低風速はパラメータ

 $Q_{AV}$  : 出口ランプに基づく風量

## ・換気運転計画

各区間の所要換気量に基づき、各換気機（排風機 2、3、ジェットファン 4）の運転組合せの選出が行われる（ステップ S 9）。つまり、今後 30 分の間に運転する各換気機の運転組合せを複数選出することになる（選出手段）。

## 【0041】

この所要換気量からの各換気機の運転組合せは、坑口持出しを加味した縦流換気方式で排風機 2、3 とジェットファン 4 を組み合わせる場合は、各換気機の運転組合せとして複数選出されることになる。例えば、(a)排風機 1 台、(b)排風機 1 台 + ジェットファン、(c)排風機 2 台、(d)排風機 2 台 + ジェットファンの如くである。それぞれのケースについて、消費電力を算出するが、消費電力の計算方法は、例えば、あらかじめ設定された各換気機についての運転風量と消費電力との関係を示すマップ（表 1 参照）を用いることができる。ここで、マップの各数値（消費電力）は、風量が消費電力の 3 乗に比例するという理論値を基にしている。

## 【0042】

そして、各換気機の運転組合せを選出する際に、トンネル内縦流換気風量（ジェットファン風量）を決定し、その後、集中排気風量を決定することで、ジェットファンを利用した最適な換気風量が得られるとともに、消費電力が最小となる、排風機とジェットファンによる運転風量の組合せ（排風機翼角（又は回転数）とジェットファン回転数の組合せ）を決定することができる。なお、ジェットファンと排風機が複数台ある場合には複数のパターンの組合せが得られる。

## 【0043】

10

20

30

40

【表 1】

	ジェットファン (kW)	中央換気所		坑口側換気所		
		送風機(kW)	排風機(kW)	送風機(kW)	排風機(kW)	
風量(%)	100%	250	353	710	205	999
	95	214	313	620	189	999
	90	182	280	540	168	968
	85	154	246	470	152	865
	80	128	213	410	133	788
	75	105	188	360	116	674
	70	86	163	310	101	603
	65	69	139	270	86	541
	60	54	121	240	72	476
	55	42	104	210	61	412
	50	31	86	180	51	385
	45	23	74	165	42	329
	40	16	63	140	36	265
	35	11	56	120	30	216
	30	7	51	105	27	177
	25	4	0	0	23	151
	20	2	0	0	0	126
	15	1	0	0	0	101
	10	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	—	
定格風速(m/s)	35	—	—	—	—	
定格風量(m <sup>3</sup> /s)	—	92	200	92	200	

10

20

30

各区間の予測交通量に基づき、ステップS10で各区間風速の算出が行われる（風速算出手段）。

## 【0044】

各区間の所要換気風量及び予測される交通量による煤煙排出量（煤煙排出量平均値）に基づき、ステップS11で各区間の濃度比（汚染濃度比）が算出される（濃度比算出手段）。ここで、濃度比 = ( 区間の所要換気風量 ) / ( 煤煙排出量平均値 × 区間断面積 ) であり、この濃度比は、設定濃度比（例えば、1.0）未満であることが望まれる。

## 【0045】

ステップS9で選出された運転組合せ毎に、ステップS12で、合計消費電力量（各換気機の消費電力量の合計）を算出する（消費電力算出手段）。

40

## 【0046】

ステップS11で算出された区間の濃度比に基づき、ステップS13で最小消費電力量の運転組合せ（換気運転計画（予測制御）による各換気機の運転組合せ）を選定する（選定手段）。この判定は、例えば、毎時00分と30分という具合に30分間隔（第1の時間間隔）で、即ち30分経過毎に行われる。つまり、前記マップ（表1参照）から、各運転組合せの消費電力を算出し、消費電力が最小となる運転組合せを最終的な運転組合せとして選定することになる。これは、予測される交通量による煤煙排出量を基に予測した各換気機の風量、つまり、フィードフォワード制御により決定した風量であり、30分毎に見直されるものである。この値が、後述するように、定期的に（例えば、10分毎に）道

