

# LED Backhaul 商品化の取組み

(株)三技協

松井 隆, 山本翔也, 林田章吾

## 1 はじめに

近年、スマートフォンに代表される移動体端末の増加に伴い、HD映像ストリーミング、クラウドサービス接続が増え、モバイルデータトラフィックが大きく増加している。2020年には2014年対比にて10倍のモバイルデータトラフィックが見込まれるなど、増加するデータトラフィックへの対応が大きな課題となっている<sup>1)</sup>。

その対策として、比較的送信電力の小さいスモールセルを数多く配置し、無線トラフィックをマクロセルからスモールセルへオフロードして容量拡大を行うヘテロジニアスネットワーク (HetNet) が構成されている<sup>2)</sup>。

2020年以降のサービスが計画されている第五世代携帯電話 (5G) では、大容量化、データ伝送速度の高度化、低遅延化、超多数端末の同時接続、低コスト・省電力化が要求条件として挙げられる<sup>3)</sup>。

Long Term Evolution (LTE) と比較して10から100倍の接続端末数や、1000倍の大容量化といった飛躍的な5Gの性能を実現するために、これまでよりも高い周波数帯を用いた広帯域化や、すでにマクロセルでカバーされているエリアにスモールセルを追加しキャパシティを確保する議論がされている<sup>4)</sup>。

スモールセルのバックホールリンクとして、有線の光ファイバーが用いられているが、敷設コストが問題視されており、上述したスモールセルの追加に対応すべく安価で堅牢なバックホールリンクが求められている。バックホールリンクとして、マイクロ波、ミリ波などさまざま

な技術が検討されているが、電波の周波数帯域は有限であり、これらを補完する新しいスペクトラムへの期待が高まっている。

筆者らは、新しいスペクトラムとして電波ではなくLED (Light Emitting Diode) の光に注目し、光通信の分野で実績のあるFraunhofer Heinrich Hertz Institute (Fraunhofer HHI) とパートナーシップを組み、LEDの光を使ったバックホールリンク (LED Backhaul) の商品化に取り組んでいる。

本論文では、弊社が取り組んでいるバックホール用途でのLED通信利用について紹介する。具体的には、Fraunhofer HHIが開発したLEDバックホールの特徴、利用アプリケーション、商品化に向けての課題とその対策について記述する。

## 2 LED Backhaulについて

青色発光ダイオードの発明により、発光効率の良い白色LEDを実現できるようになった<sup>5)</sup>。照明用LEDが普及していく中で、照明などの目に見える光を利用して通信を行う可視光通信への応用が期待されている<sup>6)</sup>。可視光通信の使用用途として、LEDの光にIDを持たせた光ID、照明用LEDの光にて双方向にデータを送受信する無線光LAN (Li-Fi)、LEDの光をPoint to Pointでやり取りして200 m程度の比較的長い距離にてデータを送受するバックホール型のものがある。

LEDの光を使ったバックホールリンクの特徴を以下に示す。

- 電波法の対象周波数外となり、無線免許の申請・登録なしに使用が可能
- 光を遮れば通信を遮断できることからセキュリティの担保や干渉対策が容易
- 省電力で簡単設置

上記の特徴を踏まえて、有線の引き回しが難しい建屋間や道路越し・川越しの通信、マルチパスが生じやすく電波が使い難いトンネル内での通信、電波干渉を嫌う工場内や病院内での通信、またイベントでの一時的な通信利用、災害時の臨時通信として期待されている。ただし、光通信の特徴として、太陽光、霧や大気乱流などの使用環境から影響を受けるため<sup>7)</sup>、想定しうる環境条件でのマージンを取って使用する必要がある。ユースケースのイメージを図1に示す。

Fraunhofer HHIが開発したバックホールリンクを図2に示す。本リンクは、近赤外線LEDを使用しており、環



図1 LED Backhaulのユースケースイメージ

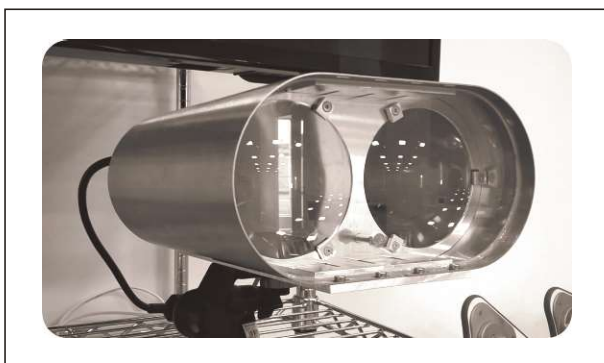


図2 Fraunhofer HHIが開発したバックホールリンク

表1 諸元及び性能

通信性能	600 Mb/s@50 m, 500 Mb/s@100m, 250 Mb/s@200 m
サイズ	240 mm × 230 mm × 130 mm
電源	AC100 V/DC12 V
通信方式	Ethernet (IEEE802.3)
インターフェース	RJ-45 (1000BaseT)

