

直流電源を用いたトンネル照明の整備について

旭川開発建設部 施設整備課 ○笹森 勇佑
狩野 恭彰
鈴木 蓮燿

近年、建設業界では建設資材の価格高騰が生じている。また、建設に携わる人材の不足が深刻化している。建設業界を取り巻くこのような状況において、近年の照明設備は、省エネルギー性、省メンテナンス性に優れたLED照明が積極的に採用されている。現在、整備中の一般国道40号音威子府バイパスの各トンネルにおいては、新たなLEDトンネル照明システムである直流電源方式にて北海道初の導入をおこなったので、従来方式との違いや効果、課題と対策について報告するものである。

キーワード：設計・施工、ゼロカーボン、省エネルギー、省メンテナンス

1. はじめに

道路照明は、夜間において、あるいはトンネル等の明るさが急変する場所において、道路状況、交通状況を的確に把握するための良好な視環境を確保し、道路交通安全、円滑を図ることを目的に設置されている。

一方で、腐食や損傷等による灯具落下及び支柱倒壊等の事故の発生、メンテナンスにおける生産性向上及び社会的悪影響の低減、設置費用や電力消費量のより一層の縮減等、様々な課題も存在している。

国土交通省では、これらの課題解決に向けて、道路照明施設に対する新技術の開発、技術検証及び評価を通じた実用化を推進している。

上記の背景を踏まえ、経済性の向上、安全性の向上、メンテナンスの効率化等に資する、新たな道路照明技術に係る基礎データの収集を目的とした技術公募を令和元年より実施し、応募された技術についての技術検証結果を公表¹⁾している。

当部ではこれらの有望な新技術の積極的な活用検討を行い、「直流給電方式トンネルLED照明」(NETIS登録CG-170008)を導入した。

今回、直流給電によるトンネル照明設備を設置したのは、令和7年度供用開始予定である一般国道40号音威子府バイパスにある、音威子府トンネル(L=2,699m、A等級)、物満内トンネル(L=418m、A等級)、箆島トンネル(L=629m、C等級)、音中トンネル(L=4,686m、A等級)の4本のトンネルである。

一般国道40号は、旭川市を起点とし名寄市を經由して稚内市に至る延長約250kmの幹線道路である。

音威子府バイパスは、一般国道40号の防災上課題箇所である雪崩に起因する特殊通行規制区間を回避することで、道北圏の広域道路交通の安全性及び定時性の向上を目的とした延長19.0kmのバイパスである²⁾(図-1)。



図-1 音威子府バイパス

2. 直流電源を用いたトンネル照明設備の概要

音威子府バイパスで整備した照明設備は、直流給電用の電源ユニットを収納した制御装置を電気室内に設置し、一括管理することになる。そして、この制御装置からト

ンネル内の照明設備に直流給電し、LED照明器具を点灯させる仕組みとなっている(図-2)。

これまでの交流給電による照明設備は、それぞれのLED照明器具内に、交流を直流に変換する電源設備を設置しなければならなかったが、今回導入の直流給電のLED照明器具は内部に交流を直流に変換する電源装置を設ける必要がないため、照明器具本体の軽量化が実現できる。

直流給電の回路電流は交流給電と比較して小電流となるので、小径で多芯のケーブルを採用でき、配線労務費の低減を実現できる。

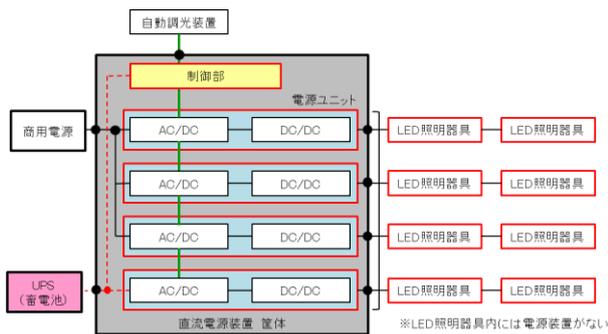


図-2 直流給電照明設備の仕組み

また、図-3のように、延長の比較的短い物満内トンネル、箆島トンネルを一つの電気室からの給電とすることにより、直流給電装置(直流電源装置)の設置台数を減らしている。各トンネルの延長等は表-1のとおりである。

