

# 換気設備の自動制御技術「TUNNEL EYE」による電力削減効果

## Saving Power Consumption Through Automatic Control of Ventilation Facilities in Tunnel Construction

角田晋相\*1 森川真圭\*2 白田克大\*3

### 概 要

カーボンニュートラルの実現に向け、建設分野においても施工段階におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。土木工事のCO<sub>2</sub>排出量原単位は建築工事に比べて大きく、中でもトンネル工事は土木工事の平均値を大きく上回っている。トンネル工事では消費電力量の大半を換気設備の運転が占めており、換気に用いる機械は非常に出力が高い上、運転は手動で切り替えを行っているため、電力の浪費も大きいと考えられる。

そこで、トンネル坑内の換気設備を自動制御するシステムを構築し、換気設備の適正運転を行うことで、消費電力量および電力由来のCO<sub>2</sub>排出量の削減を図ることができた。

key words : 山岳トンネル、自動制御、省エネルギー化、CO<sub>2</sub>排出量削減

### 1. はじめに

脱炭素社会への対応としてカーボンニュートラルに向けた取り組みが加速する中、建設業界では施工段階におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。建設工事におけるCO<sub>2</sub>排出量<sup>1)</sup>について、施工高1億円あたりの排出量(CO<sub>2</sub>排出量原単位)を図-1に示す。土木工事のCO<sub>2</sub>排出量原単位は建築工事に比べて大きく、中でもトンネル工事は土木工事の平均値を大きく上回っている。

トンネル工事におけるエネルギー別のCO<sub>2</sub>排出量比率の一例を図-2に示す。CO<sub>2</sub>の排出量比率は、燃料由来と電力由来の排出量比率が概ね同程度であり、燃料由来のCO<sub>2</sub>排出量ではトンネル坑内からの排出が大半を占めている。トンネル工事の消費電力量について個別の使用比率を図-3に示す。トンネル工事では消費電力量の約半分を換気設備の運転が占めている。

