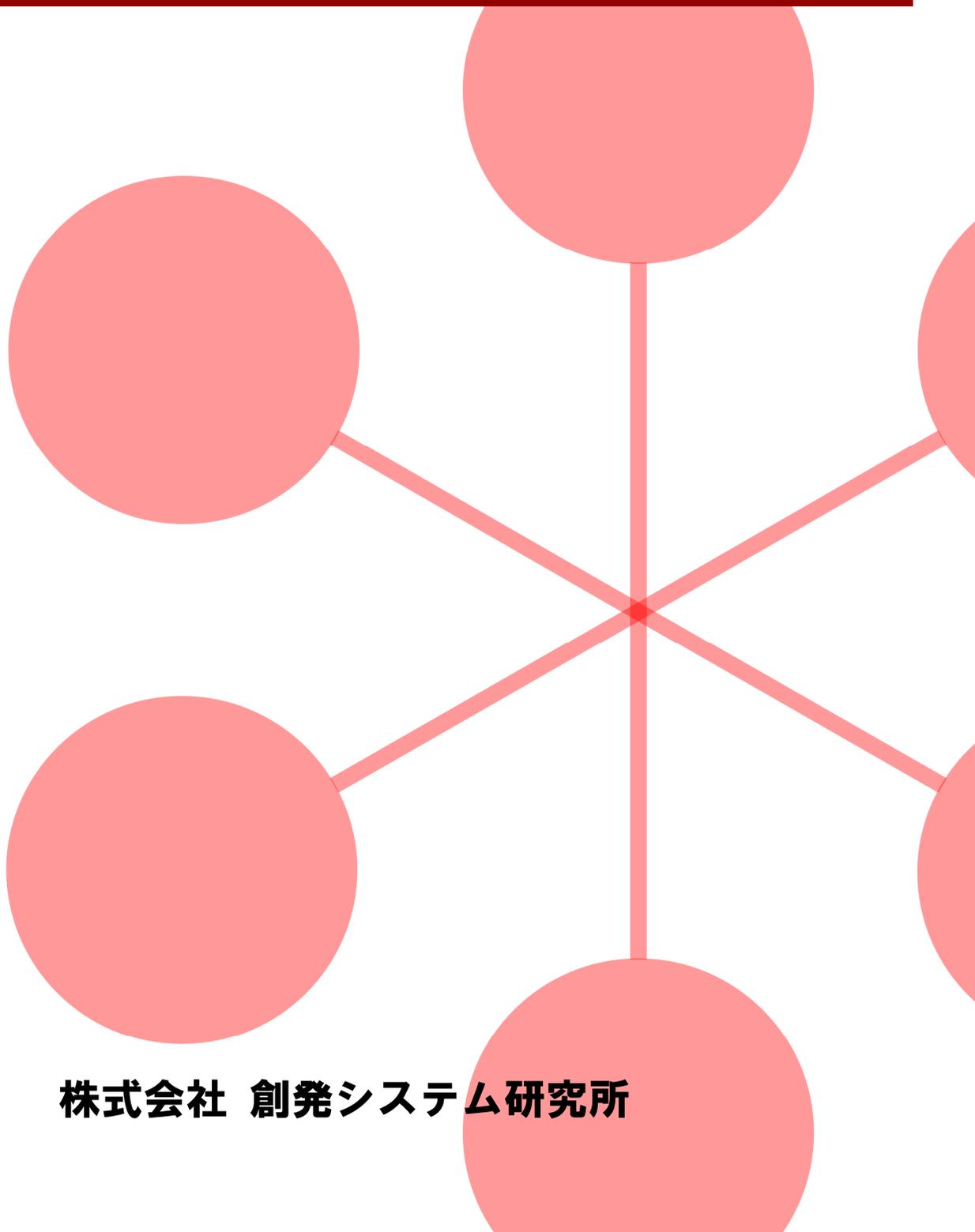


道路トンネル 排煙制御・監視システム

Road Tunnel Ventilation Control & Monitoring System



株式会社 創発システム研究所



Sohatsu Systems Laboratory Inc.
since 2000

目 次

～イントロダクション～

はじめに.....1

～リスクを検討する～

換気シミュレーション.....3

火災時避難シミュレーション.....5

リスク解析.....7

～火災を検知する～

熱画像検知式自動通報設備.....9

火点位置検出装置.....11

～環境を計測する～

ポンプレス CO 計.....13

断面風速計.....15

レーザ式車両検知器.....17

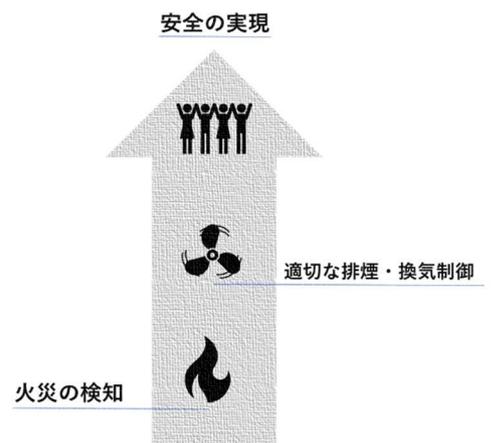
～風速を制御する～

インバータ換気動力盤.....19

排煙換気計測制御盤.....21

～坑内を監視する～

情報監視装置.....23

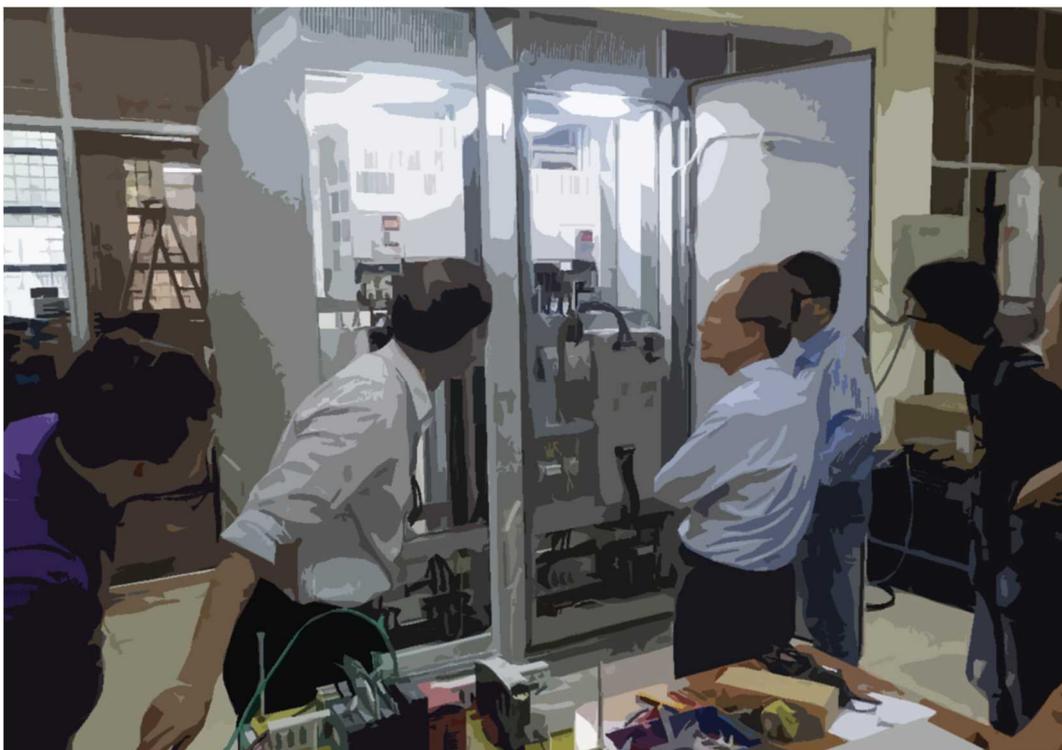


はじめに

道路トンネルにおける火災対策は、実質的な閉鎖空間であるという点に加えて、風による影響を考慮しなくてはなりません。とりわけ風下側が危険であることはよく知られており、それは対面通行トンネルに限らず、一方通行トンネルにおいても、渋滞が発生している場合には同様に危険です。

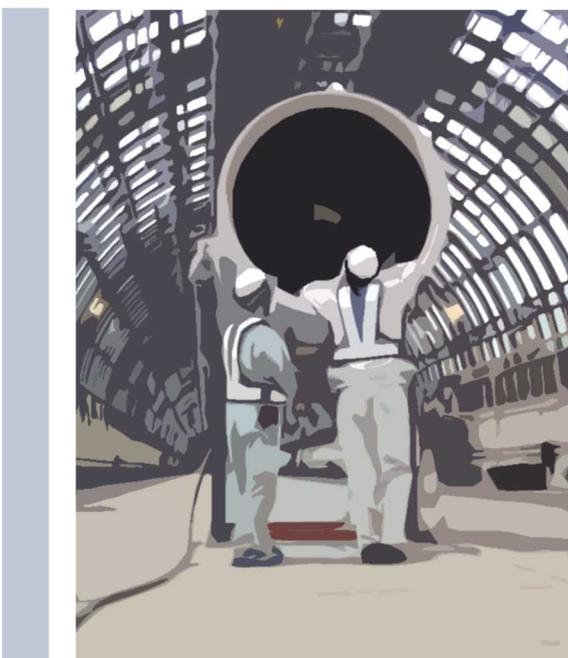


2000年にスタートアップした創発システム研究所が、それから約20年間、道路トンネルを対象に培ってきた技術と実績は、ジェットファンの効率的な制御を目的としたソフトウェアにはじまり、トンネル内の状態を計測する機器から、新たに開発を進める情報監視卓に至るまで、多岐に渡ります。





