

LED照明光無線通信

2013年10月10日

画像電子学会第3回スマートディスプレイ研究会

林 新

(株) IDEN Videotronics

主要内容

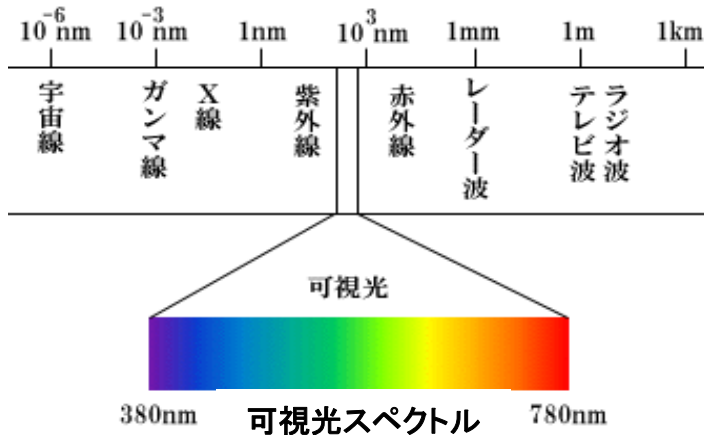
- 可視照明光の概念
- 照明のあゆみ
- LED照明の特性
- LED照明器具で通信
- LED照明光無線通信の実例

・可視照明光の概念

- ・ 照明のあゆみ
- ・ LED照明の特性
- ・ LED照明器具で通信
- ・ LED照明光無線通信の実例

可視(照明)光波

電磁波の種類



光波の数学記述

$$E_r = \underbrace{E_0}_{\text{光振幅/強度(明暗)}} \cdot \cos 2\pi \left(\underbrace{\frac{r}{\lambda}}_{\text{光波長(色)}} - \underbrace{\frac{t}{T}}_{\text{光位相(形状)}} \right)$$

- ・可視光波の定義： 人間の目で見える波長380nm—780nmの電磁波この範囲の波長が人間の目に入って来た時に、色として脳で認識され、各色は各自の波長を持つ；
- ・可視光波の構成： 7色の単色光から構成；
- ・可視光スペクトル： 光を単色光成分に分解して波長の順に並べたもの。

光の作用

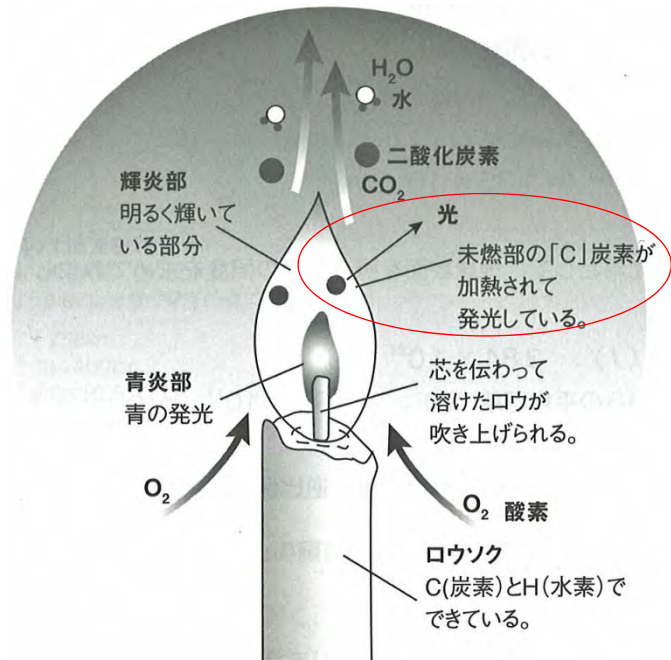
- 加熱作用： 光を集光させると物質を温める
- 視力補助： メガネ, レンズ, 望遠鏡, 顕微鏡
- 化学作用： 現像など(紫外光ほど強い)
- データ通信： 光ファイバー, 光無線
- 信号処理： ホログラフィ, 光演算
- **照明作用： 最も重要な作用**

人類は, 照明によって闇を征服し活動範囲を拡げてきた

- 可視照明光の概念
- **照明のあゆみ**
- LED照明の特性
- LED照明器具で通信
- LED照明光無線通信の実例

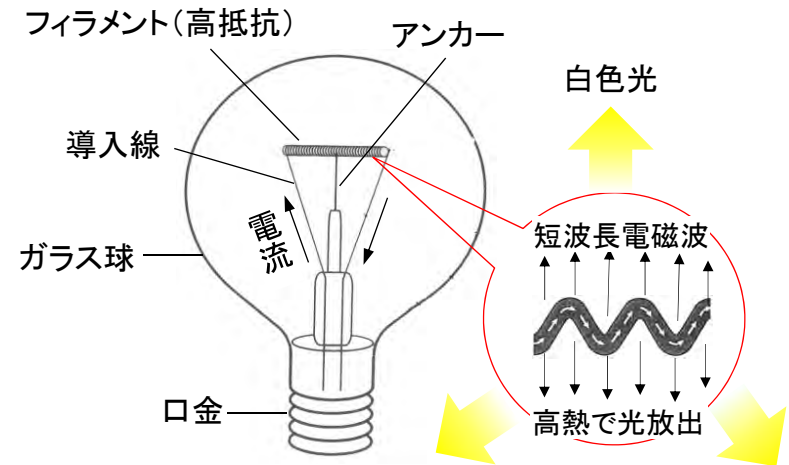
照明のあゆみ

第1世代:ロウソク(燃焼の加熱発光)



- ※ ・ロウソクは炭素(C)と水素(H)の有機化合物
- ・完全燃焼では照明可能の可視領域の発光はほとんどない
- ・未燃部の炭素が加熱されて発光

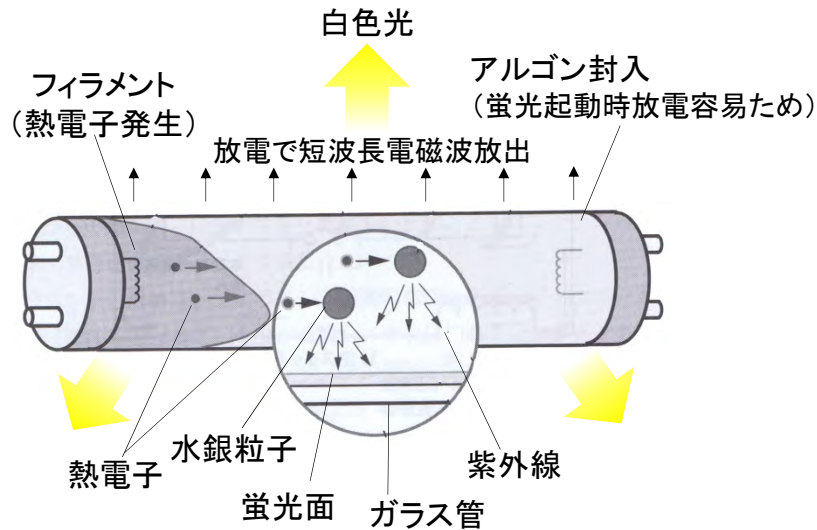
第2世代:白熱電球(電気の加熱発光)



