

電子情報通信学会
ジュニアWebinar 2025夏
2025.8.28

-心理学・生理学からのアプローチを含めた
将来の通信サービスへの応用-

可視光通信の原理とその応用技術

東京電機大学名誉教授 宮保憲治

(元) 東京電機大学システムデザイン工学部
〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番

- 本講義では、可視光通信の原理と応用例を解説します。
- 具体的には、可視光を用いた通信の原理、更にマルチメディア環境として光・音・香りを融合した室内空間と緑色のLED光を利用して人工的に1/fゆらぎ光を生成した室内空間の癒し効果を心理学/脳生理学を用いて検証した結果を解説します。
- 東日本大震災（2011.3.11）の原発事故から14年が経過し、放射線被爆に対する関心が最近では薄れつつあります。しかしながら、原発に起因する放射線量の把握を定量的に、かつ容易に「照明光」として可視化し、周知するための技術が社会的にも要請されています。この状況に鑑み、放射線量を照明光の色種別で可視化する技術と可視光による通信技術の応用方法を解説します。
- 講義の後半では、将来の実用化が期待されている可視光CSK（色相偏移変調）技術の原理と、イメージセンサを活用した場合のVLC応用方法、および心理学を用いて検証した時の望ましい利用方法について解説します。また、セキュリティ技術の可視光通信への適用方法も含め、可視光の新しい応用システムの可能性について解説します。

講義内容 (13:05~13:55)

第1部 可視光通信の原理と可視光照明の応用 (30分)

VLC (Visible Light Communication) 36枚

(1) LEDを用いた可視光通信の原理

(2) マルチメディア環境での「癒し効果」

(心理学と生理学のアプローチでの検証)

(3) 緑色LED光の1/f ゆらぎ光を用いた癒やし効果」

第2部 放射線量を照明光の色で見える化(7~8分)

可視光照明・通信サービスの提案 8枚(デモを含む)

第3部 将来の可視光通信 (13分) 26枚

IoTの普及に貢献するCSK変調の原理と応用。

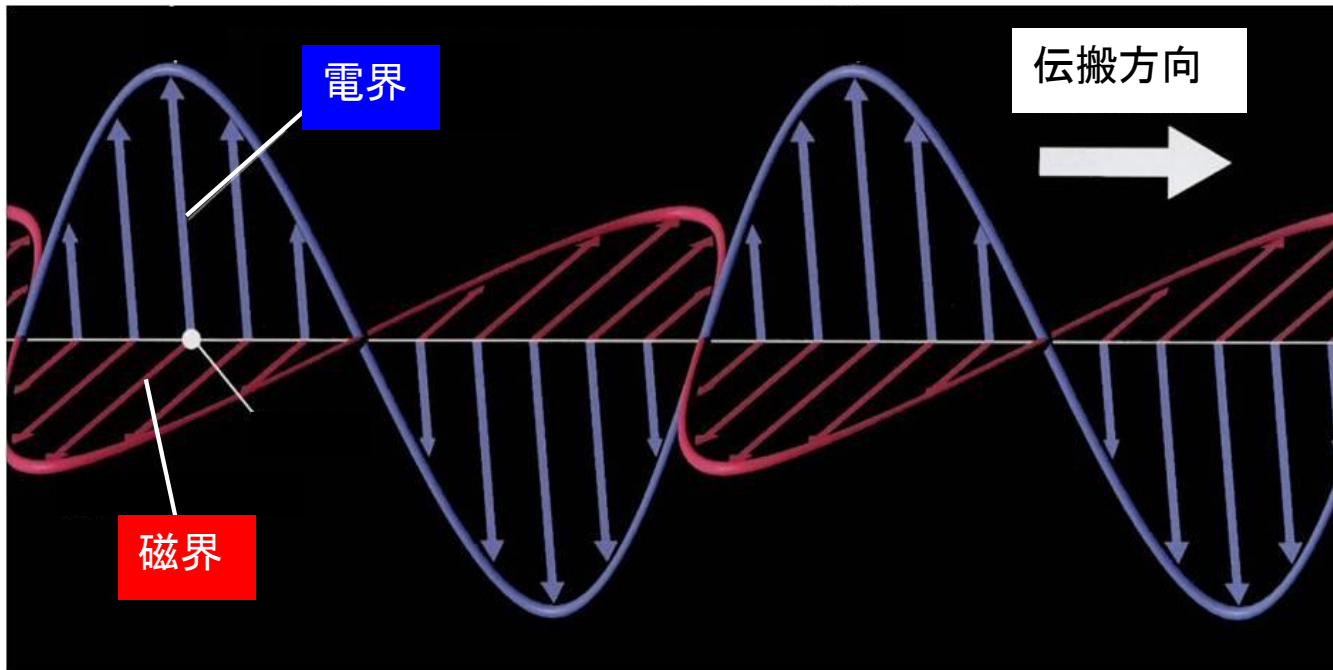
+ 心理学と生理学を用いた検証法)

第1部 可視光通信の原理と照明光の応用

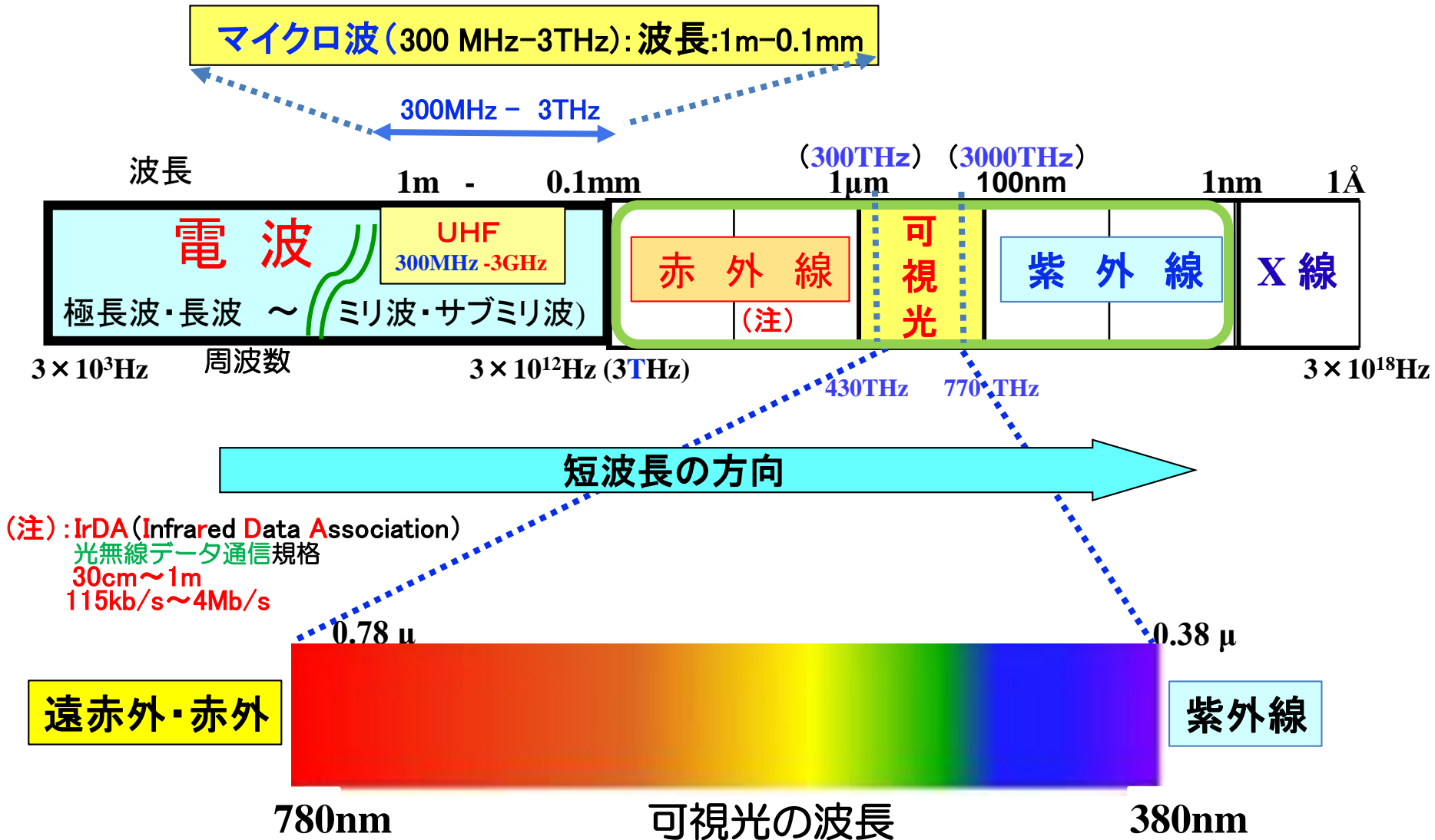
(1) LEDを用いた可視光通信の原理

電磁波の波動的性質

光は電磁波の一種であり、電界(電場)と磁界(磁場)が振動しながら、横波として、 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ の速度で伝搬する。

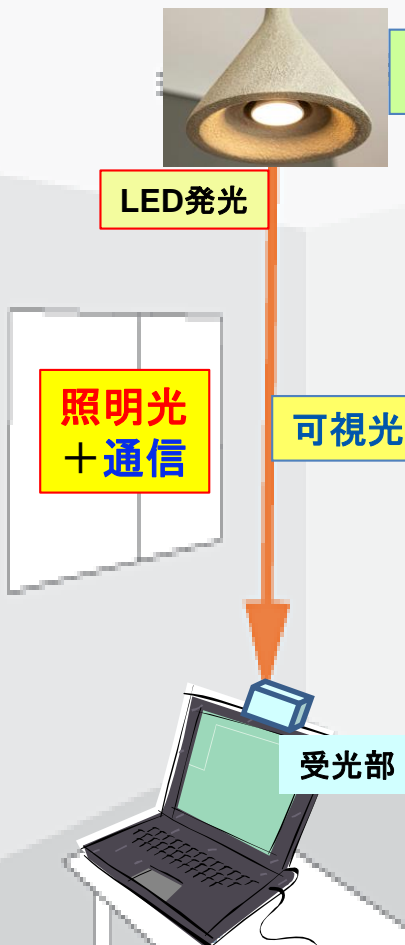


通信に活用できる電磁波と可視光の関連



可視光通信の特徴とLEDの寿命

蛍光灯 ⇒ LED(発光ダイオード)照明, 有機EL照明 等



従来の無線や赤外線で生じていた
「**人体や電子機器に与える影響**」から回避できる
新しい通信手段としての実用化が進んでいる
可視光通信の従来の通信には無い、新しい特徴。

