

## 神戸長田トンネル照明設備の解析的検討

保全施設部 電気通信課 相馬 裕明  
保全施設部 電気通信課 庄 直之

### 要 旨

神戸長田トンネルは、基本照明に 32W Hf 蛍光ランプを採用し、25～100%の連続調光制御を可能にしている。

従来、基本照明の連続調光制御の方法としては、「初期照度補正制御」および「周囲温度補正制御」が行われていたが、平成15年8月に供用した神戸長田トンネルにおいて、煤煙透過率計と連動し、煤煙透過率により連続的に調光制御する「煤煙透過率制御」を国内で初めて導入した。

本稿は、神戸長田トンネルにおける調光制御方式の概要を述べ、供用後の運転データにより、連続調光制御による省エネルギー効果を評価・検証するものである。

キーワード：初期照度補正制御，周囲温度補正制御，煤煙透過率制御，省エネルギー

### はじめに

神戸長田トンネルは南行線 2,184m、北行線 2,118m で供用されている。基本照明には 32W Hf 蛍光ランプを採用し、周囲条件により 25～100%の連続調光制御を可能としている。

トンネル照明の連続調光制御には「初期照度補正制御」および「周囲温度補正制御」がある。本トンネルではこれらに加えて「煤煙透過率制御」を採用しているが、これは煤煙透過率が高い場合に、最大で 50%の調光制御を行うもので、ドライバーの視認性を損なうことなく省エネルギーを図ることが可能な方式である。これら 3つの制御方式を組み合わせた照明制御システムは国内で初の試みであり、高い省エネルギー効果が期待できるものとなっている。

### 1. 照明設備の概要

基本照明には 32W Hf 蛍光ランプ（電球色）×2 灯用の 25～100%連続調光形トンネル照明器具を採用し、総合均斉度(U<sub>0</sub>)0.4 以上、車線軸均斉度(U<sub>1</sub>)0.6 以上とするため、7.4～10.8m の千鳥配列として平均路面輝度 2.3cd/m<sup>2</sup>を確保している（写真-1, 写真-2）。

入口部照明は 110～360Wの高圧ナトリウムランプを使用し、安定器は-20%の瞬時電圧降下にも立ち消えしない仕様としている（写真-3）。

照明制御は電気室に設置された照明主制御盤とトンネル内に設置された調光端末器により基本照明の連続調光制御と入口部照明の点灯制御を行っている。基本照明の連続調光制御は阪神高速道路公団としては初めての導入である。



写真-1 神戸長田トンネル（基本部）



写真-2 32W Hf 蛍光ランプ（電球色）×  
2灯用トンネル照明器具



写真-3 神戸長田トンネル（入口部）

## 2. 照明制御システムの概要

### 2-1 システム構成

神戸長田トンネルのトンネル照明制御システムは、照明主制御盤を中心に照明器具を制御する調光端末器等を2本の伝送信号線で接続して基本照明のコントロールと共に、輝度受光器により野外の輝度を測定し、入口部照明の自動制御を行うシステムで、主に以下の機器で構成されている（図-1参照）。

#### (1) 照明主制御盤

照明制御システムの中心的役割をもつ装置。あらかじめ設定された初期照度補正データと周囲温度や煤煙透過率から適正調光率を算出し、トンネル坑内の調光端末器に調光信号を送る装置（写真-4）。