- ※ 電気を高温に耐える抵抗体(フィラメント)を介して通電させ、熱エネルギーに変換された加熱発光

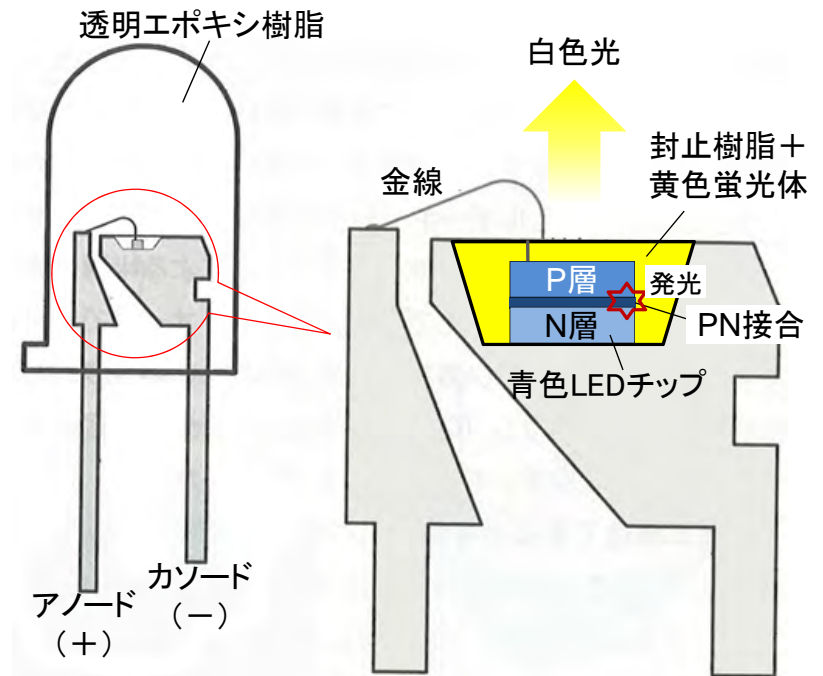
照明のあゆみ

第3世代: 蛍光灯 (電気の放電発光)



- ※ ・熱電子発生用のフィラメント, 放電用の水銀, 発光用の蛍光体, 蛍光灯の始動時に放電をしやすくするアルゴン(Ar)ガスで構成
- ・蛍光管内のフィラメントから放射される熱電子が管内に散在する水銀粒子に衝突し, これにより発生する紫外線が管壁面に塗布された蛍光体を励起させ可視光を発光

第4世代: LED (半導体素子発光)