これらの製品群を、ひとまとめに「道路トンネル 排煙制御・監視システム」と呼ぶことにしました。それは創発システム研究所が、道路トンネル内における「火災の検知」から、「適切な排煙・換気制御」を経て「利用者の安全を実現する」までの一連の流れに、一貫して携わることを意味します。



持続可能な社会をかたちづくるにあたり、強靱なインフラの整備は、欠けてはならないエレメントです。創発システム研究所は、そういった次世代への責務を全うすべく、この「道路トンネル 排煙制御・監視システム」が、新しい道路トンネル非常用設備の一翼となれるよう、尽力し続けます。

換気シミュレーション

■ポイント

- ◆ 対象の道路トンネルにおける換気制御方式の効果についてシミュレート／評価します。
- ◆ 既設の設備において、採用している換気制御方式の有用性を評価します。
- ◆ 新設の設備において、設計の参考となる有意なシミュレーションを行います。

■概要

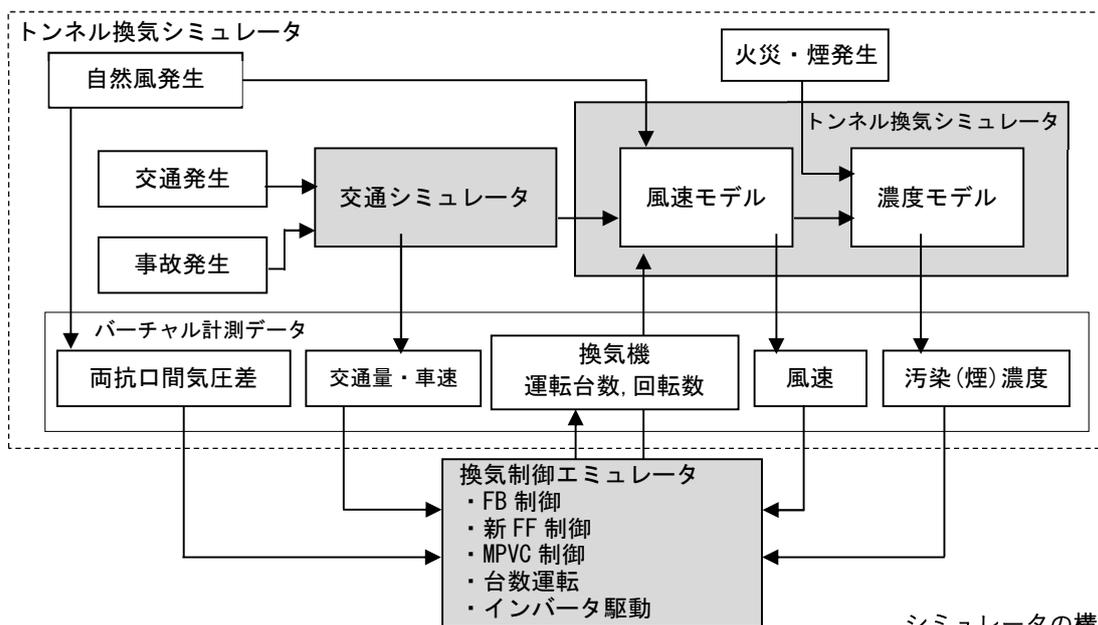
特定の換気制御システムの有用性をシミュレーションで評価するには、交通シミュレータ、トンネル換気シミュレータに加えて、評価の対象となる換気制御のエミュレータ（≒シミュレータ）が必要です。創発システム研究所は、これらのシステムを統合して同期し、より精緻なシミュレーション、ならびに解析評価を行います。

解析評価対象	
換気制御方式	フィードバック制御 新FF制御 MPVC制御
ジェットファン駆動方式	台数運転 回転数制御（インバータ駆動）

換気シミュレーションの解析評価対象

■シミュレーション～解析評価のプロセス

- ① トンネル諸元（延長、断面積、代表直径、勾配、ジェットファン口径・台数）を入力する。
- ② 交通データを入力する。
- ③ 換気制御方式、ジェットファン駆動方式を入力する。
- ④ シミュレーション解析評価を実行、結果をまとめ報告する。

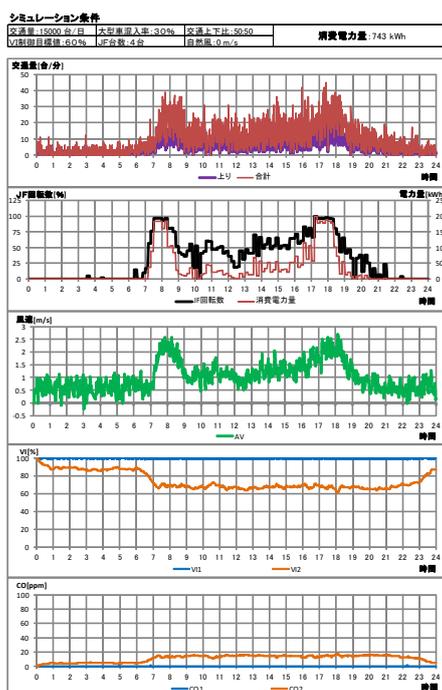
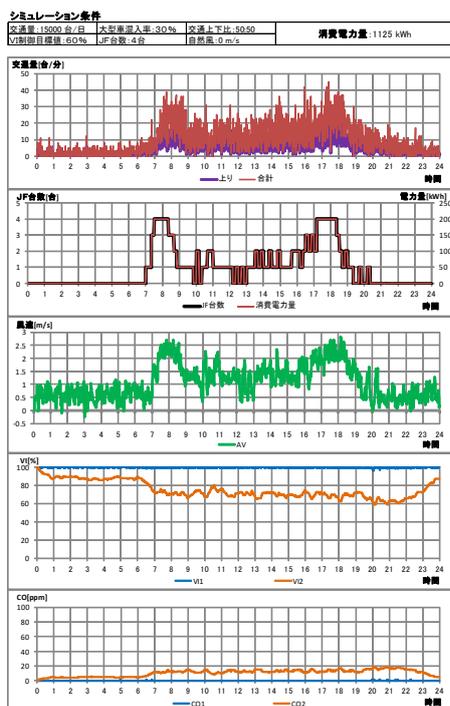


■仕 様

換気シミュレーション	
交 通	対面／一方通行 渋滞・事故に対応可能
トンネル規模	トンネル総延長 20km まで
トンネル形状	単管トンネル,複雑トンネル(複数の流入・流出ランプに対応可能)
換気方式	縦流換気／坑口集中排気／立坑送排／横流換気／半横流換気
換気機	ジェットファン／ブースターファン／電気集塵機／立坑送排風機／横流送排風機
状 態	平常時／非常時 (火災時)

■シミュレーション・イメージ (平常時)

換気制御方法の違いによるジェットファンの動きや、風速値、VI 値、CO 値の変化を、トレンドグラフで示し、電力量を算出します。換気制御方式毎に各項目の値の変化をグラフ化し、省エネ効果について分析します。



◀ジェットファンを台数制御／インバータ駆動させた際の風速値、VI 値、CO 値の変化をグラフ化したもの。このシミュレーションでは、各値に同様の変化がみられるのに対して、インバータ駆動の方が、消費電力が低いという結果を算出した。

平常時シミュレーション・イメージ

実績／シミュレーションの有用性

恵那山トンネル（一期線 8.4km）において、交通予測を用いた換気制御の有用性がシミュレーションで確認されました。また、関越トンネル（一期線 10.9km）においては、火災時の風速低下制御の有用性がシミュレーションで確認されています。

火災時避難シミュレーション

■ポイント

- ◆ トンネル内で火災が発生した際の、熱や煙の拡がりをシミュレートします。
- ◆ 避難者の行動シミュレーションと組み合わせることができます。
- ◆ 「火災による避難」という観点から、トンネルの形状や設備を評価することができます。

■概要

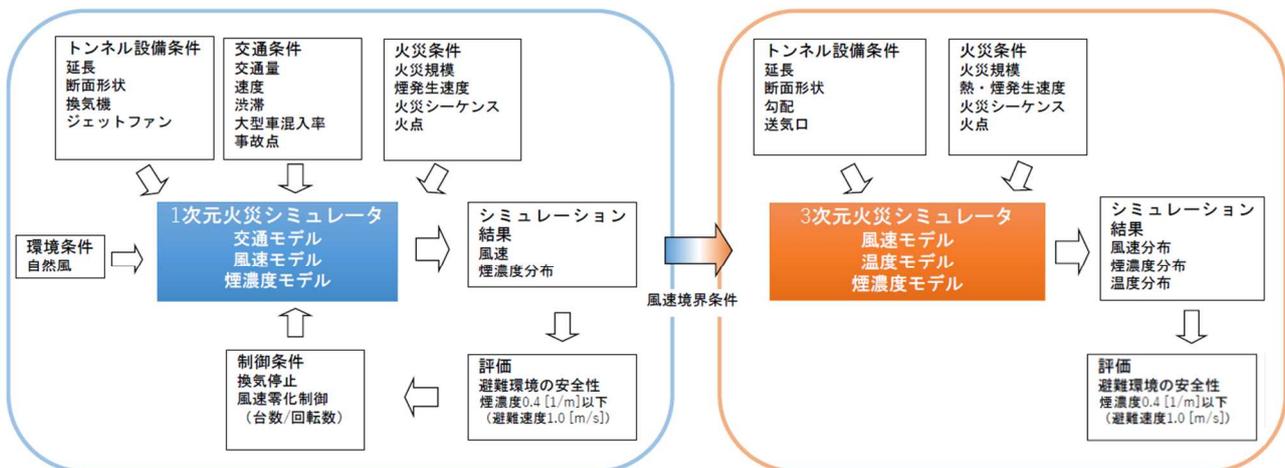
1次元避難シミュレーション方式と3次元避難シミュレーション方式の2種類のシミュレーション方式があります。それぞれ異なる特徴や機能を持ち、目的に合わせて使い分けることができます。

