

自然・交通換気力を有効に活用した道路トンネルの新しい換気制御技術



独立行政法人 土木研究所つくば中央研究所

SO HATSU (株)創発システム研究所

本技術の適用

・道路トンネルの換気設備制御
【換気設備のある供用中のトンネル・新設トンネル】

技術紹介 — 目次 —

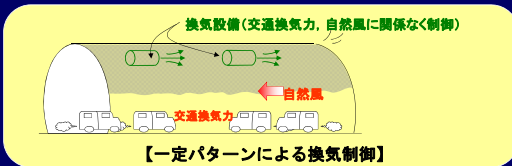
1. 道路トンネルの換気設計 概要・課題
2. トンネル内の自然風の把握
3. 交通換気力の把握
4. 新換気制御方式の概要
5. 実証試験Ⅰ（延長約1500mの事例）
6. 実証試験Ⅱ（延長約4000mの事例）
7. まとめ
8. 本技術の適用にあたって

●道路トンネルの換気施設設計

▶トンネル延長、交通量、換気対象物質の自動車排出ガス量等の諸条件に加えて、自動車の走行による交通換気力と自然風を考慮した設計が行われている。

●供用後の換気設備の運用の現状

▶時々刻々と変化する交通換気力や自然風とは関係なく、所要のトンネル内環境が最小限確保されるように一定パターンに従った制御をしている場合が多い。



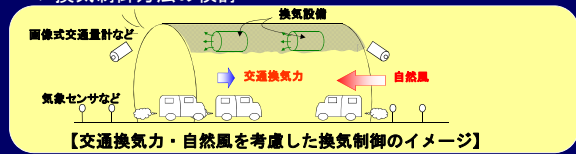
●道路トンネルの換気設備制御の課題

- ▶ランニングコストが高い
- ▶トンネル内環境が一時的に悪化する場合がある

▶換気設備の運用に交通換気力と自然風を考慮した制御を行えば換気設備のランニングコストを大幅に削減できる可能性が高い。

●交通換気力と自然風を活用した換気制御

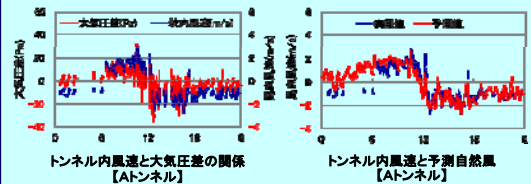
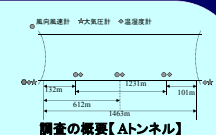
- ▶時々刻々と変化する交通換気力、自然風の把握
- ▶換気制御方法の検討



●トンネル内の自然風の把握

調査トンネル【未供用トンネル】

トンネル名	延長 (m)	断面形状	交通量 (台/日)	平均車速 (km/h)	縦断勾配 (‰)	両坑口の標高差 (m)	坑口方位
Aトンネル	1463	65.9	-	800	-3.0	43.0	南北
Bトンネル	1402	65.6	-	1200	0.4	5.6	南北
Cトンネル	2472	64.4	-	1100	-0.8	14.9	南北



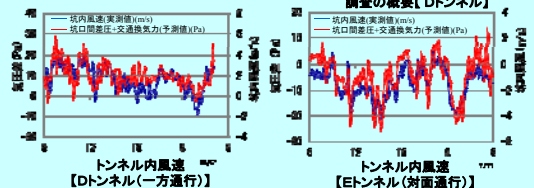
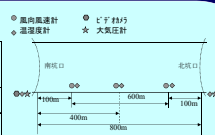
精度の高い両坑口間の大気圧差を把握することで、大気圧差とトンネル内風速とが連動している(B・Cトンネルも同様)。

→ 両坑口間の大気圧差からトンネル内の自然風が把握可能

●交通換気力の把握

調査トンネル【供用トンネル】

トンネル名	延長 (m)	断面形状	交通量 (台/日)	平均車速 (km/h)	縦断勾配 (‰)	両坑口の標高差 (m)	坑口方位
Dトンネル	800	64.1	一方	650	1.0	4.2	東西
Eトンネル	1288	73.4	対面	1500	2.5	31.1	南北



