

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 鉄道における光技術の活用

光を使って、情報を送ったり、機器をコントロールしたりする技術は、家庭内からさまざまな産業装置まで広く使われています。鉄道でも、列車の安全かつ安定した運行を支える技術として、設備の状態把握や装置の制御に光技術が活用されています。ここでは、光を使った新しい測定技術と、将来の情報伝送に関する研究開発の事例として光の概要・特徴と鉄道での利用例を紹介します。



川崎 邦弘  
Kunihiro Kawasaki  
信号・情報技術研究部  
部長  
【専門分野】 対列車通信システム、電波環境

## いちばん身近な「光技術」

光技術の活用事例の中で、読者の皆さんに最も身近なものは、テレビやエアコンのリモコンでしょう。ほとんどのリモコンは、押されたボタンが何かを表す信号を、「赤外線」と呼ばれる光を使って制御したい機器に送っています。リモコンの先端部を見ると、赤外線を発光するLEDがついており、押されたボタンごとに決められたパ

ターンでLEDを高速で点滅させて情報を送っています(図1)。機器側では、届いた赤外線の明滅パターンを読み取り、押されたボタンに割り当てられている動作をします。いわば最もシンプルな「光を使った無線通信による制御」です。日本で最初に赤外線リモコンが登場したのは1977年のことだそうです<sup>1)</sup>。それまでは機器がある場所で直接操作するか、機器と操作部の間に長い電線をつないでコントロールするしかありませんでした。赤外線リモコンの登場は、家庭用の電気機器の操作の自由度を高めただけでなく、デザインの自由度も高めたという意味でも大きな役割を果たしました。今では、



図1 色々なリモコンについている赤外線発光LED

テレビ、エアコン、オー

## ☞ 粒子としての光

ここでは光は電磁波として説明していますが、厳密には、波としての性質だけでなく、粒子としての性質も持っています。光が波であることは1805年にヤングの実験によって証明されました。その後、1900年代前半に登場した量子論により、周波数に比例するエネルギーを持つ粒子(光子: Photon)であることが示され、とくに波長が短い放射線の領域で粒子性が顕著であることがわかっています。

ディオ、照明、カメラのほか、インドア向けのドローンなどホビー用ラジコンにも使われています。

### 光とは？

光は電磁波の一種で、空間中を伝搬する、いわば電気エネルギーの波です(☞参照)。この波が1秒間に振動する回数を周波数(単位はHz=ヘルツ)と呼び、1周期の波の進行方向の長さを波長(単位はm)と呼びます。周波数 $f$ と波長 $\lambda$ の関係は、以下の式から求められます。

$$\text{波長}\lambda(\text{m}) = \text{光速}(\text{m/s}) \div \text{周波数}f(\text{Hz})$$

光は周波数が3THz(Tはテラ:  $10^{12}$ ) ~ 30PHz(Pはペタ:  $10^{15}$ )の範囲の電磁波をさしますが、光技術の分野では光の特性の違いを周波数ではなく波長で区別します。空気中の光の速度は約 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ですので、光の波長の範囲は $100\mu\text{m} \sim 10\text{nm}$ となります(図2)。私たちの目で見る事ができる光を「可視光線」と呼びますが、波長がおおよそ $360\text{nm} \sim 830\text{nm}$ の範囲とされています<sup>2)</sup>。可視光線より波長が長い(=周波数が低い)光を赤外線、波長が短い(=周波数が高い)光を紫外線と呼んでいます。ちなみに、3THz以下の周波数の電磁波は電波法で「電波」と定義されています。また、30PHz以上はX線やガンマ線などの放射線の領域になります。

