

山岳トンネル工事におけるエネルギーマネジメントシステムの開発

Development of Tunnel Energy Management System

山本 悟*

Satoru Yamamoto

楯崎 広和**

Hirokazu Kuwasaki

桑原 陽平***

Youhei Kuwahara

要 約

当社では環境先進企業としての地球環境保全の取組みを通じて『エコ・ファーストの約束¹⁾』を果たすべく、施工における CO₂ 排出原単位を 2020 年度に 1990 年度比で 50%削減するために、全ての現場への LED などの高効率照明の採用、車輛・重機の燃費改善、省燃費運転の普及展開、軽油代替燃料の活用など（西松 Green Way²⁾）に取り組んでいる。その一環として、当社が強みとしている山岳トンネル工事を対象に使用電力量の 10%削減（160 t-CO₂ 削減）を目標に掲げ、現状の使用電力量を把握し、坑内環境を最適に保ちながら現場で稼動する機械・設備の使用電力量の削減を図るエネルギーマネジメントシステム「N-TEMS」を開発した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. システムの概要
- § 3. 導入現場実績
- § 4. 削減効果検証
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

当社では環境先進企業としての地球環境保全の取組みを通じて『エコ・ファーストの約束¹⁾』を果たすべく、施工における CO₂ 排出原単位を 2020 年度に 1990 年度比で 50%削減するために、全ての現場への LED などの高効率照明の採用、車輛・重機の燃費改善、省燃費運転の普及展開、軽油代替燃料の活用など（西松 Green Way²⁾）に取り組んでいる。

その一環として、当社が強みとしている山岳トンネル工事を対象に使用電力量の 10%削減（160 t-CO₂ 削減）を目標に掲げ、現状の使用電力量を把握し、坑内環境を最適に保ちながら現場で稼動する機械・設備の使用電力量の削減を図るエネルギーマネジメントシステム「N-TEMS」を開発した。

今回、国内 3 現場 4 トンネルに N-TEMS を導入した実績の報告を行う。

* 技術研究所土木技術グループ

** 機材部平塚製作所

*** 機材部機電課

§ 2. N-TEMS の概要

2-1 システム構成

本システムは、トンネル現場で稼動する機械・設備のデマンドを監視する『監視システム』、監視システムで判定された工種に基づいて換気ファンおよび集じん機の制御を行う『制御システム』、および計測された各種データをクラウドサーバー上で一元管理する『総合管理システム』で構成されている（図-1）。

(1) 監視システム

『監視システム』は、現場で稼動する機械・設備に設置したデマンド監視装置から消費電力などの情報を自動取得し、現場ネットワークを介してクラウドサーバー上へデータをアップロードする。同時に現在の機械・設備の稼働状況から坑内の工種を判定し、『制御システム』へ制御コマンドを送る（図-2）。

