

技術名	建設機械接近警報システム
番号	No. 4. 2-22
発注者	栃木県
施設名	—
所在地	栃木県那須塩原市塩原
工事名称	一般国道 400 号下塩原第二トンネル（仮称）本体建設工事
施工期間	2012 年 6 月～2015 年 12 月
施工者	飛島建設・天野建設・岩澤建設共同企業体
キーワード	接近警報、安全管理、ネットワーク化、無線 LAN

(1) 概要

狭い範囲を建設機械が輻輳するトンネル建設工事において、入坑者と建設機械の接触災害への対応は、安全管理上重要な事項の一つである。このため、トンネル坑内において、入坑者と建設機械の位置の把握を可能とし、その位置情報を基に、建設機械の接近を入坑者へ警告する技術の開発が望まれる。接触災害に対する安全性の向上を目的に、無線 LAN 坑内測位技術を利用し、入坑者および建設機械の位置情報のに基づき、建設機械の接近を入坑者へ自動的に警告するシステムを開発した。

(2) 技術詳細

1) システムの概要

2-1-1 建設機械接近警報システム

入坑者・建設機械の位置を無線 LAN 坑内測位技術により把握する（図-1）。測位対象である入坑者および建設機械にそれぞれ無線 LAN 端末を所持させ、無線 LAN の個体識別番号と端末を所持している入坑者または建設機械と紐付けており、無線 LAN 坑内測位技術により得られた無線 LAN 端末位置を、その端末を所持している入坑者または機械の位置としている。

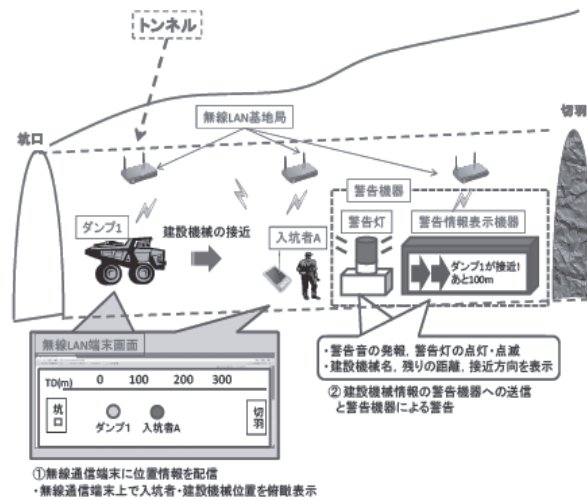


図-1 建設機械接近警報システム

2-1-2 位置情報配信機能

測位解析用サーバに、位置情報配信のためのアプリケーションが実装されており、ネットワークを介して、無線 LAN 端末、あるいはネットワークの PC 画面において、入坑者および建設機械の位置が表示される (図-2)。

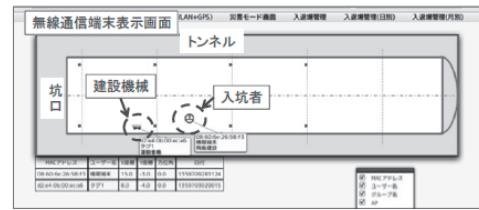


図-2 無線 LAN 端末画面

2-1-3 警告機能

任意の位置に設置した警告機器に建設機械が設計した場合、警告灯の点灯と警告音が発報される。合わせて、接近する建設機械名、残りの距離、ならびに方向が表示機器画面上に表示される。なお、警告実施の判断は、警告機器と警告対象の建設機械との距離で行い、その距離は任意に設定可能である (図-3)。

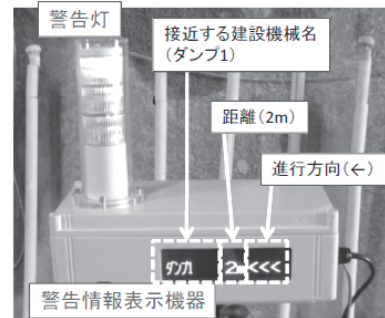
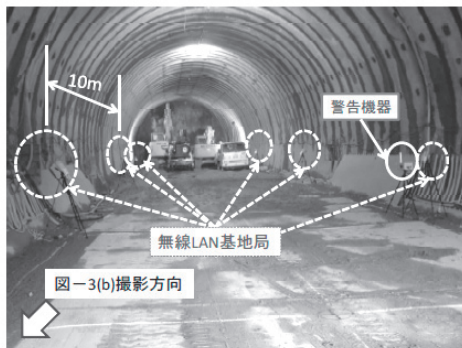


図-3 警告機器の構成

2-1-4 システム設置

本システムは、トンネル坑口よりトンネル進行方向に 10m 毎に無線 LAN 基地局、坑口から 20m の位置に警告機器でネットワークを構築し、ネットワーク内に測位解析用サーバを設置した (図-4)。現場実験では、警告範囲を警告機器から±20m の範囲を設定した。



(a) 無線 LAN 基地局および警告機器



(b) 測位解析用サーバ

図-4 機器配置状況

(3) 結果

1) 現場での判定結果

本システムにより、無線 LAN 端末上でリアルタイムに 5m 誤差の範囲で入坑者と建設機械の位置が把握であり、位置情報の変化に応じて建設機械名や進行方向などの警告内容を自動的に更新できた。

<p>参考文献</p>	<p>無線 LAN 坑内測位技術による位置情報に基づくトンネル坑内の建設機械接触災害に対する安全監視システムの開発 とびしま技報：飛鳥建設(株) 松田浩朗他 pp. 1-4 No. 62(2013)</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>