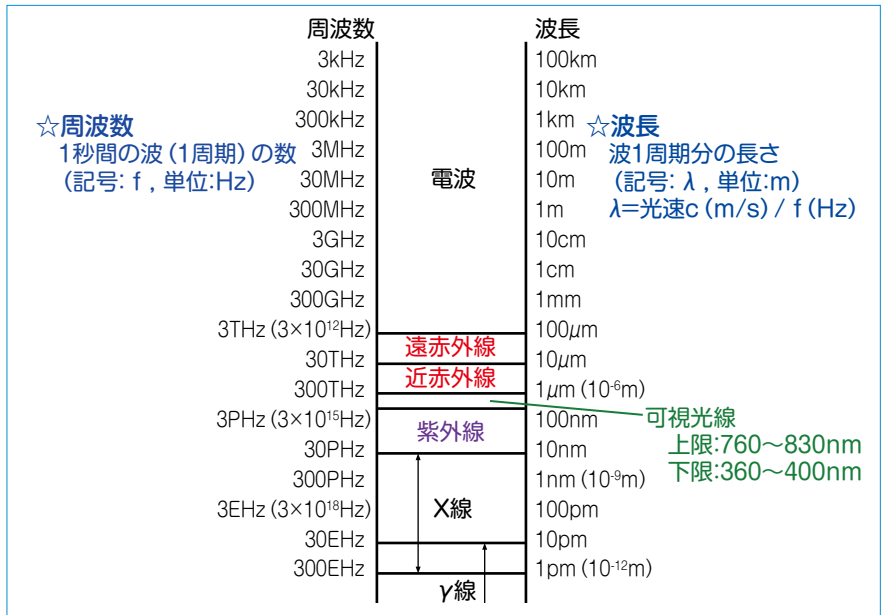


図2 電磁波の周波数と光の範囲

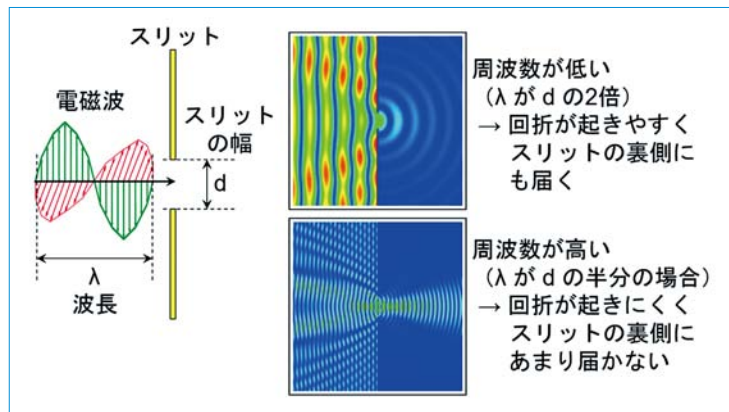


図3 電磁波がスリットを通過する時に起きる回折現象のシミュレーション

- ★ 照明      ☞ 電灯,前照灯,暗視(赤外線),装飾など
- ★ 通信      ☞ 光ファイバー通信,光空間無線
- ★ センシング      ☞ 光の強度や周波数成分の分析による検知,測距,物性把握など
- ★ 加工・加熱      ☞ レーザー加工,赤外線による加熱,紫外線による物性変化など
- ★ 発電・電力伝送      ☞ 太陽光発電,光給電

図4 光の主な用途

### 光の特徴と主な用途

一般的に、電磁波は波長が短い(=周波数が高い)ほど、回折しにくくなるため(図3)、光は直進性が非常に強くなり、発射された方向にまっすぐ伝搬する特徴があります。この特徴により、狙った方向に精度よく光を当てられる(逆に、光が来る方向も探索できる)というメリットが得られる反面、光が伝わる途中に遮蔽物が存在すると、

全く届かないというデメリットにもなります。

また、列車無線(150MHz帯・300MHz帯)や携帯電話(800MHz帯・2GHz帯)、無線LAN(2.45GHz帯・5GHz帯)などで使われている電波の周波数帯に比べ、周波数が数百倍~数千倍と高い分だけ広い周波数幅を使うことができますので、1チャンネルあたりに送れる情報量がきわめて大きいという特徴もあり

ます。

光は電気的なエネルギーが伝搬する現象ですが、このエネルギーを利用したさまざまな用途があります(図4)。

鉄道では、図4にあげた全ての用途に光技術が活用されています。以降では、照明以外で最も多く使われている通信とセンシングに焦点を当てて、いくつかの事例を紹介します。

## 鉄道における光通信

鉄道における光通信の実用化は、1983年に基幹系の回線に光ファイバー通信を導入したのが始まりです。光ファイバーとは、屈折率が異なる2種類のガラスを組み合わせた、髪の毛と同じくらいの太さの“光の通り道”です(図5)。当時の伝送速度は6Mbps(☞参照)でしたが、光ファイバーを使うことにより、メタリックケーブルよりも長い距離(数km~数十km)を無中継で伝送できるようになりました。なお、現在は10Gbps以上の伝送容量が実現されています。光ファイバーによる通信は、誘導・雑音など電磁的な影響を受けないため、列車を運転するための電力源(1500V, 20kV, 25kVなど)と信号通信用の数V~数 $\mu$ Vのきわめて弱い電気が混在する電気鉄道に最適な伝送路です。近年は、高速大容量化とともに、材料・装置・施工の各コストが低減されていることから、多くの鉄道事業者が光通信回線を導入しています。また、基幹系のみならず、駅構内の信号機器間の情報伝送や無線基地局や中継局間の伝送にも利用されています。

車両の中でも、操縦装置、戸閉め制御装置、電力変換器内の素子の駆動制御など、実装後にコネクタの脱着の必要がない箇所には多数の光通信技術・光制御技術が導入されています。複数の車両間をわたる制御情報伝送回線として、1985年に64kbpsの光ファイバーを使った回線が導入され、2005年には100Mbpsの回線も実用化されました。しかし、光ファイバーは、

