

交通信号機非常用燃料電池システムの開発

森 豊* 立石 和文**
吉田 和則** 和田 耕一**

Development of Fuel-cell Type, Backup Power Generation System for Traffic Signals

by Yutaka MORI, Kazufumi TATEISHI, Kazunori YOSHIDA, & Koichi WADA

A novel backup power generation system for traffic signals, featuring the use of a hydrogen-based polymer electrolyte fuel cell, has been developed. A performance test is now underway using a prototype for traffic signals at an actual intersection. This highly reliable, safe and compact system's operational features are quick startup, favorable performance under load, no performance drop due to vehicular exhaust gas constituents, operability under high and low temperature (including that under direct sunlight exposure). The following discusses this system's development factors and performance test results.

Keywords: Fuel cell, Polymer electrolyte fuel cell, Backup power generation, Traffic signal, Light emitting diode tight lamp, Power failure, Hydrogen cylinder

1. はじめに

1995年1月の阪神・淡路大震災をきっかけとして、交通信号機に対する非常用電源設備が見直されている。通常、交差点に設置される交通信号機は、商用電源により給電されているが、災害発生時や停電時など、商用電源が喪失した際には信号灯が消えてしまう。このような事態を避けるため、重要な交差点には、従来、非常用電源装置として、ディーゼルエンジン式発動発電機が設置されてきた。

一方、最近、交通信号機の灯器にはLED (Light emitting diode) が使われ始めている。この理由は、西日による擬似点灯がないなど視角的に良好な点や長寿命である点とともに、消費電力が従来の白熱電球灯に比べ数分の1程度と省エネルギー性に優れ、環境に優しいことにある。

交通信号機の非常用電源は、停電時に使用するほか、機能を維持するための管理運転を毎月1回行う必要があ

る。その際、ディーゼルエンジンから排出される黒煙や騒音が近隣への問題となることがあり、環境性の良好なシステムが望まれていた。

近年、発電装置の中でも、エネルギー効率の高さや環境保全性の観点から燃料電池が着目されており、特に固体高分子形燃料電池は、家庭用、自動車用、また携帯機器用として、商用化が急速に推進されている。

更に、水素を燃料とする燃料電池は、原理的に生成物が水だけであり、また、騒音も内燃機関による発電装置に比べて小さく、環境保全性が非常に高い。

当社では、財団法人日本交通管理技術協会の御指導のもと「交通信号機非常用燃料電池発電システムの試験設置」に使用する非常用燃料電池システムの実証試験機を開発してきた。この試験は、LED灯器の交通信号機と水素を燃料とする非常用燃料電池システムとを組み合わせ、最終的に「環境調和型交差点の実現」を目指すことを目標としている。

ここでは、交通信号機非常用燃料電池システムの開発経緯と、現在、警視庁の協力のもと、実際の交差点で実施している実証試験について報告する。なお、交通信号機の非常用電源として燃料電池を使用し、実際の交差点で実施した実証試験は、世界でも初めての試みである。

