

電力消費量削減により脱炭素社会を目指して —交通流検知によるトンネル照明設備の制御—

田尻 貴大¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 情報技術課 (〒573-1191 大阪府枚方市新町2-2-10)

中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルに設置したトンネル照明設備の入口照明においては、野外の照度による調光制御に加え、交通流検知により、より細かい調光制御を行っており、電力消費量のより一層の削減を目指している。今回、システム概要、運用開始後に収集した稼働状況データの検証結果、結果による考察及び今後の展望について報告する。

キーワード カーボンニュートラル，新技術

1. はじめに

トンネル照明は「道路照明施設設置基準・同解説」に基づき、設計速度や交通量、野外輝度等の諸条件によって、その施設規模等を定めている。また、同基準ではトンネル照明の運用に関して、「トンネル照明は、交通の安全に配慮のうえ、効率的かつ経済的に運用するものとする。」としており、入口部照明については一般的に野外の明るさに応じて路面輝度を2段階または4段階で調光制御している。

2023年10月28日に供用開始した中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルでは、上述の一般的な照明の運用に加えて、当該トンネルにおける車両の通行状況をセンサにより検知し、車両無通行時の電力を削減するシステムを導入した(図-1)。

本システムは僅少交通量のトンネルでより効果が高くなるものと想定され、車両通行時には必要な照明の運用を図りながら、車両無通行時において電力を合理的に削減することによって、脱炭素社会の実現に貢献することが期待できる。

2. 照明制御システムの概要

(1) 照明設備の概要

中部縦貫自動車道大野油坂道路は対面2車線の自動車専用道路である。そのうち下山トンネルは延長416m、設計速度60 km/h、上下線を剛性防護柵で分離した構造のトンネルであり、照明の設備容量は約3.8kVA(基本照明0.7kVA、入口照明2.9kVA、坑外灯0.2kVA)である。

基本照明は一般的な千鳥配列であるが、入口照明については片側車線照明方式を採用しているのが設備上の特徴である(表-1)。

表-1 下山トンネル照明設備の諸元

項目	諸元	備考
路線名	中部縦貫自動車道大野油坂道路	
交通形態	自動車専用道路 対面2車線通行	
トンネル名	下山トンネル	
トンネル延長	416 m	
設計速度	60 km/h	
日交通量	10,000 台/日 未満	
野外輝度	起点側 終点側とも 2,500 cd/m ²	
基本照明の調光動作	昼間(全光) - 夜間(63%調光) 朝200Lx以上で昼間、夕100Lx以下で夜間	自動調光装置による動作
入口照明の調光動作	「晴天1」: 全光 「晴天2」: 75% 「曇天1」: 50% 「曇天2」: 25%	自動調光装置及び車両検知による動作



図-1 システムの動作イメージ

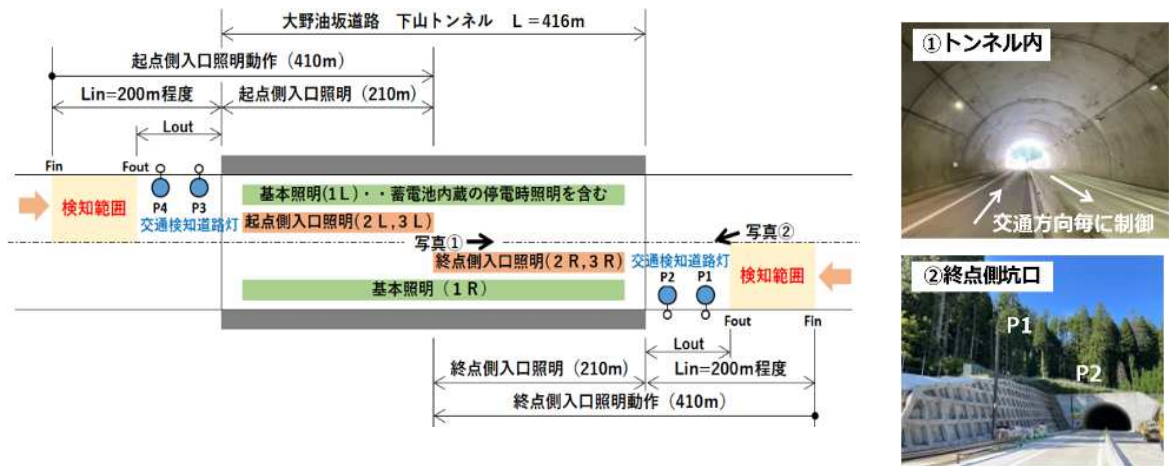


図-2 制御システムの概要

(2) 制御システムの概要

制御システムの概要を図-2に示す。車両検知による制御は入口照明のみを対象としており、交通方向毎に独立した制御系統を有している。

センシングは画像処理センサを実装した交通検知道路灯（坑外灯）を各坑口に2基ずつ配置し、照明分電盤内に実装した入口照明制御ユニットで、センサから得た2つの車両検知信号を論理和で処理し調光出力している。