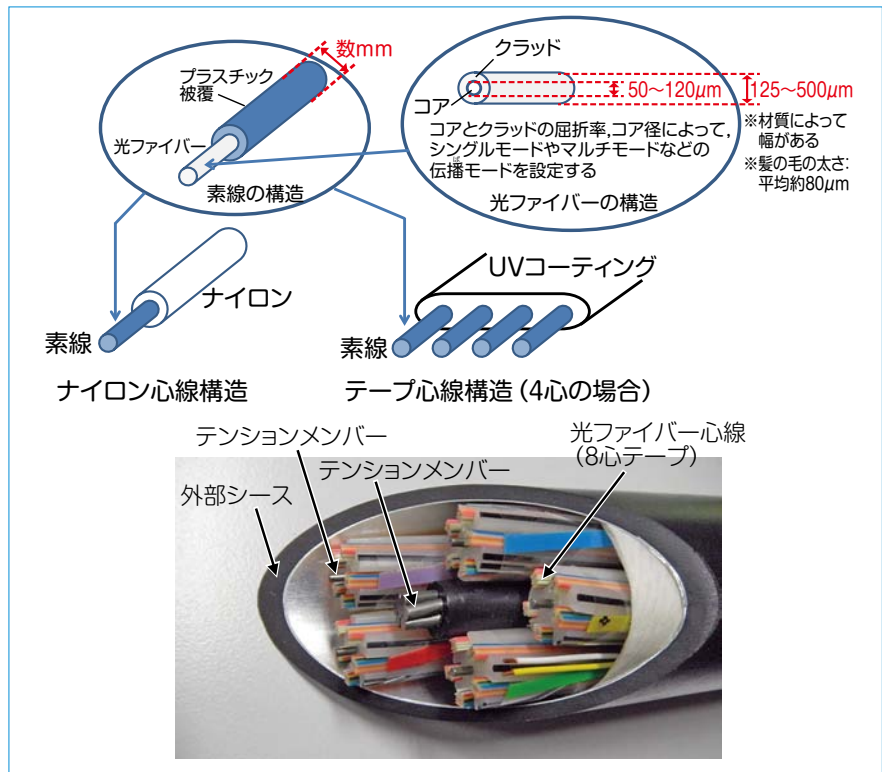


図5 光ファイバーの構造と光ケーブルの例

メタリックケーブルよりも曲げや振動衝撃に弱くメンテナンスに高度な技術が必要でした。さらに、列車の分割・併合時などに周辺環境がよくない場所で光コネクタを脱着する場合もあり、車両設計時の制約やコストの面でメタリックケーブルよりも不利であることは否めません。今後、機械的な強度が高く、汚れなどが容易に除去できる(もしくは汚れにくい)コネクタが開発されれば、列車上での利用がさらに伸びることが期待されます。

また、赤外線を使った対列車画像伝送システムなど、光を使って列車と地上との間で情報伝送を行うシステムも一部で利用されています。残念ながら、高速走行する列車と連続的に光で無線

通信を行うシステムはまだ実用化されていません。鉄道総研では、2005年~2010年にレーザー光を使って走行車両と地上間で無線通信を行うシステムの開発に取り組み、線路の沿線に設置した複数の地上通信装置と、100km/h以上の速度で走行する列車との間で、地上通信装置を自動的に切り替えながら最大850Mbpsの伝送速度で通信できることを実験的に実証しました(図6)<sup>3)</sup>。現在は、電波を使ってGbpsオーダーの通信を行うことが可能となってきていますので、地上の装置間の通信に光を使い、列車~地上間は電波を使う方法が研究されています。レーザー光を使って列車と地上間でさらに大容量(10Gbpsオーダー)の通信を行う研究も大学などで行われています。光空間無線では、列車を追跡しながらミラーを動かしてレーザー光の向きを制御する必要がありますが、設置精度や高度なメンテナンスが必要など、解決すべき課題が残されています。

### ☞ bps

“bit per second”の略で、1秒間に送れる情報の量(ビット数)を表す単位です。なお1ビットとは、0か1かの二つの状態のうちいずれかを表すことができる情報の単位で、2ビットあれば $2^2 = 4$ つの状態を、8ビットあれば $2^8 = 256$ の状態を表すことができます。ビット数が増えると、扱える情報の量は2のべき乗で大きくなります。