* 新エネルギーカンパニー 燃料電池事業部 システム室

** 荏原バラード(株) 開発部

** 新エネルギーカンパニー 燃料電池事業部 システム室
システムグループ

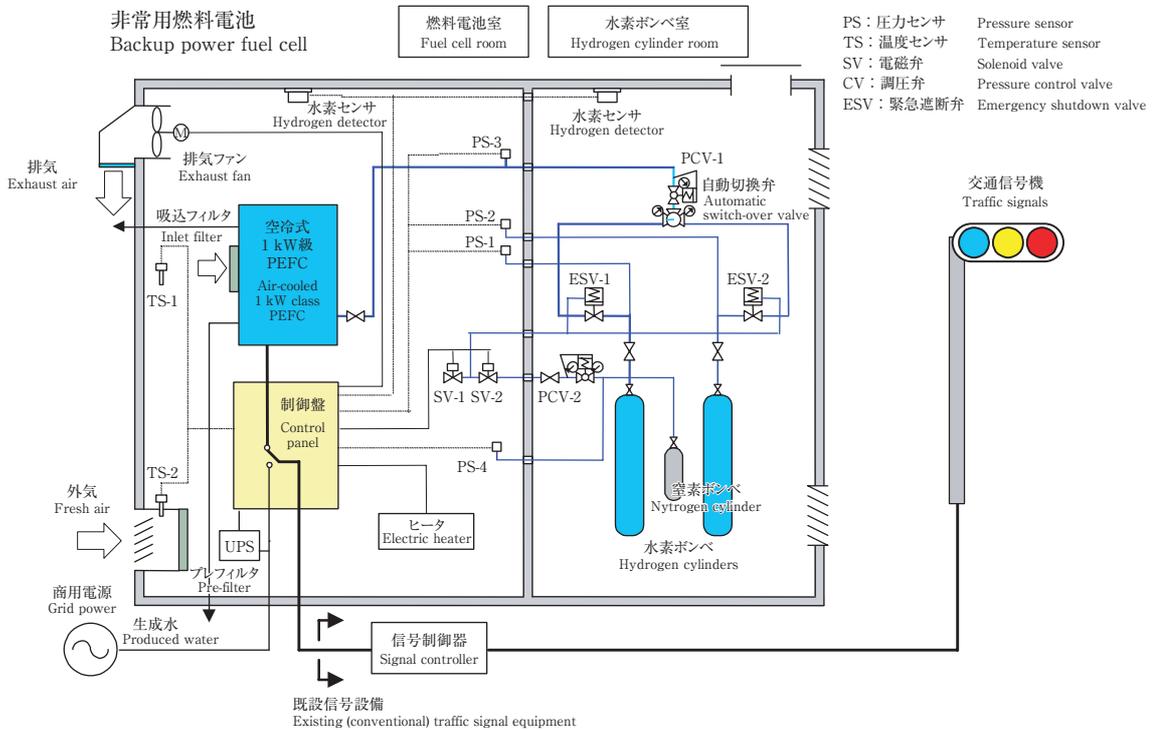


図1 非常用燃料電池システム全体図
Fig. 1 System diagram of the backup power system using fuel cell

2. 非常用燃料電池システムの概要

2-1 非常用燃料電池システムに必要な条件

交通信号機の非常用電源には次の条件が要求される。

- (1) 短時間起動
- (2) 良好な負荷追従性
- (3) 自動車排出物質の影響による性能低下がないこと
- (4) 低温、高温・日射環境下でも確実な作動
- (5) 高い信頼性
- (6) 高い安全性
- (7) コンパクト

非常用燃料電池は緊急性を要する非常時に使用されるため、短時間で確実に起動する必要がある。また、信号灯器は頻りに切り替ったり点滅することから、良好な負荷追従性が必要である。

燃料電池は水素と酸素により発電するが、酸素は設置環境の空気を使用する。非常用燃料電池は交通量の多い交差点に設置されるが、自動車から排出される排気ガスで汚染された空気により、性能低下してはならない。

更に、高い信頼性と共に、公共の場に設置されるため、高い安全性が要求される。また、通常、歩道上に設置されるためコンパクトであることが必要条件の一つである。

2-2 システム構成

交通信号機非常用燃料電池システムのシステムフローを図1に示す。

本システムは外観上は燃料電池と水素ボンベを一つの筐体に収めた一体型構造となっている。筐体の内部は、燃料電池室と水素ボンベ室の二つの部屋に分かれており、燃料電池室には水素を燃料とする空冷式1 kW級固体高分子形燃料電池 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell) と制御盤が収納されている。

その他、燃料電池室には燃料電池が発電するまでの間に燃料電池の補機に電力を給電するためのUPS (Uninterruptible Power Systems, 無停電電源装置) や、燃料電池室内を所定の温度にコントロールする温度調節装置、また、各種フィルタが備えられている。

一方、水素ボンベ室には燃料となる水素を貯蔵した水素ボンベ、調圧弁、緊急遮断弁そして緊急遮断弁駆動用の窒素ボンベなどが設置されている。水素ボンベは流通性の高い公称容量7 m³ (NTP)、圧力14.7 MPaのもので、2本の水素ボンベにより24時間の連続運転が可能である。また、運転中にボンベを交換することにより、更に長時間の連続運転も可能である。

次に信号機への電力供給系統について説明する。平常

時、交通信号機は商用電力により給電される。仮に停電が発生し商用電源断となった場合、本システムは電源断を検知し、燃料電池は自動的に起動する。1分程度の確認時間経過後、燃料電池により発生した電力が交通信号機に供給される。逆に復電後は、同様に1分程度の復電確認時間後、切替器が商用電源側に切り替わり、信号機には商用電源から電源供給される。