50

路トンネル内の風速、煙霧透過率、一酸化炭素濃度を基に、後述するフィードバック制御により補正される。

【 0 0 4 7 】

それから、運転計画実施判定を行う、つまり、算出した換気機の運転組合せの採用可否を判定する（ステップ S 1 4）。この判定によって、各区間の濃度比が設定濃度比未満かつ前記風速が設定風速（最低風速）を確保できる各換気機の運転組合せの中で消費電力が最小となるものを選定する。この判定は、例えば、第 1 の時間間隔で行われることになり、運転計画実施判定で算出された運転計画風量と現状値（各換気機の現状の風量）との比率で目標運転風量が決定される（風量決定手段）。具体的には、図 5 に示すように、換気運転計画の出力である換気機運転計画風量、換気機現状値風量、換気運転計画出力比率  $a$ （パラメータ）に基づいて、一定の演算が行われ、換気機運転計画風量と換気機現状値風量との出力分配が決定され、換気機目標運転風量が定まる。例えば、 $a$  が 1 の場合は毎時 0 0 分と 3 0 分にこれまでの風量をリセットし、換気機運転計画風量を新たな風量として出力する一方、 $a$  が 0 の場合は、換気機運転計画風量を採用せず、換気機現状値風量を換気機最終風量とし、出力する。

10

【 0 0 4 8 】

一方、前記各換気機の運転組合せを選定する毎時 0 0 分と 3 0 分との間においては、例えば、1 0 分間隔（第 2 の時間間隔）で、つまり、毎時 0 0 分については 1 0 分及び 2 0 分、毎時 3 0 分については 4 0 分及び 5 0 分に、図 6 に示すように、現状値に、後述するフィードバック補正量（フィードバック補正值）が加算された値が新たな目標運転風量となる。なお、一の換気運転計画による換気機の運転組合せにおいて各換気機の運転組合せの選定と、フィードバック補正量の設定とが同時に行われることはない。

20

【 0 0 4 9 】

ところで、例えば、毎時 0 0 分と 3 0 分において、出力比率  $a$  を用いて目標運転風量を調整しているのは、(i) 毎時 0 0 分、3 0 分で見直す換気機風量の変動が大きい場合には換気運転計画出力比率  $a$  を下げたり、(ii) 毎時 1 0 分及び 2 0 分、又は 4 0 分及び 5 0 分でのフィードバック補正量が大きい場合には、換気運転計画出力比率  $a$  を下げたり、(iii) 換気運転計画（毎時 0 0 ~ 1 0 分、3 0 ~ 4 0 分）での制御が追従しない場合には、換気運転計画出力比率  $a$  を上げたりすることで、目標運転風量の変更に伴う、前記各換気機の負荷を軽減するためである。

30

【 0 0 5 0 】

この判定によって、換気運転計画での消費電力が現状の消費電力よりも大きく、かつ、道路トンネル内の煙霧透過率（ $V I$ ）、一酸化炭素濃度（ $C O$ ）及び風速（ $A V$ ）がそれぞれすべて目標値をクリアしている場合には、現状の各換気機の運転組合せが維持される（判定手段）。なお、煙霧透過率（ $V I$ ）、一酸化炭素濃度（ $C O$ ）、風速（ $A V$ ）の目標値は、道路トンネル毎に換気制御パラメータとして設定されている（例えば、 $V I$  : 6 0 %、 $C O$  : 6 0 p p m、風速 : 2 m / s など）。そして、換気制御パラメータは最適な換気制御となるように調整される。

【 0 0 5 1 】

このようにして運転計画実施判定が行われるが、ステップ S 1 5 で別途濃度風速制御にてフィードバック補正量（フィードバック補正值）が決定され（フィードバック補正值設定手段）、制御出力が組み合わされ（ステップ S 1 6）、最終的に各換気機の運転風量（目標運転風量）が決定される（ステップ S 1 7）。そして、前記各換気機毎に、前記運転風量（目標運転風量）となるように前記フィードバック補正值を用いて、排風機 2、3 及びジェットファン 4 の電動機の駆動がフィードバック制御される。

40

【 0 0 5 2 】

前記フィードバック補正值は、図 7 に示すようにして決定される。各補正量は、換気機毎に、 $A V$  計 5 A、5 B 毎に、 $V I$  計 6 A、6 B 毎に、 $C O$  計 7 A、7 B 毎に求められる。

【 0 0 5 3 】

50

各AV計5A、5Bの最低風速値、風速平均値、各AV計5A、5Bに共通の風速補正比例ゲインPw、各換気機、各AV計5A、5B（換気区間）毎に設定される風速#換気機補正係数に基づき風速補正量が算出される（第1の補正值算出手段）。ここで、Pwを変更した場合は、風速による各換気機風量が全体的に変化し、風速#換気機補正係数を変更した場合は、各換気機個別のフィードバック補正值が変化する。