技術名	無線 LAN 端末による職員位置の見える化 ICT を活用した施工管理の効率化
番号	No. 4. 2-23
発注者	国土交通省 東北地方整備局
施設名	七ツ窪トンネル
所在地	宮城県伊達市霊山町石田地内
工事名称	国道 115 号霊山道路七ツ窪トンネル工事
施工期間	2013 年 2 月～2016 年 3 月
施工者	飛島建設(株)
キーワード	無線 LAN、IC タグ、車両運行管理

(1) 概要

NATM タイヤ方式による延長約 1,400m のトンネル掘削工事である。

建設労働者不足が深刻化するなかで、品質や安全性を確保しつつ施工管理を効率化するための手段として「見える化」に取り組んだものである。一般的に、トンネル工事は、長細い構造で視認性が悪く、職員位置の把握が難しい、覆工コンクリートの品質確認に手間取るなどの課題がある。

当該工事では現場全体に ICT のインフラとなる情報通信環境を無線 LAN 機器により整備することで、①「職員位置の見える化」、②「二次覆工コンクリート打設状況の見える化」を実現した（図-1）。

トンネル建設工事において坑内は携帯電話の電波が届かず、そのままでは ICT の活用は困難である。そこで、トンネル坑内、屋外ヤードなど現場全体において ICT のインフラとなる情報通信環境を無線 LAN 機器で整備した。

このネットワークはインターネット回線を介して、遠隔地にある現場事務所や他のトンネルと VPN で結んでおり、現場事務所-トンネル間、あるいはトンネル内においても通信が可能である。また、IP 電話機能も有しており、携帯電話の電波が届かない坑内においても通信が可能である。

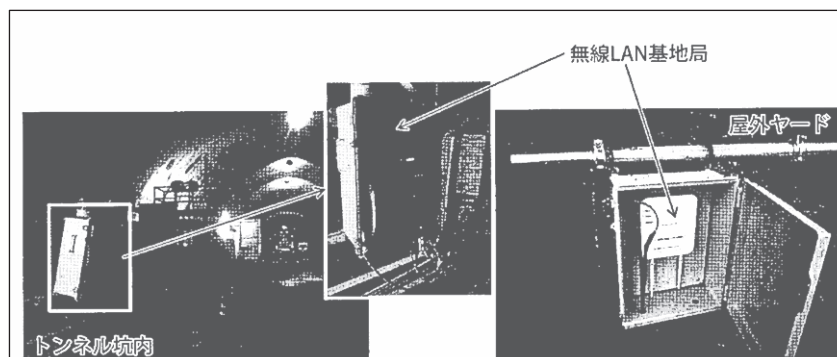


図-1 無線 LAN による情報通信環境の整備

(2) 技術詳細

1) 職員位置の見える化

それぞれの職員が無線 LAN 端末を所持し、通信電波を利用することで職員位置をリアルタイムに把握可能とした（図-2）。この位置情報を利用し、坑口に設置する入坑者一覧ディスプレイと連携することで、入坑者を自動的に検出・表示する（写真-1）。



図-2 無線 LAN 端末使用状況と位置表示状況

写真-1 入坑者一覧表示ディスプレイ

2) 二次覆エコンクリート打設状況の見える化（ICT 打設管理システム）

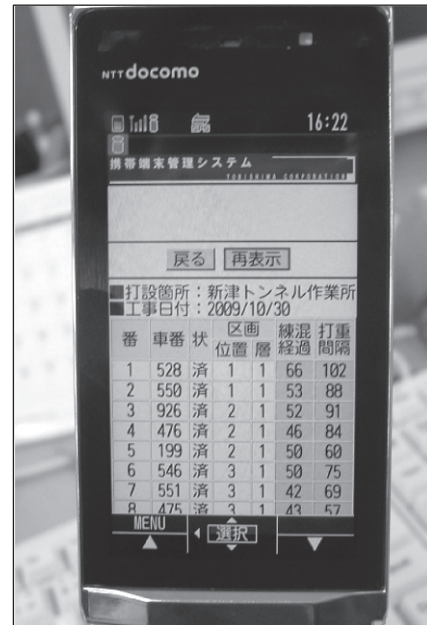
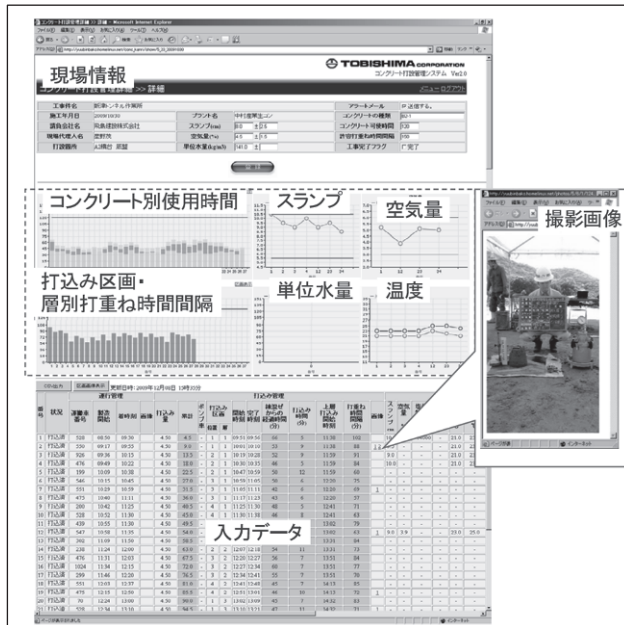
アジテータ車 1 台ごとに IC カードを配付し、コンクリート製造、打設開始・終了時に IC カードをリーダで読取る。その情報はネットワークを通じてサーバに送信され、サーバ上で自動的に取りまとめられる。取りまとめられた管理情報は、携帯電話やパソコンにおいて、リアルタイムに確認できる（図-3）。