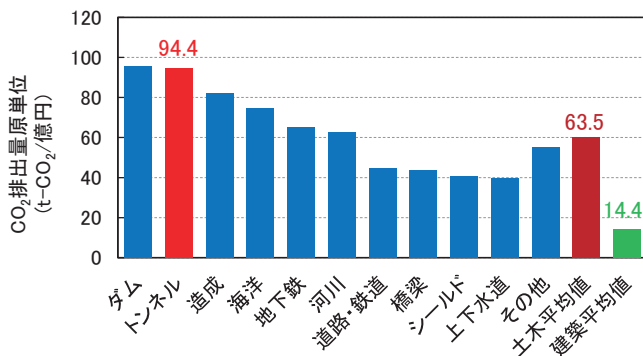


図-1 建設工事におけるCO<sub>2</sub>排出量

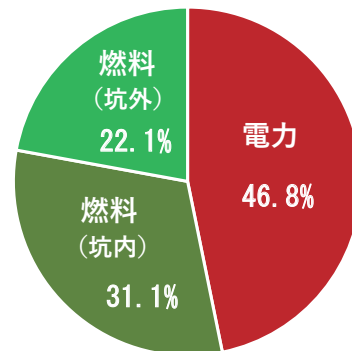


図-2 トンネル工事のエネルギー別CO<sub>2</sub>排出量比率

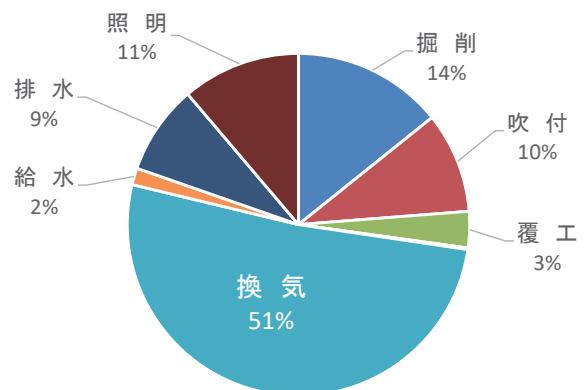


図-3 トンネル工事の個別電力比率

\*1 Shinsuke TSUNODA

技術本部技術研究所 主席研究員

\*2 Masayoshi MORIKAWA

大阪支社土木統轄部土木部 作業所長

\*3 Katsuhiko SHIRATA

大阪支社土木統轄部土木部

また、換気に用いる機械（写真-1：換気ファン、写真-2：集塵機）は非常に出力が高く、これらの運転は手動で切り替えを行っているため電力の浪費も大きいと考えられる。

そこで、トンネル坑内の換気設備を自動制御するシステム「TUNNEL EYE」を構築し、現場で運用することで消費電力量および電力由来のCO<sub>2</sub>排出量の削減を図った。ここでは、TUNNEL EYEのシステム概要と現場運用により得られた効果<sup>2)</sup>について述べる。



写真-1 換気ファン (220kW)



写真-2 集塵機 (110kW)

## 2. システム概要

換気設備の自動制御技術「TUNNEL EYE」のシステム概要を図-4に示す。本技術は、トンネル坑内への入坑者や車両の位置情報、重機の稼働状況の情報から、吹付やずり出しといった作業工程を判断し、作業に応じて換気設備の運転を自動制御するシステムである。

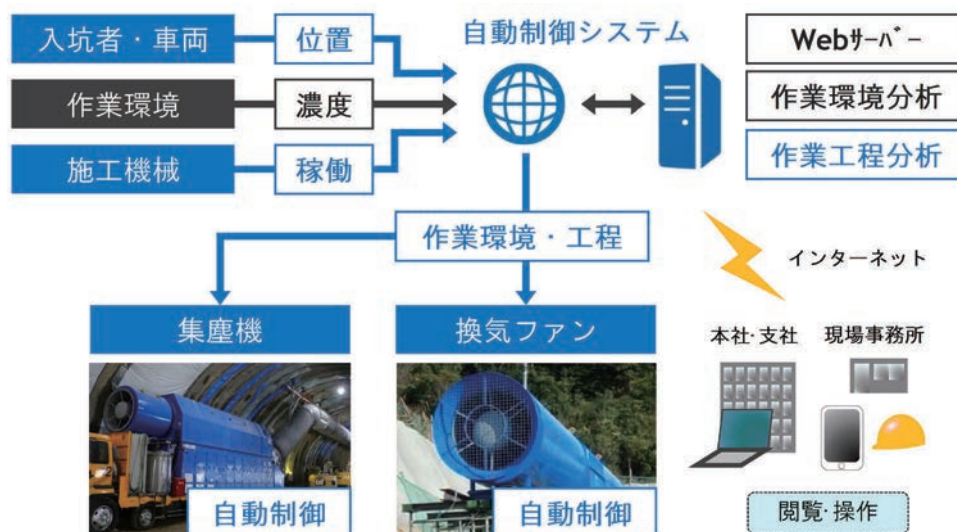


図-4 自動制御技術「TUNNEL EYE」のシステム概要

システムによる制御のフローを図-5に示す。作業工程の判断および換気設備の制御方法は、トンネル施工に用いる機械（写真-3、写真-4）や工事車両の稼働情報を基に、表-1に示す判断基準を現場に応じて事前に設定し、システムに入力して運用する。