デマンド監視装置には「エコ.Web IV」を使用しており、機械・設備が接続された分電盤に設置することでデマンド監視および電力量の計測を可能としている。

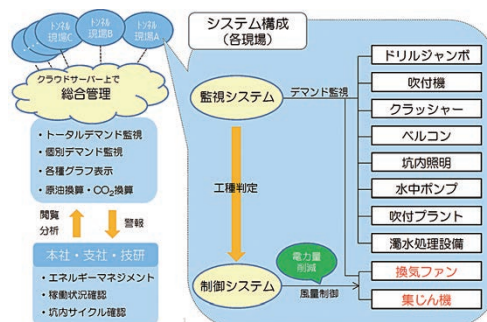


図-1 N-TEMS の構成

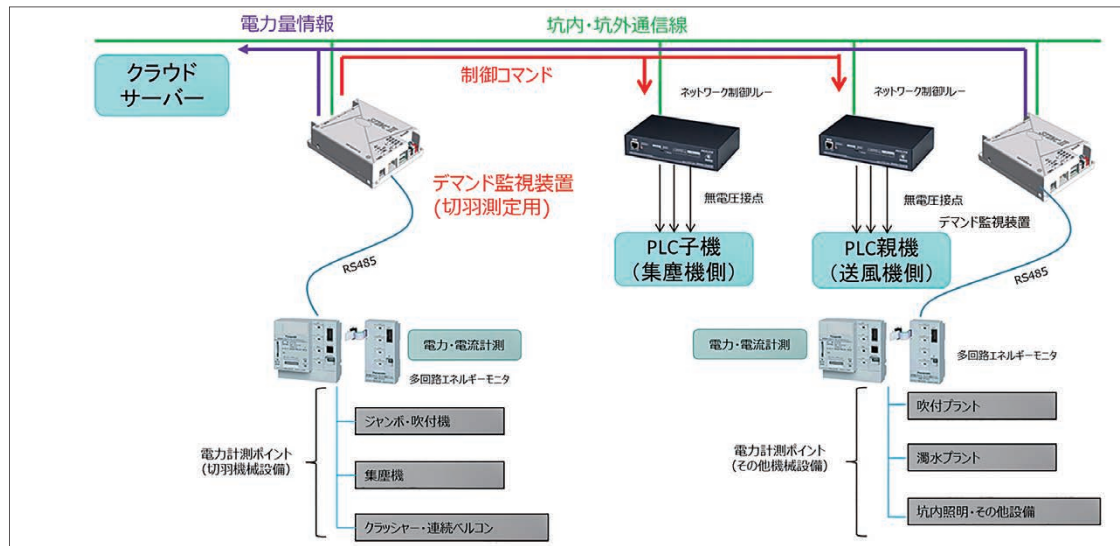


図-2 監視システム構成図

(2) 制御システム

『制御システム』では、現在の工種における最適な機械・設備の制御を行う（図-3）。

監視システムから送られてきた制御コマンドに応じて、換気ファンおよび集じん機（写真-1、2）の風量を工種毎にあらかじめ設定された最適な値に制御する（写真-3、4）。

工種は「発破完了」、「削孔」、「吹付」、「支保工」および「ずりだし」の5種類を設定し、それぞれに3段階の風量設定を行う（図-4）。また、監視システムが切羽作業を判定していない時間は風量を最小限で制御する。



図-3 システムモニタ画面



写真-1 換気ファン

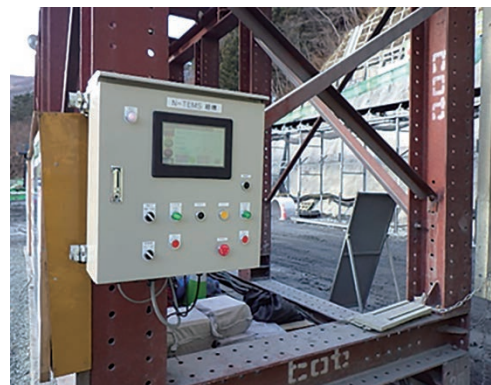


写真-3 制御システム親機（換気ファン）



写真-2 集じん機



写真-4 制御システム子機（集じん機）

なお、後ガス、粉じんを効率的に捕集するために集じん機は発破完了後5分間は最大風量で自動的に稼働する設定にしている。また、粉じん濃度が 3 mg/m^3 以上にならないように、粉じん濃度測定結果を優先させて制御を行う。

(3) 総合管理システム

『総合管理システム』では、各現場から集められたクラウドサーバー上の各種データを閲覧・分析することが可能である(図-5)。データの一元管理による効率的なエネルギー管理により、トンネル現場の消費電力の最適化を行うことで、さらなる電力量削減を実現する。また、本社・支社・技術研究所等の遠隔地からもリアルタイムで現場状況をモニタリングすることで、それぞれの現場に適切な指示・指導が可能となる。

§3. N-TEMS 導入現場実績

3-1 現場概要

開発したシステムを国内3現場4トンネルに導入した。各現場の概要を表-1に示す。各現場共に発破掘削方式を採用しており、ずり運搬方式は後志、川井トンネルが連続ベルコン方式、萩牛トンネルはダンプトラックによる運搬方式を採用している。また、換気方式は全現場で送気・集じん式である。掘削断面は $75\sim 139.8\text{ m}^2$ と標準的な断面から大断面まで多岐にわたる。