安全面に関しては、燃料電池室及び水素ボンベ室とも上部には水素センサを設け、万一水素漏洩を検知した際、燃料電池を停止するとともに、水素ボンベ直近の緊急遮断弁を閉止し水素の供給を停止する。また、燃料電池室、水素ボンベ室とも天井部には、万一水素が漏洩した時のために、漏洩水素滞留防止用開口を設けている。

なお、このシステムで使用している燃料電池は、荏原バロード(株)が製造している純水素1 kW級PEFCユニット(商品名FCBox)で、そのコアとなるPEFCモジュールはカナダのBallard Power Systems Inc. が量産機として世界ですでに数百台の販売実績があるNexa™パワーモジュールである。

写真1にNexa™パワーモジュールの外観を示す。

次に本システムの主要仕様を表に示す。

2-3 特長

非常用燃料電池システムは次の特長を有する。

(1) 発電時の生成物は水のみで、黒煙、CO₂、NO_x、SO_xなどの環境有害物質の排出はなし

(2) 運転時の騒音は筐体から7 mの地点で50 dB (A)以下であり、従来のディーゼルエンジン式発動発電機(同70 dB (A)程度)に対して非常に静粛

(3) 起動時間は1分間以内で、また、起動後の電圧の安定性にも優れる

(4) 運転中に水素ボンベを交換することにより、24時間以上の連続運転が可能で、防災用としても使用可能

(5) 燃料電池単体の発電効率は約40%と高効率

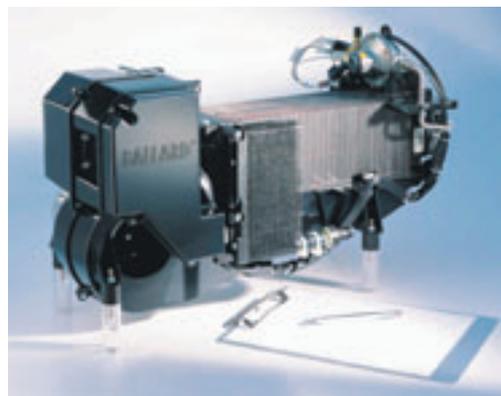
特に、(1)及び(2)がディーゼルエンジン式発動発電機と比べて大きな特長である。

3. 実証試験機の完成に至る開発経緯

実証試験機の完成までに、本システムの開発は次の3段階のフェーズを経ている。

3-1 第1フェーズ：基本機能試験

LED灯器は各色で消費電力が異なる、また、信号灯器は点滅をするため、頻繁な負荷変動がある。このような変動に燃料電池の発電出力が追従できるものか、FCBox単体を使用して、LED灯器との連結試験を行った。写



06-08 01/210

写真1 Nexa™パワーモジュール

Photo 1 Nexa™ power module

表 実証試験機主要仕様

Table Specifications of the backup power system

項目 Item	仕様 Specification
用途 Purpose	交通信号機の非常用電源 Emergency power generator for traffic signals
使用方法 Operation	商用停電時に自動運転 Automatic operation during power failure
設置条件 Installation	屋外、周囲温湿度：-10～40℃、40～80% Outdoor, temperature -10～40 (C), RH40～80%
発電方式 Generation type	水素を燃料とした燃料電池による発電 Hydrogen gas fuel cell
想定負荷 Designed load	LED灯器、その他交通管理機材 計350 VA 350 VA (LED lamps etc.)
負荷変動 Fluctuation of load	信号制御機の点灯パターンによる On-off pattern of the signal light
発電出力 Maximum output	最大530 VA Maximum 530 VA
発電出力範囲 Range of output	0～100%
運転時間 Operation duration	上記想定負荷で24時間の連続運転が可能 24 hours at 350 VA
電力形式 Type of electricity	AC100 V, 50/60 Hz, 2線式, 単相 AC100 V, 50/60 Hz, 2 Wires, 1 Phase
系統連系 Grid connection	なし None
起動・停止時間 Start-stop time	停電発生後1分以内に給電、復電時1分以内に商用電源に切替 Supply: 1 minute after black out, Stop: 1 minute after recovery
管理運転 Maintenance operation	1箇月に1回、15分程度の管理運転 15 minutes drive once a month
燃料 Fuel	純水素99.99%以上(市販水素ガス) Hydrogen gas with purity of 99.99% and above
筐体外寸法、質量 Dimensions & Mass	W 0.8 m × D 0.75 m × H 1.8 m 450 kg
構造 Box structure	筐体一体型 One-box type
燃料電池 Fuel cell	純水素用空冷式1 kW級固体高分子形燃料電池 Hydrogen fueled air cooled 1 kW class PEFC
水素ボンベ Hydrogen cylinder	水素ボンベ(公称7 m ³ (NPT), 14.7 MPa, 実容積47リットル)2本 2 cylinders (7 Nm ³ type, 12.7 MPa, net capacity 47 liters)
騒音値 Noise level	筐体から7 mで50 dB (A)以下 50dB (A) and less at 7 m distance
関連法規 Relevant laws	電気事業法、消防法高圧ガス保安法(高圧ボンベ部に適用) Electricity Enterprises Law, Fire Services Law, High Pressure Gas Safety Act (for high-pressure cylinder)