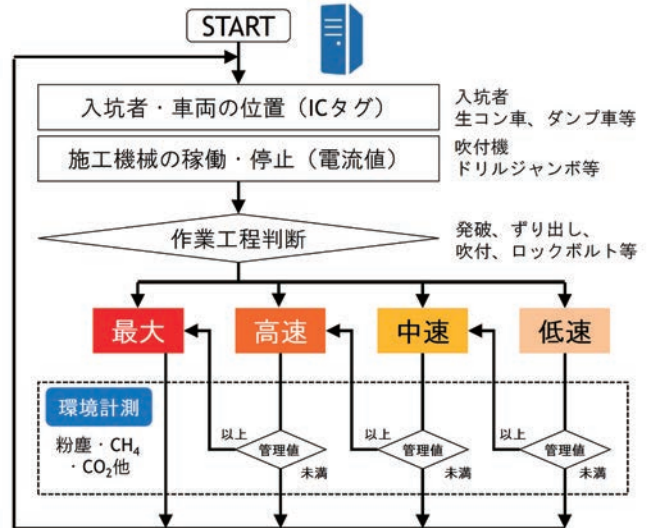


図-5 システムによる制御フロー

表-1 作業工程の判断基準

作業工程	判断基準								制御		
	ドリル ジャンボ	吹付機	モルタル 自車	火車車	ホイール ローダー	ダンプ	生コン車	発破 ボタン	発破後 ボタン	換気 ファン	集塵機
穿孔・装束	●			●						低速	低速
	●		●	●						低速	低速
	●			●						低速	低速
	●			●						低速	低速
発破								●		停止	停止
発破終了									●	低速	最大
ずり出し					●	●				最大	中速
					●					最大	中速
吹付作業		●								中速	高速
		●								中速	高速
		●								中速	高速
支保工確込み		●								低速	高速
ロックボルト	●		●							低速	低速
施工段取り										低速	低速



写真-3 ドリルジャンボ



写真-4 コンクリート吹付機

既存技術として粉塵濃度等の作業環境に応じて換気設備を自動制御するシステムは運用されているが、本システムでは作業環境の計測値に加え、粉塵濃度が高くなる作業工程を判断して制御を行うため、粉塵濃度が高まる前に運転が切り替わり、作業環境の向上が図れる。現場では、換気設備を自動制御することで電力の浪費を抑えるとともに、人為的なミスや操作遅れによる作業環境の悪化の防止にも繋がる。

トンネル坑内の情報は、現場事務所など遠隔地でも Web 上で閲覧や操作が可能なシステムとして構築した（写真-5）。



写真-5 遠隔での閲覧・操作

### 3. 導入現場の概要

導入現場の工事位置を図-6に示す。国道153号は、名古屋市から豊田市・飯田市を経て塩尻市に至る主要幹線道路であり、都市間の物流を担うとともに、中央自動車道の迂回路としても利用されている重要な道路である。

一方、現道区間の伊勢神トンネルは昭和33年制定の道路構造令に準拠した設計（図-7）となっており、現在の基準では内空断面が不足している（図-8）。

本工事は、トンネル断面不足の解消および線形不良箇所を回避することで、防災や利便性の向上を目的として計画された延長2.4kmの伊勢神改良事業における全長約1.9kmのトンネル区間（図-9）のうち、1,276mをNATM工法で施工するものである。

トンネル施工では、TUNNEL EYEによる換気設備の自動制御により作業環境を確保しつつ、消費電力の削減および電力由来のCO<sub>2</sub>排出量削減に努めた。