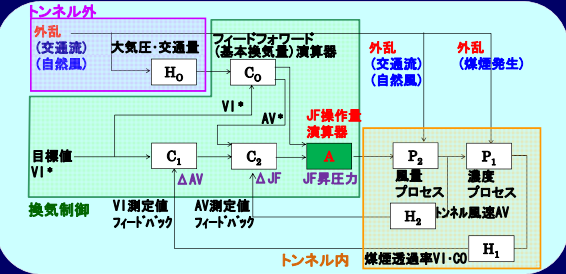
①両坑口間の大気圧差、②走行車両の台数・速度をもとに算出した交通換気力を考慮した気圧差(予測値)とトンネル内風速とが連動している。

→ 両坑口の大気圧差・交通換気力を把握することでトンネル内風速が把握可能

●新換気制御方式の概要

【換気制御の基本的な考え方】

- ①交通流・自然風を基に、目標VI値(煤煙透過率)に対する基本換気量の演算
- ②VI値フィードバックによる風速修正演算
- ③トンネル内風速フィードバックによる換気量修正演算
- ④必要換気風量に対する適切な換気機操作量の算定



7

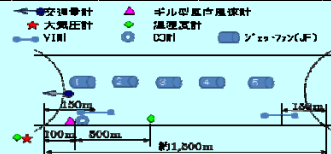
●実証試験 I (延長約1500mの事例)

実証試験トンネルの概要

トンネル名	延長 (m)	断面種 (m ²)	交通形態	平面曲率 R(m)	縦断勾配 (最大) (%)	両坑口の標高差(m)	坑口方位
Fトンネル	約1500	62.3	対面	4000	-1.0	3.4	東-西

換気施設および制御方式

換気方式	JF台数	換気制御方式	トンネル内の計測器	概略交通量 (台/日)
縦流JF	高風速型5台 φ1250mm	VI値に基づく フィードバック	VI計2台 (両坑口) CO計1台 (片坑口)	約23,000



実証試験トンネルの概要図

8

●実証試験 I (延長約1500mの事例)

換気制御方式の比較

換気制御	既設FB制御 (フィードバック)	新換気制御
制御の基本的考え方	両坑口のVI値を基に、VI値が低い方向へJFを運転する。	両坑口間の大気圧差・交通量をもとにトンネル内の自然風、交通換気力を推定し、JF運転を行う。
具体的な手法	制御ピッチ 上限VI値 下限VI値	10分間隔で制御 91%超：JF2台停止 90%超：JF1台停止 80%未満：JF1台追加運転 70%未満：JF2台追加運転
VI値：煤煙透過率		

9

●実証試験 I (延長約1500mの事例)



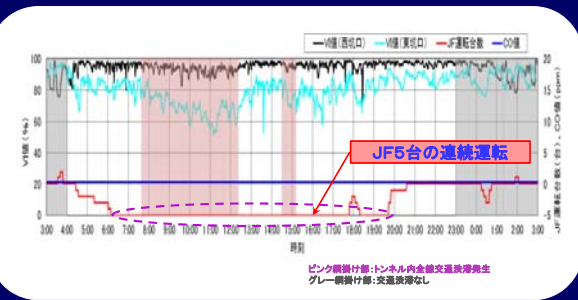
10

●実証試験 I (延長約1500mの事例)