真2にその状況を示す。

その結果、FCBoxの負荷変動に対する追従性は良好で、信号機の頻繁な負荷変動に対しても問題なく発電出力を追従できることを確認した。

3-2 第2フェーズ：プロトタイプ工場フィールド試験

FCBoxと水素ボンベなどを筐体内に収納し一体化システムとしたプロトタイプ1号機を試作した。工場内の最も自動車の出入りが多いと想定される場所に設置し、夏期及び冬期の屋外環境下において、信号灯器を負荷とした長時間運転試験を実施した。

更に、プロトタイプ1号機を改良したプロトタイプ2

号機を製作し、1号機による連続運転と、2号機による実際の使用を模擬した断続運転試験を工場で実施した。その状況を写真3に示す。プロトタイプ1号機及び2号機とも、当初計画の仕様を満足し、プロト機としての目的を達成した。

3-3 第3フェーズ：実証試験機による現地実証試験

以上の2段階を経て、写真4に示す実証試験機を2004年7月末に完成した。

実証試験機は、基本構造はプロトタイプ1号機及びプロトタイプ2号機と同様であるが、各種の試験結果を反映させ、機能性、操作性及びメンテナンス性の点から改良が施されている。



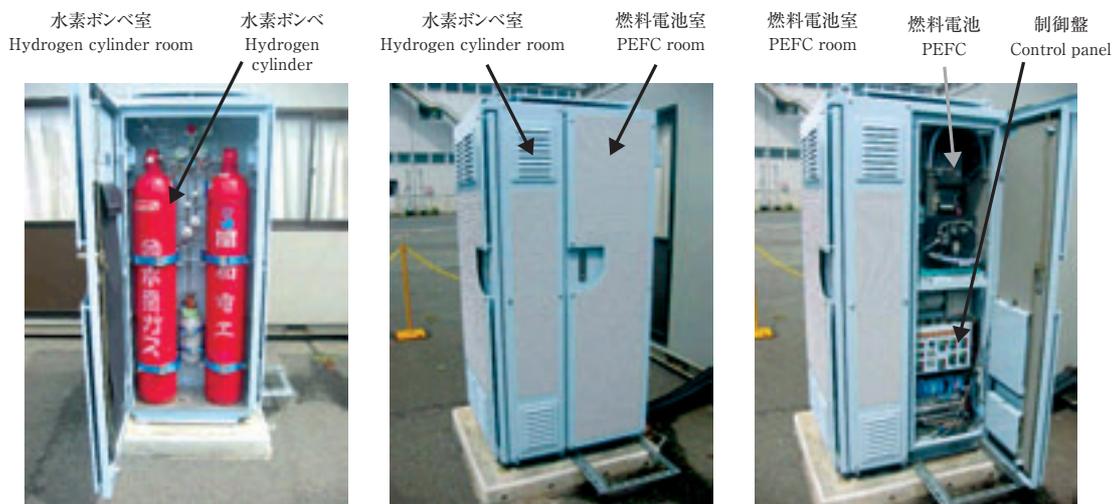
06-08 02/210

写真2 燃料電池単体とLED灯器の連結試験
Photo 2 Connectivity test with fuel cell and LED lamps



06-08 03/210

写真3 工場フィールド試験状況
Photo 3 Factory field test



06-08 04/210

写真4 実証試験機概要
Photo 4 Arrangement of each part in the box

4. 現地実証試験

4-1 実証試験概要

- (1) 試験場所：柿の木坂1丁目交差点（環状七号線沿い）
- (2) 試験開始日：2004年9月1日
- (3) 非常用燃料電池負荷（配置を図2に示す）
 - ①自動車用灯器（LED）：3灯信号機×6機
 - ②歩行者用信号機（LED）：2灯信号機×8機
 その他 信号制御機、及び交通管理機器
 外部負荷合計 約350 W