#### (2) 調光端末器

トンネル坑内に設置される端末器盤内に収納され、照明主制御盤から2線伝送信号により基本照明の明るさをコントロールする端末機器（写真-5）。

#### (3) 温度センサ

照明器具周囲の温度を測定する端末機器。

#### (4) 輝度受光器

坑口付近の野外の輝度を測定する機器。



写真-4 照明主制御盤



写真-5 調光端末器盤

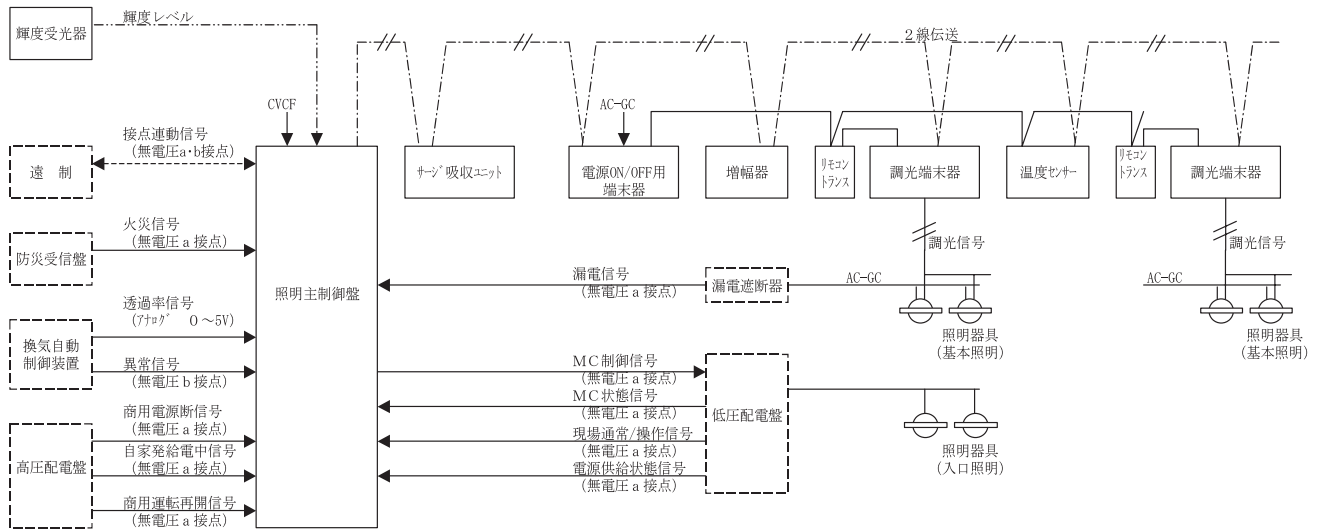


図-1 照明制御システム系統図

## 2-2 制御概要

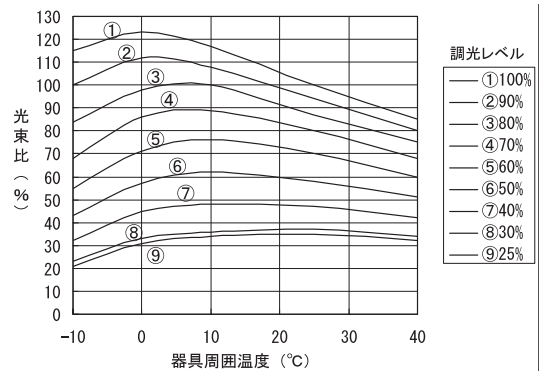
神戸長田トンネルでは、照明制御システムにより、野外輝度や時刻設定による通常のみるさ自動制御のほか、特に基本照明について以下の制御を行っている。

### (1) 初期照度補正制御

照明器具は、使用経過時間に伴うランプの劣化、器具の汚れなどにより照度（光束）が徐々に低下する。照明設備の設計時にはこれらの点を考慮した保守率（器具汚れによる減衰×ランプ光束減衰）を設定して光束減衰時にも基準輝度を確保できるよう設計されている。初期照度補正制御は設計時に保守率として見込んだ設置当初の余剰な光束を調光制御しておき、徐々に明るくすることによって路面の輝度を一定に保つものである。

### (2) 周囲温度補正制御

基本照明に使用されているHf蛍光灯照明器具は器具周囲温度によりランプ光束が変化する。図-2に各調光レベルごとのHf蛍光灯照明器具の周囲温度特性を示す。周囲温度制御は、トンネル内に設置された温度センサからの器具周囲温度信号により、温度特性に応じた調光レベルを算出し適正な明るさレベルになるよう制御する方式である。



備考：光束比(%)は周囲温度 25°Cにおける調光レベル 100%時を 100%としている

図-2 Hf 蛍光灯トンネル照明器具の周囲温度特性

### (3) 煤煙透過率制御

トンネル照明における平均路面輝度は煤煙透過率が 50%程度を想定して定められている値であり、煤煙透過率が高い場合は路面輝度を低減することが理論上可能<sup>1)</sup>であり(図-3)、現行基準においても交通量の減少により煤煙透過率が高くなると推定される夜間においては昼間時の 50%に減光が可能となっている。各種光源による煤煙透過率と所要路面輝度についての実験も行われている<sup>1)</sup>。本制御は煤煙透過率と所要路面輝度の関係に基づき、換気制御に使用さ