11

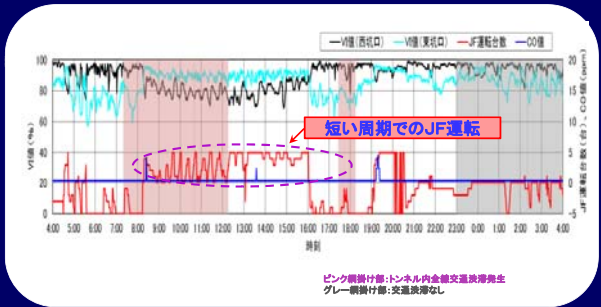
●実証試験 I (既設FB制御) VI値・CO値・JF運転実績結果



- > 設計濃度 (VI値40%以上、CO100ppm以下) を確保
- > 既設FB制御はJF5台の連続運転の時間帯が多い

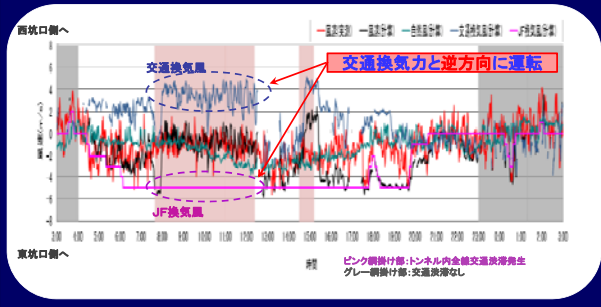
12

●実証試験 I (新換気制御)
VI値・CO値・JF運転実績結果



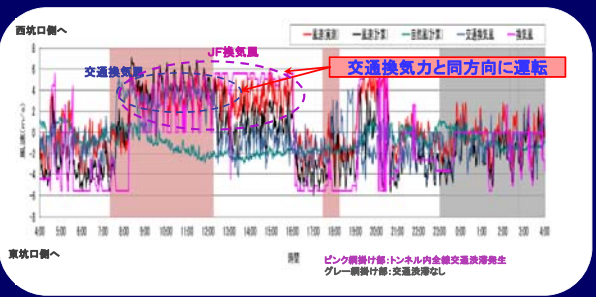
- > 設計濃度(VI値40%以上、CO100ppm以下)を確保
- > 新換気制御は短い周期でのJF運転

●実証試験 I (既設FB制御)
トンネル内の風向・風速結果



- > 既設FB制御では、交通換気力と逆方向にJF運転を実施
- > 実証試験中は、交通換気力・JF換気風がトンネル内風速に大きく影響

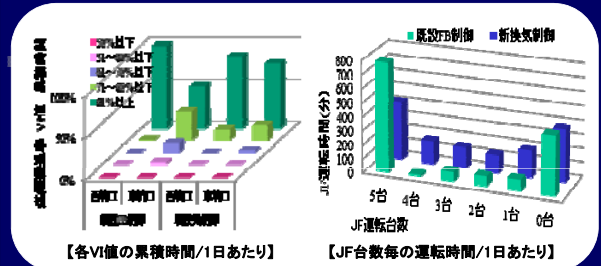
●実証試験 I (新換気制御)
トンネル内の風向・風速結果



- > 新換気制御では、交通換気力と同方向にJF運転を実施

新換気制御の機能を発揮

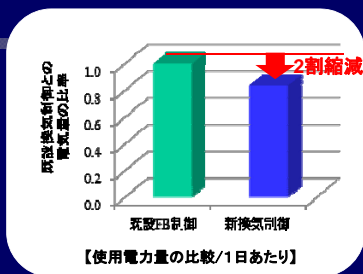
●実証試験 I
JF運転時間結果の比較



- > 既設FB制御：東坑口側のVI値が低下する時間帯が多い
- > 新換気制御：両坑口ともに同程度の時間帯割合
- > 新換気制御でのJF5台による運転時間は既設FB制御に比較して全体的に少ない

新換気制御の機能を発揮

●実証試験 I
使用電力量の比較



- > 新換気制御の電力量は既設FB制御に比較して約2割少ない

新換気制御の効果を発揮

●実証試験 I
換気シミュレーションによる効果の検討

【効果の検証】

- > 新換気制御は、自然風、交通換気力を常に把握しながら制御が可能
- > 交通渋滞が発生していないデータを用いて、換気シミュレーションによる効果の検証

【換気シミュレーションの概要】

項目	概要
風速モデル	一次元非圧縮モデル
汚染濃度モデル	一次元移流拡散方程式
交通モデル	マイクロ交通モデル

【解析結果】目標VI値の低下により、平均的なVI値が低下 → JF運転台数減少

【新換気 目標VI 80%】

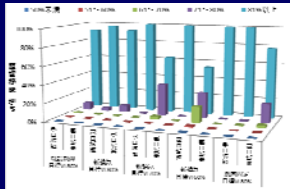
【新換気 目標VI 60%】

●実証試験Ⅰ 換気シミュレーションによる効果の検討

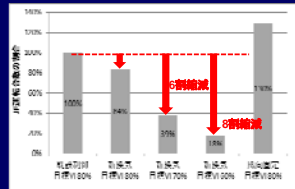
＞既設制御VI180%との比較(JF運転時間)