境条件が変動した際でも安定して通信を行えるように適応変調を採用している。送信と受信が分かれた2眼タイプで、変調方式はDMT (Discrete Multi-Tone)、光源は有効面積 $0.3 \times 0.3 \text{ mm}^2$ の近赤外線LED、レンズは焦点距離166 mm且つ直径4インチサイズのものを採用している<sup>8)</sup>。また、LEDの出力は小さくIEC 60825-1及びIEC 62471に準拠したEye Safetyを保証している。

表1に諸元及び性能を示す。通信性能は、600 Mb/s@50 m, 500 Mb/s@100 m, 250 Mb/s@200 mである。通信方式はIEEE802.3を採用しており、IP化された情報であれば映像、音声、データと形式を問わず伝送することができる。

商用化に向けて、屋外利用における太陽光の影響軽減、装置の取り付けや耐風速、景観に対する配慮から小型化の要求が多く、現状の特性を維持しつつ筐体サイズを小さくする検討を行った。次章にて説明する。

### 3 商用化に向けて

#### 3.1 小型化の取組み

光通信システムの光学的な性能(通信速度や通信距離)は、信号対雑音比(SNR: Signal-to-Noise Ratio)により表すことができ、主に、次の3つの項目によって変化する。

- 送信及び受信レンズのサイズ
- 送信及び受信の焦点距離(送信は発光素子から送信レンズまでの距離、受信は受信レンズから受光素子までの距離)
- 発光素子のサイズ

送信において、発光素子が理想点(面積ゼロの点)であれば、送信レンズのサイズや焦点距離にかかわらず、優れたSNRを実現可能であるが、発光素子のサイズがゼ

口になることは現実的でなく、送信の焦点距離をなるべく長く確保することが重要である。

装置を小型化するための手法として、送信及び受信レンズのサイズを小さくすること、送信及び受信の焦点距離を短くすることが考えられる。しかし、レンズサイズはSNRに比例し、送信及び受信の焦点距離を短くすることは通信区間でSNRを著しく低下することとなり、むやみにレンズサイズを小さく、焦点距離を短くすることはできない。

そこで、筆者らは、光通信システムにおける送信と受信の性質の違いに着眼し、送信経路と受信経路をほぼ直角に交差させる構成を見出した。小型化した装置の構成図を図3に示す。

受信において、光の伝送距離が受信レンズの直径に比べて十分に長いために理想的な平行光が入射すると考えられる。受信レンズ上の光の強度が均等になることから、受信の焦点距離を長くする手法として、レンズに対向配置される一次ミラーと一次反射光を受光素子に向けて二次反射する二次ミラーを構成することとした。

一方、送信において、送信レンズに入る光は、発光素子の光に指向性があり、中央部が強く周辺部が弱くなる。このような発光素子の特性（指向性）を送信レンズで吸収するのは技術的に難しくコストがかかる。

そのため、送信の焦点距離を長くするために、送信モジュールと受信モジュールがL字型になるように基盤の一端を接続し、送信経路と受信経路をほぼ直角に交差させ、発光素子の光をミラーで反射させ送信レンズに導くこととした。

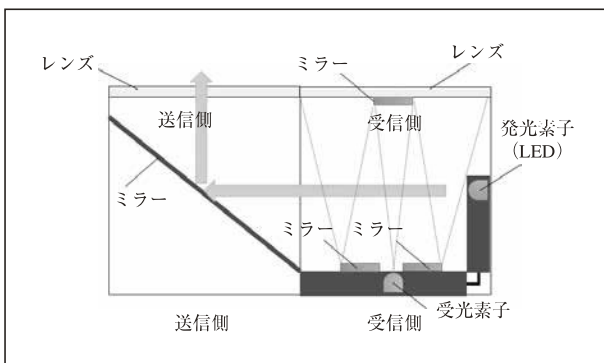


図3 小型化した装置の構成図

表2 本構造の採用によるパラメーター変化

		未採用	採用
受信	レンズ直径	100 mm	100 mm
	レンズ焦点距離	100 mm	240 mm
	レンズ側ミラー直径	—	40 mm
送信	レンズ直径	100 mm	100 mm
	レンズ焦点距離	100 mm	190 mm

表2に本構造の採用によるパラメーター変化を示す。受信では、二回反射構造の対策を採用することにより、焦点距離が100 mmから240 mmになり、送信では、受信側の空間と反射ミラーを利用することにより、焦点距離は100 mmから190 mmになる。ミラーの反射率を80%として計算した場合、受信において、SNRは対策無しの場合と比較して最大4.9 dB向上し、送信において最大4.3 dB向上する。これは2章で紹介した焦点距離166 mmの構成を上回る結果であり、本対策が現状の特性を維持しつつ筐体サイズを小さくするのに有効であるといえる。