図-3 ICT 打設システム適用例

パソコン及び携帯電話用の管理画面の一例を図-4に示す。パソコン用の管理画面においては、現場情報やアジテータ車ごとの使用時間、打込み位置ごとの打重ね時間間隔、スランプ値や空気量などの変化が確認できる。携帯電話用画面は、画面の大きさを考慮し、数値情報のみの表示となっている。

また、あらかじめコンクリートの打設時間や打重ね時間間隔などの管理値を設定することにより、経過時間が管理値に迫ってきた場合に現場担当者の携帯電話へ対応を促すメールが自動発信される。ここで、打重ね時間間隔は打設位置および層ごとに管理ができる。



(a) パソコン用画面

(b) 携帯電話用画面

図-4 管理画面の一例

(3) 結果

それぞれの項目について、リアルタイムで情報を共有し「見える化」を可能にした。「施工管理の効率化」においては、現場とプラントで情報が共有できるため、アジテータ車出荷間隔の調整やトラブル発生時のスムーズな対応が可能であった。

また、数値情報だけでなく、携帯電話で撮影された画像も共有できるため、視覚的に現場状況を確認することが可能である。そのため、事務所や現場でアジテータ車の運行状況、現場での打設状況、コンクリートの性状などの情報をリアルタイムに確認することで、問題が生じる懸念がある場合、迅速に施工へフィードバックさせることにより不具合を未然に防ぐことが可能となる。

さらに、入力された情報から指定書式で管理帳票が自動的に作成されるため、作成作業の労力や時間を大幅に削減することが可能である。

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICT を活用し早期開通を目指す-国道 115 号霊山道路 七ツ窪トンネル （「トンネルと地下」 535 号 Vol. 46 No. 3）：永尾慎一郎（東北地方整備局福島河川国道事務所）、水口均（飛島建設（株））、藤田圭一（同）、2015 年 3 月 ・ 社内技術資料「とびしま技報 No. 59(2010)」 ・ ホームページ： https://www.tobi-tech.com/tech/gihou/gihou_59-2010.htm (2016 年 11 月 25 日現在)
<p>備 考</p>	<p>—</p>

技 術 名	換気設備風量自動調節システム
番 号	No. 4. 2-24
発 注 者	国土交通省 九州地方整備局
施 設 名	芳ノ元トンネル
所 在 地	宮崎県宮崎市清武町大字今泉
工 事 名 称	東九州道（清武～北郷）芳ノ元トンネル新設（二期）工事
施 工 期 間	2013年1月～2016年7月
施 工 者	五洋建設（株）
キーワード	坑内環境，見える化，換気制御

(1) 概 要

トンネルの坑内環境は換気設備による送気や排気によって良好な状態に保たれている。しかし、坑内環境は地質や施工状況等によって常に変化する。中でもメタンガスは発生箇所や発生量が増減しやすく、一定濃度に達するとガス爆発の危険があるため特に注意が必要となる。このような状況を踏まえて、測定結果に応じて換気設備風量を自動制御するシステムを考案した。このシステムは、メタンガス濃度等の坑内環境の自動測定と“見える化”、そして測定結果に応じて換気設備風量を自動制御するシステムである。

(2) 技術詳細

1) 視覚的な位置関係や経時変化の把握が可能

坑内環境を自動で測定し“見える化”するため、リアルタイムに一目で異常発生箇所や発生過程を把握できる。これにより、異常発生時の初動対応を速やかに行うことができる。

2) 安全を確保しつつ換気設備の消費電力削減が可能

これまで変動する坑内環境に対して一定量であった換気風量を、測定結果に応じてリアルタイムに自動制御するため、坑内の安全状態を保ちつつ最適な坑内換気風量に調整できる。

3) 作業全般に適用が可能

坑内換気が必要な作業全般に適用できる。

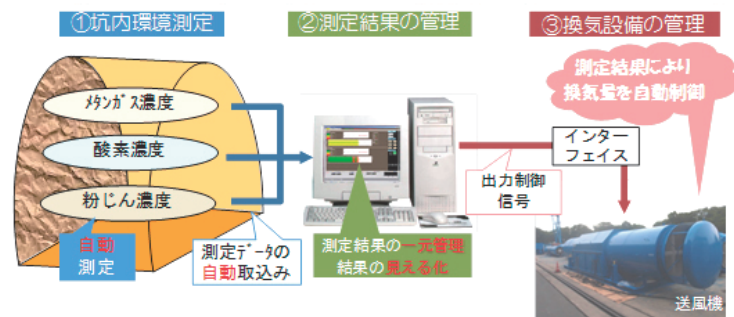


図-1 換気設備自動制御システムの概要

(3) 結 果

- ・測定結果の一元管理と見える化機能により、有害物質の発生状況をすぐに把握でき、異常発生時に退避指示など速やかな対応が可能になった。
- ・坑内環境に応じた換気量の自動制御により、消費電力が削減できることを確認できた。

参 考 文 献	五洋建設(株)、ホームページ http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/mt_tunnel/ventilate_system.html
備 考	—