図-6 システム導入現場の工事位置図

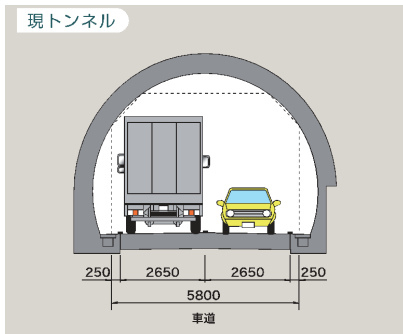


図-7 現道トンネル

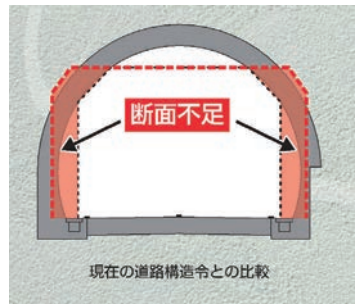


図-8 内空断面の不足

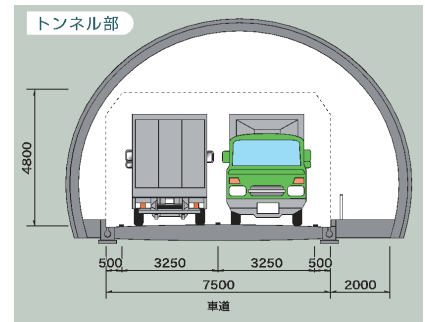


図-9 トンネル計画断面

4. システムの現場運用と効果

4.1 現場でのシステム構築

現場では、作業環境および情報の見える化として、トンネル坑口に設置したデジタルサイネージに作業工程や入坑者情報を表示させた（写真-6）。図-10、図-11に示すように、TUNNEL EYEによる工程判断に連動して坑内の作業工程表示が切り替わり、坑内の環境計測値も併せて表示させた。



写真-6 デジタルサイネージ



図-10 作業工程表示（ロックボルト）



図-11 作業工程表示（ずり出し）

パソコンやタブレットでの管理画面を図-12、図-13に示す。このように、トンネル坑内の作業情報を外部からも可視化することで、安全管理を充実させた。

また、脱炭素化に対する取組み意識の向上を目的に、図-14に示すように坑内に配置したCO<sub>2</sub>濃度計の測定値と換気ファンの風量データから燃料由来のCO<sub>2</sub>排出量を演算する機能を組み込み、電力消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量に加え燃料由来の排出量も管理できるシステムを構築した。

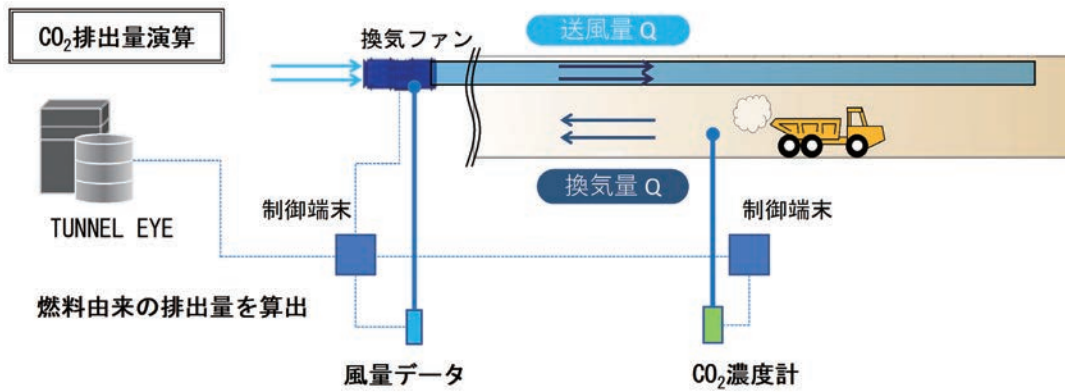
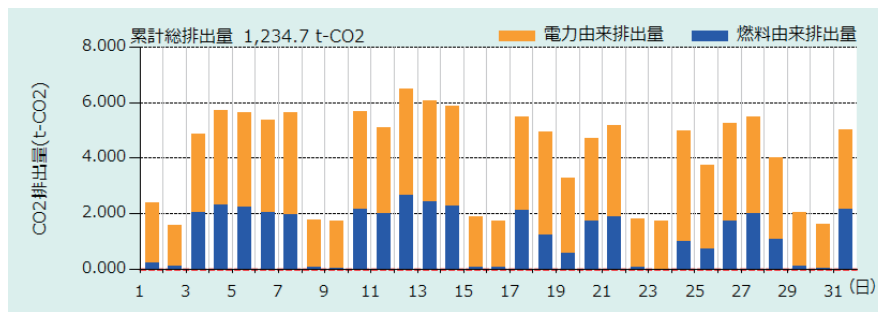
CO<sub>2</sub>排出量の管理画面を図-15に示す。CO<sub>2</sub>排出量を可視化し管理することで、関係者の脱炭素化に対する意識の向上に努めた。