	1次元避難シミュレーション方式	3次元避難シミュレーション方式
特徴	トンネルの延長方向のみを扱い、煙の拡がりを再現する。計算負荷が軽く、様々な状況を短時間でシミュレートすることが可能。	トンネルの延長・高さ・幅方向を扱う。煙が上昇して天井を伝っていく様子などの再現が可能。避難者が安全に移動できる空間がどのくらい保たれているのか、詳細にシミュレートする。
計算環境 時間	市販のPCで1秒以内	高性能PCで1, 2週間程度 スーパーコンピュータで2日程度
実績例	関越 TN (縦流、風速低下実験)、新神戸 TN、東山 TN、箕面 TN、飛騨 TN、山手 TN ほか	清水第三 TN(縦流大断面、水噴霧実験)、新神戸 TN、舞子 TN、上曽 TN、布引 TN、稲城多摩 TN

1次元/3次元避難シミュレーションの特徴

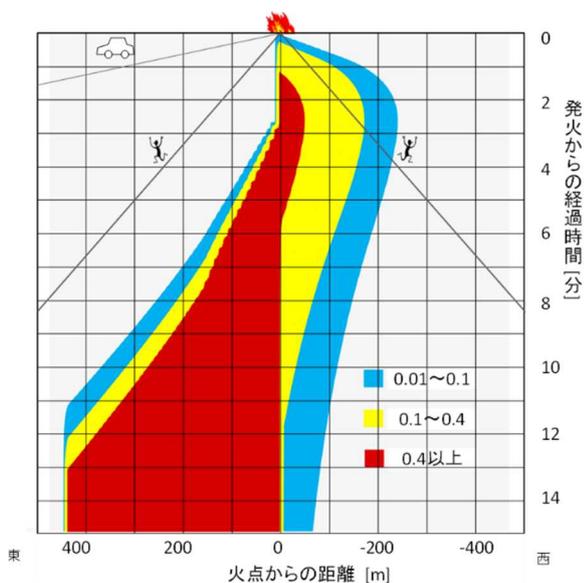
■シミュレーション～解析評価のプロセス

- ① トンネルの設備条件、火災の条件等のパラメータを設定する。
- ② 1次元シミュレーションを行う。(→風速境界条件(：3次元で使うパラメータ)を算出)
- ③ 3次元シミュレーションを行い、この結果を基に避難シミュレーションの評価を行う。
- ④ それぞれのシミュレーション結果をまとめ、報告する。



シミュレーション～解析評価のプロセス

■ 1次元避難シミュレーションの避難検討結果イメージ



避難検討結果イメージ(1次元)

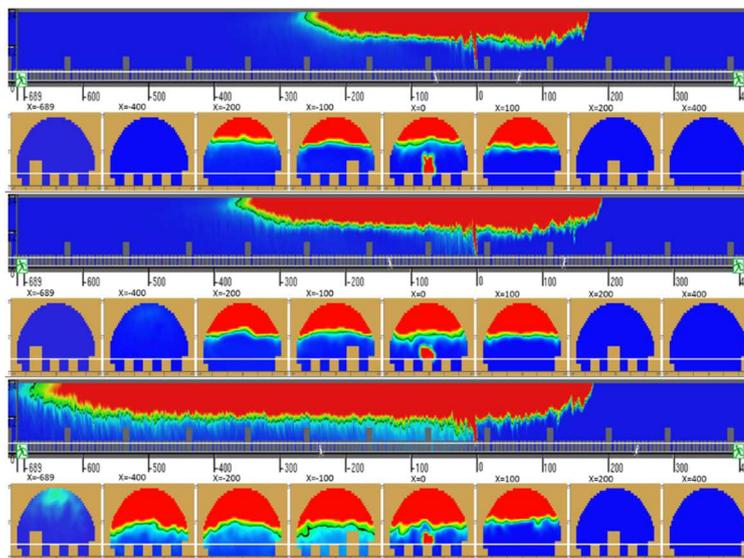
避難シミュレーションの結果は、左の図のように可視化できます。

横軸はトンネルの延長方向、縦軸は時間を示しています。上から下に時間が進む中で、自動車や徒歩で避難する人が、避難が困難になるとされる煙濃度 0.4 以上（赤色の領域）に入ってしまうことがないかを判定します。

これにより、トンネルの形状や、避難坑の数・設置位置、火災時の換気機制御等による避難の可否を評価することができます。

■ 3次元避難シミュレーションの避難検討結果イメージ

3次元避難シミュレーションでは、右の図のように、トンネルの延長方向断面、幅方向断面等、様々な断面での煙や熱、毒性物質の分布を扱うことができます。高さ方向の煙の分布を扱えるため、煙が天井に沿って広がっているが、避難者のいる地上付近はまだ安全であることや、反対に、時間が経つにつれて煙が降下し、安全ではなくなってしまう状況を再現できます。



▲避難検討結果イメージ(3次元) 赤色の領域は煙濃度が高い

3次元避難シミュレーション使用するソフトウェア

シミュレータには、米国国立標準技術研究所 (NIST) により開発された、3次元流体シミュレーション FDS(Fire Dynamics Simulator)を用います。FDSは、火災時の熱流動や物質輸送等を主な対象とする数値流体力学 (CFD)モデルであり、大規模建築物や道路トンネルを対象とした火災事象の評価や防火設計において、全世界で広く利用されているソフトウェアです。

リスク解析

■ポイント

- ◆ 道路トンネルにおける事故や火災の発生確率を解析します。
- ◆ 事故や火災による人的被害の規模を解析します。
- ◆ 解析した情報をもとに、トンネル設備の安全対策について評価します。

■概要

「TuRisMo」と呼ばれるトンネルリスクモデルを使用し、対象トンネルの安全対策についての評価を行います。オーストリアから始まったこの方法は、2000年前後に発生した深刻なトンネル事故*の反省をもとに開発されました。既設トンネルにおける安全対策の評価のみならず、設計段階における新設トンネルの、適切なリスク軽減策とコストの最適化にも役立ちます。

(*Mont Blanc 1999, Gleinalm 2001)

◆リスク解析の利点◆

- 既設トンネルの設備（換気システムなど）に対する欠点の影響を定量化することができる。
- 改修に際しての措置が安全性に及ぼす影響を定量化し、最適な選択を可能にする。
- 最低限の安全基準を満たした、費用効果の高い設計を可能にする。
- リスク軽減のために利用できる最善の選択を提案する。

■解析評価のプロセス

「TuRisMo」は、頻度解析と結果解析の2つの主要要素から構成されます。結果解析ではさらに、「衝突」によるリスクと「火災」によるリスクを別々に解析します。それぞれの解析によって算出されたデータをもとに、トンネル全体の安全対策に対するリスク値を評価します。