- 可視照明光の概念

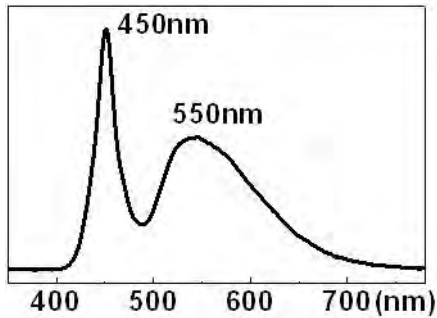
- 照明のあゆみ

- **LED照明の特性**

- LED照明器具で通信

- LED照明光無線通信の実例

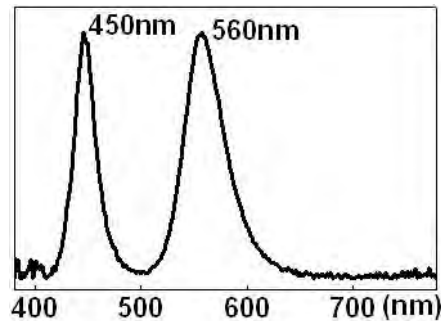
白色LEDの発光方式



白色光発光



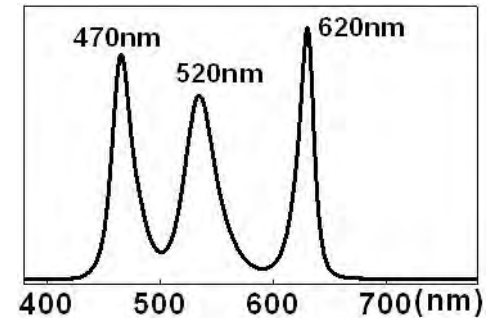
青LED+黄蛍光体による白色



白色光発光



1チップLEDで青・緑混色による白色



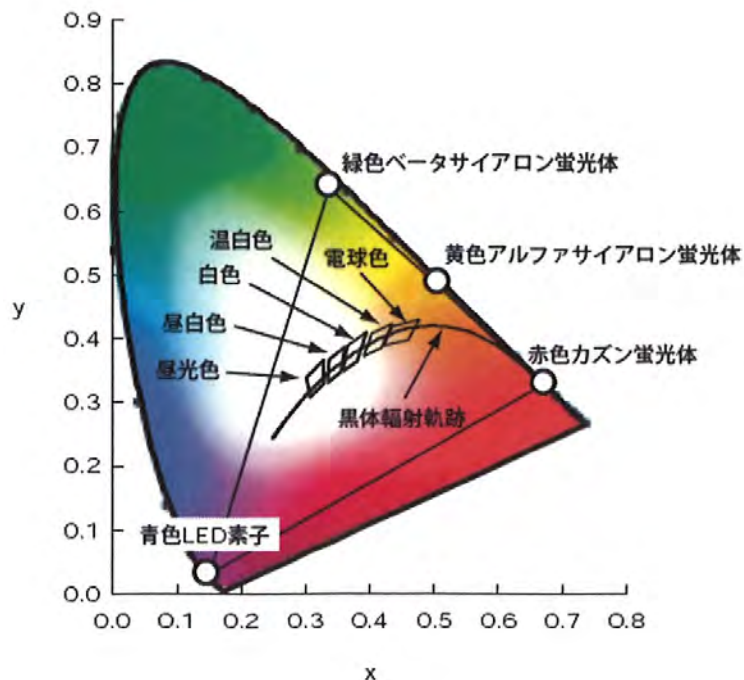
白色光発光



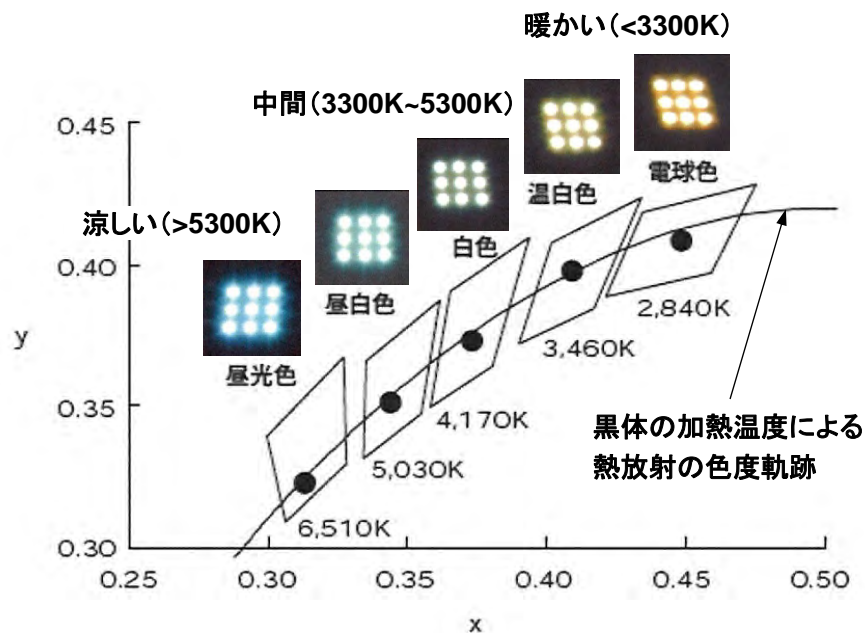
赤・緑・青LEDの組合せによる白色

白色LEDの色温度

- 色温度とは：光源が発している光の色を定量的な数値で表すもの



CIE色度図と黒体熱放射の色度軌跡

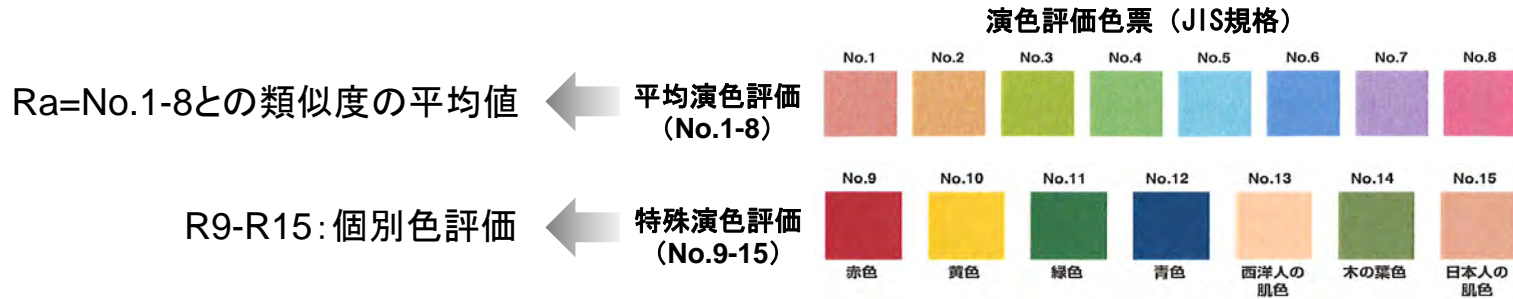


白色LEDの色度座標と色温度(JIS規格)

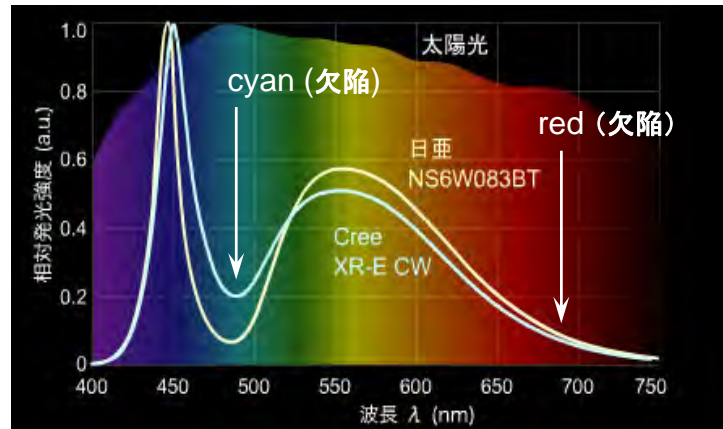
※ 黒体(完全放射体)： 外部から入射したあらゆる波長の電磁波を完全に吸収する温度放射体。
 黒体を加熱すると、深赤、赤、橙、黄、白、青白、青と変化する

白色LED演色性

- 光源演色性：光源の違いにより、照らされた同じ物体の色の見え方が異なること；光源スペクトル分布の広さに依存，広いほど高い（白昼の太陽光が最大の100とする）。



- 白色LED演色性：スペクトル分布の欠陥により現行の評価方法基準における低演色性

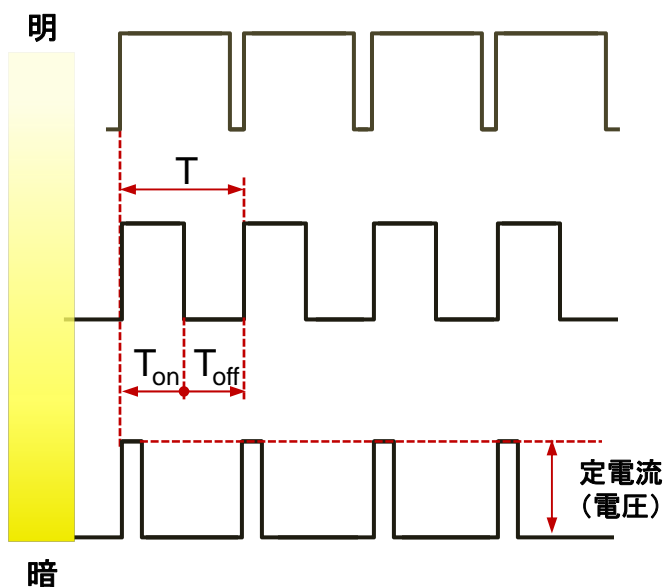


青LEDチップ+黄色蛍光体 Ra=60-85

LED照明器具の調光

LED調光の課題

- 順方向電圧以上になると過大電流が流れ、LEDがダメージ
- 順方向電圧(電流)を小さくすると点灯波長(色合い)も変動
- 順方向電圧(電流)以下になると発光は停止



- PWM (Pulse Width Modulation) 方式で光量のデューティによる見た目の明るさを制御

$$\text{DUTY} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} \times 100\%$$