れているVI計の計測信号を取り込み、連続調光することによって適正路面輝度を確保しつつ交通量が少なく、煤煙透過率が高いときの省電力を図るものである。

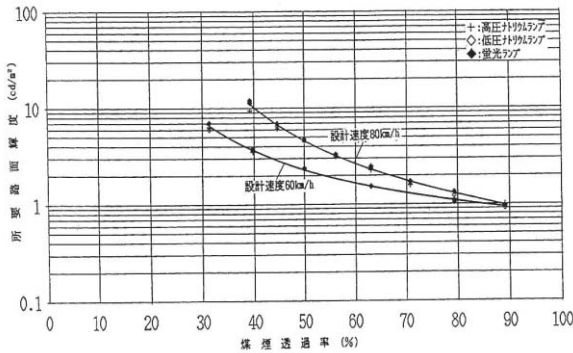


図-3 所要路面輝度と煤煙透過率の関係<sup>1)</sup>

### 3. 照明制御による省電力効果の予測

前述の基本照明の連続調光制御による具体的な省電力効果の予測を述べる。

#### 3-1 初期照度補正制御による省電力効果

初期照度補正制御は設計時に保守率として見込んだ設置当初の余剰な光束を調光制御しておき、時間の経過と共に徐々に明るくすることによって路面の輝度を一定に保つものである。保守率(M)は経年変化による光源光束低下を示す光源の設計光束維持率(M1)と照明器具の汚れによる器具光束の低下を示す照明器具の設計光束維持率(Md)からなり、以下のように考えられる。

$$M = M1 \times Md$$

光源の設計光束維持率は光源光束の時間的な光束減衰を示すもので、光源固有の特性である。神戸長田トンネルに使用されているHf蛍光ランプ(FHF32)の場合、定格寿命12,000時間で光源の設計光束維持率は初期の80%となる。

照明器具の設計光束維持率は、照明器具が汚れることにより照明器具から発せられる光束の減衰を示すもので、照明器具の周囲条件、形状、清掃間隔等に影響を受ける。照明学会技術指針では、照明器具の設計光束維持率を条件ごとに図-4のように示している。ここで、図-4の

A~Hは照明器具の周囲条件、形状等による条件であり、神戸長田トンネルの場合、器具の清掃間隔を現在のトンネル照明の点検・清掃頻度である2年とすると、南行線で0.688,北行線で0.563である(表-1参照)。

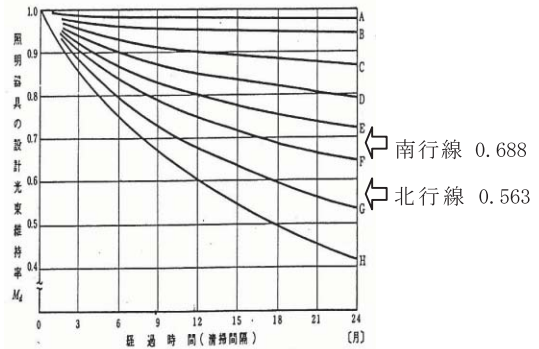


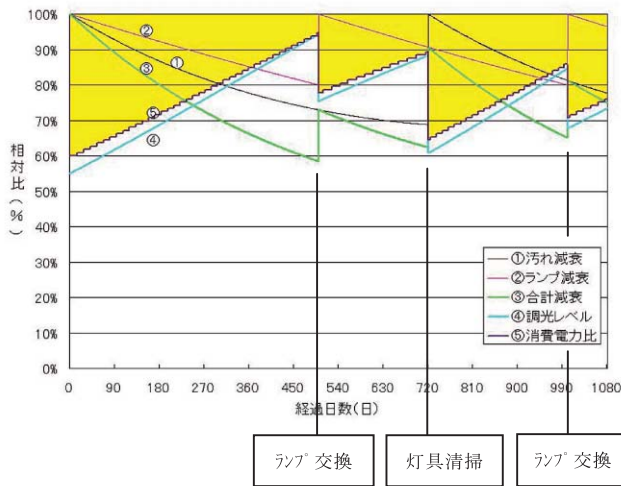
図-4 照明器具の設計光束維持率(照明学会技術指針JIEG-001より)