新換気制御 目標VI値80% → 84%
70% → 39%
60% → 18%
既設制御 風向固定 → 130%

＞新換気制御の適用により使用電力量の大幅な削減が見込める。



【VI値 累積時間】



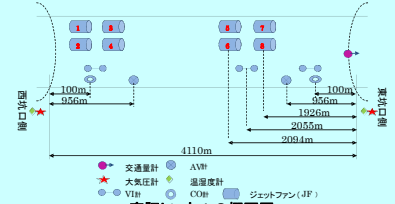
【JF運転時間の割合】

●実証試験Ⅱ(延長約4000mの事例)

実証試験トンネルの概要

トンネル名	延長 (m)	断面 (m ²)	交通形態	掘削勾配 (最大) (%)	両坑口の掘削高さ (m)	坑口方位
野トンネル	約4110	62.8	対向	2.0	120	東・西

換気方式	換気施設および制御方式			許容交通量 (台/日)
	JF台数	換気制御方式	トンネル内の計測器	
既設JF	高風速型9台 φ1300mm	VI値に基づくフィードバック	VI計5台 (両坑口・中間) CO計2台 (東坑口)	9700



実証トンネルの概要図

●実証試験Ⅱ(延長約4000mの事例)

換気制御方式の比較		
換気制御	既設FB制御 (フィードバック)	新換気制御
制御の基本的考え方	両坑口及び中央のVI値を基に、VI値が低い方向へJFを運転する。	両坑口間の大気圧差・交通量をもとにトンネル内の自然風、交通換気力を推定し、JF運転を行う。
制御ピッチ	10 間	制御
上限VI値	70%超: 1 ヌツ停止	
下限VI値	60%未満: JF1 ヌツ追加 (10 ヌツ追加)	