- パルス幅を直線的に変化させるだけでは不自然で、目の視感度とLEDの発光特性により、パルスの変化曲線を決める必要がある

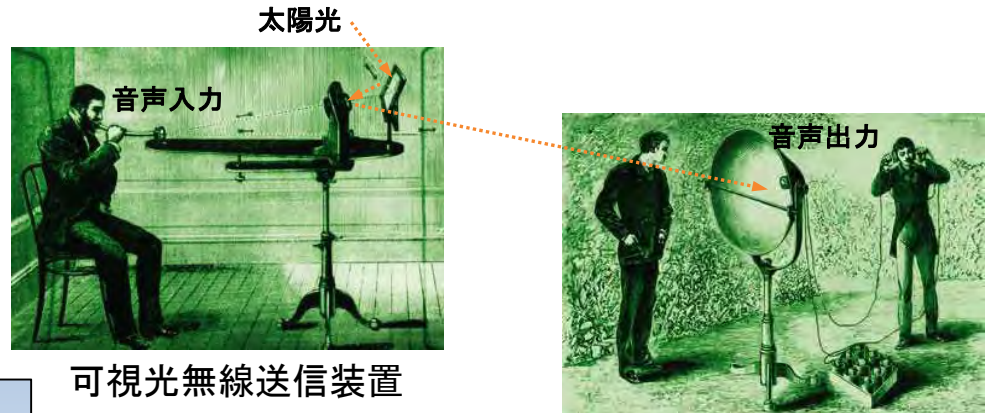
主流照明器具の基本特性

	白熱電球 (面光源)	蛍光灯 (面光源)	LED照明器具 (点光源)
光源特徴	<ul style="list-style-type: none"> 熱による複数の短電磁波を放出, 白色光となる。 光が柔らかい 発光効率* 10-20 (lm/W) 	<ul style="list-style-type: none"> 水銀粒子の紫外線放射で蛍光体を励起, 複数の短電磁波を放出, 白光に変換。 発光効率 40-110 (lm/W) 	<ul style="list-style-type: none"> 特定な光子で単一波長に注目した電磁波を放出。 指向性の制御が容易 発光効率 30-100 (lm/W)
通信可否	<ul style="list-style-type: none"> 不規則な光スペクトル ストロボ発光不可 <p>⇒ 通信困難</p>	<ul style="list-style-type: none"> 不規則な光スペクトル ストロボ発光不可 <p>⇒ 通信困難</p>	<ul style="list-style-type: none"> 規則正しい光スペクトル 電流に対する高速応答 (短時間ストロボ発光) <p>⇒ 通信可能</p>

* LEDの理論値: 260-300 (lm/W); 最大効率光源: 緑色 (555nm) 単色光源: 683 (lm/W)

- 可視照明光の概念
- 照明のあゆみ
- LED照明の特性
- **LED照明器具で通信**
- LED照明光無線通信の実例

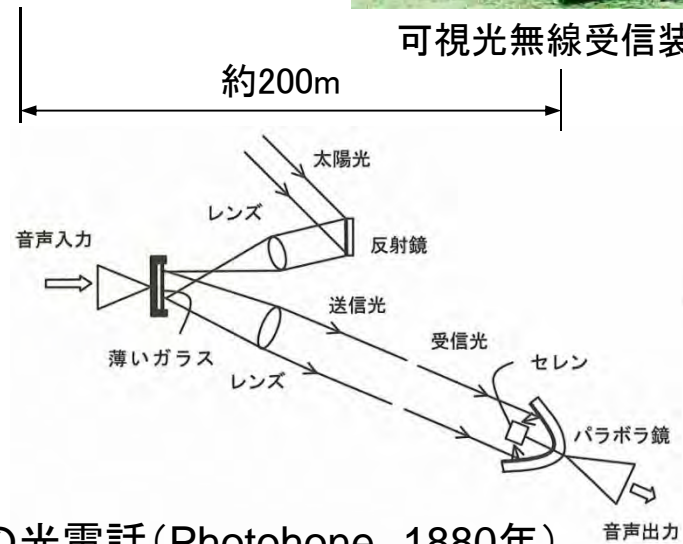
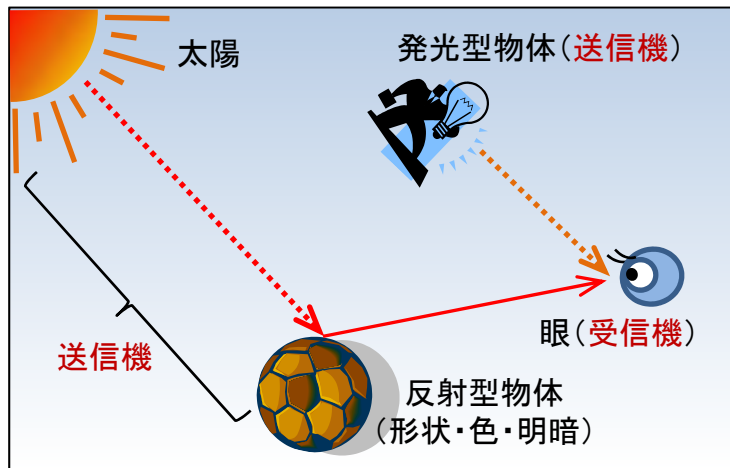
可視光無線通信の起源



可視光無線送信装置



可視光無線受信装置



ベルの光電話 (Photophone 1880年)

人類の課題: 自然を学ぶ, 自然を超える

なぜ、照明器具による通信

- 照明器具は地域や文化との関係がなくユビキタスの物 → **高ユビキタス性**
- 照明インフラを活用可能 → **省エネ・低コスト**
- 光放射周波数に法的規制がない → **省資源・環境に優しい**
- 光の直線性によるセキュリティが高い → **安心・安全**
- 可視光の水中透過率が最も高い → **海洋環境高速通信可能**
- 視覚障害者も光の方向がわかる → **人に優しい**

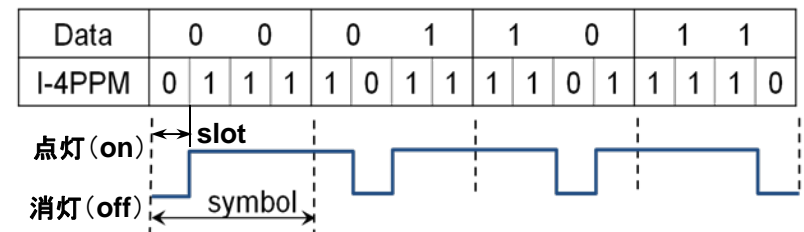
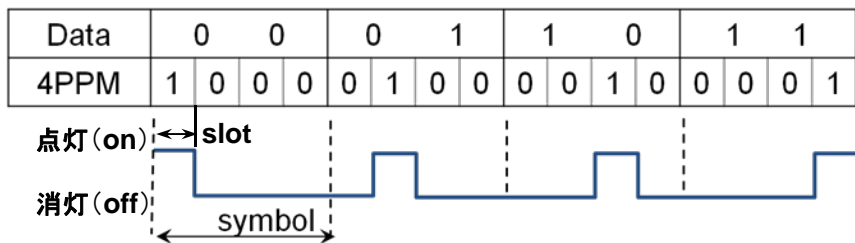
照明光通信に有効な変調方式