表-1 神戸長田トンネルの保守率と設計光束維持率(M=M1×Md)

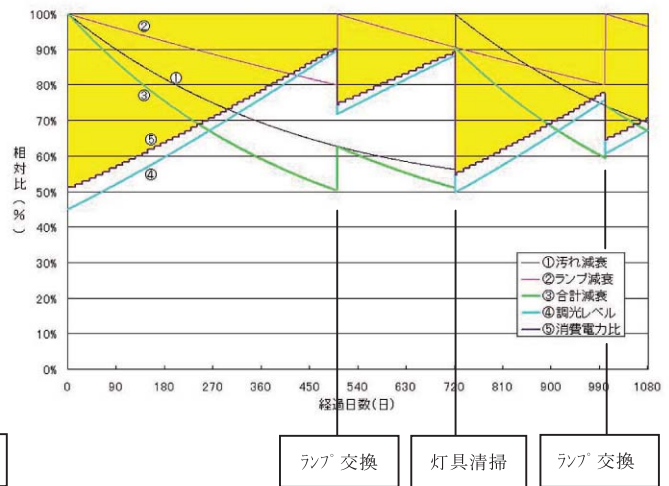
	保守率(M)	光源の設計光束維持率(M1)	器具の設計光束維持率(Md)
南行線	0.55	0.80	0.688
北行線	0.45	0.80	0.563

神戸長田トンネルにおける初期照度補正制御の約3年間(1,080日)の推移予測を図-5に示す。光源はHf蛍光ランプ(FHF32)で定格寿命時(12,000時間)に一斉交換するものとし、清掃間隔は24ヶ月とする。

図-5において②のグラフは光源光束低下の程度を示しており、定格寿命の12,000時間(500日)で当初の80%まで低下する。また①のグラフは照明器具の汚れによる光束減衰を示しており、24ヶ月(720日)で当初の68.8%(南行線)、56.3%(北行線)まで低下する。これらを合成したものが③のグラフとなりこれと逆になるよう明るさを制御することになり、その推移を示したものが④のグラフとなる。また、そのときの全点灯に対する消費電力比を示したものが⑤のグラフとなり、図-5における⑤の



a. 南行線（保守率：0.55）



b. 北行線（保守率：0.45）

図－5 初期照度補正制御の推移予測

グラフより上（黄色着色部）の面積が実際の初期照度補正制御による省電力分ということになる。

神戸長田トンネルにおける初期照度補正制御による省エネルギー効果の試算結果を表－2に示す。

表－2 初期照度補正制御による省電力効果予測

	0～ 180日	0～ 360日	0～ 540日	0～ 720日	0～ 900日	0～ 1080日
南線線	65.9%	60.0%	77.1%	79.0%	77.4%	77.5%
北行線	57.4%	51.1%	70.3%	75.3%	71.2%	71.1%
平均	61.7%	55.6%	73.7%	77.2%	74.3%	74.3%

備考：1. 初期照度補正制御をしない場合を100%とした場合の消費電力量の比率

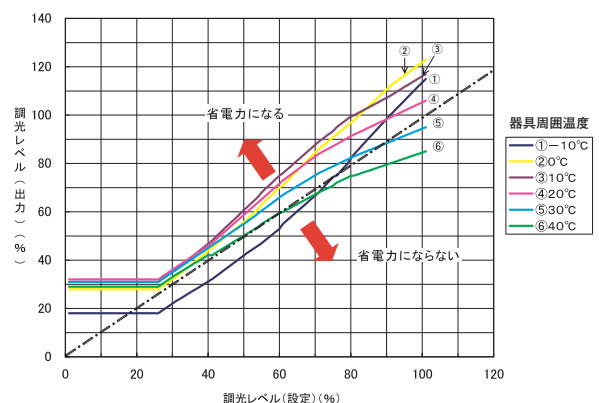
2. 500日で換球, 720日で灯具清掃を実施すると仮定した場合

### 3-2 周囲温度補正制御による消費電力量への影響

図－2に示したとおり、Hf蛍光灯トンネル照明器具の特性は周囲温度により変化する。ランプ自体の光出力特性は周囲温度25℃のときに最大となり、それより高い場合も低い場合も低下する。