【地下施設／山岳トンネル】

技術名	戸田式坑内環境最適化システム
番号	No. 4. 2-25
発注者	長野県
施設名	上高地トンネル
所在地	長野県松本市上高地
工事名称	平成 25 年度 防災・安全交付金(道路)工事(上高地トンネル)
施工期間	2013 年 12 月～2016 年 4 月
施工者	戸田建設(株)
キーワード	坑内環境、自動計測、自動制御、一元管理
<p>(1) 概要</p> <p>1) 工事概要</p> <p>工法：山岳工法 延長：588m 断面積：55.5m² 掘削方法：発破掘削、補助ベンチ付全断面掘削工法</p> <p>2) 技術概要</p> <p>施工中の山岳トンネル工事における坑内の空気環境は、工事災害防止、労働者の安全と衛生面に関する作業環境の確保及び地球温暖化防止対策（CO₂排出削減）に直結する項目であることから、これらを一元管理できるシステムを構築することで、坑内環境を常に最適化して維持できる手法を開発した。一元管理システムは、トンネル換気機器を自動制御することにより坑内環境に影響を与える粉じんや有害ガスの濃度、坑内温度ならびに坑内風速を管理基準値以内に最適化しつつ、これを作業中連続保持できることを目的とするものである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 環境指標値の設定と測定手法及び換気機器稼働方法</p> <p>実証現場で採用した環境指標値と測定位置ならびに各種機械類の配置位置を表-1、図-1 に示す。有害ガスは、計画策定時の現地条件を鑑みて選択を行っているため、必要に応じてガスセンサを追加すれば任意に指標値を追加・変更できるものとしている。</p>	

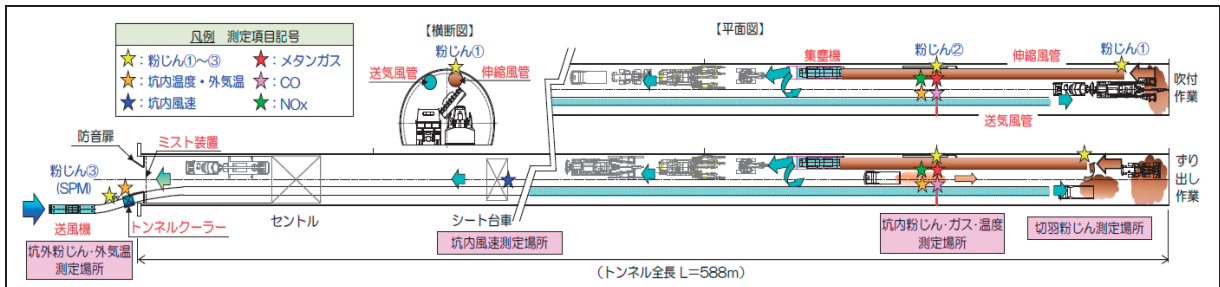


図-1 実証現場における測定機器・換気機械配置図

表-1 実証現場での環境指標値と実施内容

環境項目	適用場所	測定位置と測定手法(自動:◎、手動:△)												
		標準案(換気指針)				実証現場での換気								
		測定位置	頻度	手法	機器	換気制御	測定位置	頻度	手法	機器(自動)	換気稼働制御	見える化手法	期待される効果	
i 粉じん濃度: 2.5mg/m ³	切羽50mから全線	切羽+50m	1回/半月以内	△	デジタル粉じん計	送風機、集塵機のインバーター手動切替	切羽+50m・伸縮風管先端	常時 ◎		デジタル粉じん計	送風機、集塵機のインバーター自動制御(出力調整)	環境項目測定値・送風機稼働データ・集塵機稼働データを一覧表示 【設置場所】 ①事務所PC ②結所PC ③携帯端末	① i~viiのトンネル掘削に伴う坑内及び坑外環境の管理目標値を漏れなく満足 ② 坑内作業環境改善 ③ 対応の迅速化 ④ 坑外周辺環境負荷低減 ⑤ 換気調整作業の省力化 ⑥ 省電力	
ii 坑内風速: 0.3m/s		切羽+50m	1回/半月以内	△	熱線風速計		シート台車			熱線風速計				
iii 坑内温度: 28℃	坑内全線	粉じん濃度と同位置	粉じん濃度と同頻度	△	デジタル温湿度計		切羽+50m			デジタル温湿度計				
iv メタン濃度: 1.5%		発生のおそれのある場所	適宜	△	ガス測定器		切羽+50m			ガス測定器				
v CO: 50ppm		作業密度が高い場所	作業密度が高い時期	△										
vi NOx: 25ppm				△										
vii 浮遊粒子状物質(SPM)・1時間値: 0.2mg/m ³	坑外	坑口	適宜	△	デジタル粉じん計		坑口			デジタル粉じん計				除じんミスト自動作動
viii 送気外気温: 28℃				△	デジタル温湿度計					デジタル温湿度計				トンネルクーラー自動作動

2) 環境管理項目別の具体的な換気手段と管理区分別の換気装置の運転内容

環境項目別にこれらを捕集除去、希釈排出、風速保持、空気冷却するための主たる換気機器を定めて、管理基準値を限界として環境項目毎に4段階の管理区分を設定する。設定した管理区分毎の閾値を処理できる換気機器の運転は、インバーターによる出力調整により実施する。その具体的な内容を表-2、表-3に示す。

表-2 実証現場での環境管理項目と換気装置の運転内容

測定場所	管理項目	主な発生原因	坑内環境最適化対策					
			手法	管理基準値	管理区分の設定	管理区分別の運転内容	運転機器	運転制御方法
切羽	粉じん	発破	集塵機と伸縮風管による吸引捕集(発生源のため高濃度であるが、可能な限り迅速に吸引捕集する)	高濃度粉じんを迅速に濃度低下させる(2.5mg/m ³ 以下)	管理基準値を限界値として、I~IVの管理区分を設定	管理区分(I~IV)に対応して、集塵機と送風機の運転区分を4段階に設定 ・全力運転: 100% ・高速運転: 90% ・中速・低速運転: 80~30%	送風機 集塵機	インバーターで4段階の運転自動制御
		すり積込み・運搬						
		コンソクによる岩石破砕 吹付コンクリート						
切羽後方	粉じん	車両走行による巻上げ	集塵機吸引捕集・送風機希釈排出	2.5mg/m ³			送風機	
	メタンガス	自然由来	送風による希釈・排出	1.5%				
	CO	発破後ガス・排気ガス		50ppm				
	NOx	発破後ガス・排気ガス		25ppm				
	坑内温度	機械類発熱・外気温	送風による冷却効果・外気冷却	28℃以下				
	風速	設備等の障害物	望ましい風速以上を保持	0.3m/s以上				
坑口	浮遊粒子状物質	坑口からの浮遊物漏出	坑口でミスト捕集、除じん	0.2mg/m ³		管理区分に対応したON・OFF運転	除じんミストクーラー	ON・OFF制御
	送気外気温	高温外気	トンネルクーラーで外気冷却	28℃				