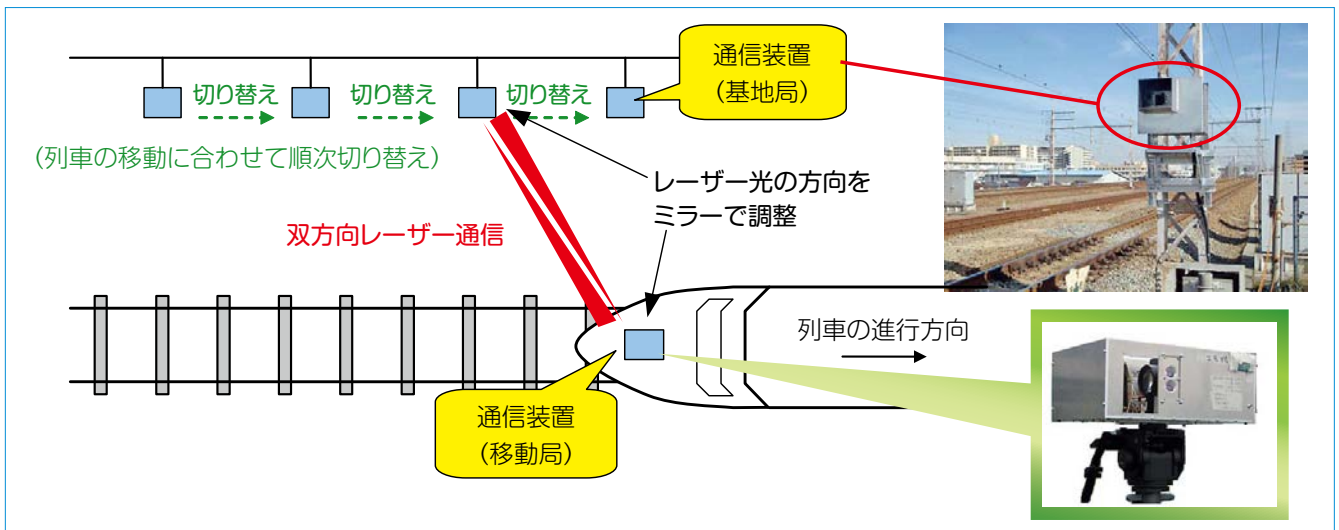


図6 レーザー光による対列車通信システム<sup>3)</sup>

す。電子的にレーザー光の方向制御が可能となれば、鉄道のような振動・衝撃が多い環境でも実用に耐えるシステムが実現できるかもしれません。

### 鉄道における光センシング

鉄道では、光による通信のほか、踏切障害物検知(図7)、列車在線検知、沿線の設備の状態監視などにも光技術を活用しています。

たとえば踏切障害物検知では、障害物がセンシング用の光を遮断することによって、その存在の有無を検知しています。万が一発光器や受光器が壊れた場合でも、「光が届かない=障害物あり」と判断しますので、列車を止めるなどの処置ができます。光技術とフェールセーフ技術の組み合わせの代表例といえるでしょう。

最近では、光の有無で検知するだけでなく、光に情報を載せることによって、検知対象を特定したり、周囲から入ってくる余計な光を排除するなどの工夫が行われるようになってきました。

また、列車が走行することによってパンタグラフ～トロリー線間が離れる現象(“離線”と呼びます)を放電光により測定する手法など、鉄道設備の状

態監視のために光を活用するシステムも開発されています<sup>5)</sup>。

このほか、レーザーをトンネルの壁面に当てて機械的なインパクトを与え、壁面での振動の周波数を別のレーザー光で測定してトンネル壁面の変状を検出する手法<sup>6)</sup>など、光をエネルギーとして利用する技術も開発されています。

### おわりに

光を活用する技術は、かつては光の有無を検知することから始まりましたが、光を発光する素子、とくにLEDの登場・発展と、受光素子の性能向上によって、多くの情報を送ったり、これまでは見るのが難しかった現象を見ることができるなど、高度な応用が可能となってきました。

鉄道の中でも、列車の安全・安定輸送のために、さまざまなかたちで“光”が活躍しています。ここでは、最新の光技術を積極的に活用した計測技術、通信技術を紹介しています。将来、今号で紹介した技術が実用化され、さらに安全で快適に利用できる鉄道の実現につながることを期待しています。

RRR



図7 踏切障害物検知装置の例<sup>4)</sup>

### 文献

- 1) 産業技術史資料情報センター：赤外線リモコン送信機，産業技術史資料データベース，<http://sts.kahaku.go.jp/sts/detail.php?no=100210021032>
- 2) JIS Z 9120：光学用語，2001
- 3) 中川伸吾，松原広，関清隆，中村一城：光で列車と通信する，RRR，Vol.67，No.2，pp.6-9，2010
- 4) わかりやすい鉄道技術 鉄道概論・電気編，2011
- 5) 根津一嘉，早坂高雅，臼田隆之：紫外線で離線を測る，RRR，Vol.66，No.2，pp.26-29，2009
- 6) 篠田昌弘，大村寛和：レーザーでトンネル表面の欠陥を探る，RRR，Vol.66，No.11，pp.6-9，2009