【基本要求】

- ・ 照明特性を最大限に確保
- ・ 所望SNR(BER)を確保できる受信平均パワーを確保
- ・ 外乱照明光(蛍光ノイズなど)を受けにくい

【変調方式】

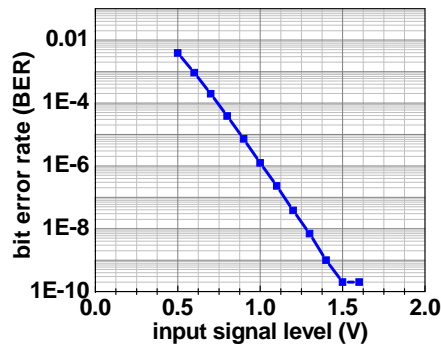
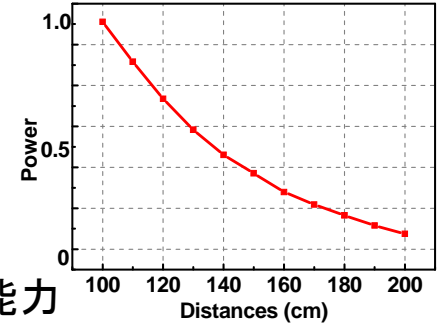
- ・ 明るさよりも**通信効率**を求める場合: 4PPM (Pulse Position Modulation)
どのようなデータを変調しても、必ず1回点灯するような仕組み
- ・ 明るさ(**発光効率**)を求める場合: I-4PPM (Inverted 4PPM) 点灯時間比率が大きく発光効率をよくする
同じ明るさの条件では4PPMと比べて通信効率は低下する



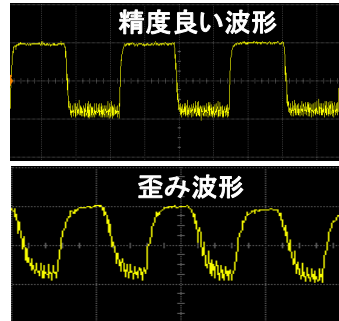
100%の変調度で光源をon/offによる信号波形

照明光通信に望ましいLED

- 高い光出力 ⇒ 受信SNR/BER(受信平均パワー)・通信距離
- 広い周波数帯域幅 ⇒ 通信速度・送信波形品質・符号伝送能力



伝送誤りの原因：
伝送波形のひずみ



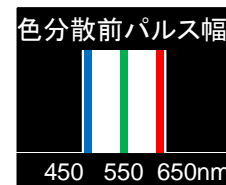
波形歪みの原因：
ビット幅のばらつき



帯域不足(符号間干渉)

周波数の帯域幅の不足
ビット幅のばらつき

- 狭いスペクトル幅(照明の要求と反対) ⇒
 - ・エネルギー集中により環境雑音の抑制が容易
 - ・色分散による送信パルス広がり符号伝送精度低下の原因となる

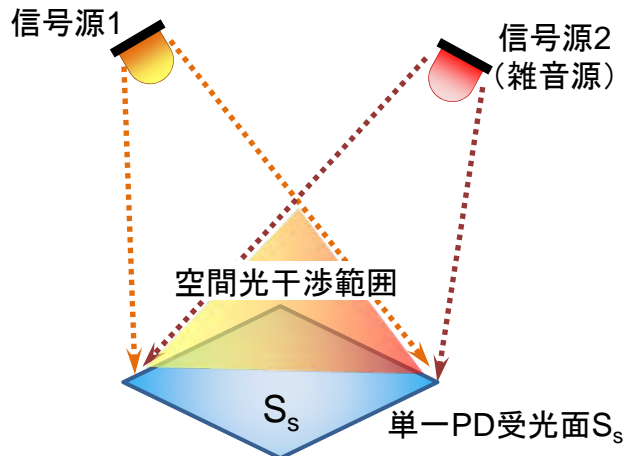


色分散

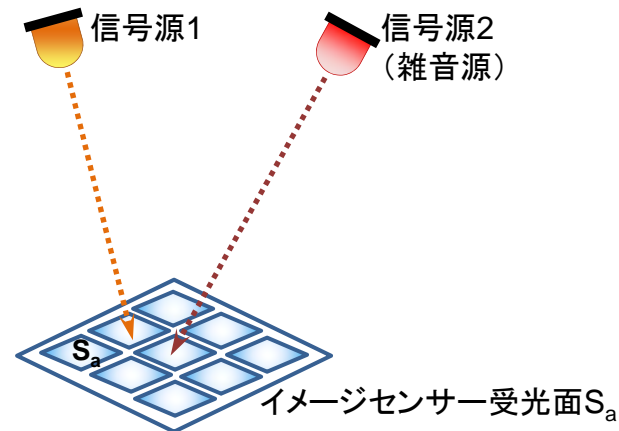


照明光通信の受光素子

- 基本要
▪ 高感度(微弱光信号の受信能力);
▪ 低雑音(光信号のSNR劣化が少ない);
▪ 高速応答(符号伝送速度の高速化)
▪ 高量子効率(キャリア数が多く信号量の増加)
- 主な受光素子
▪ 単一PD(Photo Diode)/APD(Avalanche PD: PDより約3-5dB高感度)
▪ 2次元イメージセンサー(PD/APDのアレイ)
- 単一と2次元素子の受光方式比較



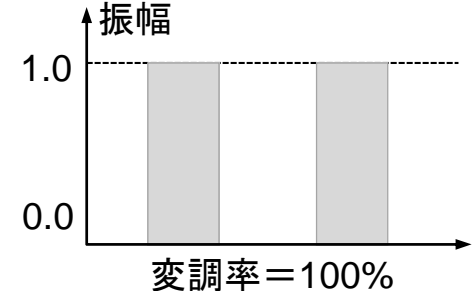
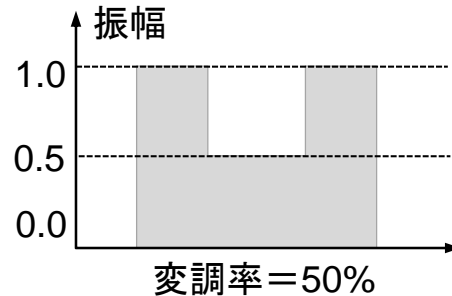
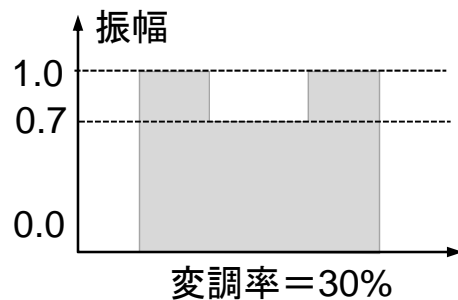
- 構造簡単, 素子により高速動作可能;
- 面受光で背景光雑音の影響に弱く遠距離での通信が困難。



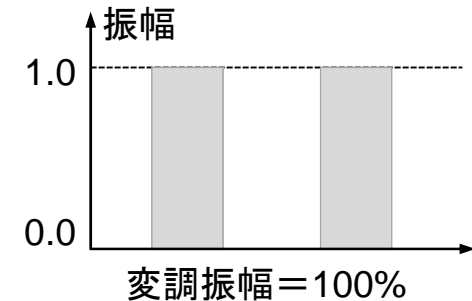
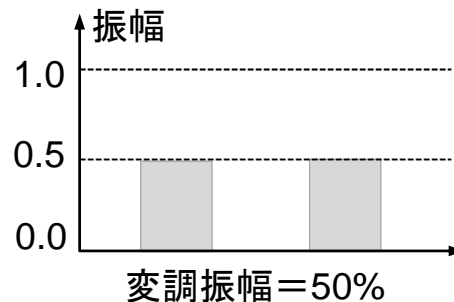
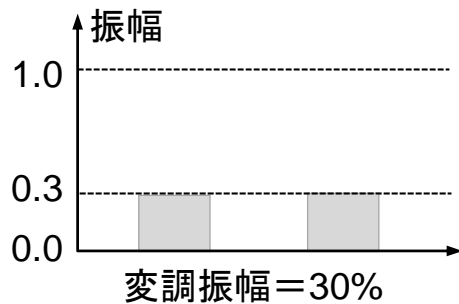
- 点受光で背景光雑音の影響に強く遠距離での通信が可能;
- 複数信号を同時に処理するので負荷が大きく高速通信が困難;
- 低速(フレームレート数十kHz)によりちらつき発生。