### 3.2 太陽光の影響軽減策

LEDの光を使ったバックホールリンクを屋外で使用するにあたって太陽光の影響を軽減することが重要である。太陽光は照明などに比べてとても強く、近赤外線、可視光、紫外線の周波数成分を含む光がほぼフラットに放出されている。太陽光がレンズのフレーム内に直接入射すると、レンズフレアやハレーション等と同様の現象が生じる。通信区間でSNRを著しく低下することとなり、通信リンクの接続断のリスクが高まることとなる。それ故、レンズのフレーム内に太陽光を直接入射させない対策が有効である。太陽光の影響を軽減する方法として、装置上部にひさしを取り付けることとハニカムフィルター（Honeycomb-filter）を用いることを検討した。図4に説明図を示す。

装置上部にひさしを取り付けるとした際、太陽光の光を遮るようになるためには長いひさしを取り付けなければならない。太陽高度が5度で直径10 cmのレンズを用いた場合、ひさしの長さは約115 cm必要となる。

カメラ照明などで使用されるハニカムフィルターは薄くても効果的に太陽光を遮断することができる。厚さ1 cm程度のハニカムハニカムフィルターでも長さ115 cm

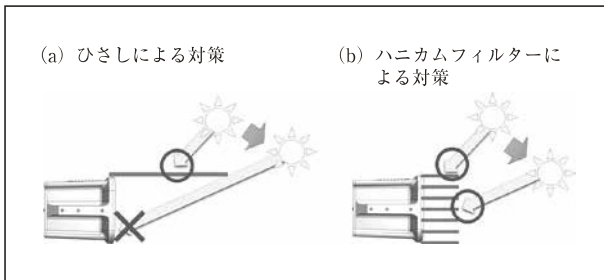


図4 太陽光の影響軽減策

のひさしと同程度に太陽光を遮断できる。ただし、ハニカムフィルターは薄くするほど減衰が大きくなることを考慮しておく必要がある。

筆者らは省スペース性を考慮し、ハニカムフィルターを採用して太陽光の影響を軽減することとした。厚さ1 cm程度ハニカムフィルターの場合、約1.4 dBの減衰となる。

## 4 まとめ

本論文では、(株)三技協にて取り組んでいるバックホール用途でのLED通信利用について紹介し、その特徴や利用用途について説明した。筆者らは、Fraunhofer HHIが開発したバックホールリンクをベースに商用化の検討を行い、太陽光の影響軽減策としてハニカムフィルターが有効であることを見出した。また、光通信システムにおける送信と受信の性質の違いに着眼し、送信経路と受信経路をほぼ直角に交差させる構成を見出した。これにより、現状の特性を維持しつつ筐体サイズを小さくすることが可能になった。太陽光の影響軽減策、小型化対策に目途が付いたことにより、LEDの光を使ったバックホールリンク(LED Backhaul)の商用化に弾みが付くものと期待している。

今後は、更なる通信速度の向上を目指して取り組んでいく予定である。

### 参考文献

- 1) ERICSSON MOBILITY REPORT, June 2015.
- 2) 岸山 祥久, 内野 徹, 永田 聡, 森山 彰人, Yun Xiang, NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, vol. 21 no.2, 2013.
- 3) 2020年以降の5G無線アクセスにおける要求条件と技術コンセプト, ドコモ5Gホワイトペーパー, September 2014.
- 4) V. Jungnickel, K. Manolakis, W. Zirwas, B. Panzner, V. Braun, M. Lossow, M. Sternad, R. Apelfröjd, T. Svensson, "The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp.44-51, May 2014.
- 5) 田口常正, "白色LEDが一般照明用光源として本格普及するには," 会誌「光学」, 第38巻3号, March 2009.
- 6) 春山真一郎, "可視光通信," 信学論 (A), vol. J86-A, no.12, pp.1284-1291, December 2003.
- 7) A. Prokeš, Modeling of Atmospheric Turbulence Effect on Terrestrial FSO Link, *Radioengineering*, vol. 18, no.1, April 2009.
- 8) Dominic Schulz, Volker Jungnickel, Christos Alexakis, Michael Schlosser, Jonas Hilt, Anagnostis Paraskevopoulos, Liane Grobe, Péter Farkas, Ronald Freund, "Robust Optical Wireless Link for the Backhaul and Fronthaul of Small Radio Cells," *Journal of Lightwave Technology*, March 2016.

### Commercialization efforts of LED Backhaul

■ ① Takashi Matsui ② Shoya Yamamoto ③ Shogo Hayashida

■ ① Sangikyo Corporation, LED communication team, Chief Engineer ② Sangikyo Corporation, LED communication team, Engineer ③ Sangikyo Corporation, LED communication team, Manager

① マツイ タカシ

所属：(株)三技協 LED通信チーム 担当部長

② ヤマモト ショウヤ

所属：(株)三技協 LED通信チーム エンジニア

③ ハヤシダ ショウゴ

所属：(株)三技協 LED通信チーム 課長