

通信容量を拡大した高度化光ビーコンの開発

Advanced Infrared Beacon with Increased Communication Capacity

葉山 幸治*

Koji Hayama

谷口 裕一

Yuichi Taniguchi

白永 英晃

Hideaki Shiranaga

三宅 一正

Kazumasa Miyake

1990年代初頭から整備されてきた光ビーコンが、整備開始から約20年の歳月が経過し、更新時期を迎えている。既設光ビーコンの更新にあたり、通信容量を拡大した高度化光ビーコンを開発した。拡大した通信容量を利用し、信号制御の高度化や詳細な交通情報の提供を実現するための車両の通行軌跡情報を収集できる。また、高度化光ビーコンは、信号灯色の変更スケジュールから生成した路線信号情報をもとにドライバにエコ運転を促す信号情報活用支援システム（SIDS）にも利用できる。本稿では高度化光ビーコンの概要、開発するにあたって求められる要件、そのための課題および解決に向けて取り組んだ内容について報告する。

Infrared beacons have been installed on roads since the beginning of the 1990s, many of which are now reaching the point when they need to be replaced. For the replacement, we have developed an advanced infrared beacon that has increased communication capacity. It enables upgraded traffic signal control and provides detailed traffic information by collecting tracking data of vehicles. The beacon can be also used for the signal information drive system (SIDS), which promotes eco driving by providing drivers with signal information on the route. This paper outlines the advanced infrared beacon, the development challenges and our manufacturing efforts.

キーワード：光ビーコン、通信容量、通信速度、通信エリア

1. 緒言

交通の安全と円滑、環境の保護などを目指した新交通管理システム（UTMS; Universal Traffic Management Systems）のキーインフラとして、車両（車載機）と近赤外線（光）を用いて双方向通信を行う路側装置「光ビーコン」が、1990年代初頭から整備されてきた。光ビーコンは、交通情報提供システム（AMIS; Advanced Mobile Information Systems）、公共車両優先システム（PTPS; Public Transportation Priority Systems）、車両運行管理システム（MOCS; Mobile Operation Control Systems）、現場急行支援システム（FAST; FAST emergency vehicle preemption systems）等のUTMSのサブシステムにおいて幅広く利用されており、2011年3月時点で全国に54,000基（投受光器数でカウント）が整備されている。しかし、整備開始から約20年の歳月が経過し、老朽化してきているため、順次更新時期を迎えている。

主管官庁である警察庁は、光ビーコンの更新にあたり、機能・性能を向上することを検討した。その結果、車両の通行軌跡情報である履歴プローブ情報を収集して信号制御の高度化を図り、エコ運転に利用可能な路線信号情報を車両（車載機）に提供する信号情報活用運転支援システム（SIDS; Signal Information Drive System）に利用できる「高度化光ビーコン」の仕様書⁽¹⁾を2013年3月に発行した。

その仕様書に基づいて、2013年度下期の出荷に向けて高度化光ビーコンの開発を進めた。本稿では、開発するに

あたり求められる要件と、そのための課題および解決に向けて取り組んだ内容について報告する。

2. 高度化光ビーコンとは

2-1 光ビーコン

光ビーコンとは、近赤外線を媒体とし、路上に設置された投受光器と車載機の間で双方向通信を行う路側装置である。光ビーコンから車載機への情報を伝送する通信回線をダウンリンク（DL; Down-Link）、車載機から光ビーコンへ情報を伝送する通信回線をアップリンク（UL; Up-Link）という。

光ビーコンの基本機能（AMIS機能）は、UL情報として、車両の光ビーコン間の旅行時間情報などを車載機から収集し、一方、DL情報として、光ビーコン設置区間の道路交通情報や旅行時間情報などを車載機に提供する路車間通信機能である。

さらに、付加機能として、公共バス、トラック、緊急車両といった特殊車両に搭載されている車載機と通信した場合に、特殊車両専用のサービスを提供する各種機能（PTPS^{*1}、MOCS^{*2}、FAST^{*3}）がある。特殊車両用車載機からのUL情報を受信した光ビーコンは特殊車両専用のDL情報への切り替えや、信号制御機と連携して特殊車両が安全に交差点を通過できるように信号制御を行う。また、別の付加機能として、投受光器の下を通過する車両台数を計

測する車両感知機能も有している。

2-2 信号情報活用運転支援システム (SIDS)