一方、照明器具の周囲温度が25℃のとき、密閉形のトンネル照明器具内温度は、25℃より高くなっているため、照明器具の周囲温度が25℃より低い場合には器具内温度が25℃に近づき器具としての光出力が高くなることが多い。

図－6に照明器具周囲温度ごとの調光端末器から照明器具内の安定器へ送られる調光レベルとランプ光出力の相関関係を示す。図で調光レベル（設定）の値より調光レベル（出力）の値が大きい（図中一点鎖線より上側）場合、省電力になる。



図－6 周囲温度特性

#### 4. 調光履歴データによる省電力効果の検証

照明主制御盤の調光履歴データを抽出し、実際の省電力効果を解析・検証した。

##### 4-1 抽出した履歴データ

照明主制御盤から抽出した約 511 日分の履歴データから開通前の調整期間の 131 日を除き、370 日を対象とした。その期間は 2003 年 8 月 26 日からランプ寿命である 2004 年 8 月 30 日である。

##### 4-2 初期照度補正制御による省電力効果

抽出した履歴データのランプ光束減衰、器具汚れ減衰、合計減衰、調光レベルの推移を図-7 に示す。ただし、データは開通日（131 日め）から抽出日（500 日め）までの各 1 日ごとの「昼間」時の平均値の推移である。

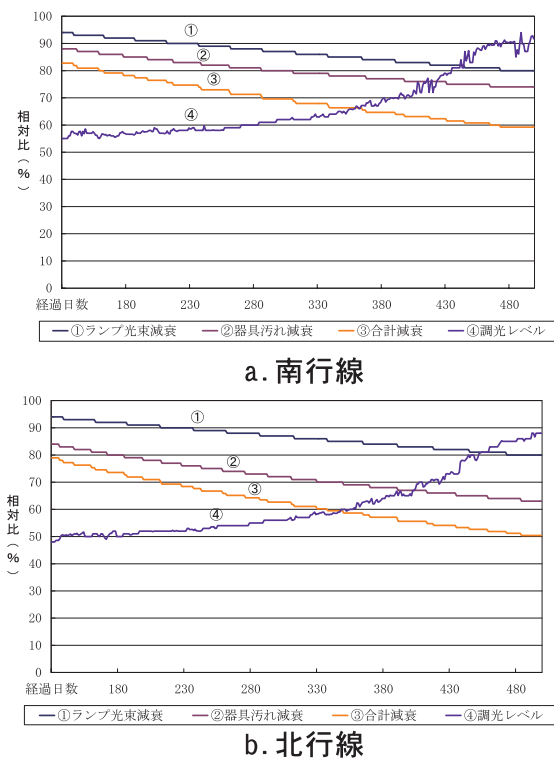


図-7 初期照度補正制御の推移（履歴）

また、開通日（3,119 h）からランプ寿命（12,000 h）までの初期照度補正制御を行わない場合との照明器具 1 台あたり 370 日間の昼夜を含む消費電力量の比較を表-3 に示す。

表-3 初期照度補正制御の有無による照明器具 1 台あたりの消費電力量（370 日分）

	初期照度補正制御なし (kWh)	初期照度補正制御あり (kWh)	電力量比 (%)
南行線	665.831	485.042	72.8
北行線	667.034	459.627	68.9

結果より、初期照度補正制御を行うことによって消費電力量が南行線は 72.8%、北行線は 68.9%に削減されている（ただし、本データには周囲温度補正制御の影響を含む）。

##### 4-3 周囲温度補正制御の影響

周囲温度補正制御は、抽出した履歴データの中から平均気温が 25℃前後、15℃前後、7~9℃前後の各 1 日を任意に選定し、周囲温度補正制御を行わない場合との照明器具 1 台あたりの消費電力の比較を行った。一例を図-8 に、結果を表-4 に示す。