車両検知位置は坑口より概ね200m手前の明かり部に設定し、通過車両が画像からフレームアウトするまでの間、検知ONを保持している。

車両検知終了は検知ONの解除地点（フレームアウト地点）からのタイマー動作とし、入口照明区間を通過するまでの所要時間に、一定の余裕時間を加味した設定としている。

トンネル照明の制御動作は表-2に示すように、野外の明るさに連動した入口照明4段＋基本照明2段の点灯モードを基本とし、これに車両検知の有無を掛け合わせた動作として、車両が無いときには入口照明を25%調光（曇天2に相当）で点灯する省エネ運用としている。

量が少ないほど省エネ運用の時間が長くなるので省エネ効果が高くなる。即ち、

省エネ効果[Wh]＝消費電力差[W]・省エネ運用時間[h]

と説明することができる。

本システムの省エネ効果が、どの程度の効果があるのか、具体的な数値を示し評価することを目的として稼働状況のデータを収集することとした。

(2) 稼働状況データの収集

稼働状況データの収集は、2023年11月11日（土）から2023年12月10日（日）の1か月間に渡り、下山トンネル終点側の照明分電盤にて、仮設カメラによる車両通行状況の期間連続撮影及び入口照明制御ユニットのPLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）ログ記録を実施した（図-3）。

表-2 トンネル照明の制御動作

灯具種別	入口照明灯具					基本照明灯具	
	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間以下	昼間以上	夜間
自動調光装置の点灯モード	野外の明るさ（照度）に連動						
	ON照度（Lx）	20,000	10,000	4,000	2,000	200	200
	OFF照度（Lx）	10,000	5,000	2,000	1,000	100	100
交通検知	「車両有り」：通常運用	100%	75%	50%	25%	消灯	100%
	「車両無し」：省エネ運用	25%				消灯	100%

3. 稼働状況データの収集と解析

(1) データ収集の目的

本システム導入による省エネ効果は天候状況と交通状況に依存するものと考えられ、野外が明るい（晴天1点灯）ほど、車両通行の有無が消費電力の差（比）に影響し、高い省エネ効果を得ることができる。同様に、交通



図-3 仮設カメラ映像（上段），仮設状況（下段左），分電盤内部（下段右）

収集したデータは交通量、車両検知信号ログ及び照明モードログであり、これらのデータを車両検知精度の確認と省エネ効果の検証に利用した（表-3）。

表-3 収集データ及び検証項目

収集データ	内容
交通量	実交通映像より上下線両方向の交通量を目視観測し、時間交通量をカウント
車両検知信号	車両を検知した時刻データ
照明モード	照明モードが変化した時刻データ



検証項目	内容
車両検知精度	車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を4分類（表-4）に整理
省エネ効果検証	車両検知信号ログと照明モードログを突き合わせて、本システムの有無における双方の電力量を1時間単位で試算

(2) 車両検知精度（不検知率）とフェールセーフ機能

上述のとおり、車両検知精度の確認には実交通映像を用いて車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を次の4分類で整理した（表-4）。

表-4 車両検知状況の分類

分類	内容
正検知	車両が通過した際に正しく検知している
過検知	ヘッドライトの影響などで、車両が映像内に入る前の検知
誤検知	車両以外（反対側車線を走行するトラックや黄パト等、小動物、画像ノイズ等）の検知
不検知	車両が通行しているにも関わらず検知しない

入口照明制御時間帯に相当する昼間10時間（7時～17時）における車両検知精度の解析結果を表-5に示す。

データ収集期間中の不検知率は0.85%であった。不検知は全て降雪時（11月18日及び12月1日）に発生しており、いずれも荒天により点灯モードが曇天2以下で推移していたことに加え、画像処理のフェールセーフ機能である“視界不良検知”の信号も送出されていた。