※各センサのデータ収集間隔: 190回/分

表-3 管理区分別の閾値と換気機器の運転内容

測定場所	管理項目	単位	管理区分 (制御パラメータの閾値)				対応換気機器	管理区分別の運転内容				機器制御方法
			IV	III	II	I		IV	III	II	I	
切羽	粉じん	mg/m ³	2.5以上	2.5~2	2~1	1未満	集塵機	全力吸引	高速	中速	低速	インバーター制御
切羽後方	粉じん	mg/m ³	2.5以上	2.5~2	2~1	1未満	送風機	全力送気	高速	中速	低速	
	メタンガス	%	1.5以上	1.5~1	1~0.25	0.25未満		全力送気	高速	中速	低速	
	CO	ppm	50以上	50~40	40~15	15未満		全力送気	高速	中速	低速	
	NOx	ppm	25以上	25~20	20~1	1未満		全力送気	高速	中速	低速	
	坑内温度	℃	28以上	28~27	27~25	25未満		全力送気	高速	中速	低速	
	風速	m/s	0.1未満	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3以上		全力送気	高速	中速	低速	
坑口	浮遊粒子状物質	mg/m ³	0.2以上	0.2~0.1	0.1未満	—	ミスト装置	ON・坑内散水	ON	OFF	—	ON・OFF制御
	送気温度	℃	28以上	27以下	—	—	クーラー	ON	OFF	—	—	

集塵機	全力吸引	高速	中速	低速
(運転区分)	100%	90%	70%	30%
送風機	全力吸引	高速	中速	低速
(運転区分)	100%	90%	80%	70%

3) 自動制御マトリックス

前項の換気機器の運転制御及びその他の機器類を用いて、坑内環境を最適化するための管理区分、管理基準値、機器類の運転区分、作業基準をマトリックス表示して表-4に示す。

表-4 自動制御マトリックス表

管理区分	基準値	換気機器	運転レベル	運転区分	作業基準	メタン		発破Co			発破Nox			ディーゼルCo			ディーゼルNox			
						1.5%以上	坑内電源遮断	50ppm以上		送風機	全力	自動	全員退避	送風機	全力	自動	全員退避	送風機	全力	自動
IV	1.0~1.5%	送風機	高速	自動	作業停止 退避準備	40~50ppm		送風機	高速	自動	退避準備	20~25ppm		40~50ppm		20~25ppm				
						15~40ppm						1~20ppm		15~40ppm		1~20ppm				
						0.25~1.0%						15ppm以下		1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下		
						0.25%以下						15ppm以下		1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下		
III	0.25%以下	送風機	中速	自動	火気禁止	15ppm以下		送風機	中速	自動	平常作業	1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
II	0.25%以下	送風機	低速	自動	平常作業	15ppm以下		送風機	低速	自動	平常作業	1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
I	0.25%以下	送風機	低速	自動	平常作業	15ppm以下		送風機	低速	自動	平常作業	1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				
						15ppm以下						1ppm以下		15ppm以下		1ppm以下				

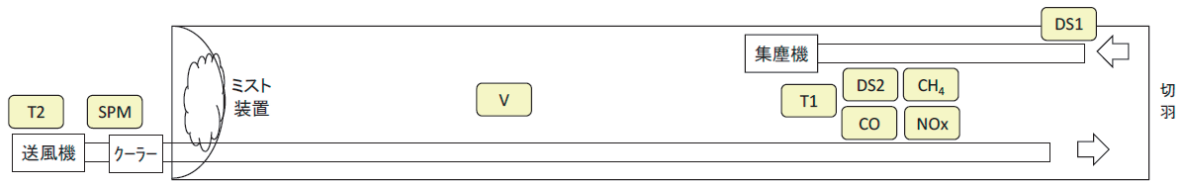
管理区分	基準値	換気機器	運転レベル	運転区分	作業基準	粉じんDS1 (吸引捕集)			粉じんDS2 (希釈拡散)			風速				
						2.5mg/m ³ 以上	2.0~2.5mg/m ³	1.0~2.0mg/m ³	1.0mg/m ³ 以下	2.5mg/m ³ 以上	2.0~2.5mg/m ³	1.0~2.0mg/m ³	1.0mg/m ³ 以下	0.1m/s以下	0.2~0.1m/s	0.3~0.2m/s
IV	2.0~2.5mg/m ³	集塵機	全力	自動	作業停止	2.5mg/m ³ 以上		送風機	全力	自動	作業停止	0.1m/s以下		0.1m/s以下		
						2.0~2.5mg/m ³						2.0~2.5mg/m ³		0.2~0.1m/s		
						1.0~2.0mg/m ³						1.0~2.0mg/m ³		0.3~0.2m/s		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
III	1.0~2.0mg/m ³	集塵機	中速	自動	平常作業	1.0~2.0mg/m ³		送風機	中速	自動	平常作業	0.3~0.2m/s		0.3~0.2m/s		
						1.0~2.0mg/m ³						1.0~2.0mg/m ³		0.3~0.2m/s		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
II	1.0mg/m ³ 以下	集塵機	低速	自動	平常作業	1.0mg/m ³ 以下		送風機	低速	自動	平常作業	0.3m/s以上		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
I	1.0mg/m ³ 以下	集塵機	低速	自動	平常作業	1.0mg/m ³ 以下		送風機	低速	自動	平常作業	0.3m/s以上		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		
						1.0mg/m ³ 以下						1.0mg/m ³ 以下		0.3m/s以上		