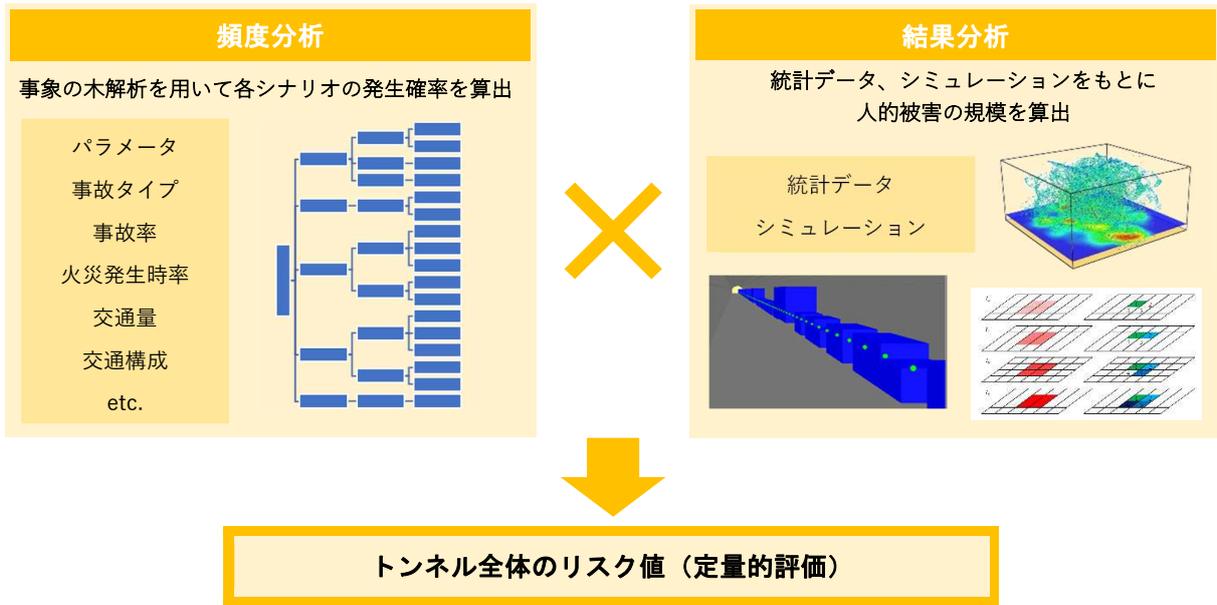
頻度解析

衝突や火災によって起こりうるシナリオを生成し、事象木（イベントツリー）による解析を行う。各シナリオの発生頻度（件／年）を算出する。

結果解析

衝突：過去の統計データをもとに初期値を決定する。各衝突シナリオに応じて初期値の修正を行い、各衝突シナリオにおける人的被害の規模（人／年）を算出する。

火災：シミュレーションツール（FDS、避難シミュレータ）を用いて、火災シナリオを生成する。各火災シナリオにおける人的被害の規模（人／年）を算出する。



TuRisMo による道路トンネル リスク解析 略図

■適用事例

一般的な長大トンネルをモデルとして、火災発生時におけるジェットファンの制御方針について、リスクの比較検討を行います。対象の制御方針は以下の2通りです。

- ◆全台停止
- ◆風速低下制御（インバータ駆動によるジェットファンの回転数制御）

それぞれの制御方針を、避難坑の数別に解析します。

結果、避難坑が0か所のシナリオでは、風速低下制御が、全台停止に対して55%リスクを軽減するという評価を得ました。また、このリスク軽減の優位性は、避難坑の数の増加に対して減少するという値を算出しました。

モデルトンネルの環境条件		避難坑の数	全台停止方針に対する リスクの軽減率
構成 : 単管、上下各1車線 : 対面通行	交通量 : 1,438 台/時 車両内訳 : 69.5% 小型車 : 30.5% 大型車(バス含む)	0	-55%
延長 : 2,990m	車両速度 : 80 km/時	1	-45%
避難坑 : 0~5 か所	交通信号 : トンネル出入口に設置 (火災時の交通遮断用)	2	-39%
勾配 : +2.0% (1,707 m) : -2.0% (1,283 m)	交通条件 : 上下対称/上下非対称	3	-32%
断面積 : 71m ² (直径 8.4 m)		4	-28%
		5	-30%

換気制御が火災時リスクに与える影響 (TuRisMo による評価結果)

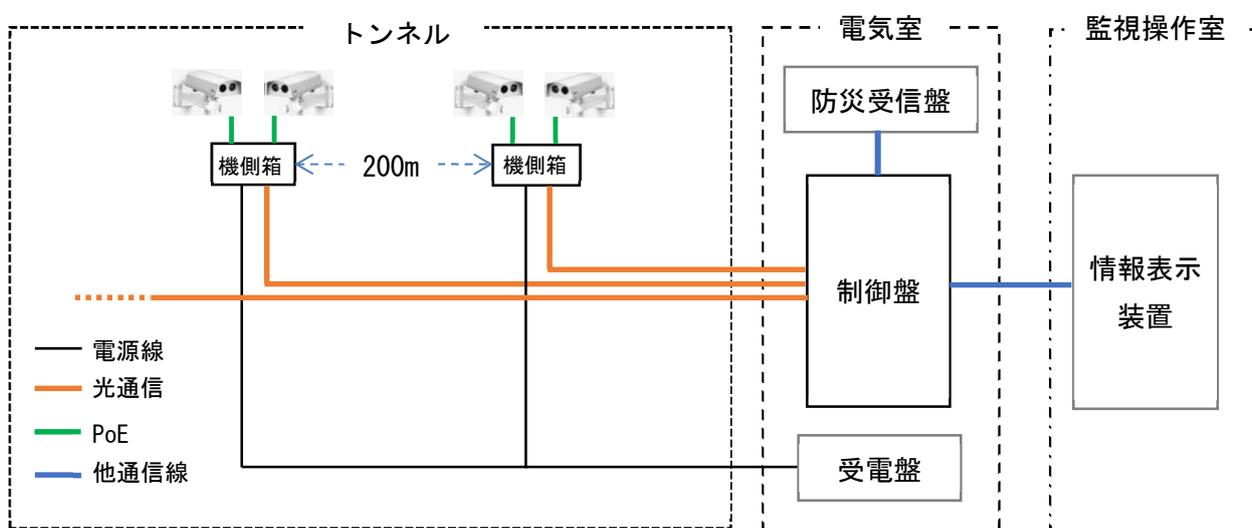
熱画像検知式自動通報設備

■ポイント

- ◆ 可視光カメラと赤外線カメラの双方による状況確認・監視・データ収集を行います。
- ◆ 撮影した映像を自動解析し、従来方式と遜色のない火災検知が可能です。

■概要

従来の火災検知器と同様、防災受信盤へ火災検知信号を送信します。また、情報表示装置を用いて、可視光・赤外線双方の映像を目視で確認することができます。各カメラの担当距離を 100m とした場合、2 台のカメラを向かい合うように設置することにより、機側箱の設置間隔を 200m 毎とすることが可能です。



システム構成図：熱画像検知式自動通報設備

■それぞれの特性を補い合う2つのカメラ

本設備に用いられるカメラは、可視光カメラと赤外線カメラの双方を内蔵しています。可視光カメラでは、一般的な HD カメラと同等の性能を持つため、高精細かつ自然な色彩の映像を撮影することができます。

一方、赤外線カメラは「熱」を可視化するという特性から、可視光カメラでは捉えきれない対象を撮影することができます。



可視光・赤外線カメラ：FLIR ITS-Series Dual AID 316L



可視光カメラ(左)と、赤外線カメラ(右)の比較写真
赤外線カメラであれば煙の中や先の状況まで認識できる。

◆赤外線カメラの特性◆

- 対象物の温度、ならびに火災時の炎や周囲の温度上昇を捉えることができる。
- 悪天候、夜間、停電時など、照明が不十分な環境においても、状況を監視し続けることが可能。
- 煙で充満した視界においても、火点やその周辺に取り残された人の存在を確認することができる。

開発の経緯

2019年3月、国土交通省により道路トンネル非常用施設設置基準が改定され、「火災検知器」が「自動通報設備」と変更されました。これを受け、創発システム研究所は、従来の手法に代わる次世代の製品開発を新たな目標として設定しました。

2020年度、東北地方整備局担当のもと、国土交通省主導による「新技術情報提供システム(NETIS)のテーマ設定型(技術公募)」に参加し、本設備「熱画像検知式自動通報設備」の実証試験を行いました。

この実験では、**50m先の0.5m²火皿火災を数秒間で検知する**という結果を得ることができました。また、別の実験においても、**100m先の0.5m²火皿において同様の結果を得て**おり、一般的な検知器と同等の性能を持つことを確認しました。

2022年度現在、NETISに登録しています。(登録番号：KK-210075-A)

火点位置検出装置

■ポイント

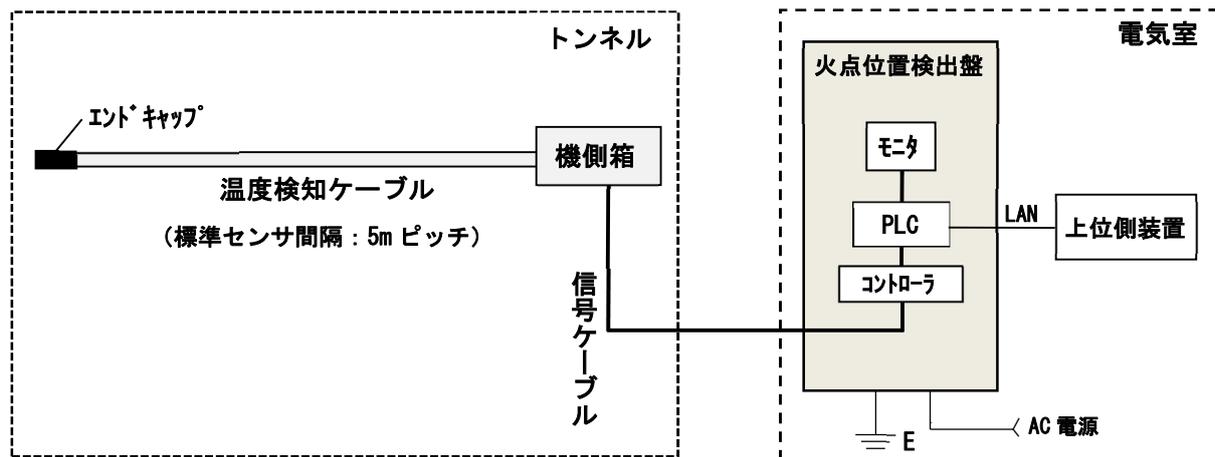
- ◆ 温度検知ケーブルを使用し、内部のセンサによって常時温度を計測します。
- ◆ 火災の発生、火点の位置、および火災規模を、迅速かつ精確に検出します。
- ◆ 施工が容易で、保守性にも優れています。

■概要

トンネル坑内の温度を計測し、火災の発生を検知します。計測機器には、欧州などで広く採用されている温度検知ケーブルを使用しています。このケーブルは、内部に一定の間隔でセンサが組み込まれており、温度（熱）による検知方式を採用しています。従来型の光による火災検知器と比較して、火点の位置をより精確に検出することができます。