フェールセーフ機能の動作中は車両検知状況の4分類に関わらず強制的に通常運用に切り替わるので、曇天2以下での運用を確認している。なお、上述の降雪時を除く不検知率は0.00%であった。

過検知及び誤検知は降雪時以外においても発生している。これらは降雨そのものや降雨による濡れた路面の反射等が原因であるが、本システムにおいては安全側に動作する事象でもあるので現段階では許容範囲であると認識している。しかしながら、これらが少なくなるよう、検知パラメータの調整等による改善を検討したい。

表-5 車両検知状況のまとめ

日付	曜日	天候	交通量 (-)	正検知		過検知		誤検知		不検知		不検知率 P1,P2平均
				P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	
11/11	土		1,090	1,090	1,090	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/12	日	雨	826	826	826	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/13	月		616	616	616	0	0	1	0	0	0	0.000%
11/14	火		639	639	639	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/15	水		672	672	672	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/16	木		688	688	688	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/17	金	雨	613	613	613	1	0	2	3	0	0	0.000%
11/18	土	雪	554	443	431	3	8	55	46	111	123	21.119%
11/19	日		680	680	680	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/20	月	雨	620	620	620	0	0	7	3	0	0	0.000%
11/21	火		747	747	747	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/22	水		831	831	831	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/23	木		1,329	1,329	1,329	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/24	金	雨	818	818	818	1	2	8	10	0	0	0.000%
11/25	土		783	783	783	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/26	日		1,046	1,046	1,046	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/27	月	雨	716	716	716	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/28	火	雨	541	541	541	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/29	水	雨	509	509	509	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/30	木	雨	470	470	470	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/1	金	雪	455	412	399	4	4	29	50	43	56	10.879%
12/2	土		(積雪により観測不能)									
12/3	日		(積雪により観測不能)									
12/4	月		546	546	546	0	1	1	6	0	0	0.000%
12/5	火		493	493	493	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/6	水		694	694	694	0	0	0	1	0	0	0.000%
12/7	木	雨	486	486	486	3	2	6	8	0	0	0.000%
12/8	金		593	593	593	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/9	土		795	795	795	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/10	日		704	704	704	0	0	0	0	0	0	0.000%
合計			19,554	19,400	19,375	12	17	114	84	154	179	0.851%
降雪日(11/18,12/1)を除く			18,545	18,545	18,545	5	5	30	38	0	0	0.000%

4. 省エネ効果の検証

(1) 電力量のシミュレーション手法

a) 単位電力

各調光モードにおける消費電力は、各灯具の定格値を採用した。車両無通行時は昼間の野外照度に関わらず、曇天2に相当する25%調光としている（表-6）。

表-6 各点灯モードにおける消費電力

回路 番号	回路名称	各点灯モードにおける消費電力 (W)					
	自動調光装置動作	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間	夜間
	ON 照度 (Lx)	20,000	10,000	4,000	2,000	200	-
	OFF 照度 (Lx)	10,000	5,000	2,000	1,000	100	-
1 L・1 R	基本照明 (W)	7543	7543	7543	7543	7543	5598
2 L・2 R	起点側入口照明 (W)	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4		
3 L・3 R	終点側入口照明 (W)	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4		
合計 (W)		3,560.7	2,846.1	2,166.0	1,499.1	7543	5598

初期光束補正機能あり（点灯初期の値）

b) 点灯時間

車両無通行時も含む各調光モードの点灯時間は、ログデータに基づく実測値によるものとする。

c) 電力量の算出

各調光モードにおける単位電力と点灯時間との積で表し、時間単位で求める。これらは、本システムを導入した場合と従来通りの場合と双方について計算し、併せて両者の比較で省エネ率を算出するものとする。

(2) 省エネ効果の検証

電力削減量を計算した結果を表-7に示す。検証期間中は、入口照明が点灯する昼間10時間交通量（7-17時）が平均1,712台/10hであり、入口照明の電力削減率は平均25.9%という結果を得た。日別では1日当たりの電力削減率は最大で40.4%（12月2日）、最小で0.0%（11月24日及び12月9日）であった。