3-2 換気設備概要

N-TEMSを導入した3現場の換気設備である換気ファン、集じん機の詳細を表-2に示す。

各現場とも出力 $110\text{ kW}\times 2$ 連、定格風量 $2,000\text{ m}^3/\text{min}$ のインバータ制御式の換気ファンを採用している。

集じん機に関して、一般的にフィルター式と比較して消費電力量を $1/4$ に低減することが可能である電気式を採用している。

3-3 後志トンネル導入実績

後志トンネルにて平成30年1月からN-TEMSを導入し、換気ファン、集じん機の制御を行った。途中現場休止期間を挟みながら、平成31年2月まで約1年間にわたって稼働した実績を示す。

(1) 換気ファン・集じん機電力量

図-6に消費電力量の測定を開始した平成29年9月からの換気ファン、集じん機および総電力量の日平均電力量を示す。なお、切羽掘削稼働日のみを集計対象として、休日や現場休止期間の影響を取り除いている。

N-TEMS導入直後の平成30年2月から4月にかけて、換気ファンの消費電力量の低減効果が表れているが、現場休止期間を経て、平成30年7月からは導入前と同等の消費電力量となっている。これは、夏期になるとトンネル坑内の気温の上昇とともに、換気ファンの送風量を増

送風機設定		工 種	小	中	大
発破完了大時間	5分間	削 孔		✓	
送風機運転開始インターロック	2分間	吹 付		✓	
大風量運転時間	5分間	支 保 工		✓	
中風量運転時間	25分間	ず り だ し		✓	
メニュー		デフォルト	✓		

図-4 換気ファン設定画面



図-5 総合管理システム表示例

表-1 N-TEMS 導入現場概要一覧

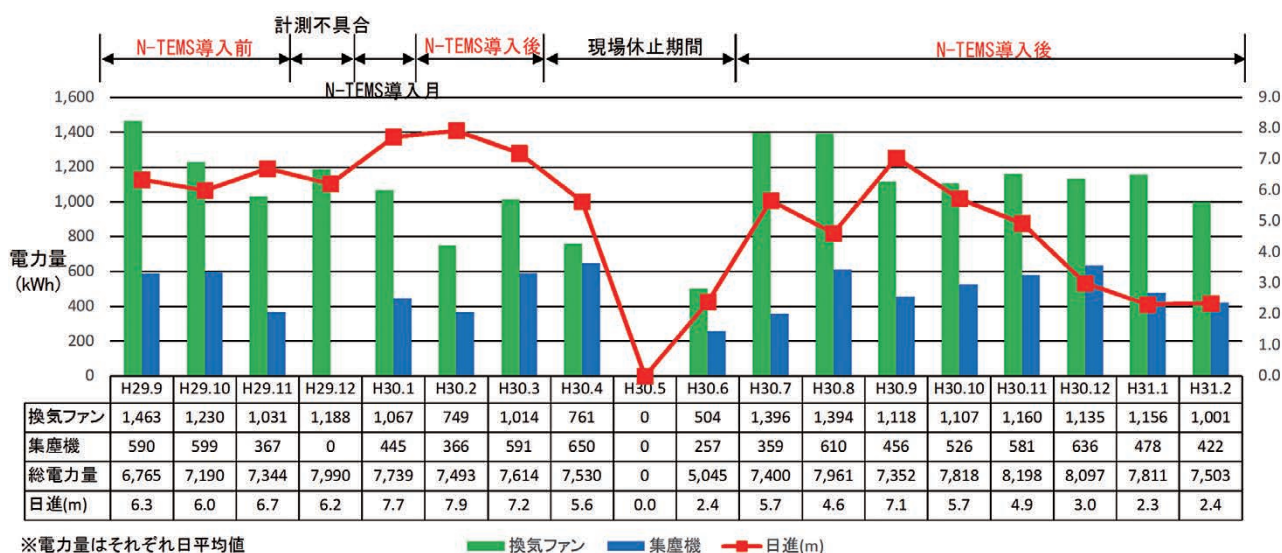
	後志トンネル	萩牛トンネル	川井トンネル
掘削方式	発破掘削方式	発破掘削方式	発破掘削方式
掘削延長	L=4,600m(本坑) L=465m(斜坑)	L=751	L=1,764m(第一) L=1,782m(第二)
掘削断面積	$75\sim 81\text{ m}^2$	$101\sim 139.8\text{ m}^2$	$101.5\sim 124.2\text{ m}^2$
ずり運搬方式	連続ベルコン方式	タイヤ方式	連続ベルコン方式
換気方式	送気・集じん式	送気・集じん式	送気・集じん式
施工場所	北海道	岩手県	岩手県
電力量計測開始	平成29年9月～	平成30年8月～	平成30年9月～
N-TEMS導入開始	平成30年1月～	平成30年11月～	平成30年12月～