温度検知ケーブル：LISTEC SEC20

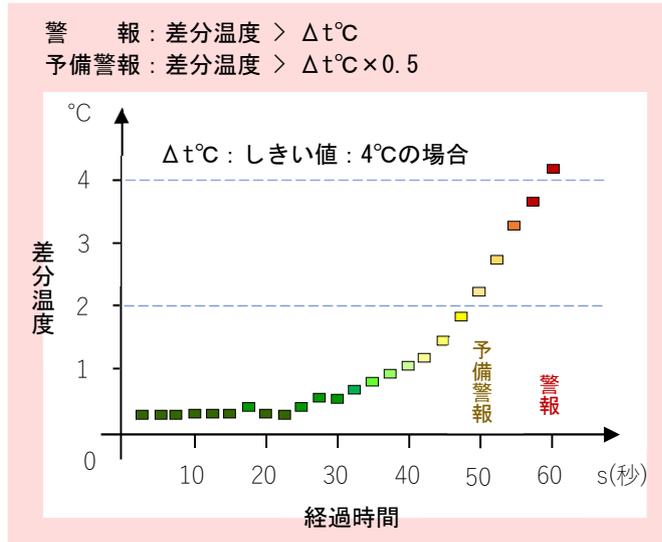


システム構成図：火点位置検出装置

◆温度検知ケーブルの特性◆

- 天井もしくは壁面へ敷設する。施工の際、大掛かりな工具を必要としない。
- 電源線はケーブルに内蔵されており、別途敷設する必要無し。
- 完全なシールド構造であり、塵埃、排気ガス、温度、氷結、振動の影響が無い。
- 定期的に清掃する必要無し。
- ケーブル内の全センサはコントローラによって常時監視されており、保守が容易。

■ 検知方法



グラフ(イメージ): 差分温度の変化と警報

設定温度による検知

計測温度が予め設定した温度を越えると(火災)警報を発報します。

差分温度による検知

10秒毎に収集される温度データをもとに、一定時間内の温度上昇が予め設定したしきい値を越えると(火災)警報を発報します。しきい値は、設置環境を考慮して個別に設定します。

■ 仕様

火点位置検出装置		
温度検知ケーブル	測定方式	温度式
	検出温度	-40~+85°C (短時間 120°C)
	分解能	0.1°C
	温度センサの間隔	5m (1,2,4,8mも可)
	電子ケーブルの最大長	1750m (センサ間隔 5m), 2500m (センサ間隔 8m)
	ケーブル	材質
寸法重量		外径 18mm 約 0.45kg/m
火点位置検出盤	計測点数	最大 350 点
	計測周期	10 秒
	入力信号	全センサ温度
	出力信号	火災検知 火点位置 故障
	通信インターフェース	接点出力/Ethernet 通信/PLC 汎用ネットワーク
	環境条件	温度:-20~+40°C 湿度:20~85% 標高:1000m 以下
	電気方式	電圧 AC100V 周波数 50/60Hz 消費電力 1kVA 以下
	筐体	材質
寸法重量		W600mm × H2300mm × D700mm 約 200kg

ポンプレスCO計

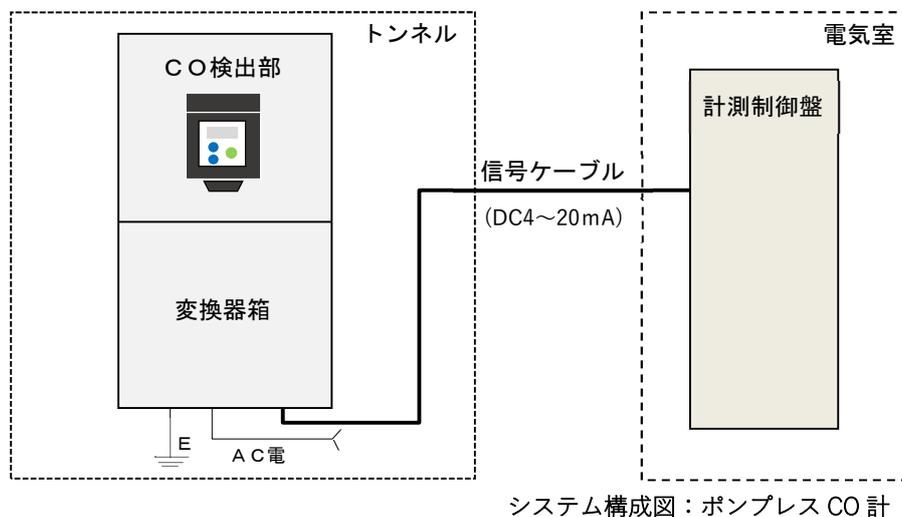
■ポイント

- ◆ トンネル坑内の一酸化炭素濃度を計測します。
- ◆ ポンプレス方式の測定により、高い応答性を持ちます。
- ◆ メンテナンスの容易さから、ランニングコストを抑えます。

■概要

トンネル坑内の一酸化炭素濃度（CO）を計測します。ポンプレス方式であることから（吸引式*と比較して）応答性に優れています。検出部と変換器箱は一体化されており、設置工事が容易です。

(*吸引式は通常、空気吸引に際して計測に3～5分の時間遅れが生ずる)



■高い保守性と汎用性

本装置は、一般的な吸引式のCO計と比較して、部品点数が少ないことから、故障発生率が低いという優位性があります。

この「少ない部品点数」という特長を活かして、変換器箱の小型・軽量化を実現しました。これにより、新設のみならず、既設のリプレイスにも対応することができます。



検出部：Polytron7000

容易なメンテナンス

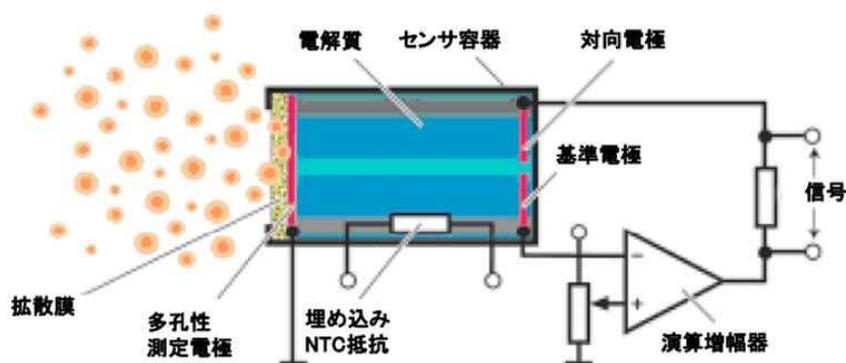
1年に一度、専用のカートリッジを交換します。このカートリッジは、工具を使うことなく着脱することができます。事前に校正を行うため、基本的には校正用のガスボンベを現場へ持ち込む必要がありません。加えて、専門技術員を現場へ派遣する必要もありません。よって、ランニングコストを抑えることができます。

■測定原理

本装置は、定電位電解法を用いて計測します。目に見えないCO濃度を、電流に置き換えることで、その値を視覚化します。

測定電極とCOが接触⇒電気分解⇒測定電極と対向電極間で酸化還元反応が起こる⇒電流発生

電極間に流れる電流値は、CO濃度に比例します。本装置は、酸化還元反応によって発生した電流値をみることで、CO濃度を測定します。



測定原理：ポンプレスCO計

■仕様

ポンプレスCO計		
検出部	測定方式	定電位電解式
	測定ガス	一酸化炭素 (CO)
	測定範囲	0~300ppm
	測定精度	フルスケールの±3%以下
	応答速度	1分以内 (90%) 応答
	校正方式	手動校正 (専用カートリッジ交換)
	材質	GRP (ガラス繊維強化プラスチック)
変換器箱	出力信号	DC4~20mA (500Ω以下)
	制御信号	点検中
	警報信号	故障 電源断
	環境条件	温度: -20~+40°C 湿度: 20~85% 標高: 1000m 以下
	電源	単相 AC 100/200/400 V (※)、50/60 Hz、50 VA
	保護等級	IP65 相当
	重量	約 40 kg
	筐体	材質 SUS304 t=2.0 mm 寸法 W×H×D = 400 × 670 × 170 (mm)

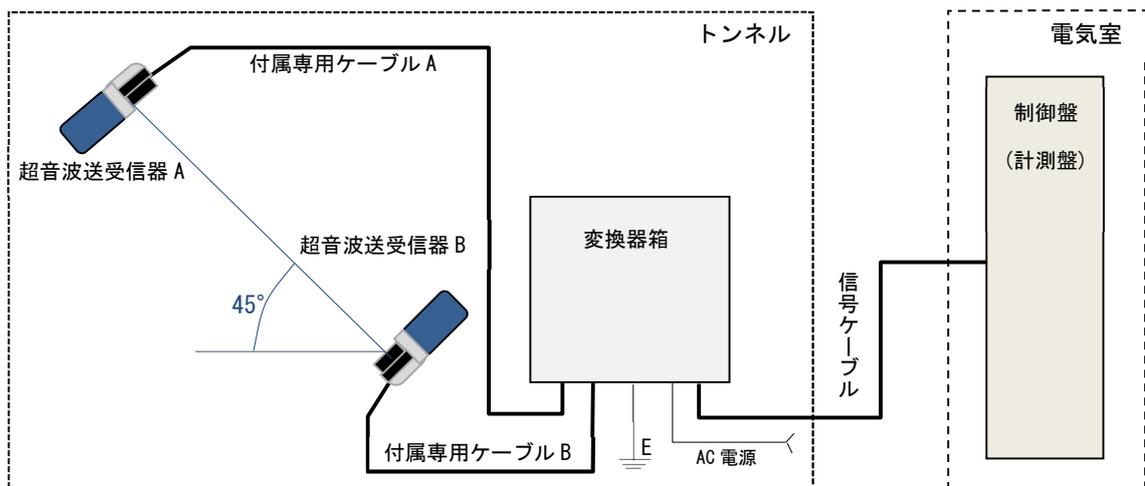
断面風速計

■ポイント

- ◆ トンネル断面の風向、風速を計測します。
- ◆ 非常時換気制御や、環境対策用の計測機器として優れています。

■概要

測定原理の特徴から、対面通行トンネルや、トンネル曲がり部などの複雑な構造・環境下においても、「断面平均風速」により近い、高い精度で風速値を得ることができます。よって非常時換気制御や、環境対策用の計測機器として有効に活用することができます。