光ビーコンの更新にあたり、高度化光ビーコンで実施する機能としてSIDSが追加された。以下、SIDSの概要について記す。

高度化光ビーコンでは、UL情報として、従来の光ビーコン間の車両旅行時間だけでなく、光ビーコン間を車両がどのように走行してきたかという通行軌跡を時刻ごとに位置座標で表現する履歴プローブ情報を収集する機能が追加になった。収集した履歴プローブ情報は、交通管制センター内にある中央装置などで処理して利用することで、信号制御の高度化や、提供する交通情報の精度向上に寄与する。

一方、履歴プローブ情報を送信する車載機（高度化光ビーコンに対応する新車載機）に対して、高度化光ビーコンは、これからの信号灯色の変更スケジュールから生成した路線信号情報をDL情報として提供する。路線信号情報を受信した車載機は、これから通行する前方交差点を青信号で通過するためにはどのような速度で走行すればよいかを示す情報（ノンストップ通過支援）や、逆に前方交差点がもうすぐ赤信号になるため減速を促す情報（赤信号減速支援）を、あるいは赤信号で停止中にもうすぐ青信号になることを伝えて発進準備を促す情報（発進遅れ防止支援）を、ナビ画面などを通じてドライバーに提供することでエコ運転や安全運転を促進する（図1）。

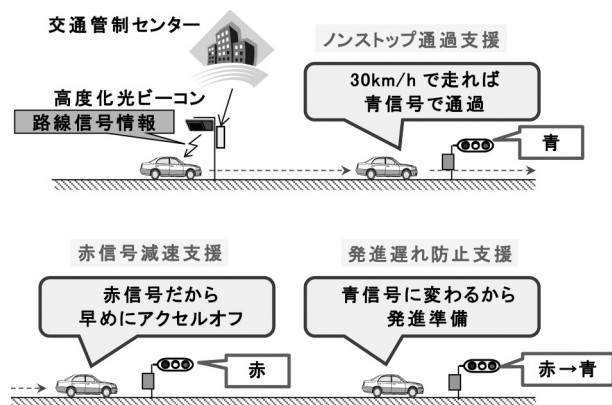


図1 路線信号情報の活用イメージ

2-3 従来光ビーコンと高度化光ビーコンの比較

前述のように、高度化光ビーコンでは、SIDS用の路線信号情報を提供する条件となっている履歴プローブ情報をUL情報として収集することが必要になった。従来光ビーコンのUL情報のデータサイズは最大59Byte（ヘッダ部を除く実データ部のサイズ、以下同様）であるのに対し、高度化光ビーコンのUL情報のデータサイズは追加になった履歴プ

ローブ情報を含めて最大955Byteで、およそ16倍になっている。一方、高度化光ビーコンのDL情報のデータサイズは従来光ビーコンと同じく最大9840Byteである（表1）⁽²⁾。

表1 データサイズの比較

項目	従来光ビーコン	高度化光ビーコン
UL 情報	最大 59Byte	最大 955Byte
DL 情報	最大 9840Byte	最大 9840Byte

光ビーコンと車両（車載機）は近赤外線（光）を介して通信を行うため、光が直接届く範囲（通信エリア）でしか通信ができない。一方で車両は走行しているため、通信エリア内に存在している時間、すなわち通信が可能な時間が限られる。この限られた時間でデータサイズが増加したUL情報の通信を行うために、UL通信速度の高速化（従来64kbps→高度化256kbps）と、UL通信エリアの拡大（従来3.4m～5.0m（投受光器真下から上流方向を正として表現、以下同様）→高度化3.4m～6.0m）およびDL通信エリアの拡大（従来1.3m～5.0m→高度化0.7m～6.0m）が必要であった。また、UL通信速度については、既販の従来光ビーコン用の車載機に対する通信互換性を確保するため、従来光ビーコンと同じ64kbpsのUL情報も受信する必要がある、2種類の通信速度に対応することが求められる。なお、DL通信速度は従来光ビーコンから変わらず1024kbpsのみである。さらに、近年、車両フロントガラスの赤外線透過率が低減する傾向にあるが、その対策として、ULの受信感度向上（従来0.5μW/cm²→高度化0.3μW/cm²）とDLの到達光量の増加（従来3.0μW/cm²→高度化4.5μW/cm²）も必要であった（表2）^{(1),(2)}。

表2 通信速度と通信エリアの比較

項目	従来光ビーコン	高度化光ビーコン
UL 通信速度	64kbps	64kbps, 256kbps
DL 通信速度	1024kbps	1024kbps
UL 通信エリア	3.4m～5.0m	3.4m～6.0m
DL 通信エリア	1.3m～5.0m	0.7m～6.0m
UL 受信感度	0.5μW/cm ²	0.3μW/cm ²
DL 到達光量	3.0μW/cm ²	4.5μW/cm ²