表-2 N-TEMS 導入現場換気設備一覧

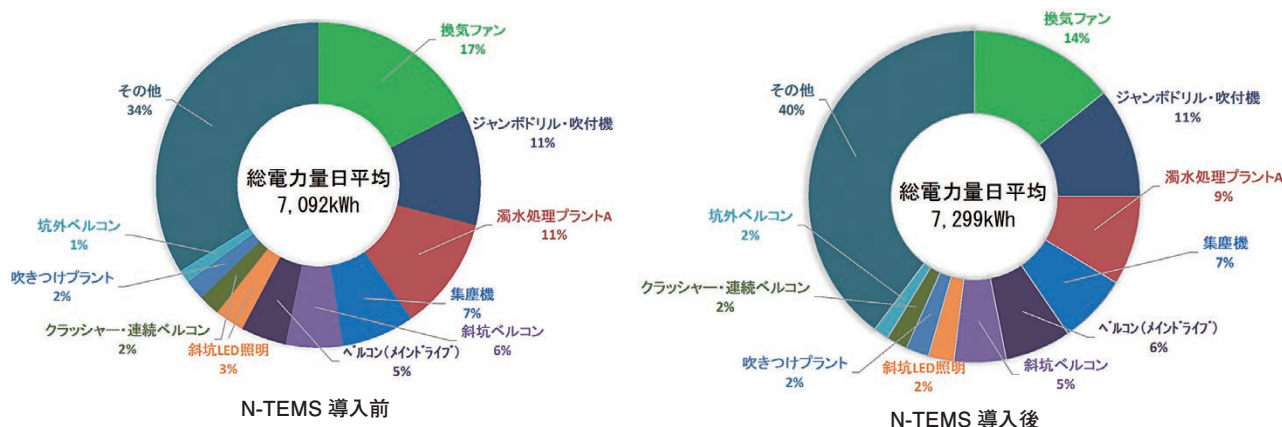
		型式	定格風量 (m^3/min)	出力
後志	換気ファン	SDH1250ST-26-110(4)W	2,000	$110\text{ kW}\times 2$ 連
	集じん機	FTE2700	2,700	75kW
萩牛	換気ファン	GDH1250-26-110(4)W	2,000	$110\text{ kW}\times 2$ 連
	集じん機	M-ECX3000	3,000	75kW
川井	換気ファン	T2.140.2	2,000	$110\text{ kW}\times 2$ 連
	集じん機	M-ECX3000	3,000	75kW

加させて、坑内環境を最適に保つ必要があり、消費電力量が上昇したものと考えられる。

また、冬季においても低減効果が見られないが、これは掘削進行に伴い送風量も増加していくため、低減効果打ち消す形になったと考えられる。



図一六 後志トンネル換気ファン・集じん機電力量（平成 29 年 9 月～平成 31 年 2 月）



図一七 後志トンネル設備・機械内訳（日平均）

(2) 消費電力量の設備・機械内訳

図一七に N-TEMS 導入前後の現場設備・機械別消費電力量の内訳を示す。ジャンボドリル・吹付機、ベルコン設備および吹付プラントなどの設備・機械の割合に変化が無い中で、換気設備の割合は 24% から 21% に低減している。通常、掘削距離が長くなると共に送風量を増加させることで切羽まで到達する風量を確保するため、換気設備の消費電力量が全体に占める割合は掘削進行とともに増加するはずである。しかし、N-TEMS 導入により換気設備を最適に制御することで消費電力量の低減が図られている。