- ① **可視光域**は通信範囲の判別が容易で、**照明**への適用が一般的。
数ワット程度の電力で送信可能⇒**照明用インフラを通信に活用**
- ② **照明**は至る所に設置されているため、**照明機器に通信機能**を
付加するだけで**ワイヤレス・インフラ**を容易に構築できる
- ③ **室内環境に配慮**した**照明光**の色の**選別・調光**も可能。
携帯電話や無線LANで活用されている無線通信と異なり、電磁波
の**人体**への影響や病院内の**医療精密機器**への影響も**小さい**。

人の目に感じられない
程度の高速度でLEDを
点滅して情報の送受信

100~120(Hz)

紫外線発生回路+**蛍光物質**

LEDランプと白熱電球の寿命比較

- ① **白熱電球**(40~50W, ~2000時間 ÷ ~200日):10時間/日
(**蛍光灯**:約12000時間: 5~10倍)
- ② **白色LED電球**(4~5W:約4万時間), 高寿命(約10年間程度)
(**白熱電球**の20倍以上), 消費電力も**蛍光灯**の30~40%程度,低減可能。
更に、**調光**(**昼光色**からの**色調整**)や**輝度調整**が可能。

可視光の特徴と適用領域

(1) 可視光の特徴

- 電波よりも高周波の領域で直進性が強い。
- 視認性が高い⇒ 光の発生場所(通信源)の位置が把握し易い, 到達範囲の把握も容易。
- 既存の電波と干渉せず, かつ人に対する安全性も高い。
(電波法では3THzまでが規制対象, 当該の規制も当面は, 無い)

(2) 適用領域

- 病院や航空機内の通信に活用 (⇐精密機器に殆ど影響を与えない)
- 既存のインフラ(照明)を活用できる(⇒安価なLEDの利用が可能)
⇒照明と通信の融合 (通信アンテナの新設は不要), 近端末間通信。
⇒照明の多機能化 (1/f ゆらぎのリズムで調光した癒し照明)
- 指向性を利用し, 特定の相手とだけ通信できる(セキュア通信)
- 水中通信 (青色, 緑色の可視光が利用可能, 音波よりも高速)

(3) 変調方式および制限事項等

- OOK(On-Off-Keying), PPM(Pulse-Position-Modulation), PWM, OFDM等
- 発光LED等の点滅特性の限界⇒通信速度の制限が存在
(現在, 数百Mbps~Gbpsのレベルまで技術が進展)
 - 屋外の昼では太陽光の影響を受ける。

2018年3月22日

電子情報通信学会

全国大会での地域イベント

「ものづくり科学実験室」

小学生高学年～中学生対象

自作LEDキットによる

多色発光する「タワー照明」

スカイツリーを模擬

可視光に関わる基本的な性質
を体験により、理解を深める。

スイッチ

RGBの加法混色

赤 + 緑 = 黄

赤

赤 + 緑 + 青 = 白

緑

青

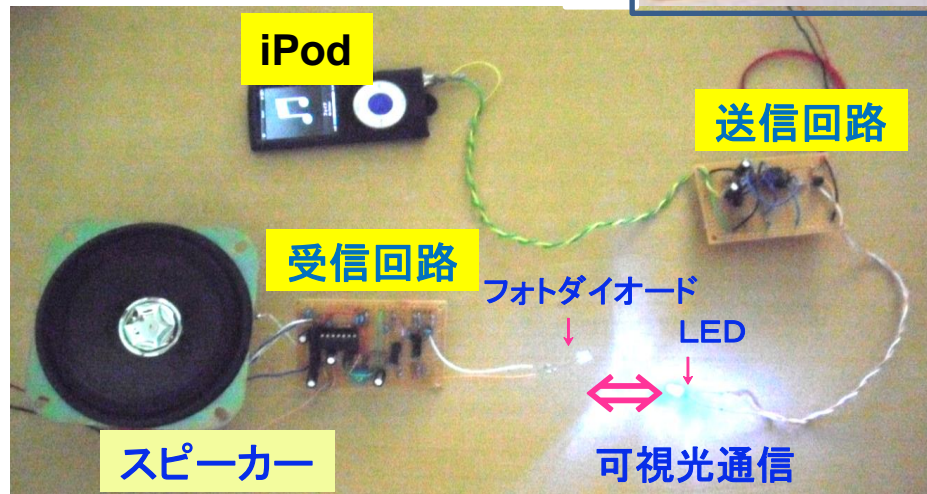
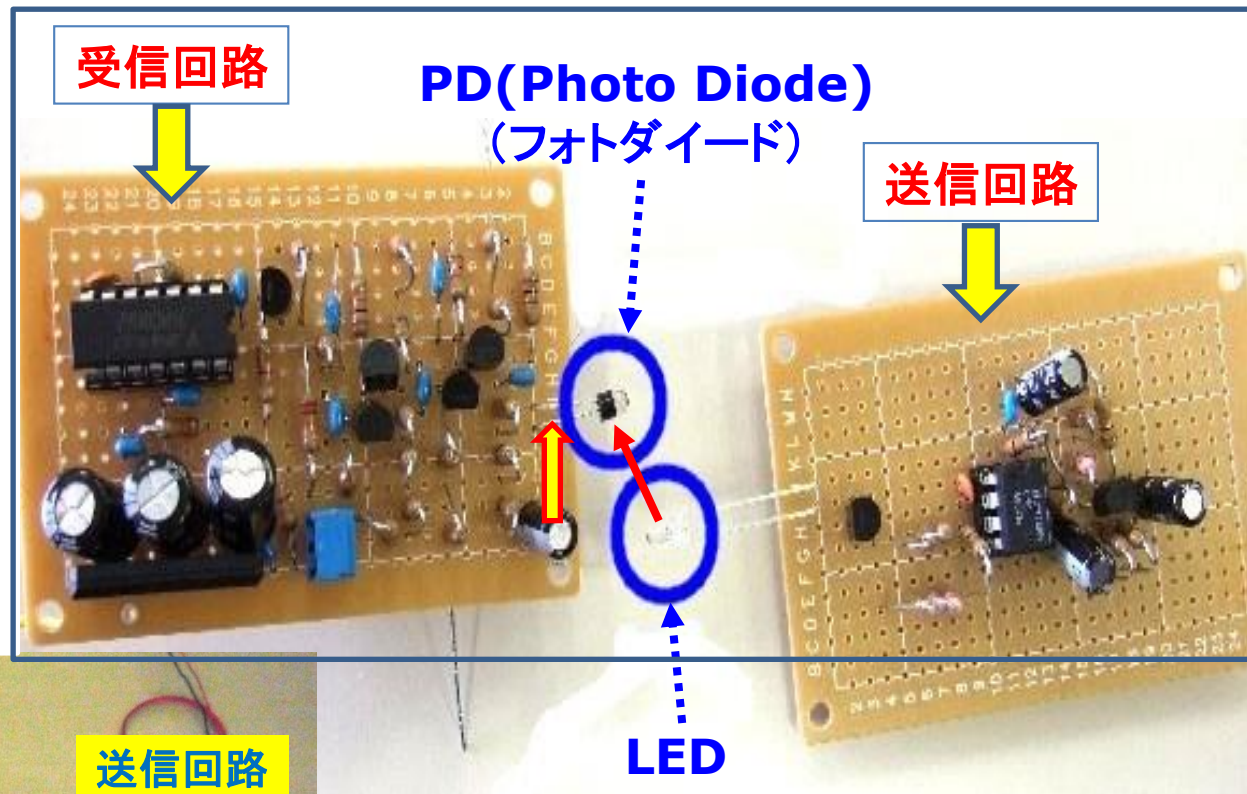
赤 + 青 = 紫

緑 + 青 = 水色 (シアン)

赤 青 緑の色の
LEDを点灯制御

可視光通信の基礎実験(学部2~3年生)