光変調による明暗変化のちらつき

- 定義 交流電源の不安定さによるちらつきと違い，変調深度，変調方式，光源単色性に依存している心理物理量
- 特性 ・単色より白色LED強い； ・変調深度深いほど強い
- 変調深度 (m) 信号波の振幅 (V_s) と搬送波の振幅 (V_c) の比 $m = V_s / V_c$

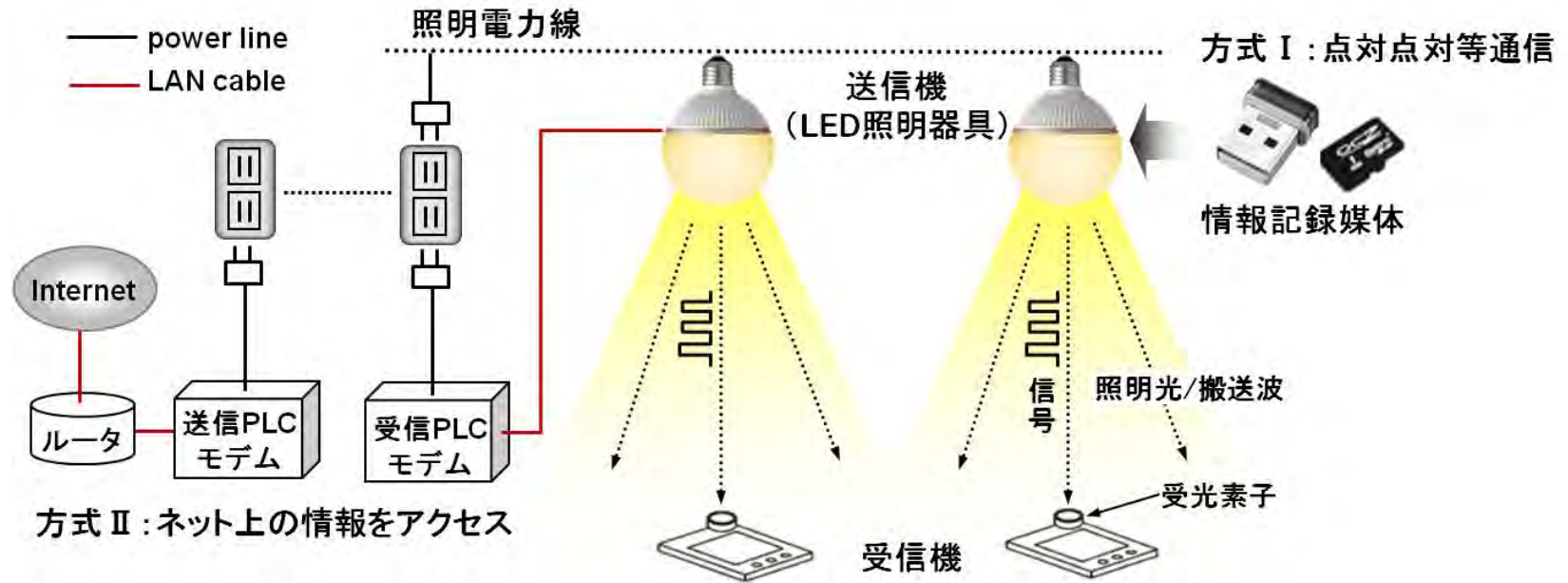


→ ちらつき強い



→ ちらつき不変

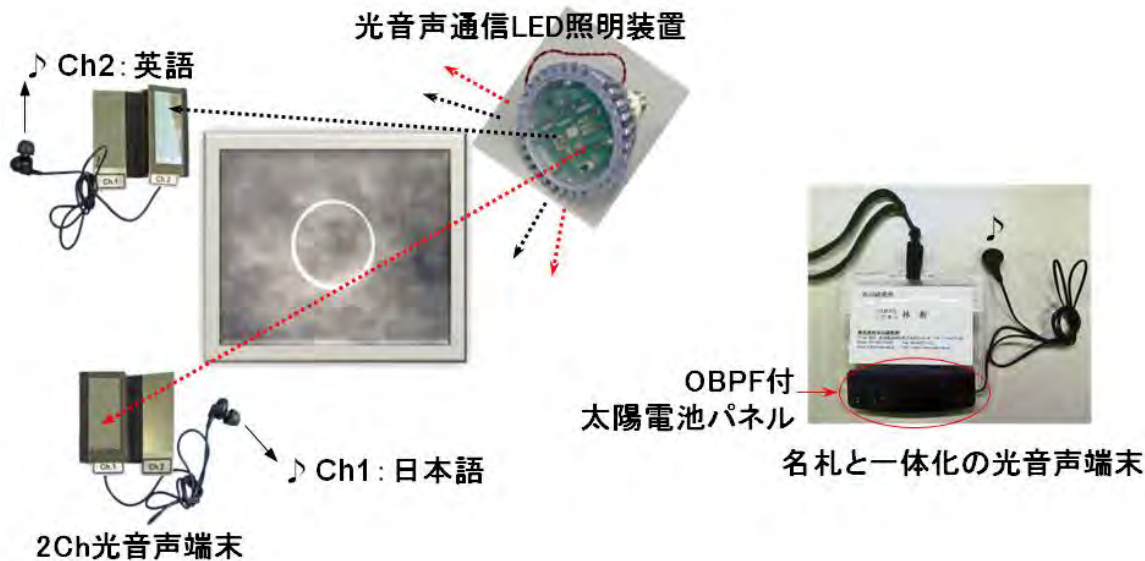
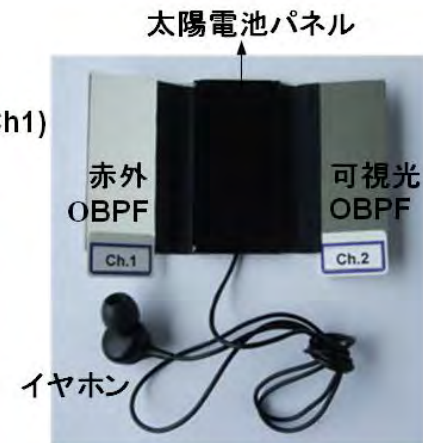
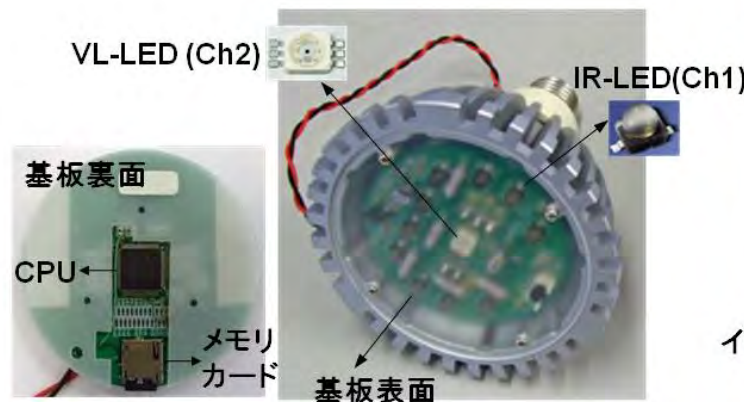
照明器具による通信のイメージ