管理区分	基準値	換気機器	運転レベル	運転区分	作業基準	坑内温度		外気温			坑外SPM					
						28℃以上	28~27℃	28℃以上	27~25℃	25℃以下	0.2mg/m ³ 以上	坑口ミスト	坑内散水	0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)	0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)	
IV	28℃以上	送風機	全力	自動	作業停止	28℃以上		クーラー	ON	自動	平常作業	0.2mg/m ³ 以上		0.2mg/m ³ 以上		
						28~27℃						28℃以上		0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		
						27~25℃						27~25℃		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
III	28~27℃	送風機	高速	自動	平常作業	28~27℃		クーラー	OFF	自動	平常作業	0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		
						27~25℃						27~25℃		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
II	27~25℃	送風機	中速	自動	平常作業	27~25℃		クーラー	OFF	自動	平常作業	0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
I	25℃以下	送風機	低速	自動	平常作業	25℃以下		クーラー	OFF	自動	平常作業	0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		0.1~0.2mg/m ³ (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		
						25℃以下						25℃以下		0.1mg/m ³ 以下 (1時間値)		

4) 機器制御

換気機器とセンサの配置位置ならびに環境管理項目毎のセンサ測定値に対する閾値の一覧表を表-5に示す。

表-5 換気機器類及びセンサ類配置概要図と閾値の一覧表



運転レベル	記号	DS		G			V	T		SPM		
		DS1	DS2	CH ₄	CO	NO _x		T1	T2			
		切羽粉じん (mg/m ³)	坑内粉じん (mg/m ³)	メタン (vol%)	一酸化炭素 (ppm)	窒素酸化物 (ppm)	坑内風速 (m/s)	坑内温度 (°C)	外気温 (°C)	浮遊粒子状物質 (mg/m ³)		
全力運転	HH	2.5以上	2.5以上	1.5以上	50以上	25以上	0.1未満	28以上	運転	28以上	運転	0.2以上
高速運転	H	2.5~2.0	2.5~2.0	1.5~1.0	50~40	25~20	0.1~0.2	28~27	停止	27以下	運転	0.2~0.1
中速運転	L	2.0~1.0	2.0~1.0	1.0~0.25	40~15	20~1	0.2~0.3	27~25			停止	0.1未満
低速運転	LL	1.0未満	1.0未満	0.25未満	15未満	1未満	0.3以上	25未満				

(3) 結果

実証トンネル現場での稼働状況を写真-1に示し、開発技術の効果を以下に示す。

- ・今回定めた環境管理項目の全てにおいて、管理目標値を満足することができた。これにより、当技術開発にあたって実施した検討内容や機器制御手法が根本的に有効であることを証明できた。
- ・国立公園特別保護地区内でのトンネル工事であることから、周辺環境の保全に対して配慮を行う必要があり、大気環境の面から坑外粉じん濃度を制御できたことで環境保全に寄与できた。
- ・掘削1サイクルにおいて、集塵機と送風機の消費電力がどの程度削減できるものであるかの試算結果を表-6に示す。



写真-1 システム稼働状況

表-6 運転管理状態別の消費電力の比較

運転内容	比較Ⅰ		比較Ⅱ	
	集塵機+送風機 (kw・h)	消費電力 比率	送風機のみ (kw・h)	消費電力 比率
新技術	457	1.0	210	1.0
常時全力運転	1,251	2.7	510	2.4
作業別運転	682	1.5	325	1.5

参考文献	2015年度最新トンネル技術講演会：戸田建設(株)、小林由委他、 2015年9月25日
備考	—

技術名	スマートサイトシステム
番号	No. 4. 2-26
発注者	中日本高速道路(株)名古屋支店
施設名	鳳来トンネル
所在地	愛知県新城市乗元～下吉田
工事名称	第二東名高速道路 鳳来トンネル工事
施工期間	2008年10月9日～2012年6月8日
施工者	清水建設(株)
キーワード	省エネ、見える化、換気抑制、創エネ

(1) 概要

当工事は NATM 工法による延長約 2,500m（上下線とも）のトンネル掘削工事である。

建設現場では大量の電力を消費するものの、消費電力量は月毎の総量管理しか行われていない状況であった。また、省エネ対策における日常の取り組み活動においても、定性的な取り組みが多く、定量的に効果を把握することは困難であった。

本技術は ICT を利用して、現場の各設備の電力使用状況及び省エネをリアルタイムで監視（見える化）するとともに、各種の省エネ・創エネ技術を総合的に一元管理し、定量的な省エネ・節電・CO₂排出削減の管理を実現するものである。