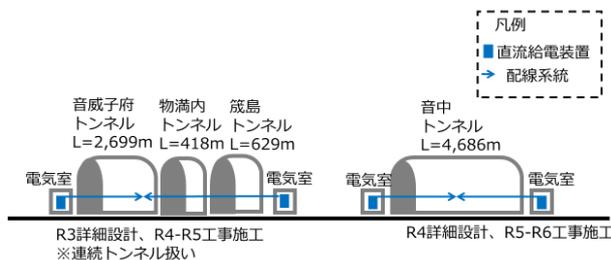


図-3 直流給電照明配線系統

表-1 音威子府バイパスのトンネル

トンネル名	延長	等級	器具数(入口)	器具数(基本)
音威子府トンネル	2,699m	A	104灯	206灯
物満内トンネル	418m	A	98灯	27灯
箆島トンネル	629m	C	100灯	41灯
音中トンネル	4,686m	A	108灯	301灯

3. 直流電源を用いたトンネル照明設備の構成

電気室内には、屋内用自立型の筐体があり、その中に直流給電照明設備が設置されている。この中に、制御部、電源ユニット、配線用遮断器、入出力端子等を収納している(写真-1)。

制御部では自動調光装置からの指令に応じて、電源ユニットを駆動し、運用状態や異常を監視している。フェールセーフ機能として自動調光装置故障時はLED照明器具を100%点灯する機能を有しており、制御部からの手動操作も可能となっている。

電源ユニットは照明器具に電源を供給している部分であり、直流出力部に誘導雷サージ対策用のSPDを搭載している。

また、ケーブル配線とLED照明器具の電圧特性に応じて出力電圧(DC540V以下)を自動的に調整し、出力電流の調整によって照明器具の調光が行える。

トンネルに設置されている照明器具はLEDであり、点灯させた際のトンネル内の様子も明るい環境が整っている(写真-2,3)。

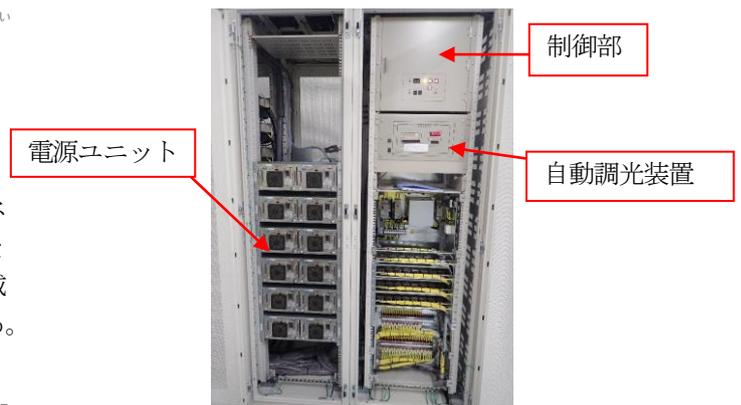


写真-1 直流給電照明設備の筐体



写真-2 直流給電方式用トンネルLED照明器具



写真-3 照明点灯状況

4. 課題対応

施工にあたり、電源給電システムにおける故障時のリスク分散及び設置環境による障害事例の2点の問題点が確認されたので以下のとおり対応した。

(1) 電源給電システム

電源ユニットが故障した場合の局所的な暗がりや、交流給電方式と比べて大きくなるというデメリットがあり、それを解消するために、システムを分散させた配置を採用している。図-4に示す「1. 従来の配置」のようにブロック的な配列をとった場合は、一つの電源ユニットが故障した場合、局所的に暗い状況となってしまう。それを防止する目的で「2. 今回の配置」のように、システムを分散させることによって、一つの電源ユニットが故障した場合であっても、局所的に暗くなるのを防止することができる。

このように直流給電による照明設備の短所を解消するための工夫が施されている。

(2) 電源ユニットの設置環境

今回導入にあたって、メーカーにヒアリングを行ったところ、他機関での先行事例が8件ある中で、東北地方整備局の月山第二トンネルにおいて電源ユニットに実装されている冷却用ファンや管体の隙間を通じて粒子の細かい塵埃が電源ユニット内部に多量に入り込み、基板に付着堆積したことによって回路の一部が電氣的に短絡した事例があった³⁾。