iPodを用いて音楽データをPPMで変調：
LED(可視光発生)で送信
↓
フォトダイオードで受信
スピーカーにより再生



LED点灯により
可視光通信

送信側

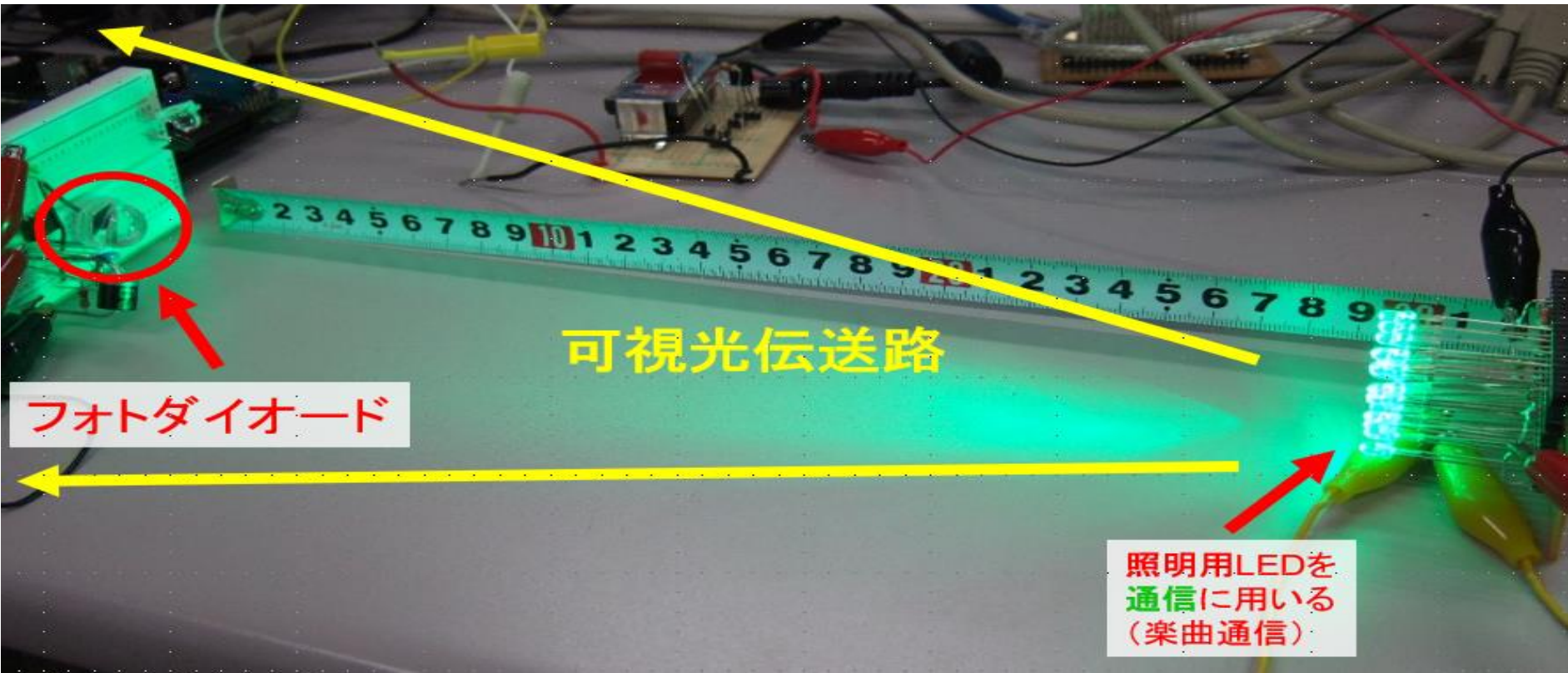


LED群

受信側



フォトダイオード



可視光伝送路

フォトダイオード

照明用LEDを通信に用いる (楽曲通信)

電機大 実験用研究棟



約30m

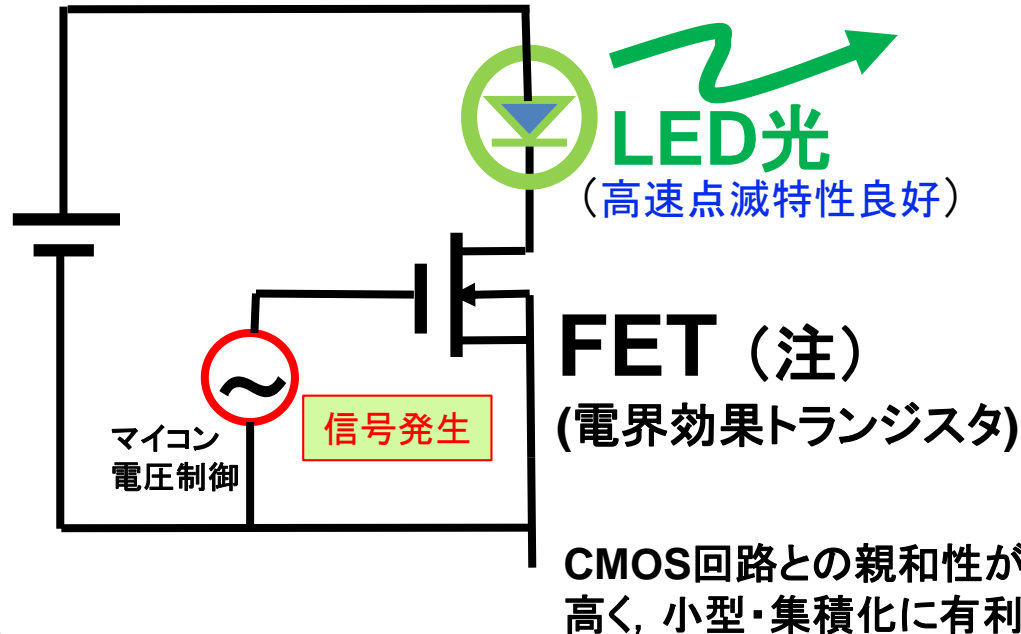
(音声: 楽曲伝送)

送受信部に収束レンズを活用

(当時でも大学の研究レベルで、100mを1 Mb/s通信を実現)

LED 光の変調回路の原理

高入力インピーダンス, 高速スイッチング, 低ノイズ・低消費電力



LEDの変調速度
(高輝度の白色LED等)

10~100Mbpsの製品は既に実用化→理論的には数10 Gb/sが可能。

(注) FET(Field Effect Transistor):ゲート電極にかける電圧を制御することで電子流を制御し, ソース・ドレイン電極間の電流制御を実現。
(電界を使う電流制御の原理は真空管に類似); 5Mb/s~100Mb/sの実用化➡ Gb/s クラス

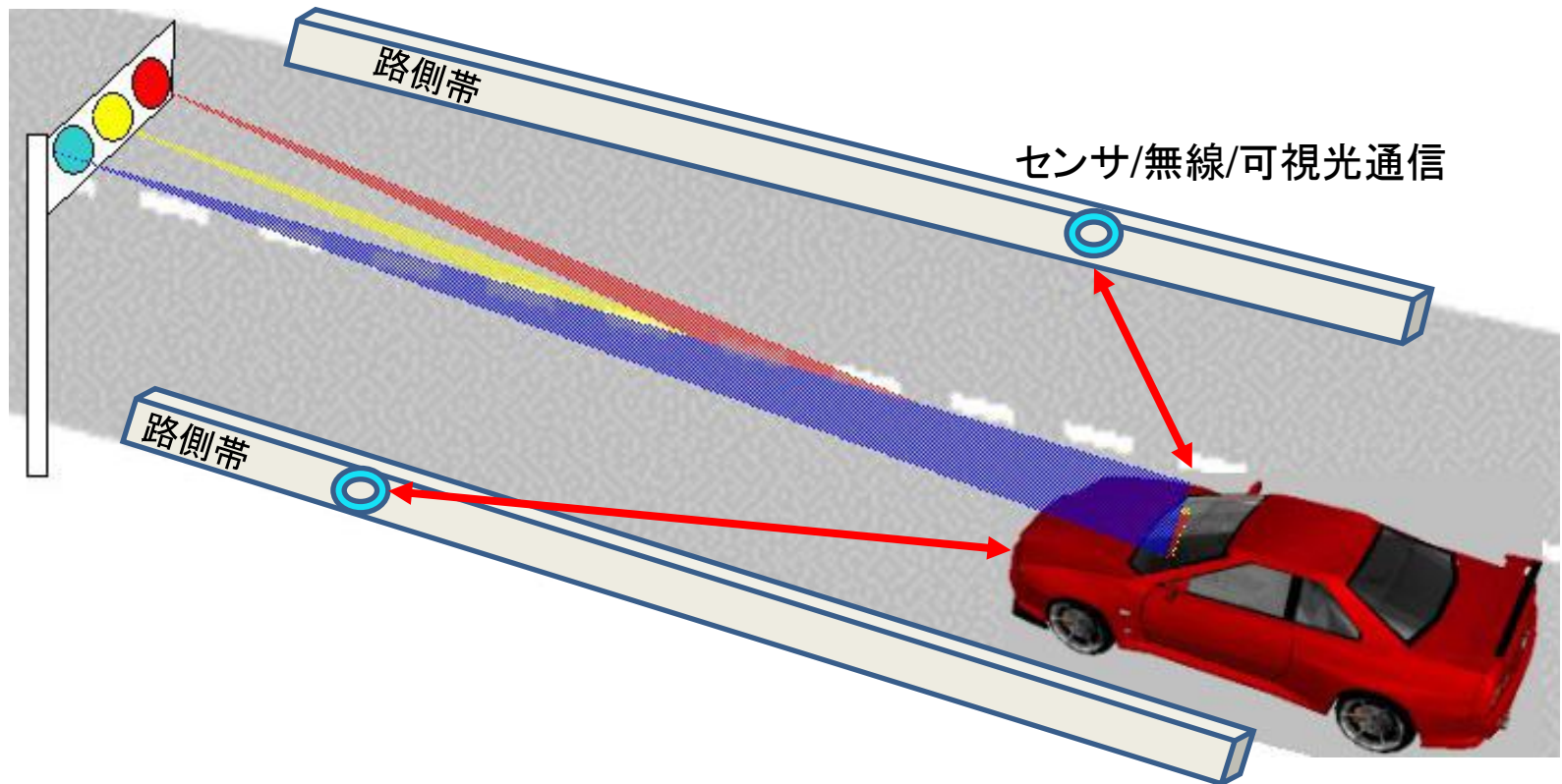
高度自動運転用の路側帯通信

ITS(Intelligent Transport System)

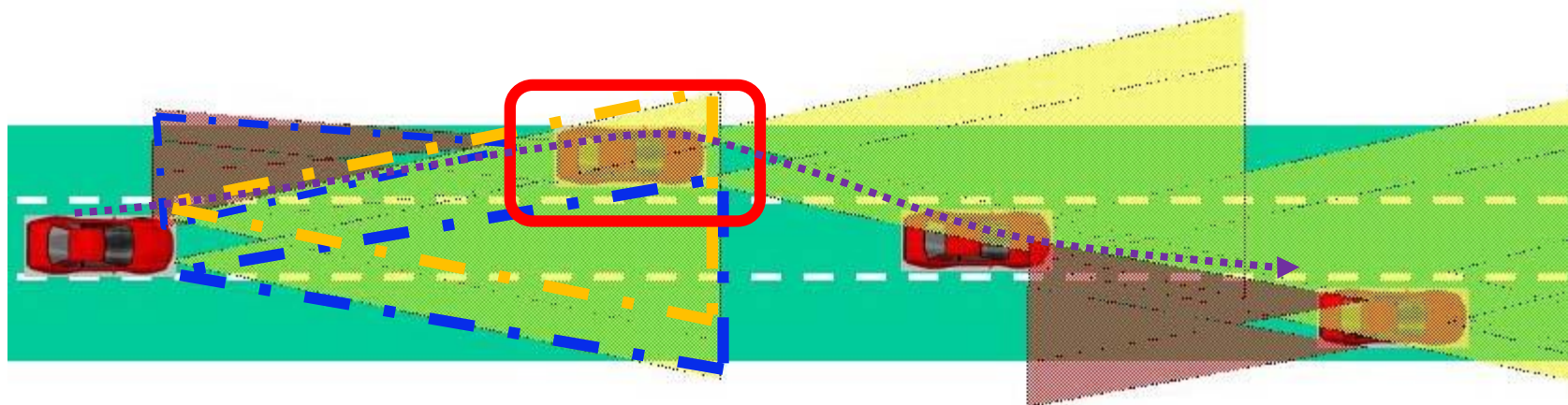
Connected car system

交通信号の有効利用

(車々車通信, 路側帯通信も利用可能)