(2) 技術詳細

本システムは、図-1 に示すような複数のシステム・技術で構成され、現場の状況に応じて任意に各システムを組み合わせる適用される。

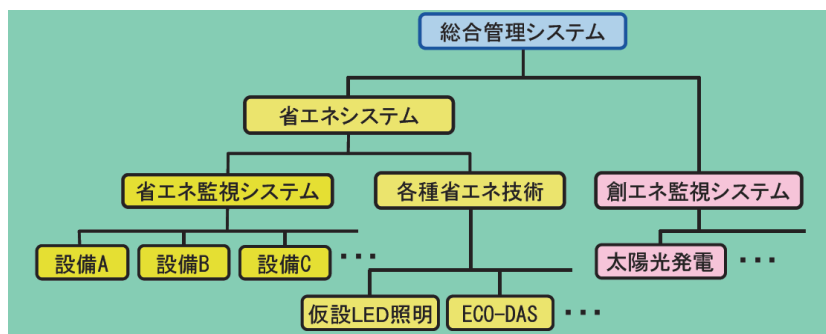


図-1 スマートサイトシステムの構成

1) 省エネ監視システム

省エネ監視システムは現場内各設備の電力情報や環境情報を「見える化」する技術であり、無線によるネットワークを用いて現場内に分散する情報を収集し、現場事務所で一元管理する。電力情報を監視する場合、監視対象とする現場内の電力使用設備を選定してセンサを設置する。そこから得られた情報は無線センサにより送信され最終的に現場事務所のサーバ PC に収集される（図-2）。図-3 に省エネ監視画面イメージを示す。

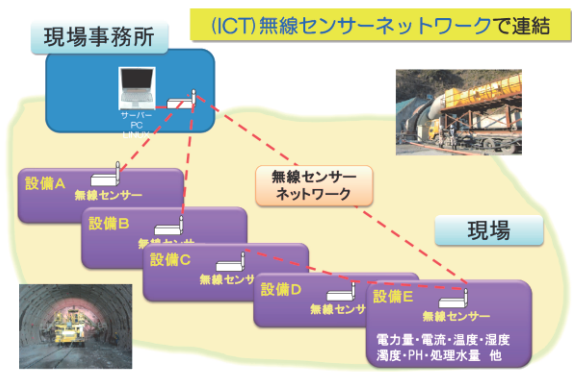


図-2 無線センサネットワーク概念図

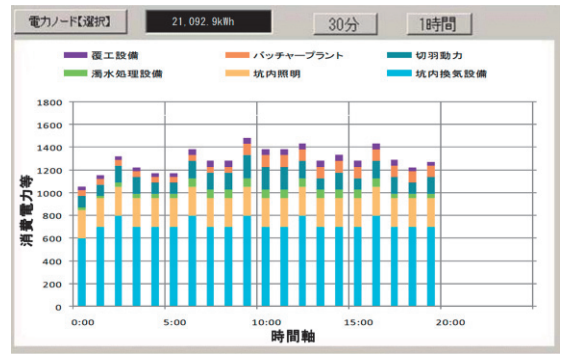


図-3 省エネ監視画面イメージ

2) 各種省エネ技術

各種省エネ技術は、個別に CO₂ を削減し省エネ・節電を実現する様々な技術であり、現場毎に任意に選択される (図-4)。

CO ₂ 排出抑制	省エネ	リサイクル
 車両運行管理システム ECO-DAS	 仮設LED照明	 珪含有珪肥を無害化バイオニュートラル
	 竹笹屋根	 Con機による緑化土壌 RECO-Soil
	 壁面緑化	

図-4 各種省エネ技術

3) 創エネ監視システム

創エネ監視システムは、現場において創りだされたエネルギーを「見える化」するシステムである。図-5 に太陽光発電による創エネ監視状況を示す。

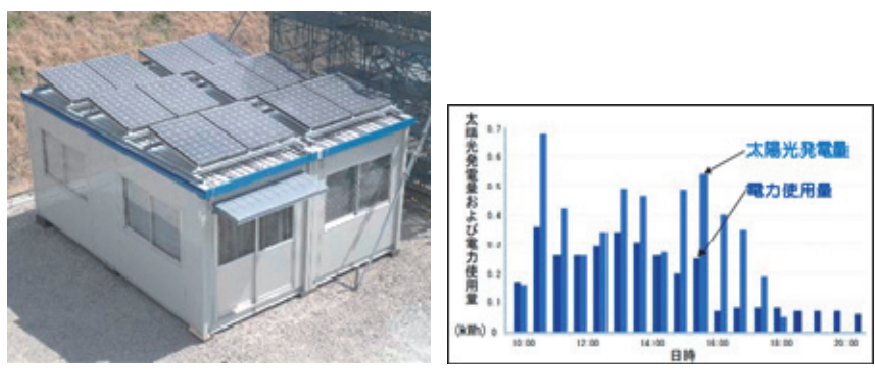


図-5 太陽光発電による創エネ監視状況

4) 総合管理システム

総合管理システムは、本事務所において現場全体の省エネや創エネ、CO₂ 削減状況を一元

管理するものである。本事務所にいながら、現場の状況が即座に視認できるとともに、省エネ・創エネ監視システムや各種省エネ技術から送られて来たデータを組み合わせることで現場の様々な状況の見える化が図られ、戦略的な省エネ・CO₂削減対策を行うことが可能となる（図-6）。