システム構成図：断面風速計

従来の風速計

縦流式トンネルの「断面平均風速」は、トンネル内の任意の地点において同一です。ただし、(走行する車両の影響を受ける等) 同じ断面でも、計測箇所によって風速値が変わってしまう場合があります。この問題に対して、従来の風速計では、変換係数 (1.2~1.5 倍) という概念を用いて、断面平均風速の推定値を割り出していました。しかしながら、対面通行トンネルや、複雑な構造のトンネルでは、この推定値と実際の断面平均風速との間に、かなり大きな乖離があることが知られています。



超音波送受信器：DURAG D-FL 220T

◆装置の特長◆

- ゼロ点・スパンの自動調整
- 容易な施工 (壁面上部へ密着させる構造)
- 通行車両との接触の恐れ無し
- 変換器箱から、センサの調整・点検が可能

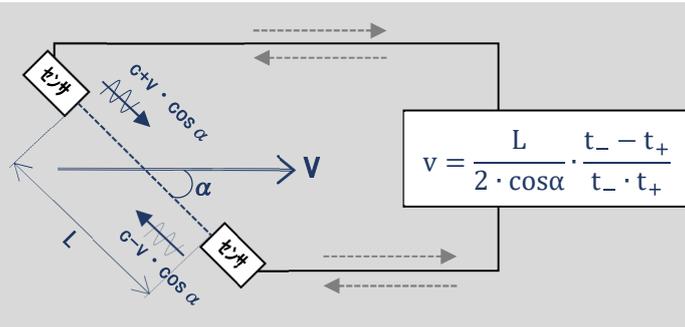
■測定原理

本断面風速計は、超音波伝播時間の差分計算方式に従って計測します。

断面風速計の測定原理

- 1 トンネル壁面に設置された変換器箱が、超音波パルス信号を発生。
- 2 信号を受けた2台の超音波送受信器が、発信／受信を交互に行い、伝播時間を計測する。
- 3 気流に対して順方向・逆方向の伝播時間の差分を算出し、風向と風速を決定する。

t_+ : 気流に順方向のパルス伝播時間
 t_- : 気流に逆方向のパルス伝播時間
 c : 音速
 v : 気体の速度
 L : 媒体中の測定路延長
 α : 設置角度



■仕様

断面風速計		
検出器	測定方式	超音波伝播時間差方式
	測定範囲	-20m/s～+20m/s
	測定精度	フルスケールの±2%以下
	移動平均時間	1～180秒 任意設定
	測定路長	1.5m～21m (標準 10m)
	設置角度	30°～60° (標準 45°)
	環境条件	温度：-20～+50℃ 湿度：20～85%
	分解能	±0.1m/s 以下
	校正方式	自動校正
	筐体	材質
	寸法重量	W150mm × H175mm × D220mm 約 2kg
変換器箱	出力信号	風速 -20m/s～+20m/s DC 4～20mA/500Ω以下
	接点信号	点検中 故障 電源断
	環境条件	温度：-20～+40℃ 湿度：20～85% 標高 1000m 以下
	電気方式	電圧 AC210V 周波数 50/60Hz 消費電力 50VA
	筐体	材質
	寸法重量	W500mm × H600mm × D150mm 約 50kg

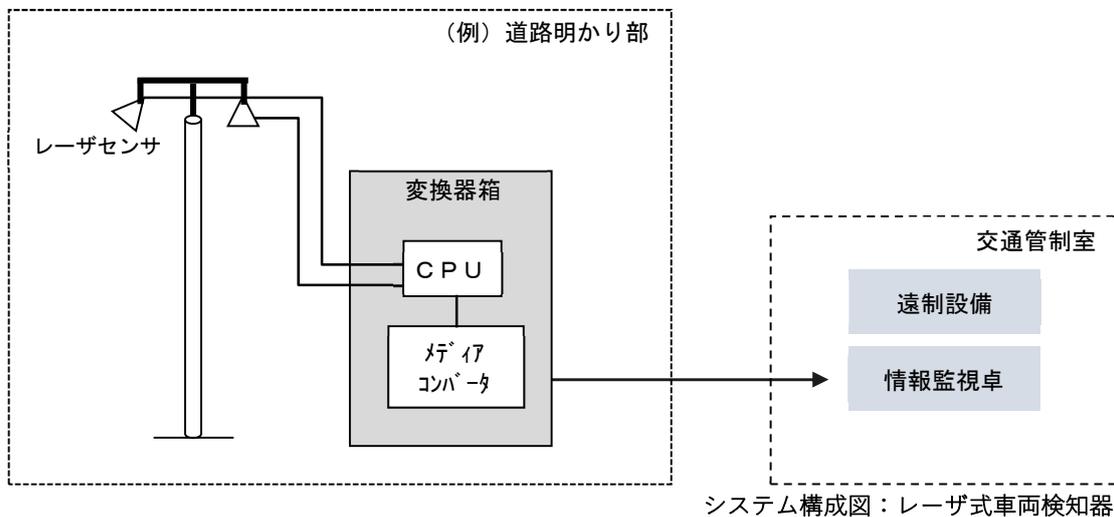
レーザ式車両検知器

■ポイント

- ◆ 検知精度は95%以上、一般的なループコイル式と同等の性能を持ちます。
- ◆ 既存の構造物に取付けることができます。
- ◆ 昼夜・雨などの環境変化にほとんど影響されません。

■概要

レーザ光による車両検知、交通量計測を行います。レーザ光の特性上、昼夜・雨・霧・雪などの環境変化に対してほとんど影響がありません。門型ゲートや路側ポールに設置することができるため、設置工事や補修工事が比較的容易です。



■測定原理



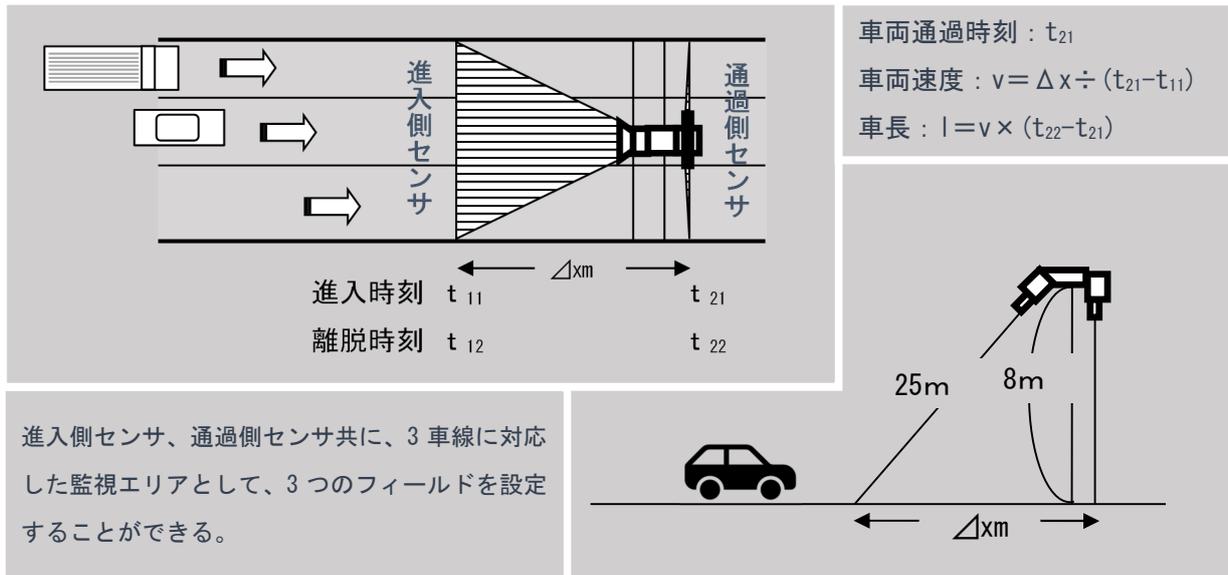
レーザセンサ：LMS5xx

レーザ式車両検知器は、「進入側センサ」と「通過側センサ」の2台のレーザセンサから構成されます。

各センサの反射距離データを基に、読み取った進入時刻と離脱時刻から、通過する車両の速度と車長を割り出します。

進入側センサは、本線上流側から進入する車両に対し、仰角45°でレーザを発射するよう設置します。一方、通過側センサは、本線上流側から進入する車両に対してほぼ垂直の真下にレーザを発射するよう設置します。

レーザ式車両検知器の測定原理



車両通過時刻： t_{21}
 車両速度： $v = \Delta x \div (t_{21} - t_{11})$
 車長： $l = v \times (t_{22} - t_{21})$