- ・ 電力線や情報記録媒体等に流れてる情報(信号)でLED照明光量を制御(変調);
- ・ 情報を光として配信(送信)を行う;
- ・ 受光素子を有する装置によれば(受信)空間光で無線通信が可能。

- 可視照明光の概念
- 照明のあゆみ
- LED照明の特性
- LED照明器具で通信
- **LED照明光無線通信の実例**

光音声通信照明装置及び応用



※ OBPF: Optical Bandpass Filter

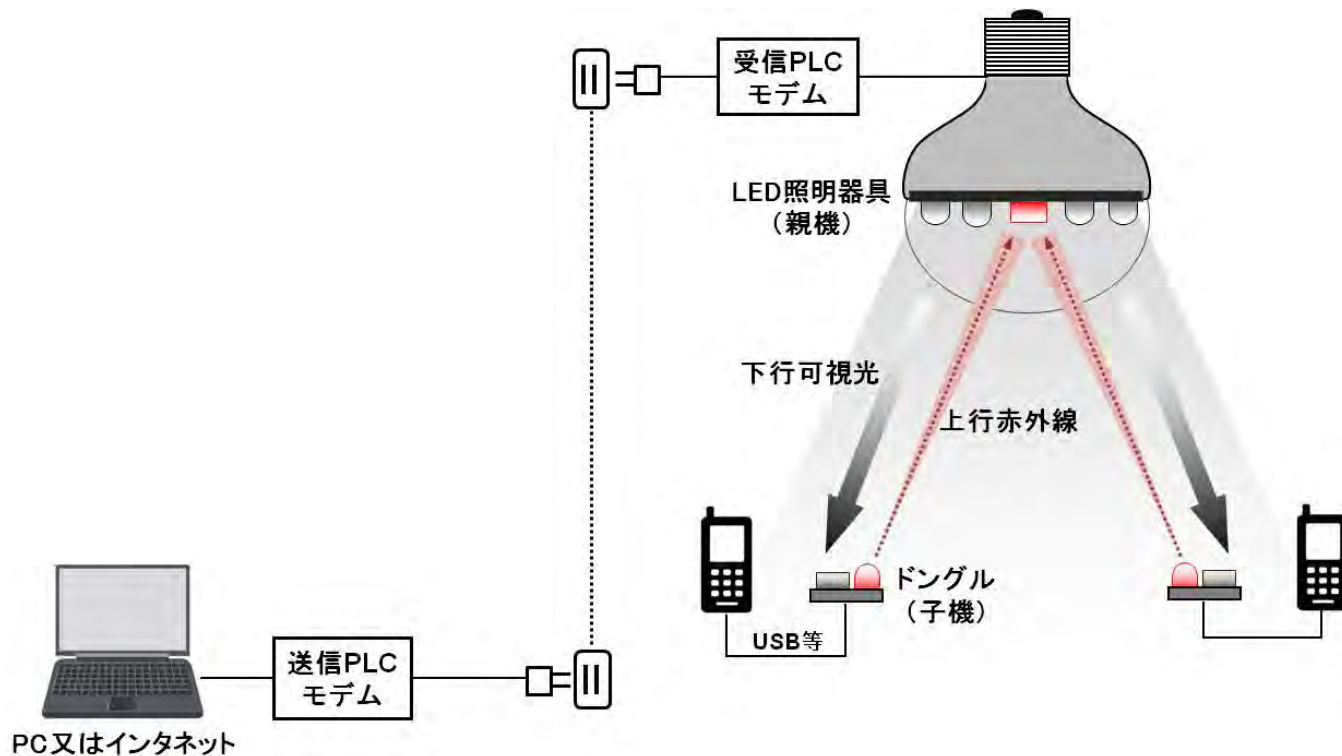
例 Ⅰ：室内ユビキタス情報サービス（対等通信方式）

【概要】LED照明器具により位置・状態情報を載せる照明光の届く範囲内に、光無線通信を行う。

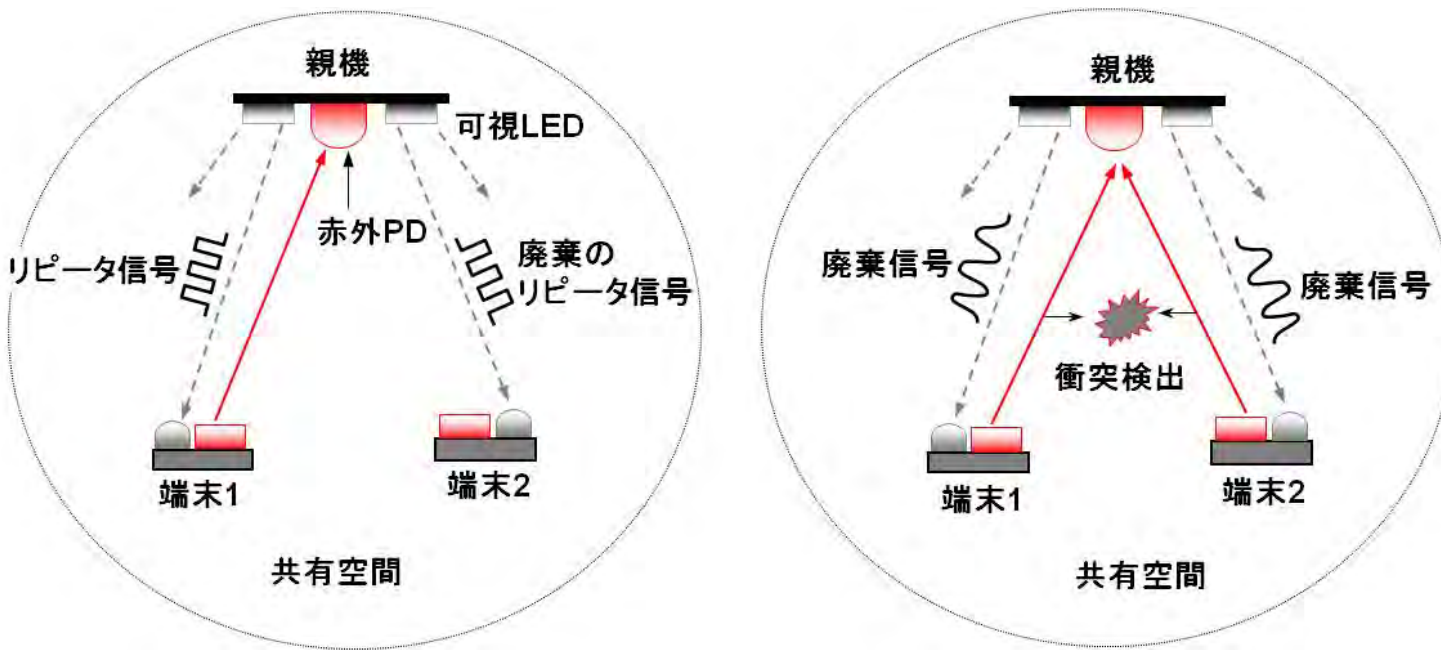
光画像/ID通信照明装置及び応用



例 II : 光無線LAN (インターネットのソースをアクセス)