【0054】

各VI計6A、6B毎に設定されるVI目標値、各VI計6A、6B毎の移動平均値であるVIN平均値、VI計6A、6B共通のVI補正量比例ゲイン、各換気機、各VI計6A、6B（換気区間）毎に設定されるVI#換気機補正係数に基づきVI補正量が算出される（第2の補正值算出手段）。ここで、PVIを変更した場合は、VI値による各換気機風量が全体的に変化し、VI#換気機補正係数を変更した場合は、各換気機個別のフィードバック補正值が変化する。

10

【0055】

各CO計7A、7B毎に設定されるCO目標値、各CO計7A、7B毎の移動平均値であるCON平均値、CO計7A、7B共通のCO補正量比例ゲイン、各換気機、各CO計7A、7B（換気区間）毎に設定されるCO#換気機補正係数に基づきCO補正量が算出される（第3の補正值算出手段）。ここで、PCOを変更した場合は、CO値による換気機風量が全体的に変化し、CO#換気機補正係数を変更した場合は、換気機個別のフィードバック補正值が変化する。

【0056】

20

そして、HSSにおいて、各換気機毎に、風速補正量、VI補正量、CO補正量を比較し、その中の最大値をフィードバック補正量として採用し、各換気機毎にフィードバック補正值（最大値）を出力することになる。このフィードバック補正值は、毎時10分及び20分、又は40分及び50分のフィードバック制御に用いられ、坑口での持出しを抑制するためには補正係数を上げ、緩和する場合には下げればよい。

【0057】

本発明は、前述したほか、次のように変更して実施することができる。

【0058】

(i)前記実施の形態では、トンネル坑口（出口側）付近にジェットファン4が配置されている場合について説明しているが、道路トンネル内に一定間隔あるいは不規則にジェットファンが設置されている場合にも同様に適用することができる。

30

【0059】

(ii)前記実施の形態では、トンネル坑口（出口側）付近に一以上のジェットファンが配置されている場合について説明しているが、その台数については、道路トンネルに対応して適宜変更されるのはもちろんである。

【0060】

(iii)前記実施の形態では、道路トンネル内を複数の区間に分割して、各区間毎に制御しているが、道路トンネル全体を1つの区間として制御することができるのはもちろんである。