仕様

レーザ式車両検知器			
レーザセンサ	レーザ光波長	905nm	
	性能	車線数	最大3車線
		車両速度	1~160km/h
		車両分解能	2.3m以上の車間距離で走行する車両の分別が可能
		交通量検知精度	95%以上（設置条件を満足させた場合）
		検知距離	25m（車両の検出可能距離）
		車長測定精度	±50cm
		車速測定精度	±5km/h
環境条件	温度:-20~+50°C 湿度:20~85%		
筐体	材質	保護等級 IP67	
	寸法重量	W155mm×H185mm×D160mm 3.7kg	
変換器箱	出力形式	LAN (Ethernet)	
	出力信号	交通量（レーン別,車種別） 平均車速（レーン別） 占有率（レーン別）各1分毎	
	時間管理	管制室コンピュータ時刻と同期	
	故障検出	動作中のレーザセンサ故障を検知	
	動作モニタ	保守コンソールにより動作状態確認	
	環境条件	温度:-20~+50°C 湿度:20~85% 標高:1000m以下	
	電源	電圧 AC210V 周波数 50/60Hz 消費電力 500VA以下	
	筐体	材質	SUS304 厚さ2mm 保護階級 IP63相当
寸法/重量		W400mm×H700mm×D350mm /約70kg（遮へい板なし）	

環境を計測する

インバータ換気動力盤

■ポイント

- ◆ 産業用インバータにノイズ対策を実装した、ジェットファン用換気動力盤です。
- ◆ 独自開発のフィルタを使い、長尺ケーブル特有のノイズ、サージ電圧に対応しています。
- ◆ 電源側へ流れるノイズを抑制し、他設備への影響を考慮した設計です。
- ◆ 弊社従来品よりもコンパクト化に成功しております。

■概要

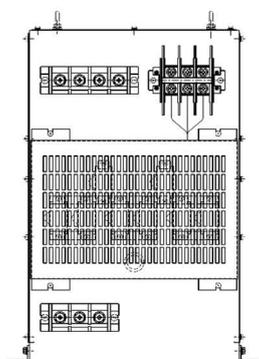
産業用インバータを用いてジェットファン（JF）の回転数を調整し、坑内風速を制御します。従来、長尺の動力ケーブルを介してJFをインバータ駆動させるにあたっては、以下のような課題が挙げられていました。

これまでのJFインバータ駆動の課題

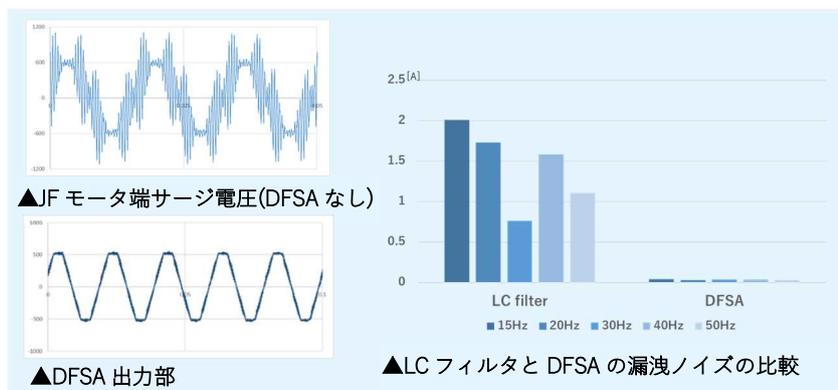
- サージ電圧、電磁ノイズが発生し、JFのモータや周辺の設備に影響を及ぼす。
- 電源側に電磁ノイズが流れ、周辺の設備に影響を及ぼす。

創発システム研究所は、独自に開発した帰還型正弦波化フィルタ「DFSA(Distance Free Surge Absorber)」と、膨大な実験に基づく「最適な設計」により、この課題を解決しました。

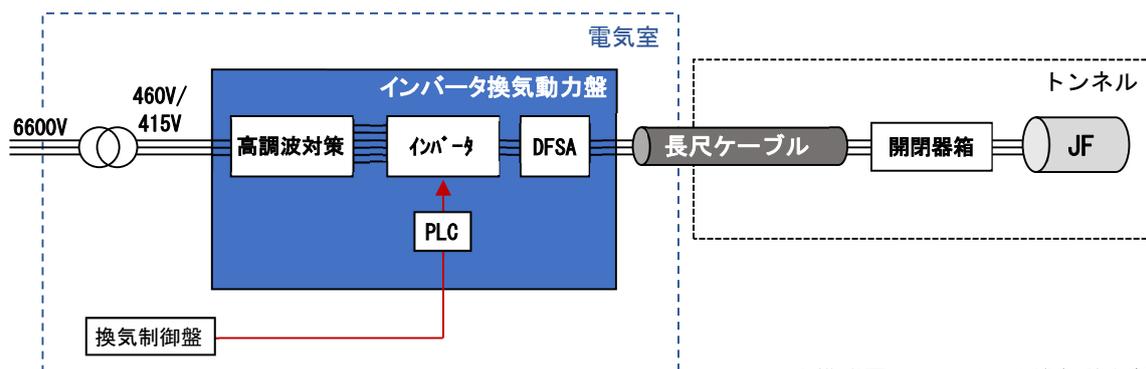
2010年に初の導入を実現して以来、日本国内で約130台のJFを、このインバータ換気動力盤によって運用しています（2021年現在）。



帰還型正弦波化フィルタ：DFSA



DFSAのノイズ抑制特性



◆インバータ駆動のメリット◆

- 始動電流が定格以内であり、同時に複数台起動可能。
- 火災発生時の即応性が高い。逆転切替時の保護動作が不要。
- 複数台による低回転数運転で、騒音が軽減される。
- 複数台による低回転数運転で、省エネ効果が得られる。
- 受電変圧器、動力ケーブルの選定に始動電流の考慮不要。



インバータ換気動力盤

■仕 様

機 種		JF1 台用	JF2 台用
盤仕様	型 式	屋内自立閉鎖型	
	電気方式	主回路 : 三相 3 線 460V 60Hz / 415V 50Hz 制御回路 : 単相 100V 50/60Hz	
	盤寸法(参考)	W1000 × H2300 × D1000mm	W1200 × H2300 × D1000mm
インバータ仕様	インバータ容量	37kW、55kW	
	入力電圧	三相 380~480V ±10%	
	出力電圧	三相 380~480V (入力電圧対応)	
	出力周波数	0~50/60Hz	
	制御方式	2 レベル PWM 制御方式	
サージ電圧ノイズ対策 軸電流対策	DFSA (帰還型正弦波化フィルタ)		
高調波対策	三相ブリッジ (コンデンサ平滑) ACL+DCL 付 換算係数 k=1.4		
	12 パルス変換装置 換算係数 k=0.7(オフショ)		
	自励三相ブリッジ(PWM コンバータ) 換算係数 k=0.0(オフショ)		
入力および出力信号	無電圧接点、Ethernet 通信、PLC 汎用ネットワーク		
動力ケーブル	2000mまで可 シールド、ノンシールド対応		
適用 JF	30,33kW × 1、50kW × 1	30,33kW × 2、50kW × 2	
適用 JF モータ	汎用モータ使用可		

風速を制御する

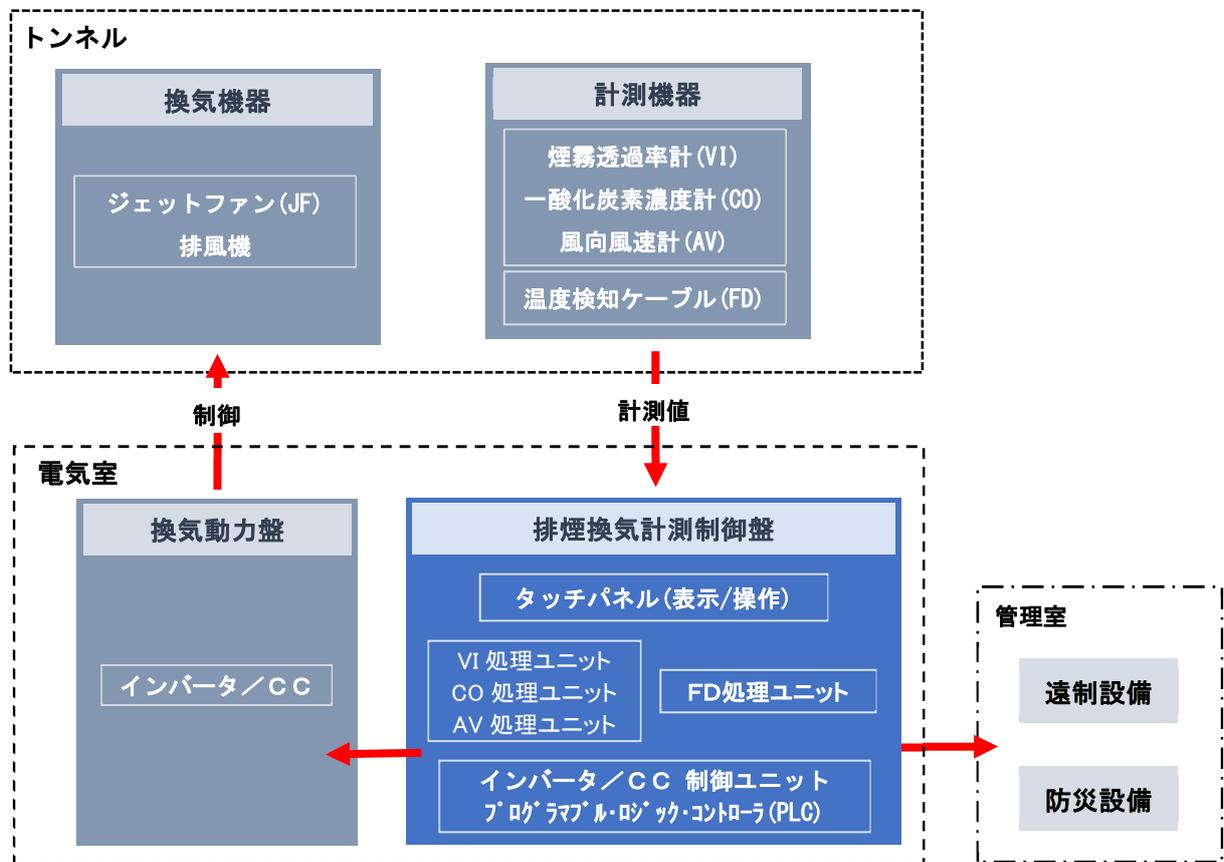
排煙換気計測制御盤

■ポイント

- ◆ 風速低下制御を標準装備として換気機器を制御します。
- ◆ 風速フィードバックによる制御の安定化を実現します。
- ◆ 一般的な換気制御盤と計測盤、双方の機能を併せ持ちます。
- ◆ 「火点位置検出装置」「インバータ換気動力盤」の処理ユニットを内蔵することができます。