課題

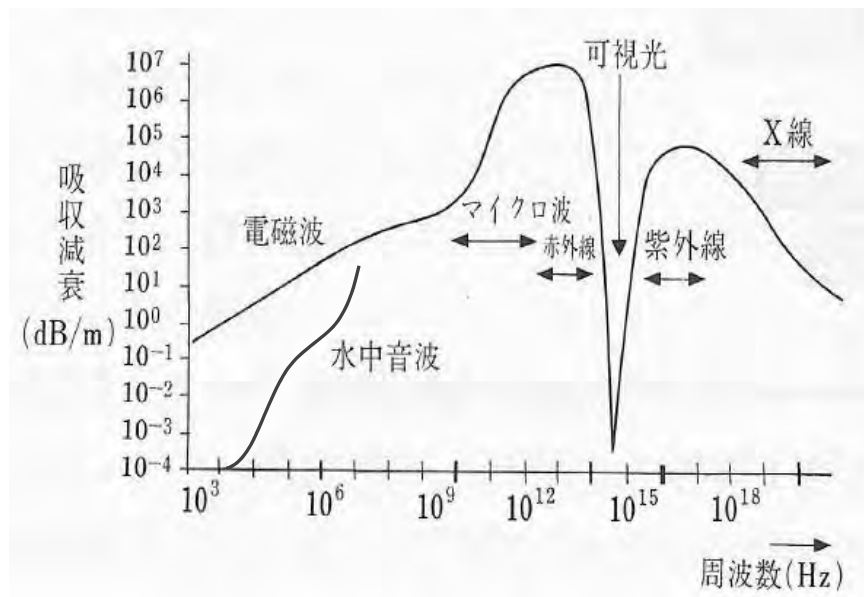


空間光CSMA/CD(CA)の原理: (a) 衝突なし (b) 衝突あり

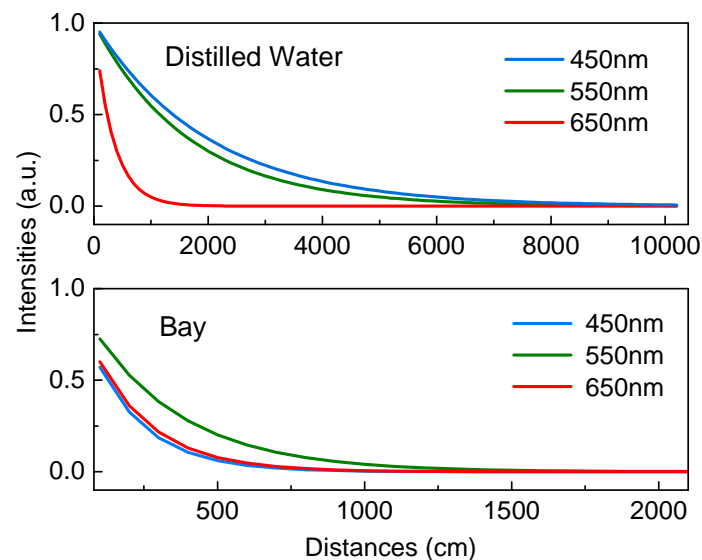
IEEE 802.3 CSMA/CD (CA): carrier sense multiple access with collision detection/avoidance

例Ⅲ：海洋環境光無線

	電波	音波	光波
距離 (減衰)	低周波数により長距離伝送可能 (塩等の電解質により急速に減衰)	光・電波より減衰が小さく 遠くまで伝播可能	海水の濁度により15-100m (塩は無影響。吸収・散乱・遮光により減衰)
速度 (容量)	なるべく低周波数により伝送可能の情報量が少ない	速度制限がある (電波と光波の間)	高速大容量可能



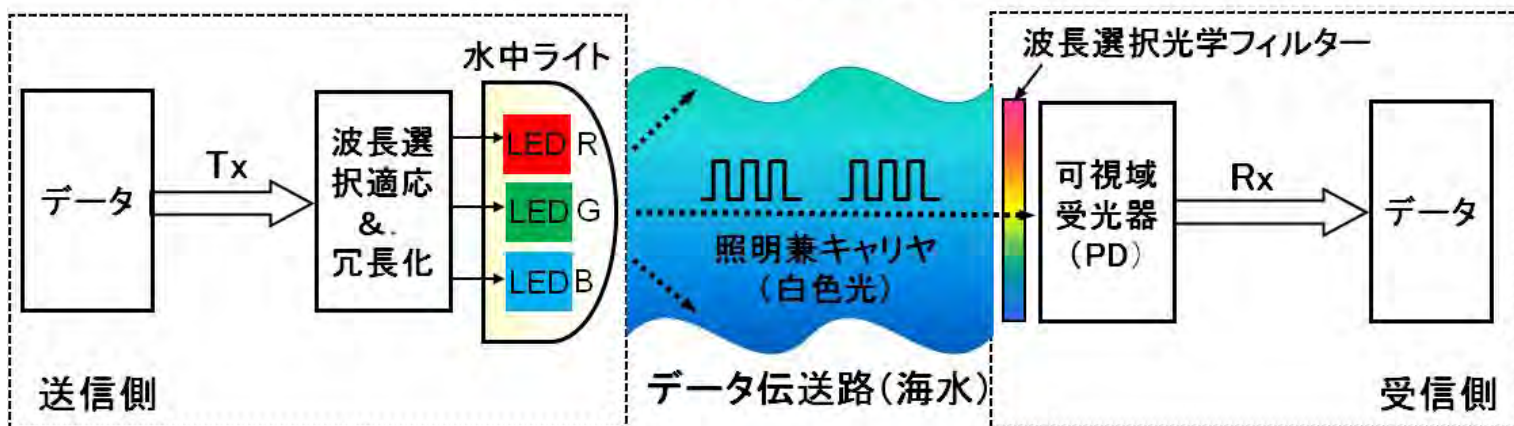
海水中での音波と電磁波の(電波・光)減衰



清澄と濁り海水の消散係数により伝送距離の分光減衰

海洋環境可視光無線通信システム

LED照明式水中光無線通信装置



海洋環境の適応性対策

ご静聴ありがとうございました