【0061】

40

(iv)制御装置9は、排風機2、3、ジェットファン4に対してそれぞれ1つ設けるほか、排風機2、3及びジェットファン4毎に設けることも可能である。

【0062】

(v)前記実施の形態では、道路トンネルは一方通行であるが、対面通行の道路トンネルにも適用できるのはもちろんである。

【符号の説明】

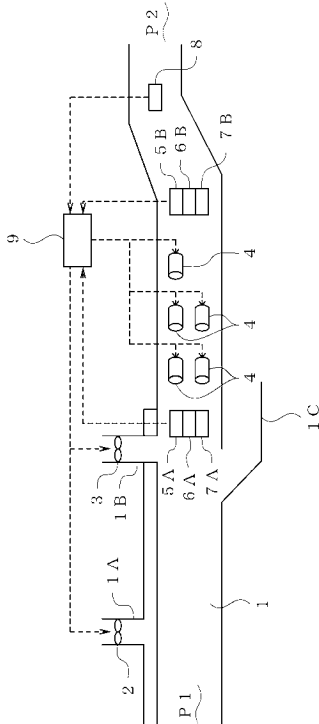
【0063】

- 1 道路トンネル
- 1A、1B トンネル換気所
- 2、3 排風機

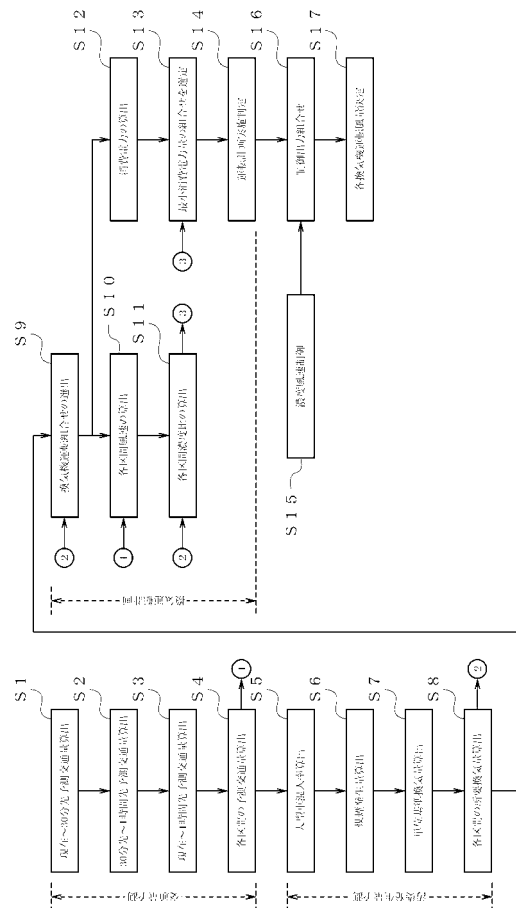
50

- 4 ジェットファン
- 5 A、5 B 風向風速計 (AV計)
- 6 A、6 B 煙霧透過率測定装置 (VI計)
- 7 A、7 B 一酸化炭素検出装置 (CO計)
- 8 交通量測定装置 (トラフィックカウンタ)
- 9 制御装置 (制御手段)