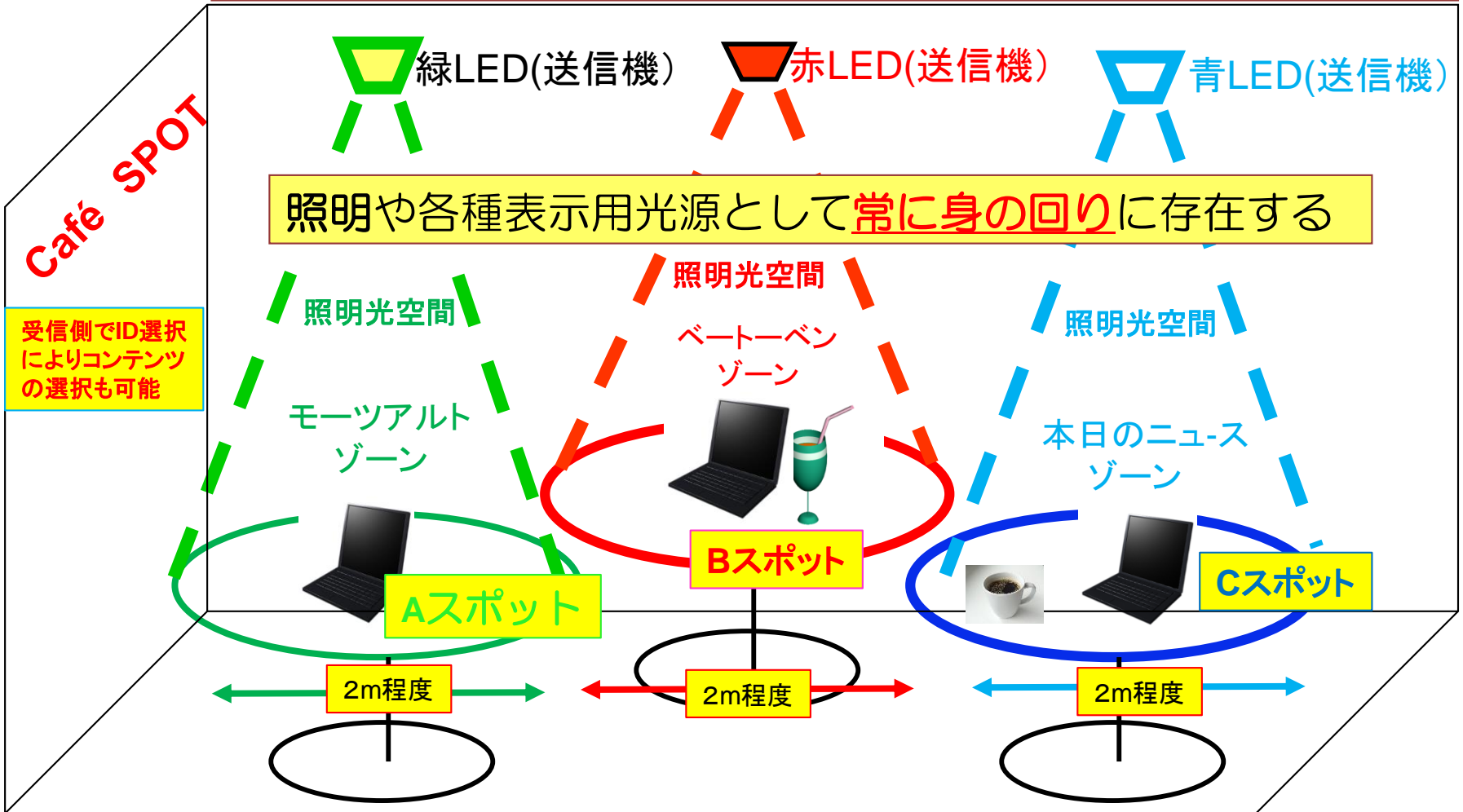


車々間通信にヘッドライト・ストップライト等のLEDを活用した自動運転支援の例



照明光によるスポット通信サービス

可視光は、電波や赤外線、紫外線と異なり、電子機器への影響や人体への悪影響（特に目に対する障害）は殆ど無い。



(参考) 「可視光通信コンソーシアム」の発展の経緯

日本では2003年に、慶應義塾大学理工学部の中川正雄教授らが中心になって「可視光通信コンソーシアム」が結成され、可視光通信の実用化に向けて様々な普及活動が行われた。

関西国際空港ターミナルでは蛍光灯やLEDからの照明光による情報提供の実証実験(2005年): 空港の利用時に「**あれば便利**」な情報を入手する手段として可視光通信を利用する実証実験。

2014年5月に「可視光通信コンソーシアム」は発展解消され、「一般社団法人 可視光通信協会 (VLCA)」が設立された。

その後、2018年6月から特定非営利活動法人日本フォトニクス協議会の可視光通信分科会(英文略称:VLCAを継承)として活動を継続し、可視光通信の基盤やプラットフォームを提供してきた。可視光通信分科会は2023年4月に光無線分科会に名称変更。

⇒可視光通信を**社会インフラ**として普及する上で大きく貢献。

可視光通信の**最初**の実験

アレクサンダー・グラハム・ベル(Alexander Graham Bell) は**光電話(Photo Phone)**を発明

“**Upon the production and reproduction of sound by light,**”

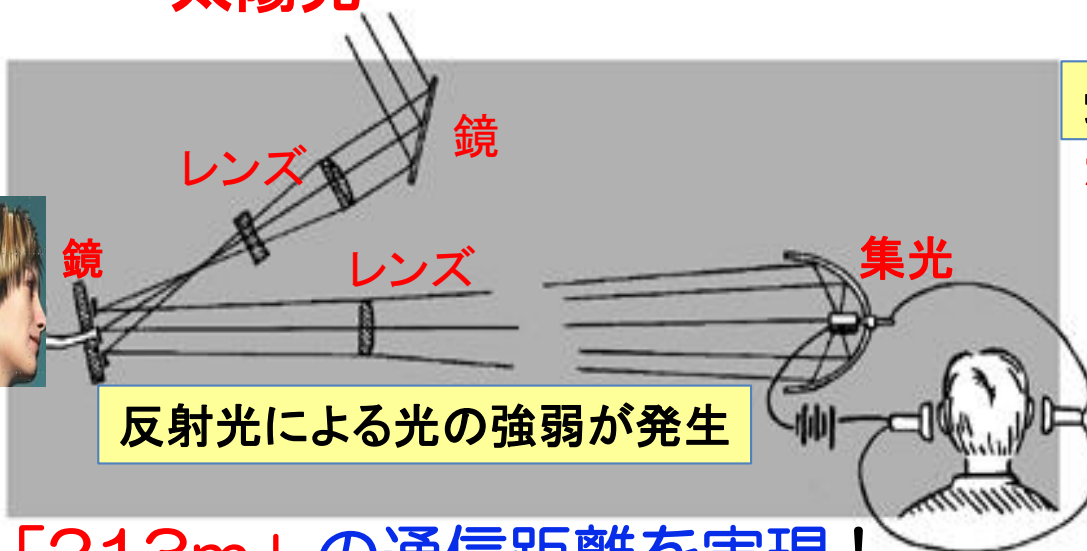
Journal of the Society of Telegraph Engineers, vol. 9, no. 34, pp. 404–426, **1880.**

太陽光

送信機

レンズと鏡

太陽光を受ける鏡を音声による空気圧力で振動させる



受信機

ホトセンサー
(セレンウム等)

電流の変化に変換してスピーカを鳴らす

「213m」の通信距離を実現！

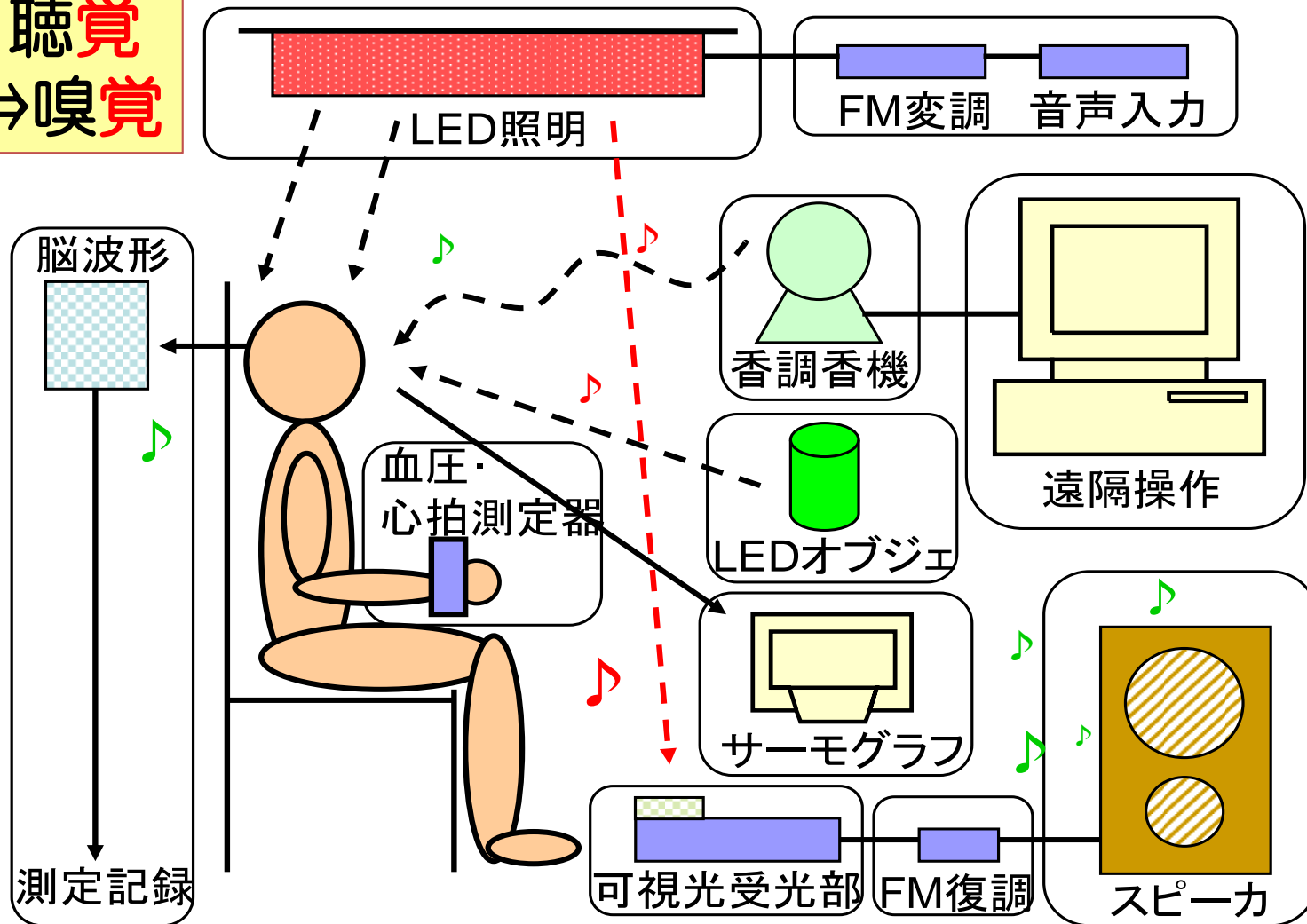
LED可視光通信の実験は1998年頃開始(←100年以上前に、光電話のアイデア)