また、設備・機械内訳において特筆すべきは「その他」の項目である。その他とは内訳に示された設備・機械以外の現場で稼働するすべての設備・機械であり、後志トンネルの場合は主に坑内湧水を坑外に排出するための水中ポンプおよび本坑照明器具と考えられる。その割合はシステム導入前で 34%、導入後には 40% まで増加している。

水中ポンプおよび本坑照明器具はトンネルの掘削進行の増加とともに設置台数が増えていくため、特に長大ト

ンネルにおいては現場消費電力量の多くを占めることとなる。よって、今後さらなる現場消費電力量の削減を目指すためには、「その他」の項目に着目した削減対策が重要になってくる。

このように N-TEMS 導入により現場消費電力量の内訳を「見える化」することで現場に潜む削減の可能性を明確にすることが可能である。

3-4 萩牛トンネル導入実績

萩牛トンネルにて平成 30 年 11 月から N-TEMS を導入し、換気ファン、集じん機の制御を行った実績を示す。

(1) 換気ファン・集じん機電力量

図一八に消費電力量の測定を開始した平成 30 年 11 月からの換気ファン、集じん機および総電力量の日平均電力量を示す。なお、切羽掘削稼働日のみを集計対象として、休日や長期休暇等の影響を取り除いている。換気ファンの消費電力量に関しては N-TEMS 導入後に約 43% 削減されているが、集じん機の消費電力量は増加傾向である。日進 (m) との関係も特に見られないことから、今後も計測を継続して削減効果の検証を行う。

(2) 消費電力量の設備・機械内訳

図一9にN-TEMS導入前後の現場設備・機械別消費電力量の内訳を示す。荻牛トンネルのずり運搬方式はトラック式のため、換気設備以外にジャンボ・吹付機のみ消費電力量の測定を行っている。したがって、相対的にその他の項目の割合が多くなっている。

前述したとおり、N-TEMS導入前後で換気ファンは大きく削減されているが、集じん機には低減効果が現れていないことが内訳からも見てとれる。

§ 4. 削減効果検証

4-1 削減効果

3現場4トンネルに導入したN-TEMSの実績を基に、導入による消費電力量の削減効果について検証する。

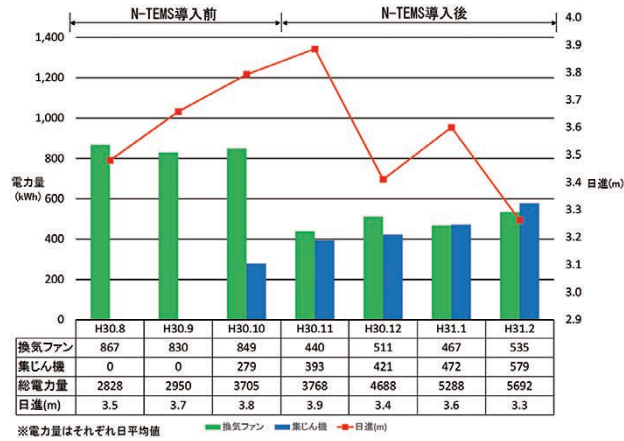
表一3にN-TEMSを未導入の場合に見込まれる予想電力量と実績を比較した電力量計算書を示す。トンネル工事における標準積算に用いられる負荷率、換気ファン(0.571)、集塵機(0.700)として算出した予想電力量と実績を比較すると、各現場で削減率10%以上の効果が試算された。全現場合計では20%の削減であり、西松GreenWay²⁾で掲げていた削減目標を達成することができた。