■概要

煤煙透過率計 (VI)、一酸化炭素濃度計 (CO)、風向風速計 (AV) の計測値をもとに、換気機器 (JF/排風機) の風速をコントロールします。大画面タッチパネル (15 インチ) を採用したことで、誤操作の防止と視認性の向上が実現しました。



システム構成図：排煙換気計測制御盤

■複数の機能を併せ持つハイブリッド制御盤

本制御盤は、各計測機器 (VI、CO、AV) の処理ユニットを内蔵しているため、一般的な「換気制御盤」と「計測盤」、双方の機能を併せ持ちます。

加えて、前掲の「火点位置検出装置」「インバータ換気動力盤」の処理ユニットを内蔵することもできます。様々な機能がこの一面に集約されることで、高い保守性と、より実用的な運用が可能です。

■ 平常時／非常時の制御

平常時は、各計測機器の値をもとに「FB（フィードバック）制御」を行います。風速値*を参照するシステムが組み込まれているため、過剰換気やハンチングを防止することができます。

(*VI、CO と比較して、環境変化が計測値として早く表れる。)

一方、火災などの非常時には、風速を一定の低い値で保持する「風速低下制御」を行います。迅速な抑制によって煙や熱をトンネル天井部に滞留させることで、安全な避難環境を確保し、効果的な消火・救急活動を補助します。



排煙換気計測制御盤

■ 仕様比較

比較項目	従来の換気制御盤	排煙換気計測制御盤
平常時換気制御	VI、CO のみの FB 制御	VI、CO、AV による FB 制御 JF 運転が安定し、過剰換気、制御のハンチングを防止する。省エネで効率的。
非常時換気	E ノッチ(全台停止)のみ	風速低下制御 JF を逆転運転して風速を急激に低下させ、風速をほぼゼロに保つ。安全性向上に有効。
警告表示灯	表示灯の数が多い	表示灯の数が少ない タッチパネル内の状態監視画面で表示可能な為
操作ボタン	ボタンの数が多い	ボタンの数が少ない タッチパネル内のモード切替・手動ノッチ・火災手動画面で操作ができる為
参照する計測機器	煙霧透過率計(VI) 一酸化炭素濃度計(CO) 風向風速計(AV)：風向のみ参照	煙霧透過率計(VI) 一酸化炭素濃度計(CO) 風向風速計(AV)：風向、風速を参照
計測機器 処理ユニット	別の盤に内蔵	本制御盤に内蔵可能
FD 処理ユニット	別の盤に内蔵	本制御盤に内蔵可能
インバータ/CC 制御ユニット	別の盤に内蔵	本制御盤に内蔵可能 本制御盤でインバータの操作が可能

風速を制御する

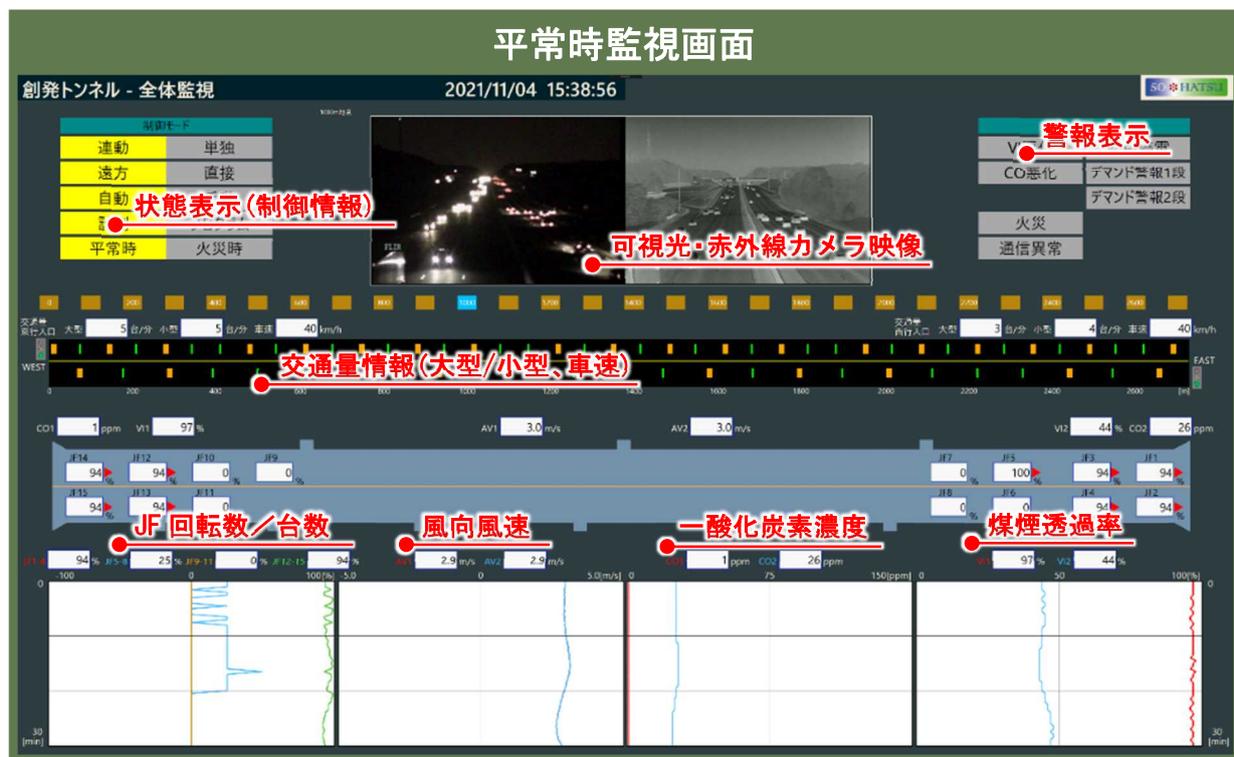
情報監視装置

■ポイント

- ◆ マルチモニタによる直感的なデザインで、トンネル内の情報を分かりやすく表示します。
- ◆ 「可視光・赤外線カメラ」と連携して、火災や事故などの異常をすばやく検知します。
- ◆ シミュレーションによる熱・煙の流動予測から、オペレータの判断を支援します。

■概要

小～中規模の管理室を想定した情報監視装置です。交通量情報、制御情報、換気機器運転状況、汚染物質濃度、警報など、トンネル坑内の監視に必要な情報を表示します。「可視光・赤外線カメラ」と連携させて、現場の映像を確認することもできます。



*画面は開発中のものです。

◆可視光・赤外線カメラの特長◆

- 可視光・赤外線双方による撮影
- 交通量計測機能
- 人、落下物、逆走の検知
- 自動通報機能
- 車種の自動判別（火災規模の想定）



可視光・赤外線カメラ：FLIR ITS-Series Dual AID 316L

■非常時の監視

火災発生などの非常時には、画面が切り替わります。現場付近の可視光・赤外線カメラの映像が大きく映し出され、火災の場合は煙の拡散予測と併せて、ジェットファン回転数／台数、風向風速の計測値が逐一確認できるような仕様になっています。また対処行動や手順を「イベント・シーケンス」として表示させ、オペレータの判断を補助します。



*画面は開発中のものです。

■オペレータ支援機能

この情報監視装置では「3つのデータ」を駆使してオペレータの判断を支援します。

- リアルタイムデータ
常時更新されるリアルタイムのデータにより、トンネル坑内の最新の状況を確認できます。
- データベース
蓄積されたデータに基づく比較チャートを用いて、平常時と非常時の状態の違いを感覚的に捉えることができます。
- シミュレーションによる予測
シミュレーションに基づく未来の予測で、非常時における対処行動の判断をサポートします。

SO * HATSUI

ホームページ・お問合せ

<http://www.sohatsu.com>

株式会社 創発システム研究所

・本社事務所

〒650-0035 兵庫県神戸市中央区浪花町 64 番地
三宮電電ビル 3 階 A-2
TEL : (078) 325-3220 FAX : (078) 325-3221



・工場

〒652-0884 兵庫県神戸市兵庫区和田山通 1-2-25
神戸市ものづくり工場 C-108
TEL : (078) 599-7790