(2) マルチメディア環境での「癒し効果」 (心理学と生理学を用いて検証)

マルチメディア環境を構築し,心地良いと感じる
「癒やし効果」を心理学と生理学を用いて検証

視聴覚マルチメディア実験環境

光⇒ 視覚
音⇒ 聴覚
香り⇒ 嗅覚



次世代香り通信に用いる基礎デバイス



使用デバイス


ミラプロ社製 アロマジュール
調香方式: **揮発混合方式**
香料数: 最大6種類(気体成分で調香)
最大吐き出し流量: 1.3L/min
インターフェース: USB及び9ピン

特徴

- ①PC, スマホからの遠隔制御が可能
- ②6チャンネルの香りを自由に合成

各種刺激の組み合わせ条件

赤光	香り	香り・青光
青光	青光・音楽	青光・音楽・香り
音楽	香り・音楽	赤光・音楽・香り



以下の環境条件の中では、
どのように感じますか。

環境条件 (快適)

室温：25度C

不快指数 70

(湿度33%)

非常に静か

不快指数

$$=0.81 \times \text{温度} + 0.01 \times \text{湿度} \\ \times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3$$



以下の環境条件の中では、
どのように感じますか。

環境条件 (快適)

室温：25度C

不快指数 70

(湿度33%)

非常に静か

不快指数

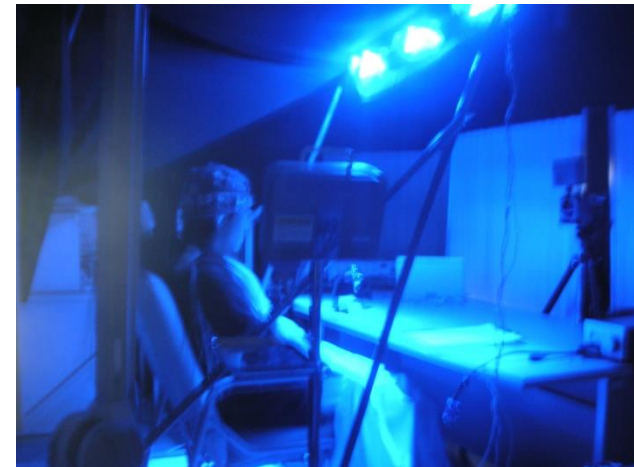
$=0.81 \times \text{温度} + 0.01 \times \text{湿度}$

$\times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3$

光と香りと音楽による心理学実験

マルチメディアによる実験環境

光の 色彩空間	赤(X:44.1 Y:0.68 Z:0.32) 青(X:7.6 Y:0.14 Z:0.75) <色彩輝度計にて測定>
音楽	アイネ・クライネ・ナハト・ムジーク セレナード第13番ト長調K525 モーツァルト作曲
香り	ラベンダー