上記の通信速度と通信エリアを有効活用し、さらに従来光ビーコン用の既販車載機との通信互換性を保つため、光ビーコンと車載機間の通信手順も変更となった^{(1),(2)}。その詳細については割愛するが、通信手順の変更に伴い、64kbpsのUL上流端と256kbpsのUL上流端はそれぞれの通信エリアの規定を満たしつつ、さらに256kbpsのUL受信エリアの上流端は、64kbpsのUL受信エリアの上流端と同等もしくは上流側であることも必要条件となっている⁽²⁾。

3. 高度化光ビーコンの開発

3-1 開発にあたっての課題

高度化光ビーコンを開発するにあたり、各要件に対応するための主な課題は、「UL通信速度の高速化対応」と「UL受信感度の向上」、および「DL到達光量の増加」であった。以下、各課題の詳細と、その解決に向けた取り組みについて記す。

3-2 アップリンク通信速度の高速化対応

前述のように、高度化光ビーコンは、従来の64kbpsのUL信号と、256kbpsの高速UL信号の2種類のUL通信速度に対応する必要があった。そのための回路構成としては、フォトダイオード (PD; Photo Diode) で受光したUL信号を、「増幅回路」「フィルタ回路」を介して二値化した上で、通信ICにていずれの通信速度かを判断したうえで受信するのが最もシンプルな構成である (パターン1: 図2)。しかし、異なる2種類の通信速度のUL信号を、同一の増幅回路やフィルタ回路でそれぞれ所望のレベルに調整することは非常に困難であった。

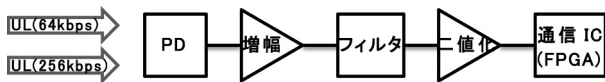


図2 UL受光部の回路構成 (パターン1)

このため、増幅回路以降の部分を実装を二重化した。増幅回路やフィルタ回路をそれぞれ64kbpsと256kbpsの信号用に特化することができ、アナログ的な各信号のレベル調整を比較的容易に実現することができるようになった (パターン2: 図3)。これによって、異なる2種類の通信速度のUL信号を受信することを実現した。

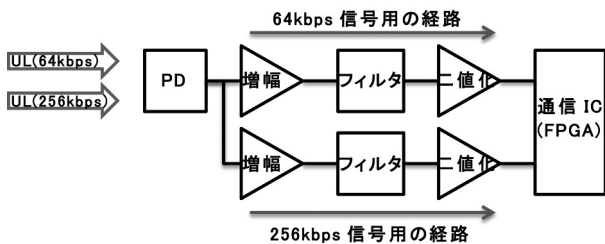


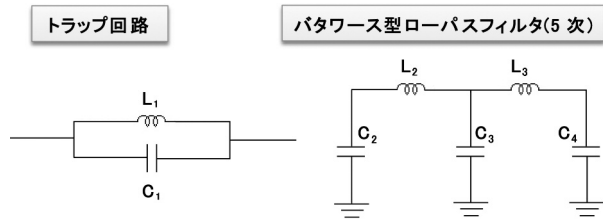
図3 UL受光部の回路構成 (パターン2)

3-3 アップリンク受信感度の向上

UL受光回路の増幅回路とフィルタ回路の回路定数をそれぞれ最適化することでUL通信エリアの拡大とUL受信感

度の向上を図った。

しかし、光ビーコン自身が放射しているDL光の路面などからの反射光をノイズとして受信してしまう課題があった。その対策としてDL光の主要な周波数成分である1024kHzと512kHz (DL信号がマンチェスタ符号のため) を効率よく除去できるフィルタ回路の設計が必要となった。反射DL光の周波数成分を含む高周波成分をカットするローパスフィルタ (図4右) に加え、1024kHz付近と512kHz付近を集中的に減衰させるトラップ回路 (図4左) を用いることで対応した。その際、ローパスフィルタとトラップ回路でともに使用するコイルを共用する (図4下) ことで限られた部品実装スペースを有効活用するとともに部品コストも削減した。さらに、256kbpsのUL受信エリアの上流端が64kbpsのUL受信エリアの上流端よりも上流側になるように、各回路定数を調整したうえで、実装した。



トラップ回路とローパスフィルタの組み合わせ

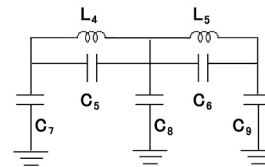


図4 フィルタ回路

3-4 ダウンリンク到達光量の増加

DL通信エリアの拡大とDL到達光量の増加を実現するため、高光出力かつ広放射角の近赤外線LEDを採用した。その際、表面実装用パッケージのLEDを選定し、基板への実装を自動化することで、加工品質の向上および加工コストの削減も合わせて実施した。