また基本照明も含めた照明全体の電力削減率では平均9.9%、最大が20.4%、最小が0.0%であった。

電力削減率が0.0%となった2日間はいずれも天候が悪く、終日曇天2で推移したことが要因である。

一例として電力削減率が期間平均値に近い11月11日（土）の検証結果を図-4に示す。

5. 考察

表-7 電力削減量の検証まとめ

日付	曜日	交通量 昼間10時間 (7-17)	無交通時間比 率昼間10時間 (7-17)	入口照明の電力量(kWh)				削減量		基本照明含みの電力量(kWh)			
				従来運用	本システム運用	差	削減率	CO ₂ 削減量 [kg]	レジ袋換算 [枚]	従来運用	本システム運用	差	削減率
11/11	土	3,029	52%	13.69	10.19	3.50	25.6%	1.70	52	29.14	25.64	3.50	12.0%
11/12	日	2,204	57%	8.30	6.80	1.50	18.1%	0.73	22	23.63	22.12	1.51	6.4%
11/13	月	1,548	66%	12.46	8.06	4.40	35.3%	2.14	65	27.88	23.49	4.39	15.7%
11/14	火	1,600	65%	12.52	8.73	3.79	30.3%	1.85	56	27.95	24.15	3.80	13.6%
11/15	水	1,670	64%	14.68	9.76	4.92	33.5%	2.40	73	30.12	25.19	4.93	16.4%
11/16	木	1,739	65%	11.40	8.19	3.21	28.2%	1.56	47	26.80	23.59	3.21	12.0%
11/17	金	1,578	64%	6.42	5.12	1.30	20.2%	0.63	19	21.64	20.34	1.30	6.0%
11/18	土	1,370	63%	5.24	4.11	1.13	21.6%	0.55	17	20.58	19.45	1.13	5.5%
11/19	日	1,787	63%	8.12	6.19	1.93	23.8%	0.94	28	23.36	21.43	1.93	8.3%
11/20	月	1,500	65%	8.88	6.67	2.21	24.9%	1.08	33	24.20	21.99	2.21	9.1%
11/21	火	1,838	63%	8.98	7.31	1.67	18.6%	0.81	25	24.38	22.71	1.67	6.8%
11/22	水	1,995	60%	7.10	6.54	0.56	7.9%	0.27	8	22.49	21.92	0.57	2.5%
11/23	木	3,107	51%	11.42	8.95	2.47	21.6%	1.20	36	26.83	24.36	2.47	9.2%
11/24	金	1,929	58%	3.01	3.01	0.00	0.0%	0.00	0	18.15	18.15	0.00	0.0%
11/25	土	1,993	61%	11.03	8.24	2.79	25.3%	1.36	41	26.41	23.62	2.79	10.6%
11/26	日	2,525	56%	13.00	9.58	3.42	26.3%	1.67	50	28.40	24.98	3.42	12.0%
11/27	月	1,710	64%	8.54	6.22	2.32	27.2%	1.13	34	23.78	21.46	2.32	9.8%
11/28	火	1,303	67%	6.12	4.68	1.44	23.5%	0.70	21	21.20	19.75	1.45	6.8%
11/29	水	1,228	68%	6.58	5.17	1.41	21.4%	0.69	21	21.81	20.40	1.41	6.5%
11/30	木	1,111	70%	6.09	4.98	1.11	18.2%	0.54	16	21.37	20.26	1.11	5.2%
12/1	金	1,064	66%	8.51	6.32	2.19	25.7%	1.07	32	23.80	21.61	2.19	9.2%
12/2	土	(降雪により観測不能)	60%	15.62	9.31	6.31	40.4%	3.07	93	30.96	24.66	6.30	20.3%
12/3	日	(降雪により観測不能)	69%	9.61	7.51	2.10	21.9%	1.02	31	24.92	22.82	2.10	8.4%
12/4	月	1,296	69%	11.61	8.02	3.59	30.9%	1.75	53	26.98	23.39	3.59	13.3%
12/5	火	1,142	71%	13.27	8.26	5.01	37.8%	2.44	74	28.61	23.59	5.02	17.5%
12/6	水	1,532	68%	11.08	7.63	3.45	31.1%	1.68	51	26.43	22.99	3.44	13.0%
12/7	木	1,135	67%	5.87	5.00	0.87	14.8%	0.42	13	21.12	20.25	0.87	4.1%
12/8	金	1,374	68%	9.28	6.83	2.45	26.4%	1.19	36	24.60	22.15	2.45	10.0%
12/9	土	1,833	62%	5.94	5.94	0.00	0.0%	0.00	0	21.29	21.29	0.00	0.0%
12/10	日	1,784	64%	10.82	7.89	2.93	27.1%	1.43	43	26.12	23.20	2.92	11.2%
合計		47,924	64%	285.19	211.21	73.98	25.9%	36.03	1,092	744.95	670.95	74.00	9.9%