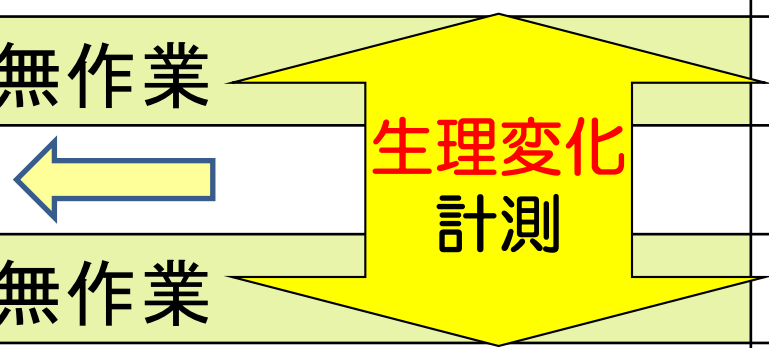


測定対象

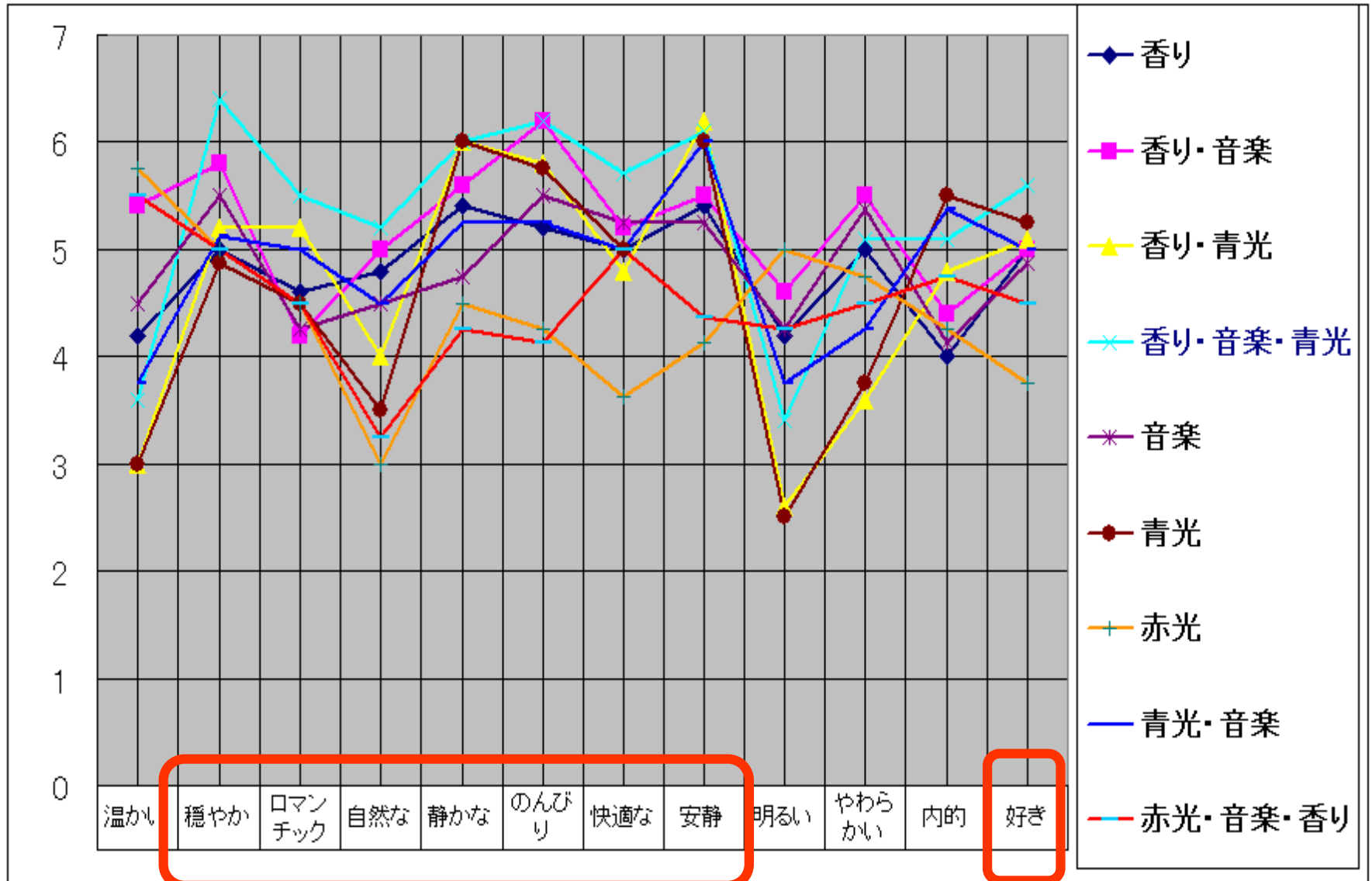
脳波、血圧、心拍数、顔表面温度、
7段階リッカート方式を用いた心理評価

心理学・脳生理学 実験計画

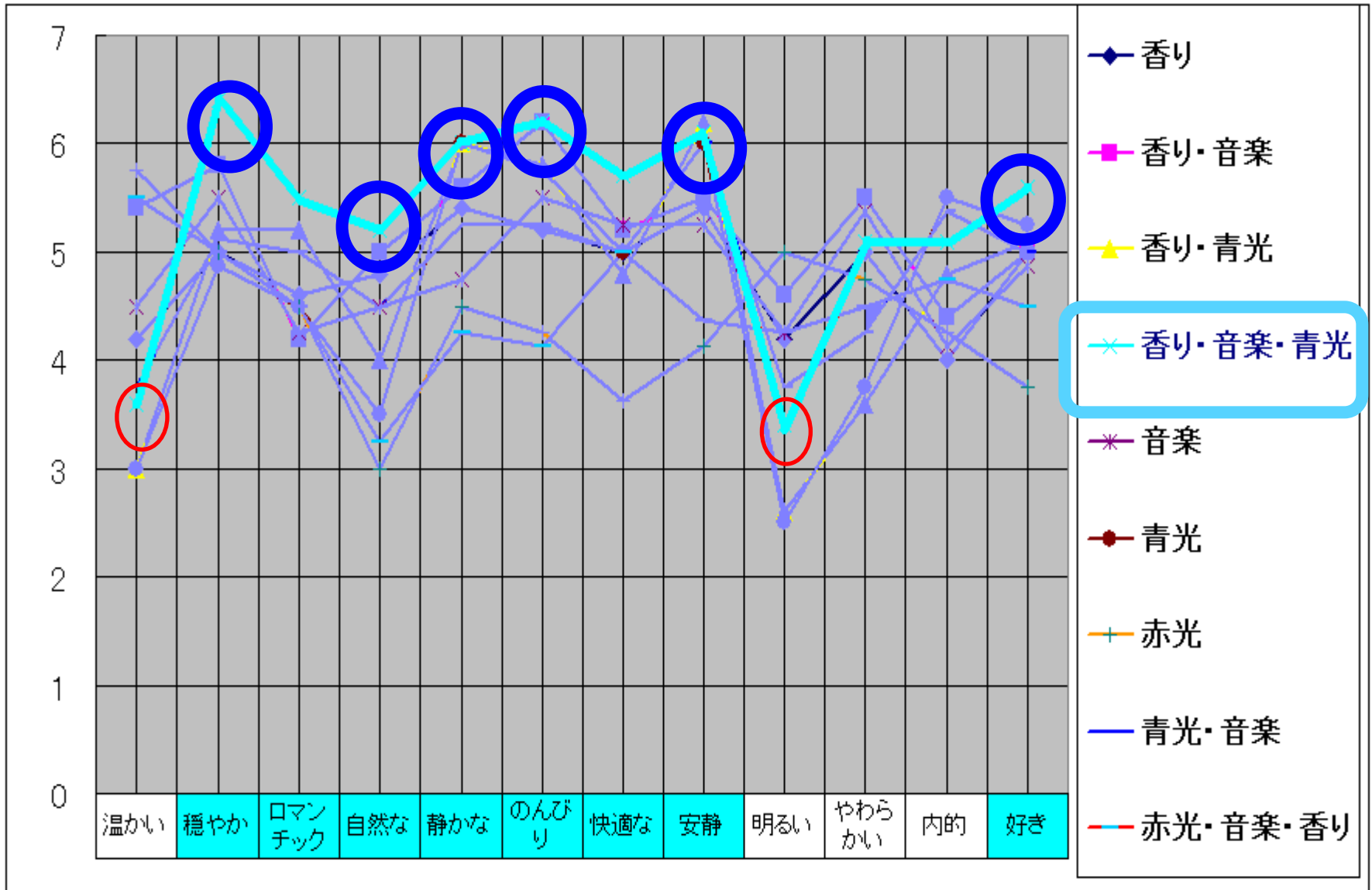
測定の流れ	所要時間(例)
1. 心理計測	2分
2. 安静閉眼・無作業	3分
3. 刺激提示 ←	5分
4. 安静閉眼・無作業	3分
5. 心理計測	5分
6. 計測終了	



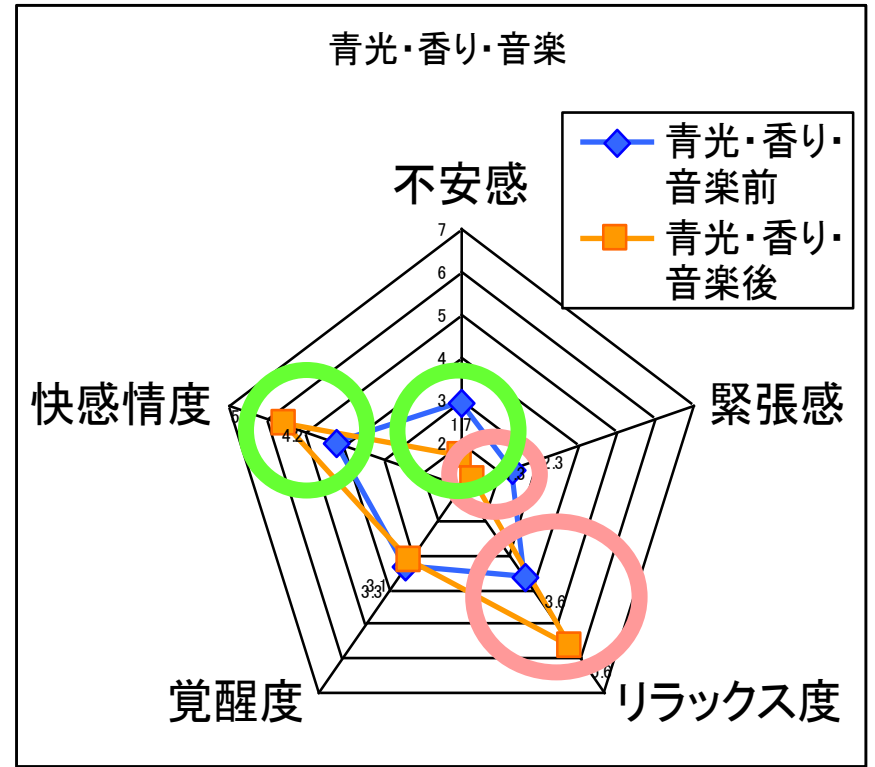
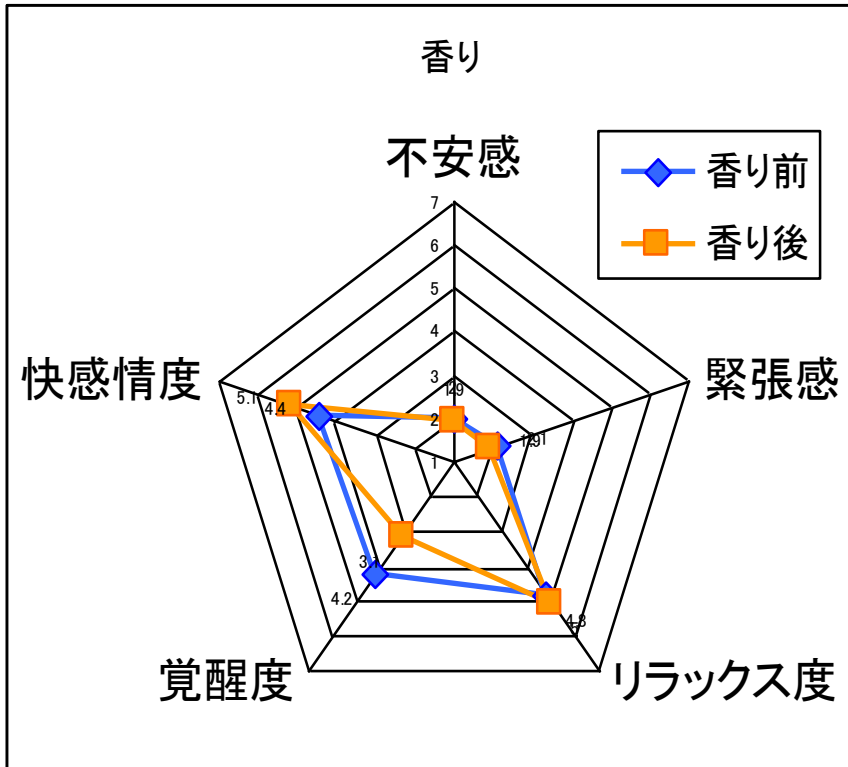
光と香りと音楽を与えた時の心理分析結果



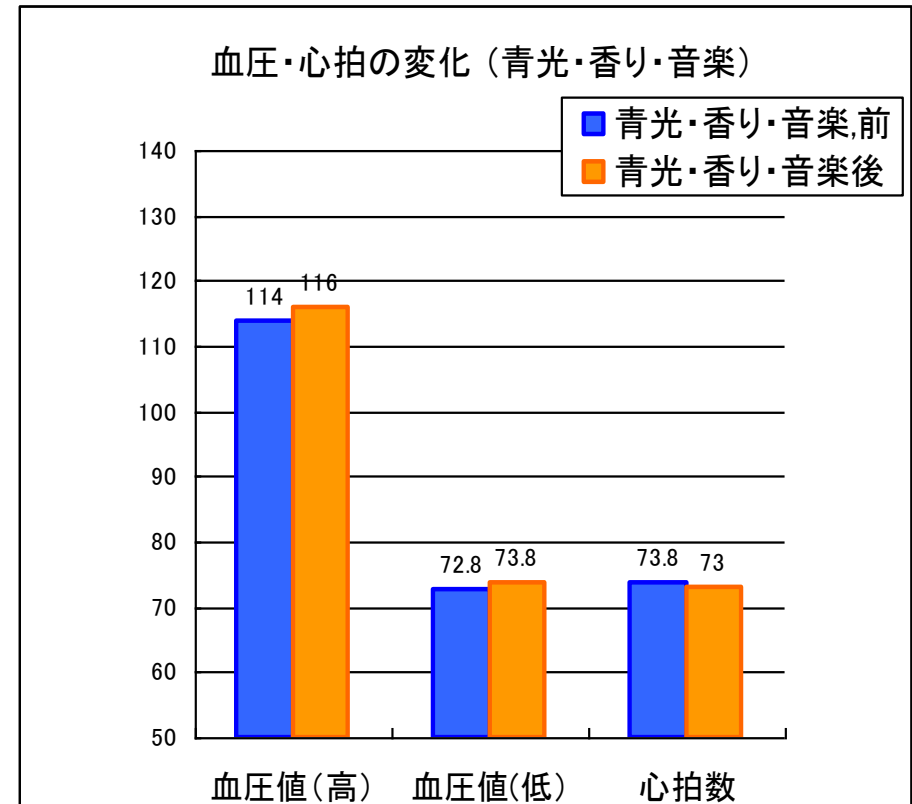
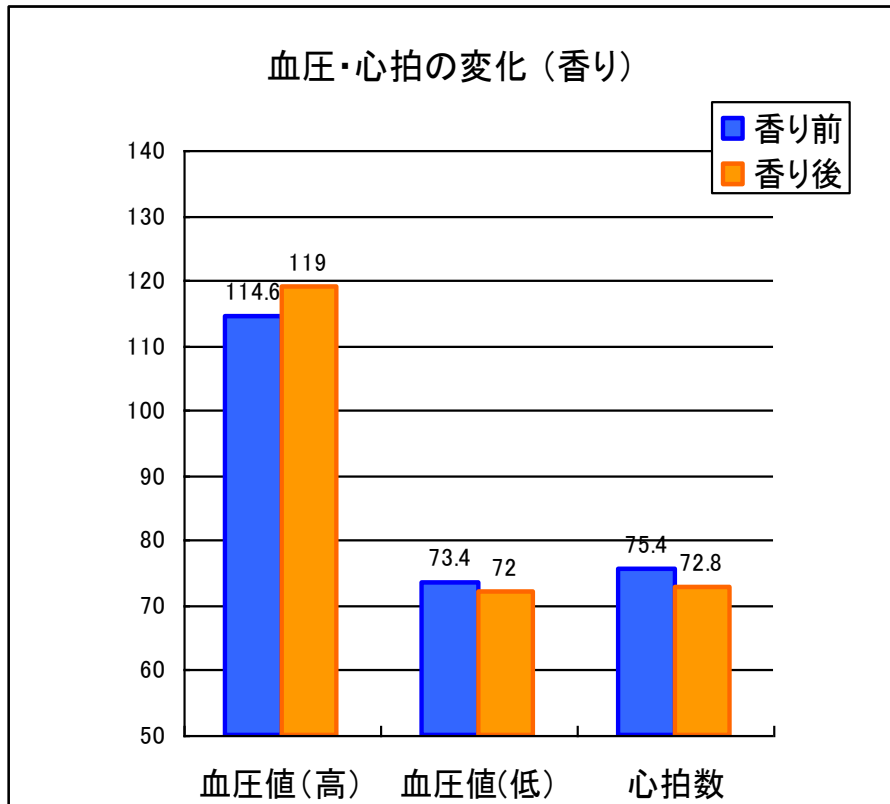
光と香りと音楽を与えた時の心理分析結果