上記により、拡大されたDL通信エリアにて規格以上のDL光量を確保することができたが、それだけではDL通信エリアの下流端付近で、車載機はDL情報を受信できなかった。その原因は、車両感知機能用の感知光とDL通信用のDL光が干渉していたためであった。以下、その内容と対策を記す。

光ビーコンは、車両感知機能用に、投受光器から真下に対して若干上流側に向けてDL光と同波長 (850nm) の近赤外線 (感知光) を放射している。このような状況におい

て、DL通信エリアの下流端は、従来光ビーコンは投受光器真下から上流方向に1.3mであったのに対し、高度化光ビーコンでは0.7mになったため、DL光の放射エリアがより感知光の放射エリアに近づくことになった。そのため、DL通信エリアの下流端付近でDL光と感知光の干渉が生じた（図5左）。詳細は割愛するが、感知光はその原理上、DL光と干渉しても感知機能に影響はない。しかし、DL光はパルス信号であるため、感知光と干渉すると通信品質の劣化につながる（図5右）。

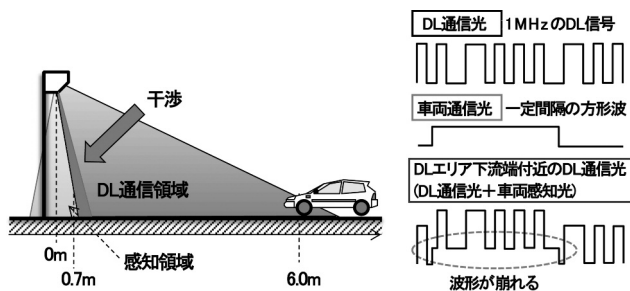


図5 DL光と感知光の干渉（概念図）

この課題の解決に向けて、光学的にDL光と感知光の干渉をなくすことを検討した。例えば、DL通信エリアは規定範囲があるため変更できないので、感知光の発光中心軸を投受光器真下よりも下流側にシフトすることを試みた。しかし、この方法では光学的に放射エリアを分離するための部品追加が必要でコストアップする可能性があり、さらに製品レベルの品質保証を行うには設計・評価に多くの時間を要するかもしれないというリスクがあった。そこで、逆転の発想で、干渉したままでもDL通信への影響をなくす方法を検討した。具体的な方法としては、感知光をDL光の発光タイミングに同期させて発光することで、光学的

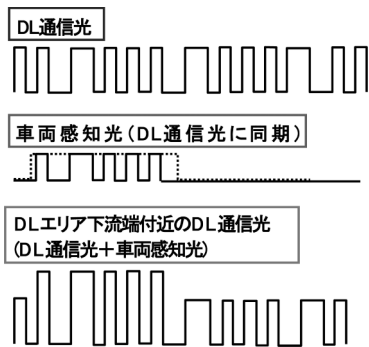


図6 DL光と感知光の同期（概念図）

に干渉していてもDL通信への影響をなくすことができた（図6）。これにより、より低コスト、低リスクの方法で本課題を解決した。

4. 結 言

UL通信速度の高速化対応、UL受信感度の向上、DL到達光量の増加を実現することで、SIDSに対応する高度化光ビーコンを開発した。今後は、既設光ビーコンの更新整備に加え、SIDS用の新規整備が期待される。また、高度化光ビーコン対応の車載機も製品化に向けての開発が進んでいる。高度化光ビーコンとともに、SIDSに対応する車両が増えることで、エコ運転の促進による地球環境の改善効果と安全運転の推進による交通事故件数の削減が期待できる。

用語集

※1 PTPS

信号制御により公共バスなどの交差点通過時間の短縮や、優先レーンの設定・解除により走行レーンを確保するシステム。

※2 MOCS

タクシー・トラックなどの走行車両の位置・時刻などの情報をもとに分析した情報で、物流や業務車両の効率的な運行管理を支援するシステム。

※3 FAST

緊急車両の走行を支援することにより、緊急走行に伴う交通事故を減少させるとともに、現場への早期到着を実現するシステム。

参 考 文 献

- (1) 警察庁、警交仕規1019号光ビーコン仕様書「版2」（2013.3.15）
- (2) UTMS協会、高度化光ビーコン 近赤外線式インタフェース規格「版2」（2013.5.7）

執筆者

葉山 幸治* : 住友電工システムソリューション(株)
主査



白永 英晃 : システム事業部 主席



三宅 一正 : 住友電工システムソリューション(株)



谷口 裕一 : システム事業部 主席



* 主執筆者