4-2 実証試験の目的

前述のように、非常用燃料電池システムは、燃料電池単体とLED灯器との連結試験、及び工場フィールド試験を経て開発された。しかし、工場フィールド試験ではどうしても交通量が少なく、また、実際の歩道上に設置した場合のメンテナンス性などの把握が十分できなかった。したがって、現地実証試験では、以下の点を目的として行った。

- ・実際の交通環境下における燃料電池の性能、信頼性の評価（NO_x, SO_x, PM, 電磁波等の影響評価）
- ・実際の交差点に設置した場合の、操作性、メンテナンス性の確認、評価

4-3 実証試験機設置状況

実証試験機の現地設置状況を写真5に示す。

なお、実証試験機の設置に当たっては、既設のディーゼルエンジン式発動発電機の基礎を流用した。外形寸法は、既設発電機より幅が狭く、奥行きと高さが若干高いが、歩道上に設置する際に問題となるサイズではないことを確認した。

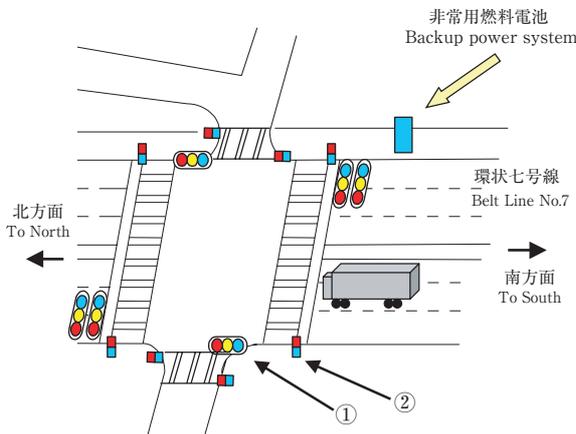


図2 実証試験実施交差点概要
Fig. 2 Intersection for performance test

4-4 現地実証試験結果

4-4-1 非常用燃料電池システムの稼動状況

非常用燃料電池システム実証試験機は、燃料電池の機能を維持するための月1回の管理運転のほか、実際に人為的に停電を発生させ、燃料電池から信号機に電力供給を行う模擬停電試験を実施している。2005年8月現在、実証試験機の稼動状況は

- ・累積運転時間（現地設置後）：42時間30分
- ・停電時使用回数（試験のための模擬停電）：7回
- ・停電時累積運転時間：7時間20分である。

4-4-2 模擬停電

7回の模擬停電では各回とも問題なく商用電源から燃料電池発電に切り替わり、安定した電源供給を行うことができた。停電発生後に燃料電池が起動し信号機へ電力供給する過程、また、復電後、燃料電池発電から商用電源に移行する過程の一例を図3に示す。停電発生後の確認時間後に燃料電池から信号機へ安定して電力供給されていることが分かる。

4-4-3 長時間連続運転試験

本システムは24時間の連続運転ができるように設計されている。この仕様を満足していることを実証試験において確認した。図4に燃料電池の発電状態を評価する上で重要なスタック電圧（燃料電池本体発電部からのDC出力電圧）について、24時間連続運転中の変化を示す。連続運転時間を通し、安定して出力できていることが分かる。