心理評価の結果



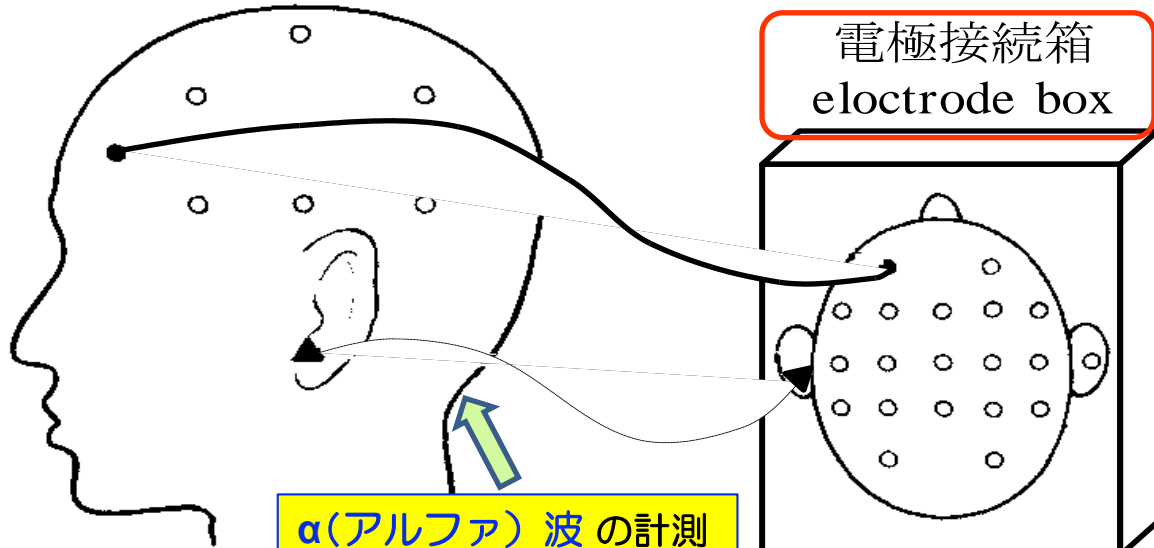
血圧・心拍の計測結果



脳波計測の方法

頭皮上の電位変化
の測定
⇒脳活動の推定

脳波の発生源
：脳皮質のシナプス
網での電位変化



電極接続箱
electrode box

α(アルファ)波の計測
(快適、癒しの状態観測)

10/20電極配置法

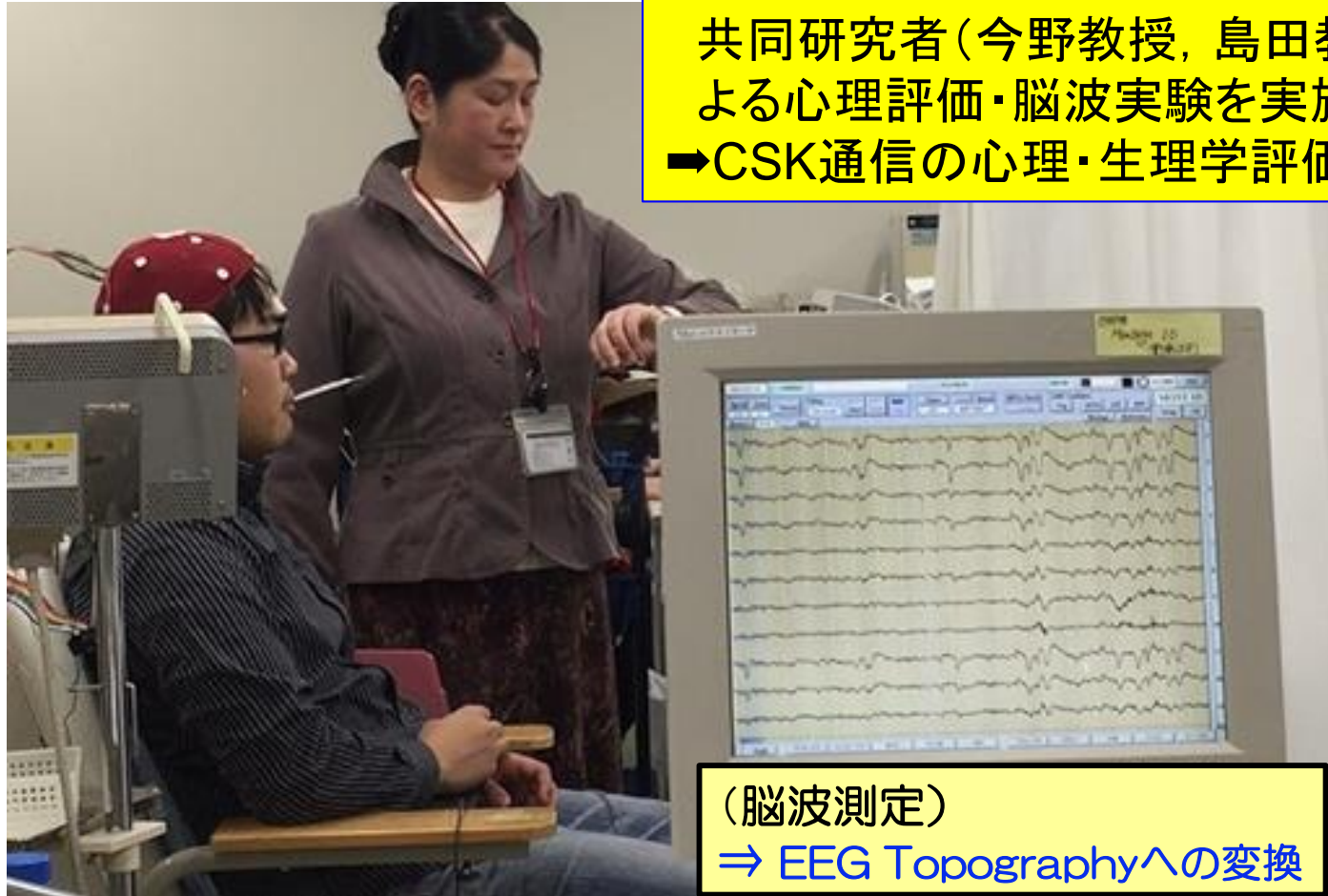
- active electrode → G1
活性電極
- ▲ reference electrode → G2
基準電極