結果より、1 日の平均周囲温度が 25℃程度より低い日においては、周囲温度補正制御によって 10~20%の省電力になることがいえる。

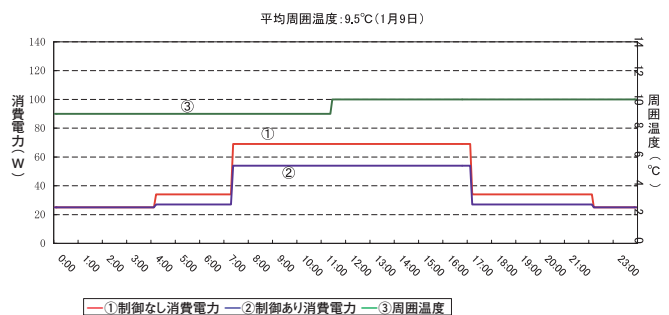


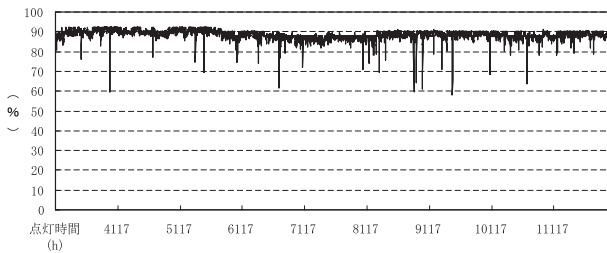
図-8 周囲温度補正制御の有無による消費電力比較

表-4 周囲温度補正制御の消費電力量への影響

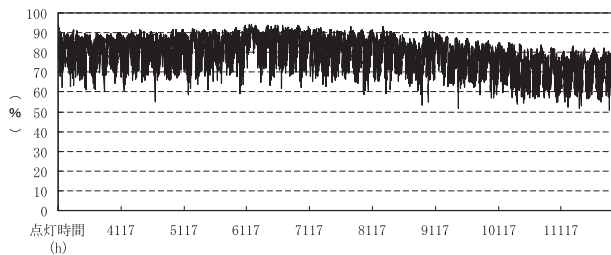
	平均周囲温度	消費電力量比
南行線	24.4℃	87.6%
	14.5℃	86.4%
	7.5℃	84.9%
北行線	25.5℃	88.3%
	16.8℃	84.6%
	9.5℃	81.5%

4-4 煤煙透過率制御による省電力効果

煤煙透過率制御の評価は、抽出した履歴データの中から煤煙透過率制御を行っていない入口照明重複部と煤煙透過率制御を行った基本照明単独部の消費電力量比較により行った。煤煙透過率の推移を図-9に、また結果を表-5に示す。結果より煤煙透過率制御により消費電力量は南行線で72.1%、北行線で76.1%に削減されている。



a. 南行線 (平均煤煙透過率 88.5%)



b. 北行線 (平均煤煙透過率 78.2%)

図-9 煤煙透過率の推移

表-5 煤煙透過率制御の有無による照明器具1台あたりの消費電力量(370日分)

	煤煙透過率 制御なし (kWh)	煤煙透過率 制御あり (kWh)	電力量比 (%)
南行線	485.042	349.564	72.1
北行線	459.627	349.586	76.1