写真5 実証試験機現地設置状況
Photo 5 Installed site

06-08 05/210

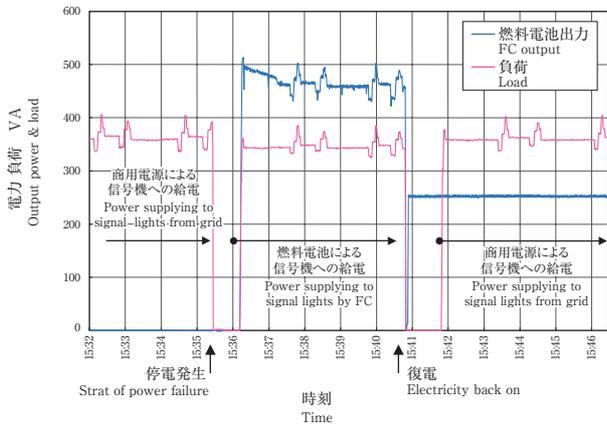


図3 模擬停電時非常用燃料電池発電状況

Fig. 3 Changes in power supply and power consumption

4-4-4 実証実験結果のまとめ

現在までに把握した現地実証試験の結果を以下に記す。

(1) 水素を燃料とする燃料電池は起動時間が短く、また、負荷追従性が良好で、交通信号機を負荷とする非常用電源として適することが確認できた。

(2) SO_x, NO_x, PMなど自動車から排出される汚染物質の存在する雰囲気中であっても、非常用燃料電池は問題なく運転することができた。

(3) 本システムの温度調節装置により、システムの温度は燃料電池本体の許容温度範囲内に保持できた。

(4) 実証期間中、非常用燃料電池に関わる問題として、違法無線を搭載した車両から発すると想定される電磁波により圧力センサが誤動作する問題があった。しかし、電磁波対策品に交換後は、問題は再発していない。また、それ以外の問題は特に発生しておらず、交通信号機の非常用電源として十分な信頼性を有すると考えられる。

(5) 安全性に関しても特に問題はなかった。

(6) 今回の設置環境では、現状の外寸寸法でも、問題となることはなかった。

5. 今後の課題

実際の交差点における実証実験により、交通信号機非常用燃料電池の基本性能はほぼ把握できた。

次の課題としては、まず第一に、既存の競合機種に対抗できる価格の非常用燃料電池実用機を開発する必要がある。現在、価格低減を目指した実用機はすでに開発に着手しており、実証試験機のコストの半分程度にまで低減できる目処がついているが、更に、ディーゼルエンジン式発動発電機の価格に近づける努力が必要となっている。

第二の課題としては、本非常用燃料電池は防災用とし

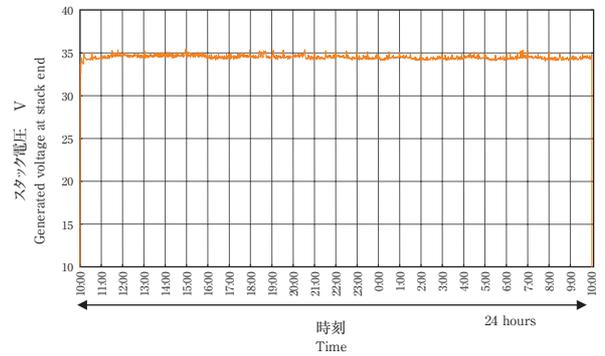


図4 24時間連続運転時のスタック電圧の変化

Fig. 4 Change in generated voltage at the stack end

ても使用されることから、24時間以上の連続運転時間を目指すことである。この方策としては、非常用燃料電池に内装する水素ポンペを更に高圧化したポンペにする方法のほか、信号灯器の照度を低下させるなど、運用上の工夫も考えられる。また、第三の課題としては、非常時や災害時でも安定して水素の供給ができる水素供給体制の確立が必要と考える。

6. おわりに

燃料電池は高効率で環境性が高く、また、さまざまな種類の燃料に適用できることから、家庭用、業務用、自動車用など広く利用されようとしている。

日本では、家庭用燃料電池の普及期を2010年頃と位置付け、政府主導のもと、本年度は全国480箇所の家庭で大規模試験が行われようとしている。また、燃料電池自動車については、国内メーカーにより、2015年には高級乗用車並みの50000 USD (米ドル) 程度まで価格低減できるという発表もなされている。

このように、燃料電池は19世紀初頭の発明から時間を経て、近年、急速に商用化に向かって進んでいる。その背景には、地球環境問題に端を発する水素エネルギー社会への移行があげられるが、民生用のみならず、公共用に対しても燃料電池の有効利用を配慮すべき時期にきていると考える。今後、交通信号機用だけでなく、交通管理機材全般に対して燃料電池が有効活用されることを期待する。

最後に本稿を終えるに当たり、本交通信号機非常用燃料電池システムの開発並びに実証試験に対し、御指導・御協力をいただいた(財)日本交通管理技術協会、実証試験の評価をいただいた評価委員会の各委員、及び警視庁の関係各位に対して感謝の意を表す。