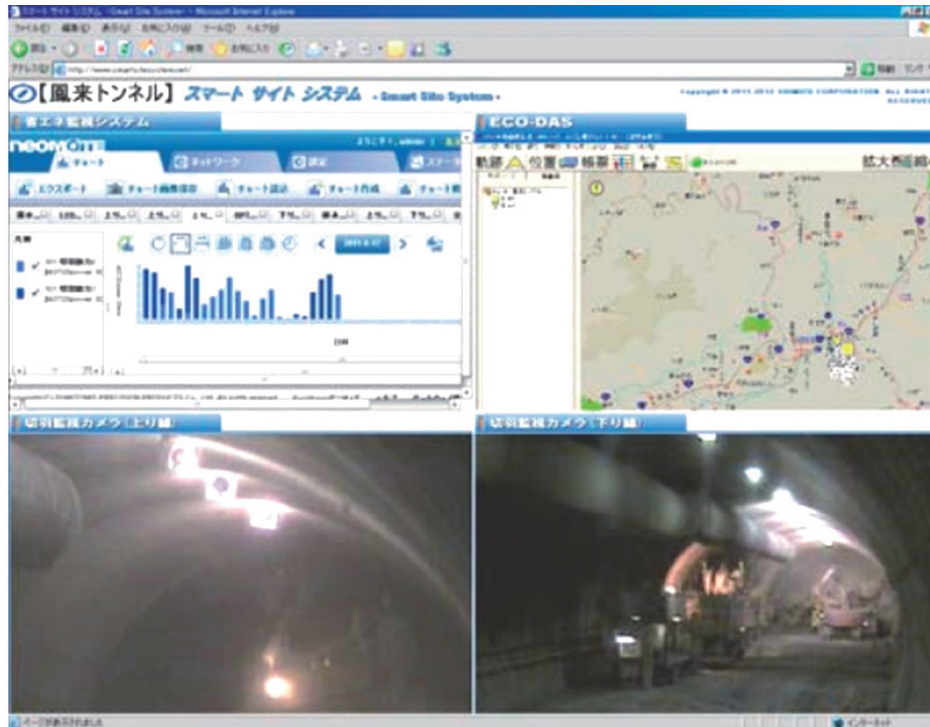


図-6 総合管理システム監視画面

(3) 結果

鳳来トンネル工事における本技術適用状況を図-7に示す。省エネ監視システムにより、換気装置の運転管理を行った。発破作業やズリ出し、吹き付け作業などで坑内の粉塵量が多いときには100%運転、それ以外の削孔・装薬作業時で坑内の空気が清浄な場合は換気運転を70%に制御することとした（図-8）。その結果、換気設備の消費電力は15%に低減できた。

また、具体的な改善効果が数字に示され、省エネ・CO₂削減量が「見える化」されることで作業員への意識付けが明確になり、作業所全体の省エネ・節電に対するモチベーションアップにつながった。

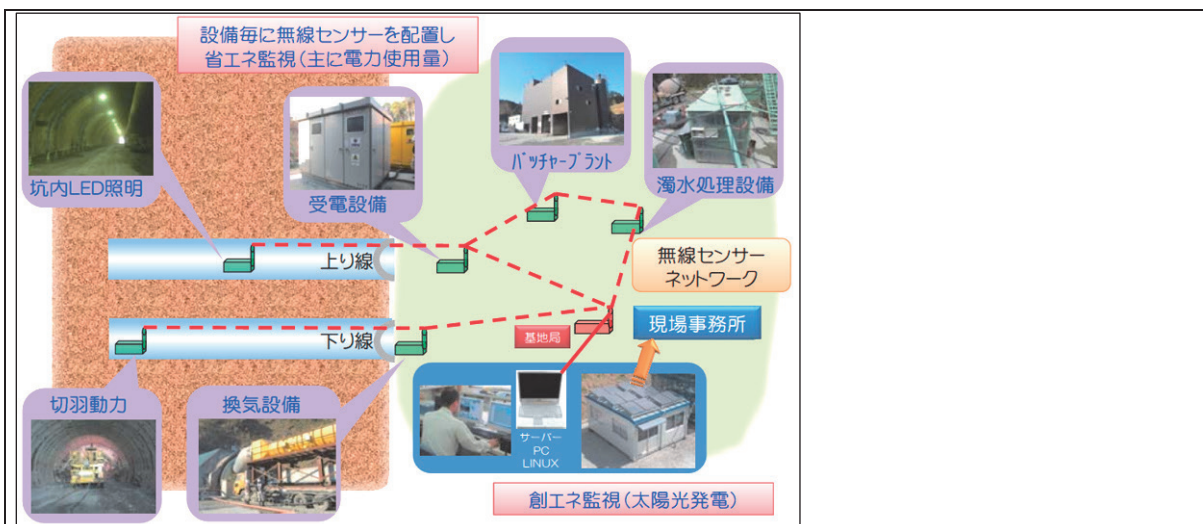


図-7 鳳来トンネルにおける本技術適用状況

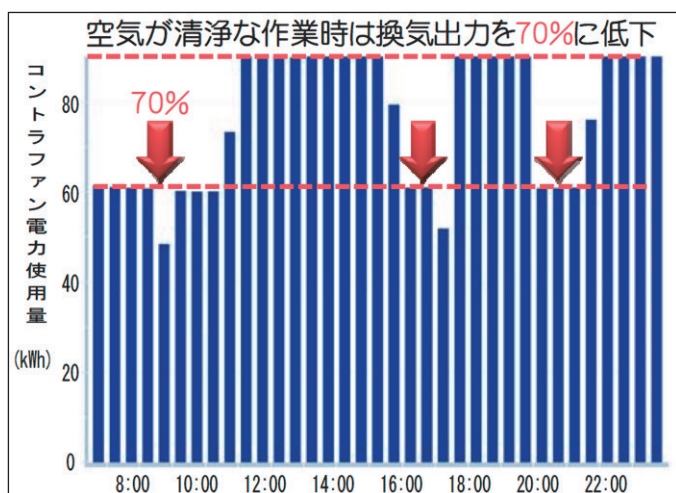


図-8 坑内換気設備の運転管理状況

参考文献	ICT を活用しトンネル工事現場における省エネを一元管理 - 新東名 鳳来トンネルにおけるスマートサイトシステム-(「建設の施工企画」第 741号)、横山勝彦(清水建設(株))、鈴木正憲(同)、藤井攻(同)、2011年11月
備考	—