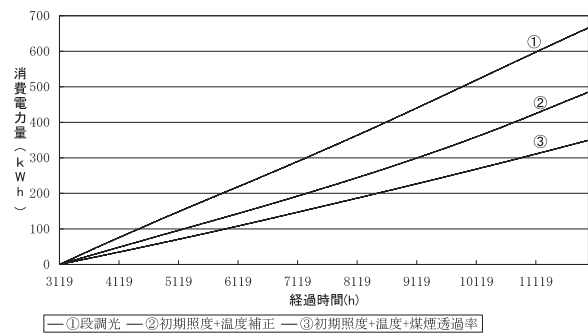
4-5 現地データによる検証結果まとめ

開通日である2003年8月26日から2004年8月30日までの370日間での照明器具1台あたりの消費電力量の累計を図-10に示す。

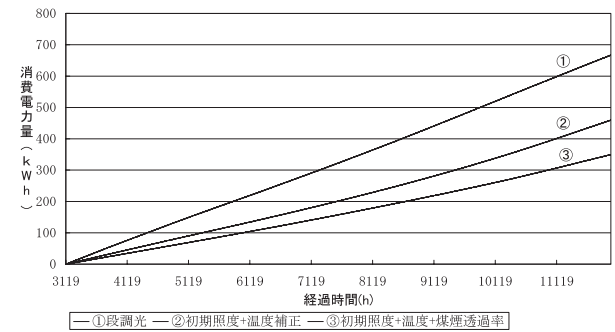
また、表-6に初期照度補正制御、初期照度補正+煤煙透過率制御の段階調光制御に対する削減電力比および電力量を示す。

表-6 連続調光制御による照明器具1台あたりの削減電力量(370日分)

		初期照度 +温度補正制御	初期照度+ 温度補正+ 煤煙透過率制御
南行線	消費電力量比	72.8%	52.5%
	削減電力量	180.789kWh	316.267kWh
北行線	消費電力量比	68.9%	52.4%
	削減電力量	207.407kWh	317.448kWh



a. 南行線



b. 北行線

図-10 消費電力量累計

これらの評価はすべて照明器具1台あたりの比較であるが、神戸長田トンネルには南行線に284台、北行線に309台のHf蛍光灯連続調光形トンネル照明器具が設置されている。この

うち南行線 22 台、北行線 12 台は入口照明重複部（煤煙透過率制御なし）である。従って神戸長田トンネル全体での削減電力量は以下のとおりとなる。

南行線：

$316.267\text{kWh} \times 262 \text{ 台} + 180.789\text{kWh} \times 22 \text{ 台} = 86,839 \text{ kWh}$

北行線：

$317.448\text{kWh} \times 297 \text{ 台} + 207.407\text{kWh} \times 12 \text{ 台} = 96,771 \text{ kWh}$

すなわち、連続調光制御システムを導入したことによって、開通以来約 1 年間（370 日）で  $86,839\text{kWh} + 96,771\text{kWh} = 183,610 \text{ kWh}$  の電力量が削減できたといえる。当該受電所の開通以来 370 日間の基本料金を含む平均電力単価が 16.3 円/kWh であるので、 $16.3 \text{ 円/kWh} \times 183,610\text{kWh} = \text{約 } 300 \text{ 万円}$  の削減となる。

## 5. 今後の課題

今回、開通から 1 年間の履歴データにより省電力効果の検証を行い、183,610 kWh の電力が削減できていることが確認できた。

本検討報告はランプの定格寿命である 12,000 時間でランプを一斉交換し、2 年ごとに灯具清掃することを前提にしたものであるが、今後、より実態に即した運用方法を検証していく必要がある。

## おわりに

トンネル照明設備は昼夜問わず、利用者の安全かつ円滑な交通を確保するため設置している。本システムはトンネル照明を最適制御し、安全確保と省エネルギーによるコスト削減を達成するものとして、今後のトンネル照明の発展につながるものと思われる。

最後に、本システム構築にあたり検討、設計段階から施工までご協力頂きました関係者各位に深く感謝の意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) (財) 首都高速道路技術センター；「トンネル照明に関する調査研究（2）報告書」（平成 2 年 3 月）
- 2) 照明学会・技術指針 JIEG-001(1987)「照明設計の保守率と保守計画」（昭和 6 2 年 7 月）

# LIGHTING CONTROL SYSTEM ANALYTIC EXAMINATION OF KOBE-NAGATA TUNNEL

Hiroaki Souma and Naoyuki Sho

KOBE-NAGATA TUNNEL adopts 32W Hf fluorescent lamp for a basic lighting, and enables continuance variable control between 25 and 100%. "Smoke permeability control" is first trial in JAPAN, it synchronizes with the smoke permeability meter, and continuously variable controlled according to the smoke permeability, there are "Initial illuminance correction control" and "Ambient temperature correction control" in the basic lighting control.

This manuscript is extracts, analyzes the control history in the KOBE-NAGATA TUNNEL, and evaluates, verifies the effect of energy conservation by continuance variable control.