注) 交通量及び無交通時間比率は昼間10時間（7-17）の値とする
CO₂削減量)環境省「主要な電気事業者のCO₂排出係数(R4年度実績)」北陸電力の基礎排出係数：0.487[kg-CO₂/kWh]より算出
レジ袋換算) 一社) 環境エネルギー・事業協会 レジ袋を1回回ることによるCo2削減量 33g-CO₂/枚

●電力削減効果まとめ

項 目	従来運用 の場合	本システム運用の場合	電力比率
起点側：入口照明[kWh]	6.85	5.25	76.7%
終点側：入口照明[kWh]	6.85	4.94	72.1%
入口照明計[kWh]	13.69	10.19	74.4%
入口照明の電力削減率			25.6%

制御システム対象外の基本照明も加えたトンネル照明全体

基本照明[kWh]	15.45	15.45	100.0%
トンネル照明合計[kWh]	29.14	25.64	88.0%

基本照明も加えたトンネル照明全体の電力削減率 12.0%

時間帯	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	合計
時間交通量 (台/h)	14	15	15	14	19	28	83	168	208	228	339	354	291	345	399	401	296	196	130	94	60	48	34	19	3798台/日
無通行時間比率 (%)	93	95	93	94	92	89	79	66	63	62	51	46	49	48	41	42	49	58	66	72	81	85	90	93	71%
電力量 (システム無) (kWh)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.65	1.71	2.17	2.57	2.85	2.77	2.17	2.17	2.17	1.62	1.05	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	29.14kWh
電力量 (システム有) (kWh)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.65	1.53	1.74	1.90	2.16	2.19	1.84	1.85	1.89	1.57	1.05	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	25.64kWh
電力比 (%)	100	100	100	100	100	100	100	89	80	74	76	79	85	85	87	97	100	100	100	100	100	100	100	100	88%



図-4 電力削減率が検証期間平均値(25.9%)に近い11月11日の検証データ

電力削減率の結果は上述のとおりであるが、降雪等により正常に観測出来なかった日を除く26日間の交通量データ（26日×24h×2方向=1,248）を元にして時間交通量と無通行時間比率（省エネ運転の時間的比率）との関係を求めた。

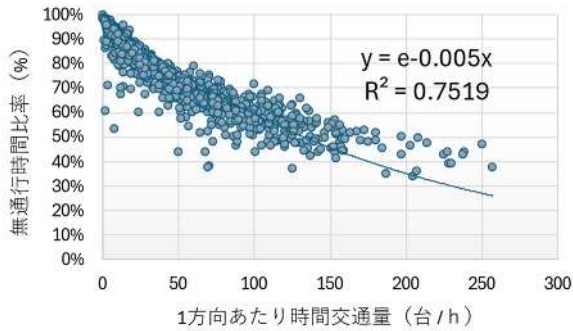


図-5 時間交通量と無通行時間比率との関係

これによれば、時間交通量が少ないほど無通行時間比率は高くなり、時間交通量を与えれば無通行時間比率を求めることができる。

図-5は検証期間のみのデータではあるが、無通行時間比率に関しては時間交通量が同じであれば定性的に次のことがいえる。

- ・制御対象区間長さが短いほど無通行時間比率が高い
- ・通行車両の速度が高いほど無通行時間比率が高い
- ・交通流が「密」なほど無通行時間比率が高い

他のトンネルでも同様にデータを収集し、上述の要素に着目しながら整理することにより、省エネ効果を予測できる可能性を高めていくことが有効と考える。

6. 今後の展望

検証の結果は昼間10時間交通量が1,712台/10hで入口照明の電力削減率は25.9%であった。検証期間中のCo2排出削減量は約36kg-Co2であり、レジ袋を1,092回断る所作に相当する。

また、交通状況を連続的に観測したことによって時間交通量と無通行時間比率との関係を定量的に把握することができた。今後、同様の照明制御システムを導入する際の参考データとして活用できれば幸いである。

現在、近畿地方整備局が管理する道路では、電気使用量の約7割を道路照明が占めている状況である。このため、従来の高圧ナトリウム灯などよりも消費電力が大幅に削減できるLED灯に転換することにより、Co2排出量の削減を推進しているところであるが、本技術のようなセンサー照明の新技术導入による更なる削減も進めている、脱炭素社会の実現を目指していきたいと考えている。