●実証試験Ⅱ(延長約4000mの事例) 調査状況



●実証試験Ⅱ(延長約4000mの事例) 調査状況

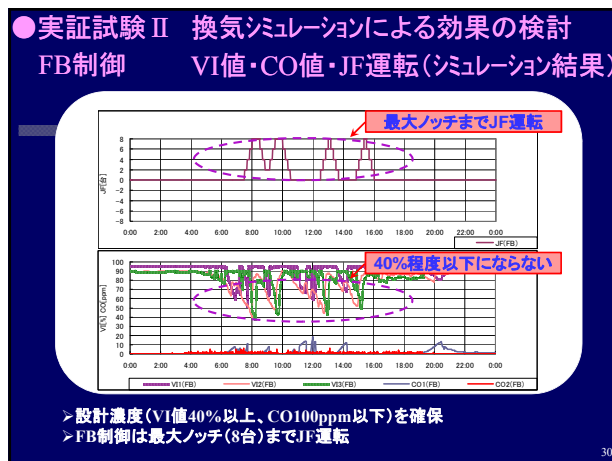
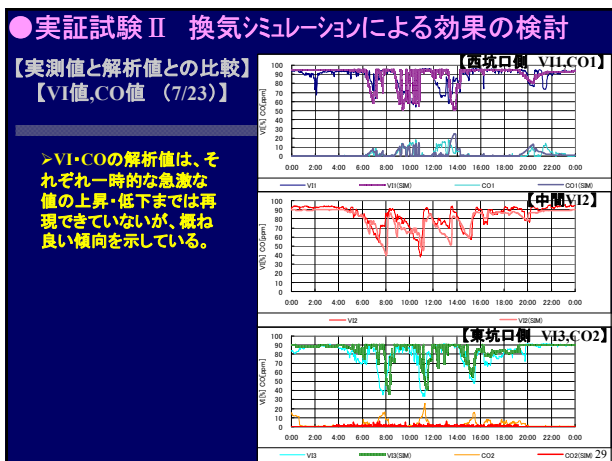
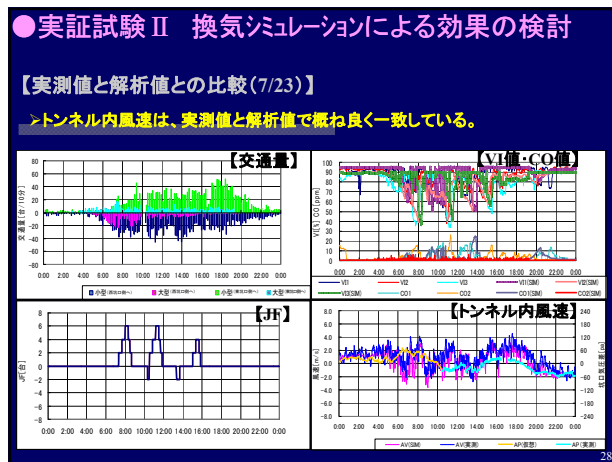
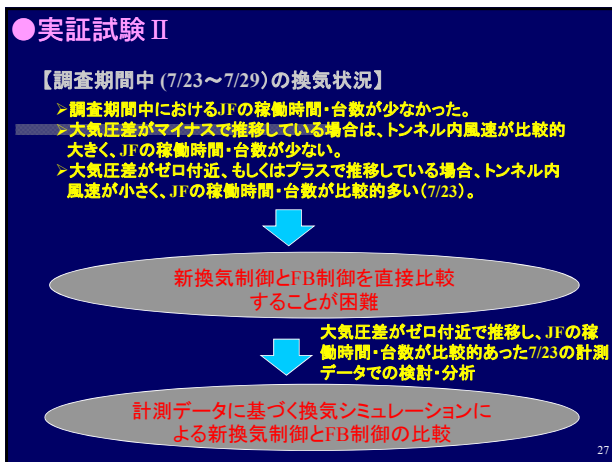
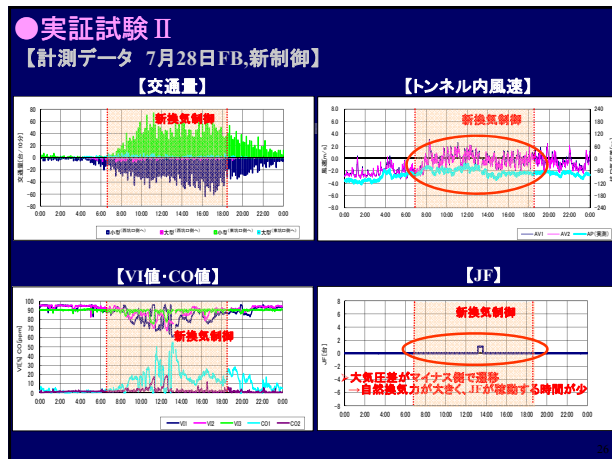
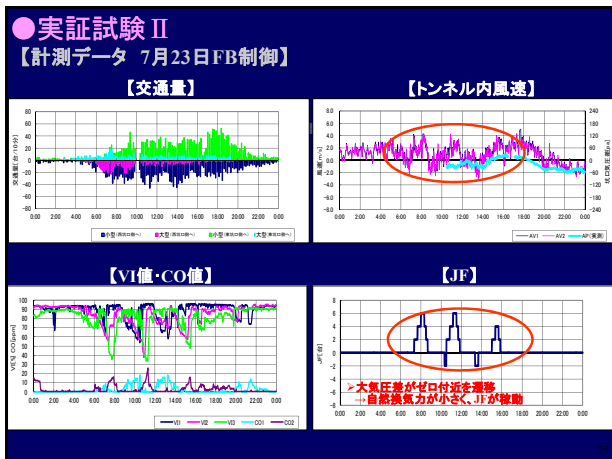