§ 5. まとめ

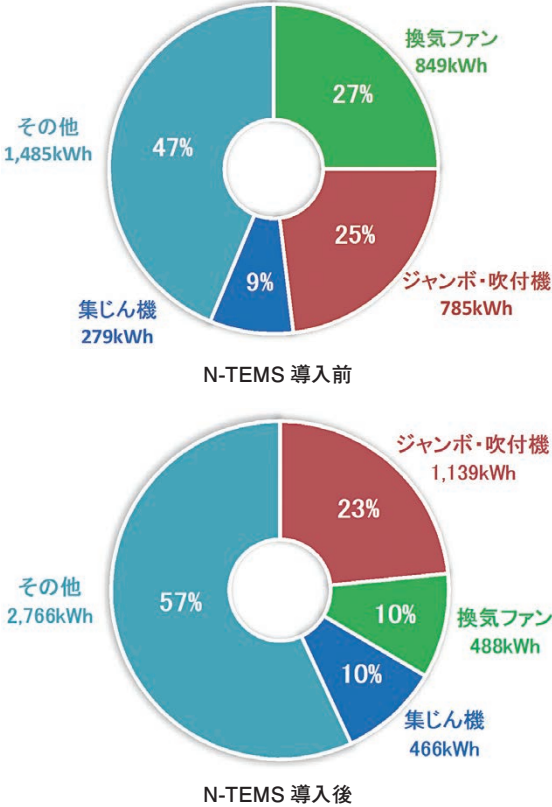
山岳トンネル工事を対象に換気ファン・集じん機の使用電力量の10%削減(160t-CO₂削減)を目標に掲げ、現状の使用電力量を把握し、坑内環境を最適に保ちながら現場で稼動する機械・設備の使用電力量の削減を図るエネルギーマネジメントシステム「N-TEMS」を開発した。

今回、1年以上にわたってトンネル4現場にN-TEMSを導入し、換気ファン、集じん機を最適制御することで使用電力量の20%削減を達成することができた。

また、現場の消費電力量を見える化することでトンネ



図一8 荻牛トンネル電力量集計(日平均)



図一9 荻牛トンネル設備・機械内訳(日平均)

表一3 電力量計算書

機械名	予想電力量							実績	予想-実績	削減率	備考
	単位電力 (kW)	台	kW	時間	稼働日数	負荷率	kWh	kWh	kWh		
1. 後志トンネル											照削 2,273m/4,600m
コントラファン 2,000m ³ /min	110.00	1	110.0	17	293	0.571	312,857	368,932	-56,076		
コントラファン 2,000m ³ /min	110.00	1	110.0	17	286	0.571	91,828		91,828		2018/10より2段運転
電気集塵機 2,400m ³ /min	64.00	1	64.0	17	293	0.70	223,149	138,826	84,323		
2. 川井トンネル第1起点							627,834	507,758	120,075	19%	
2.1 第1トンネル起点側											照削 537.7m/1847m
コントラファン	110.00	1	110.0	17	119	0.571	127,065	113,808	13,257		
電気集塵機	64.00	1	64.0	17	73	0.70	55,597	33,123	22,474		
2.4 第2トンネル終点側											照削 660.8m/1,782m
コントラファン	110.00	1	110.0	17	129	0.571	137,742	172,856	-35,114		
電気集塵機	64.00	1	64.0	17	91	0.70	69,306	32,477	36,829		
							389,709	352,264	37,445	10%	
3. 荻牛トンネル											照削 480m/751m
コントラファン	110.00	1	110.0	17	137	0.571	146,284	86,828	59,456		
電気集塵機	64.00	1	64.0	17	103	0.70	78,445	43,987	34,458		
							224,729	130,815	93,914	42%	
計							1,242,272	990,837	251,435	20%	CO2削減量 130 t-CO2

ル現場の使用電力削減に向けた新たな開発のターゲットが見えてきた。今後も N-TEMS による使用電力量の削減および新たな技術開発を継続すると共に、当社の全トンネル現場への N-TEMS 導入を進めていく。

参考文献

- 1) 西松建設株式会社 HP : <https://www.nishimatsu.co.jp/csr/environment/ecofirst.html>
- 2) 西松建設株式会社 HP : [https://www.nishimatsu.co.jp/csr/report/pdf/2017 EnvironmentalPerformance.pdf](https://www.nishimatsu.co.jp/csr/report/pdf/2017%20EnvironmentalPerformance.pdf)