図-12 システムによる管理画面（作業状況）



図-13 システムによる管理画面（坑内情報）

図-14 燃料由来 CO<sub>2</sub> 排出量の演算機能図-15 CO<sub>2</sub> 排出量の管理画面

#### 4.2 システムによる削減効果

現場における1年間（11月から翌年10月）の月次の消費電力量集計結果を図-16に示す。ここではTUNNEL EYEのシステム運用による効果を検証するため、計画電力量として機械の仕様および平均稼働時間から算出した積算上の消費電力量と実績値を比較した。比較にあたり消費電力量の少ない12月は除外して評価した。

月毎に比較すると、11月から翌年4月まではシステムの自動制御により消費電力量の実績値は計画電力量を下回っており、12月を除いた平均値では23.8%の電力削減効果が確認できた。

一方、5月から10月にかけては消費電力量大きく、特に換気ファンの消費電力量が増加している。これは、気温の高くなる夏期においては、作業環境が向上するように、換気設備の運転を手動切替に変更し、換気ファンを長時間にわたって高速運転していたことが原因と考えられる。そのため、手動切替による運転を行っていた夏期においては、平均8.4%消費電力が増加する結果となった。

システムによる自動制御を行っていた期間（11月から翌年4月）における機械別の消費電力量の比較を図-17に示す。機械別にみると切羽重機と集塵機の消費電力量については、計画値と実績値が同程度であるが、換気ファンについては43.8%の電力削減が行えていた。

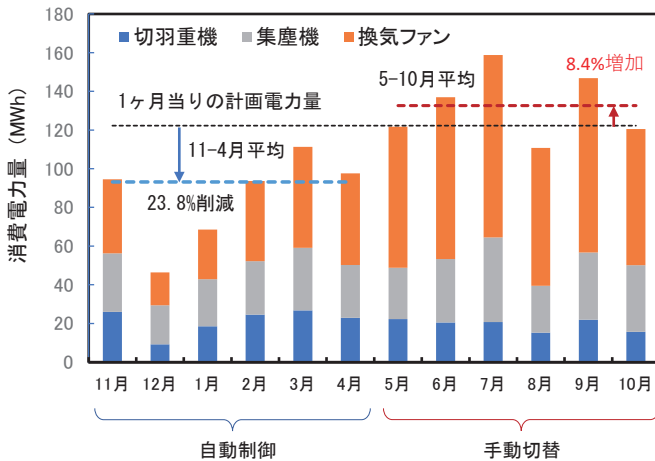


図-16 消費電力量の集計結果

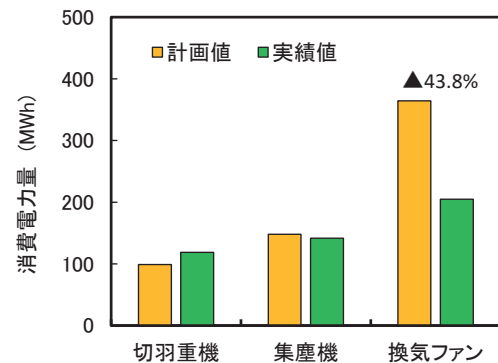


図-17 自動制御期間の機械別消費電力量

換気設備の運転を手動切替で行っていた5月から10月の機械別消費電力量を図-18に示す。手動切替による運転を行っていた期間では、集塵機、換気ファンとも10%程度消費電力が増加していた。