【西坑口側の電気室内】

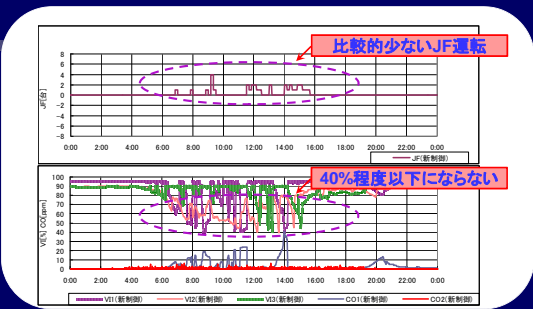
●FCVC-N 監視操作画面例

＞タッチパネルでの操作を基本とし、操作性を向上
＞各機能ボタンをアイコン化し、感覚的に理解し操作できるようなデザイン



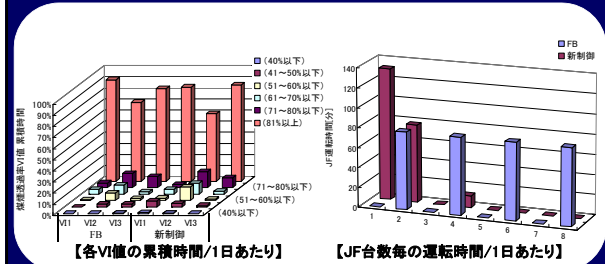


●実証試験Ⅱ 換気シミュレーションによる効果の検討
新換気制御 VI値・CO値・JF運転(シミュレーション結果)



＞設計濃度(VI値40%以上、CO100ppm以下)を確保
＞新換気制御は比較的少ないJF運転

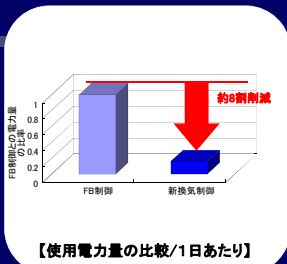
●実証試験Ⅱ
JF運転時間結果の比較(7/23)



＞FB制御: VI3側のVI値が低下する時間帯が多い
＞新換気制御: VI1、VI3ともに同程度の時間割合
＞新換気制御でのJF3台以上の運転は既設FB制御に比較して全体的に少ない

新換気制御の機能を発揮

●実証試験Ⅱ
使用電力量の比較



＞新換気制御の使用電力量は既設FB制御に比較して約8割少ない

新換気制御の効果を発揮

●まとめ

【自然風・交通条件を活用した道路トンネルの新換気制御技術】

- ＞両坑口間の大気圧差からトンネル内の自然風が把握可能である。
- ＞両坑口の大気圧差・交通換気力を把握することでトンネル内風速が把握可能である。
- ＞実証試験Ⅰ(延長約1500mの事例)
 - ・新換気制御の適用により、既設FB制御に比較して使用電力量を約2割削減できる可能性がある。
 - ・換気目標値のVI値を変更することで、さらに使用電力量の低減可能性がある。
- ＞実証試験Ⅱ(延長約4000mの事例)
 - ・新換気制御の適用により、既設FB制御に比較して使用電力量を約8割削減できる可能性がある。

換気設備の運用に交通換気力と自然風を考慮した制御を行えば換気設備のランニングコストを削減できることが確認された。

●本技術の適用にあたって
【自然風・交通条件を活用した道路トンネルの新換気制御技術】

【本システムの導入方法】

- ・計測機器の整備
- ・換気制御プログラムの整備

(1)計測機器の整備

- ①VI計(煤煙透過率計): 2台(トンネル内の両坑口付近に設置)
- ②トンネル内風向風速計: 最低1台
- ③交通量計: 最低1台(大型車・小型車の別、走行速度の検出が可能なもの)
- ④大気圧計: 2台(両坑口付近)

(2)換気制御プログラムの整備

- ①ソフト的な改良: 換気制御ソフトプログラムがプラグイン方式の場合に適用可能
 - ・換気制御ソフトの交換とデータインターフェースソフトの作成
 - ・既設メーカーのインターフェースソフトの改造
- ②換気制御装置の交換: 換気制御装置の交換が可能な場合に適用可能
 - ・換気制御装置(PLC又は産業用パソコン)の交換
 - ・データインターフェースソフトの作成
- ③換気制御盤の入れ替え: ①②の以外の場合に適用

●本技術の適用にあたって
【自然風・交通条件を活用した道路トンネルの新換気制御技術】

連絡先

独立行政法人 土木研究所
つくば中央研究所 道路技術研究グループ トンネルチーム
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6
TEL:(029)879-6791 FAX:(029)879-6796

株式会社 創発システム研究所
〒650-0035 兵庫県神戸市中央区浪花町64
三宮電ビル2階A-2
TEL:(078)325-3220 FAX:(078)325-3221