直流給電式の照明設備は、電気室内部で電源ユニットを管理することになるため、外気と遮断する扉を設けるなど、電気室内部の環境を良好に保つ必要がある。

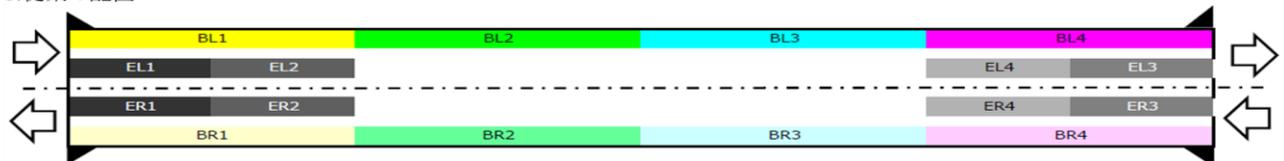
当部においては、電気室を建て、その中に直流電源装置を設けることにより正常な運用を可能としている。

5. トンネル内作業期間の考察

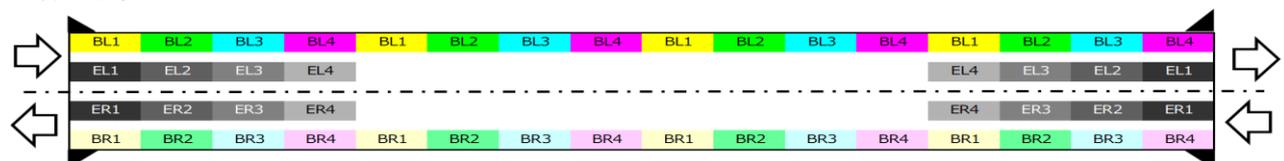
令和5年度に、音威子府トンネル、物満内トンネル、箆島トンネルの施工を行った受注者（以下A社）によるとこれまでの照明器具に比べて、約4週間の短縮になった。また、令和6年度に音中トンネルの照明を施工した受注者（以下B社）によると、施工期間が同様に約4週間の短縮となった。

どこの作業工程での施工期間短縮が大きいのかを考えるために、トンネル照明設備工を「ケーブル敷設作業」、「ラッシングロッド巻付作業」、「トンネル照明器具取付作業」の3つの工程に分け、それぞれの工程でどの程度短縮でき、また短縮できた要因について検討した。

1. 従来の配置



2. 今回の配置



基本照明 (L側)	
BL1	系統: BL1
BL2	系統: BL2
BL3	系統: BL3
BL4	系統: BL4

基本照明 (R側)	
BR1	系統: BR1
BR2	系統: BR2
BR3	系統: BR3
BR4	系統: BR4

入口照明 (L側)	
EL1	系統: EL1
EL2	系統: EL2
EL3	系統: EL3
EL4	系統: EL4

入口照明 (R側)	
ER1	系統: ER1
ER2	系統: ER2
ER3	系統: ER3
ER4	系統: ER4

16系統での事例

図-4 照明設備の配置

(1) ケーブル敷設作業

まず、一つ目の工程である「ケーブル敷設作業」については、A社は13日の短縮になり、B社は28日の短縮につながった。直流照明では、交流照明と違い図-5のように多芯ケーブルによる施工が可能となり、停電時回路を除き1本のケーブルで給電をすることができる。その結果、現場でのケーブル敷設作業の時間を短縮する事に繋がった。

今回のトンネルでは、交流照明の場合、必要な照明幹線の導体サイズが最大で22.0mm²であり、多くの労務や時間を要するが、直流照明では今回全て3.5mm²と細い導体サイズで施工することが可能となるので、ケーブル敷設の労力と時間が削減される。