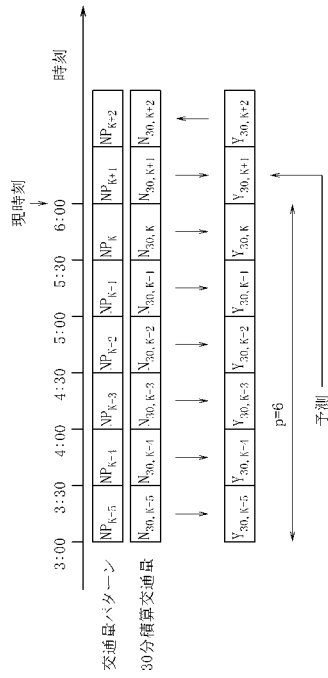
【図1】



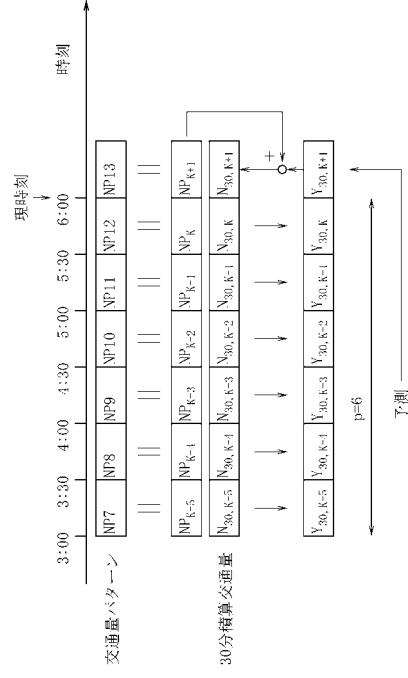
【図2】



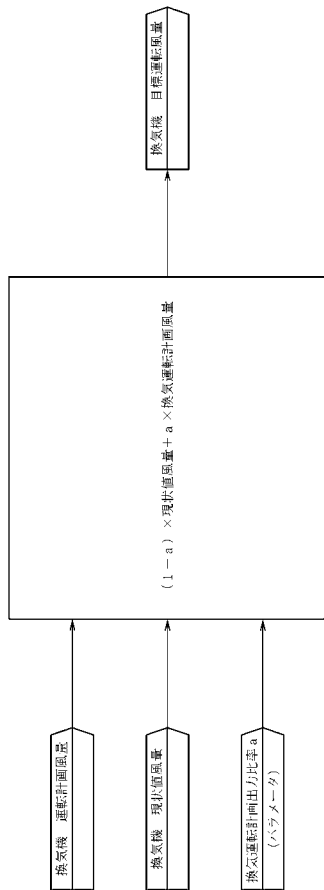
【 図 3 】



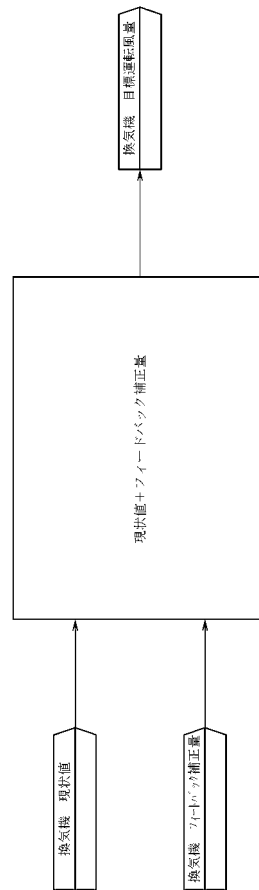
【 図 4 】



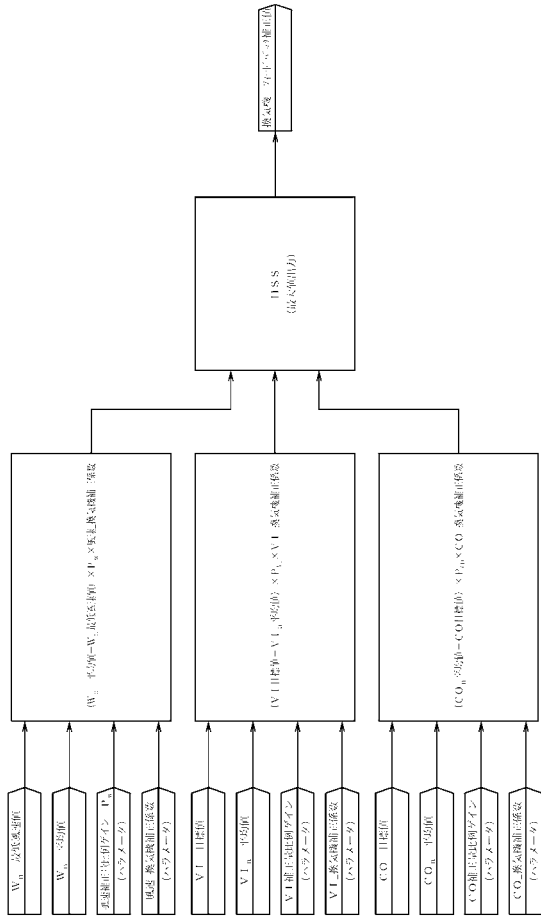
【 図 5 】



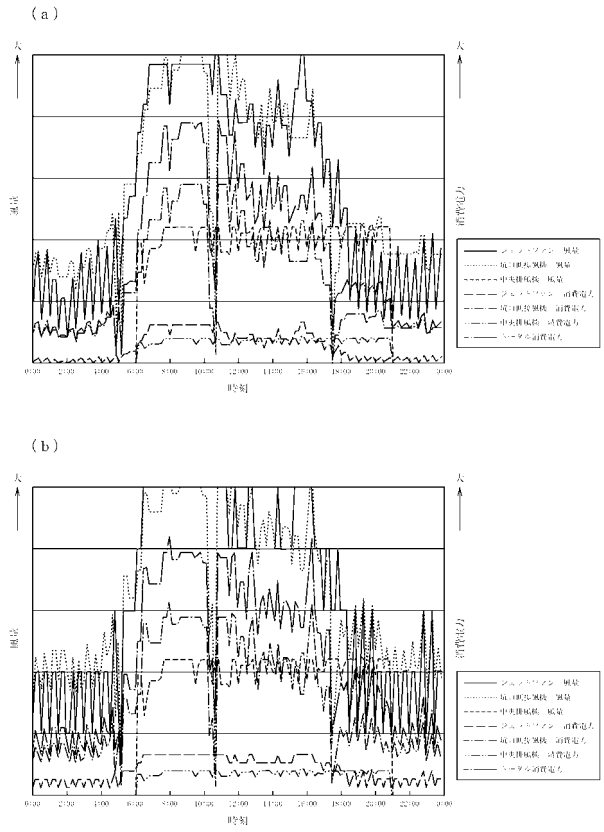
【 図 6 】



【図7】



【図8】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 弦巻 淳  
大阪府大阪市中央区久太郎町4丁目1番3号 阪神高速道路株式会社内
- (72)発明者 河合 孝幸  
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社 神戸工場内
- (72)発明者 倉野 寛之  
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社 神戸工場内

審査官 高 橋 祐介

- (56)参考文献 特開2004-027665(JP,A)  
特開2012-012923(JP,A)  
特開平01-235799(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E 2 1 F	1 / 0 0	-	1 / 1 8
F 2 4 F	7 / 0 0	-	7 / 1 0