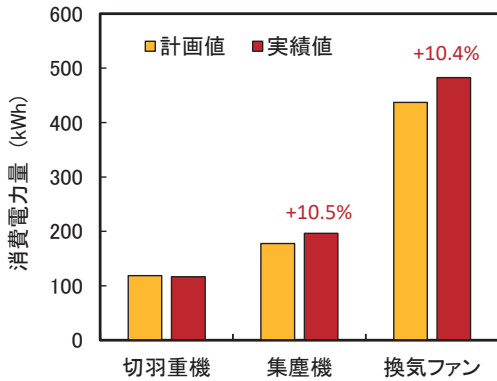


図-18 手動切替期間の機械別消費電力量

1年間の累積消費電力量を図-19に示す。5月以降は手動切替により実績値は増加傾向にあるが、全体では160MWhの電力削減が図れており、CO<sub>2</sub>排出量に換算すると約75t-CO<sub>2</sub>の削減に繋がった。

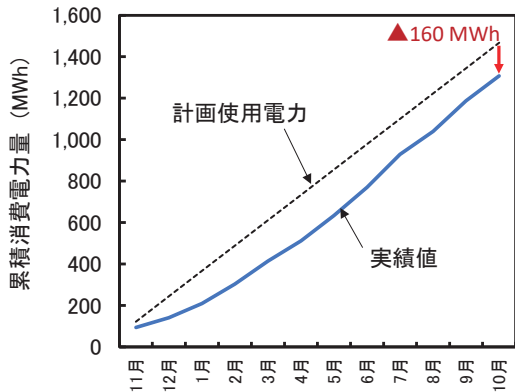


図-19 1年間の累積消費電力量

5. まとめ

換気設備の自動制御技術「TUNNEL EYE」の運用により、機械の適正運転を行うことで、23.8%の消費電力と電力由来CO<sub>2</sub>排出量の削減を図ることができた。

一方、夏期におけるシステムの運用においては、気温や湿度を考慮するなど、作業環境に配慮した運転制御が必要になるといった、年間を通して自動制御を行うにあたっての課題も抽出できた。

今後、TUNNEL EYEの改良改善を行ってより良いシステムを構築していくとともに、現在取り組んでいる燃料由来CO<sub>2</sub>排出量の削減技術<sup>3), 4), 5), 6), 7)</sup>とも併せて、総合的なCO<sub>2</sub>排出量削減を図っていく。

脱炭素化への対応が一層求められる中、施工段階におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減できる技術の早期実用化に向けて取り組んでいく。

【参考文献】

- 1) 日野隆、北川博一、本田一幸：建設工事における地球温暖化防止への取組み、土木学会第41回環境システム研究論文発表会講演集、pp.14.-147、2013年10月
- 2) 角田晋相、森川真圭、白田克大：トンネル工事における換気設備の自動制御による電力削減、土木学会全国大会第80回年次学術講演会、VI-569、令和7年9月
- 3) 角田晋相、相羽均修、原田尚幸、榊原弘幸、上河内貴、田淵亮丞、小堺規行、金井謙介：スラッジ水のミスト噴霧によるCO<sub>2</sub>固定化に関する研究、土木学会全国大会第78回年次学術講演会、VII-33、令和5年9月
- 4) 相羽均修、角田晋相、上河内貴、田淵亮丞：トンネルの縮小模型を用いたCO<sub>2</sub>固定化に関する実験的検討(その1)、土木学会全国大会第79回年次学術講演会、V-733、令和6年9月
- 5) 角田晋相、相羽均修、上河内貴、田淵亮丞：トンネルの縮小模型を用いたCO<sub>2</sub>固定化に関する実験的検討(その2)、土木学会全国大会第79回年次学術講演会、V-734、令和6年9月
- 6) 相羽均修、角田晋相、原田尚幸、上河内貴、田淵亮丞、金井謙介：トンネルの縮小模型を用いたCO<sub>2</sub>固定化に関する実験的検討(その3)、土木学会全国大会第80回年次学術講演会、V-323、令和7年9月
- 7) 角田晋相、相羽均修、榊原弘幸：現場で発生するスラッジ水を利用したCO<sub>2</sub>固定化技術の開発、銭高組技報No.49、pp.9-16、2024年