また、電気室内の電源ユニットで電流を調整する事で調光ができ、交流照明のように調光線のケーブル敷設が不要となったため、作業工程の短縮を図ることができた。

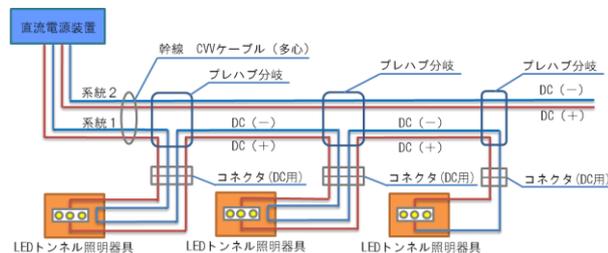


図-5 照明設備の配置

(2) ラッシングロッド巻付作業

二つ目の工程である「ラッシングロッド巻付作業」においては、A社は5日間の短縮、B社は6日間の短縮が実現できた。ケーブルを数本まとめて固定するラッシングロッド巻付作業は、ケーブルの条数が少なく、細いケーブルの方が作業がやりやすくなるため、作業工程の短縮につながる。

(3) トンネル照明器具取付作業

三つ目の工程である「トンネル照明器具取付作業」においては、A社は、3日間の短縮、B社は、1日の短縮が実現された。削減できた要因について、直流照明では器具内に電源装置を組み込む必要がなくなり、交流照明に比べ器具の形式にもよるが、基本的には質量が軽くなるので、器具取付に要する時間が削減された（表-2）。

従来の交流給電での器具取付は交流を直流にする装置が器具内に内蔵されており（図-6）、重いため2人で器具を持ち1人がボルト固定を行い計3人が必要であった。ケーブルは、器具内部の端子部に接続する必要がある為、ケーブル処理、端子圧着、接続等の細かい作業が必要であった。

一方、今回の直流給電での器具取付は従来より軽量であるため、1人で器具を持ち、1人がボルト固定を行い計

2人での作業が可能となり、施工性が向上したことが分かる。

表-2 照明器具の質量比較

形式	従来（交流）	今回（直流）
KAE060BLS-J(-D)相当	6.0kg	5.5kg
KAE035BS-J(-D)相当	6.0kg	5.5kg
KAE070BS-J(-D)相当	6.0kg	5.5kg
KAE100BS-J(-D)相当	6.0kg	7.0kg
KAE150BS-J(-D)相当	10.0kg	7.0kg
KAE200BS-J(-D)相当	10.0kg	11.5kg
KAE250BS-J(-D)相当	10.0kg	11.5kg
KAE300BS-J(-D)相当	16.0kg	11.5kg
KAE350BS-J(-D)相当	16.0kg	11.5kg

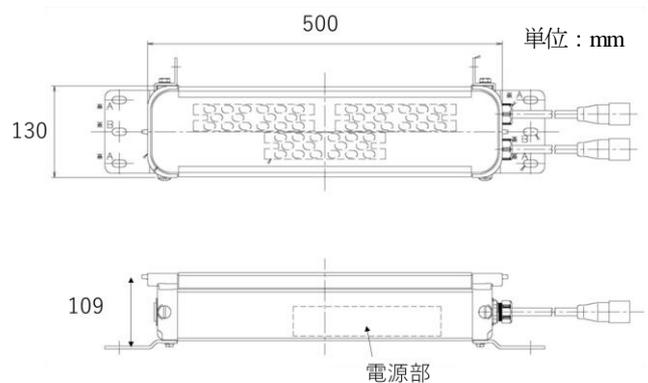


図-6 従来の照明器具（KAE060BLS-J-D）

以上、施工に携わった2社の受注者の考察を総合して、これまでの交流給電方式の照明器具と比較し、直流給電方式の照明器具は、施工期間の短縮を実現でき、特にケーブル敷設作業の工程での期間の短縮が大きかったことがわかった。

6. 経済性の比較

器具、照明盤、ケーブル、労務については当時のコンサル資料を用いて経済性の比較をおこなった。

音威子府トンネル、物満内トンネル、筏島トンネルの3トンネルでの比較は、器具については、従来と比較し、今回の方が約23,000千円割高になり、照明盤は約7,000千円の割高になる。電源装置を組み込む必要がなくなったにもかかわらず割高であるが、普及が進むことにより価格が下がることが期待される。その一方で、ケーブルについては、約10,000千円割安、労務費は、約

21,000千円割安となった。ケーブルや労務費に関しては、直流給電方式により、ケーブルの条数が減少したことにより、ケーブル費が減少し、その結果、敷設に費やす労務費も少なくてすむようになった。

最終的な合計の費用は、従来の方式と今回の方式では大きな差はみられなかった(表-3)。

また、音中トンネルでの比較については、器具は従来の照明器具と今回の照明器具はともに約49,000千円であり今回の照明盤の方が約27,000千円割高となる。その一方でケーブルは約4,600千円、労務費は約13,000千円割安になり、最終的な合計費用では今回の方式の方が約10,000千円多くなった(表-4)。

表-3 音威子府トンネル、物満内トンネル、箴島トンネルのイニシャルコスト比較

単位：千円

項目	従来(交流)			今回(直流)		
	音威子府	物満内	箴島	音威子府	物満内	箴島
器具	26,677	12,144	13,741	38,453	17,654	19,887
照明盤	27,360	1,040	34,160	32,500	0	37,000
ケーブル	27,344	9,464	9,600	21,022	7,395	7,691
労務	31,878	10,160	6,391	18,007	4,588	4,482
小計	113,259	32,808	63,892	109,982	29,637	69,060
合計	209,959			208,679		

表-4 音中トンネルのイニシャルコスト比較

単位：千円

項目	従来(交流)	今回(直流)
器具	48,566	49,208
照明盤	29,054	55,844
ケーブル	36,780	32,207
労務	39,603	26,527
合計	154,003	163,786

7. 消費電力の縮減

同程度の照明器具を比較した場合、従来型の照明（基本部）では、道路・トンネル照明器材仕様書・同解説によると消費電力が0.061kWであるが、今回の照明では、メーカーヒアリングによると0.046kWであり、約25%の削減を実現されている。

負荷率が高いほど電気を効率的に使用することができ、消費電力は低くなる。従来の方式では器具の消費電力と電源ユニットの容量が、固定されているので、負荷率の調整が困難である。一方、直流給電による場合は、電源ユニット1台当たりに接続する照明器具を計画時に任意に設定させることができるため、電氣的効率が高くなる台数を検討することが可能となる。その結果、電力損失を抑制することができ、電力費の縮減につながる。

SASAMORI Yusuke, KARINO Yasuaki, SUZUKI Renyo

8. まとめ

今回導入した、直流給電照明設備の特徴は次の通りである。

- ① 給電が直流のため電流の変化により調光ができ、調光線が不要となる。さらに給電線に多芯のCVVケーブルを用いることで配線に係るコスト削減が実現できる。
- ② 器具の外観については従来型のLEDトンネル照明器具（アルミ製器具）と同じであり、大きさも変わらないが、従来型と比べると若干軽量である。
- ③ 今回、当部の施工では、照明器具を固定するコンクリートアンカーを電気通信設備据付標準図集の通り4本での施工を行ったが、軽量化が実現できたこともあり、今後、新たに施工する際は、2本での施工を検討し、強度的に問題が無ければ、施工性のさらなる向上を実現できる。
- ④ 新技術のため、直流給電照明設備を取り扱うメーカーは、現状1社のみであり、導入にあたって競争性が働かず価格が高どまりするおそれがある。
- ⑤ 照明器具単体は、従来型に比べ消費電力が低減されていると考えられているが、電気室内の装置を含めた全体の消費電力については、今後運用開始に伴い実際に生じる消費電力と設計上の電力値を比較する必要がある。
- ⑥ 直流給電照明設備は、電気室等によって外気から遮断された良好な環境に設置しなければならぬため、現状では電気室を有していないトンネルには設置が困難である。

最後に、本稿での検討結果が、省エネルギー性、省メンテナンス性に優れたLED照明の普及促進に繋がれば幸いです。

謝辞：音威子府バイパスに直流給電照明設備の施工を担当した関係者、メーカ並びに周囲のサポートに対し感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 大臣官房技術調査課：新たな道路照明に関する技術公募 技術検証結果, <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001411046.pdf>, 2024年11月22日閲覧
- 2) 国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部：音威子府バイパス概要, https://www.hkd.mlit.go.jp/as/douro_keikaku/vkqvn8000000or0.html, 2024年11月22日閲覧
- 3) 国土交通省 東北地方整備局 酒田河川国道事務所 防災課：直流給電トンネル照明設備の導入と運用後の課題, 2024年11月22日閲覧