振幅 : ~数十 μ V
周波数 : 約45Hz



electroencephalograph

脳波計測の実験模様⇒多様な基礎実験データの取得
⇒多くの研究論文投稿に貢献

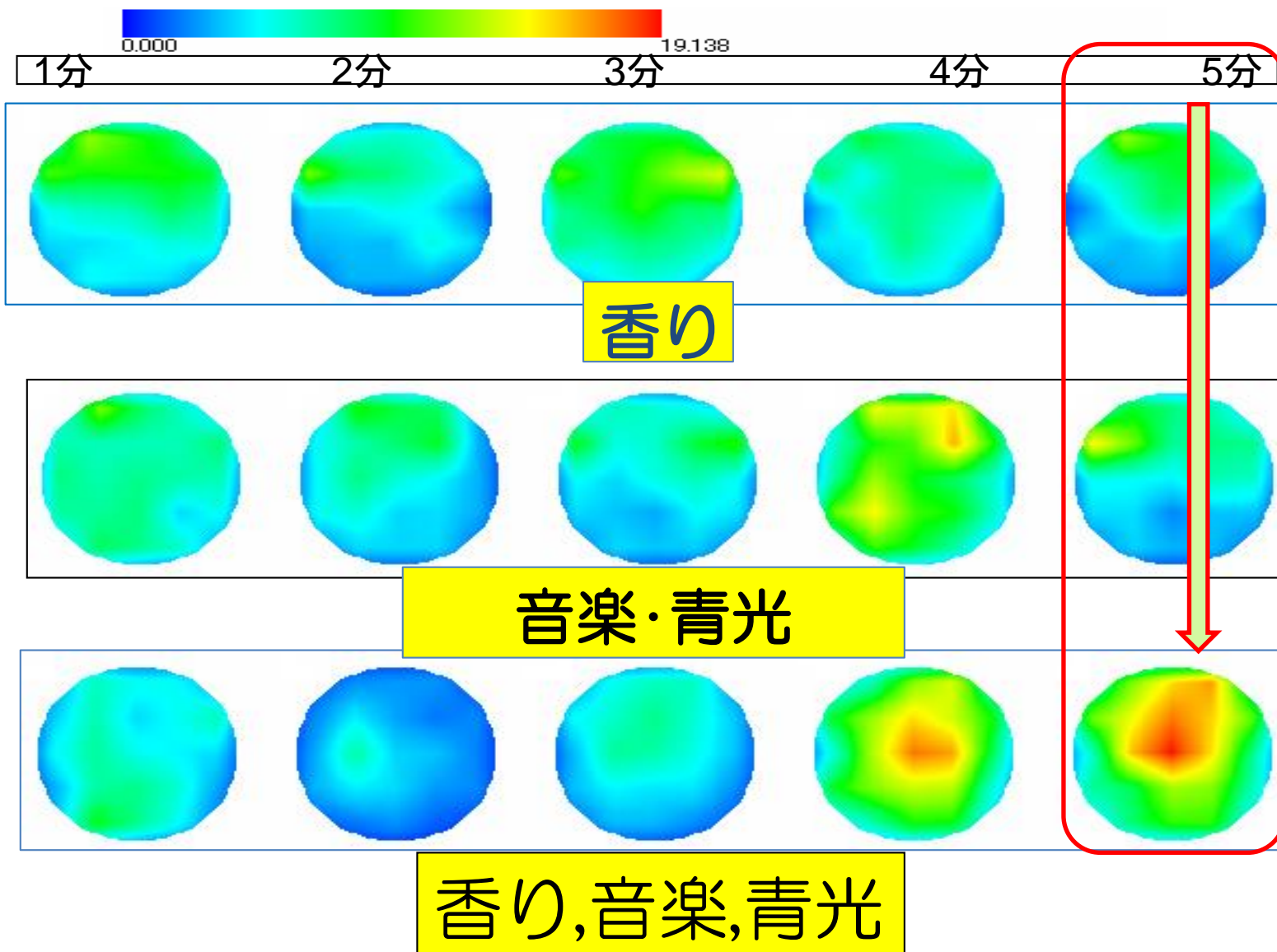


共同研究者(今野教授, 島田教授)による心理評価・脳波実験を実施.
→CSK通信の心理・生理学評価に活用

(脳波測定)
⇒ EEG Topographyへの変換

Electroencephalogram(脳波) **Topography(地図)**

EEG Topography結果



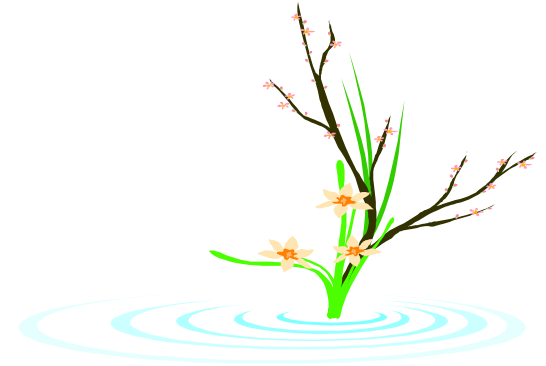
総合的な検証結果

(1) 視聴覚、嗅覚の単体の刺激よりも、組み合わせの刺激により、より高い、「癒し」効果が得られる。

(2) 光の色彩種別による刺激は、心理的、生理的に、異なる影響を生体へ与える可能性がある。

(3) 緑色のLED光を利用し, $1/f$ ゆらぎ光を用いた場合の「癒やし効果」を心理学と脳生理学を用いて検証

「 $1/f$ ゆらぎ」について



- $1/f$ ゆらぎは自然界や生体に多く存在する。
- $1/f$ ゆらぎ特性を簡易に実現するため、間欠性カオスアルゴリズムをマイコンで作製し、LED照明の輝度を $1/f$ ゆらぎが生じるように制御し、心理測定、脳波測定を行う。

間欠性カオスアルゴリズムと出力波形

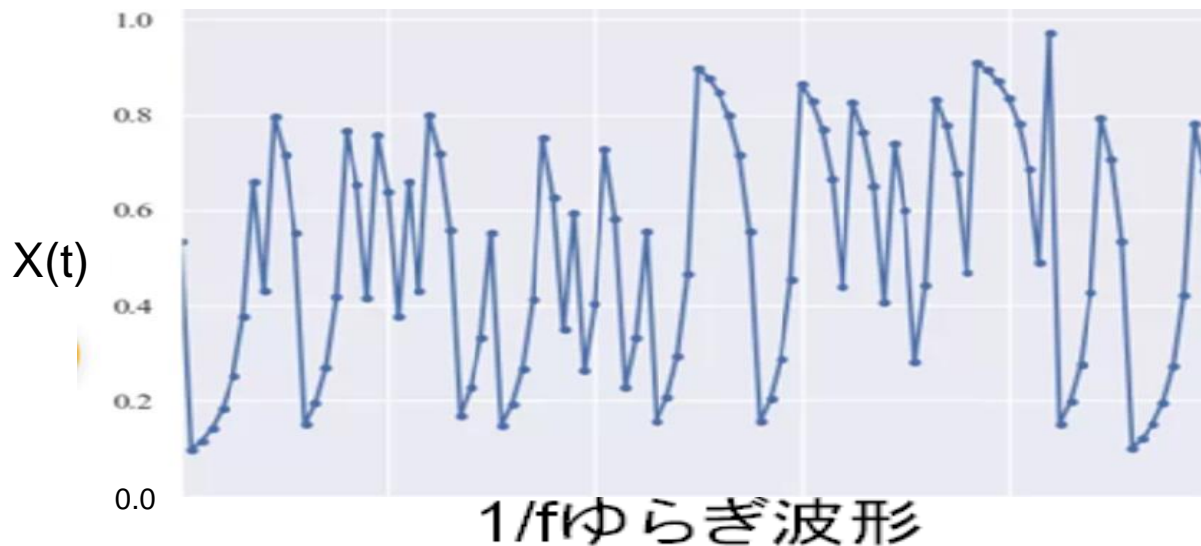
$X(t) < 0.5$ の時

$$X(t+1) = X(t) + 2 \times \{X(t)\}^2$$

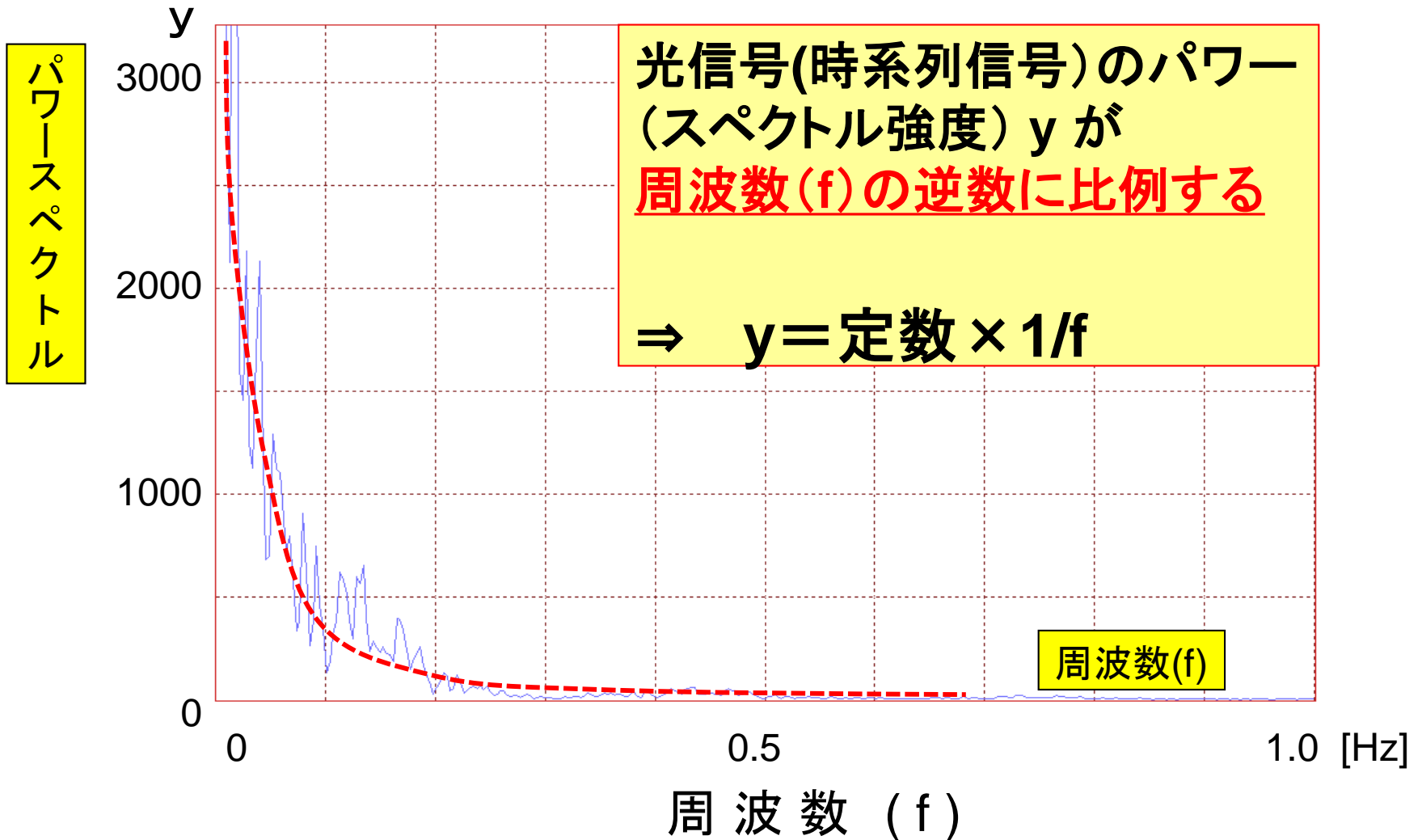
$X(t) \geq 0.5$ の時

$$X(t+1) = X(t) - 2 \times \{1 - X(t)\}^2$$

(a) 間欠性カオスアルゴリズム



1/fゆらぎ信号出力のスペクトル



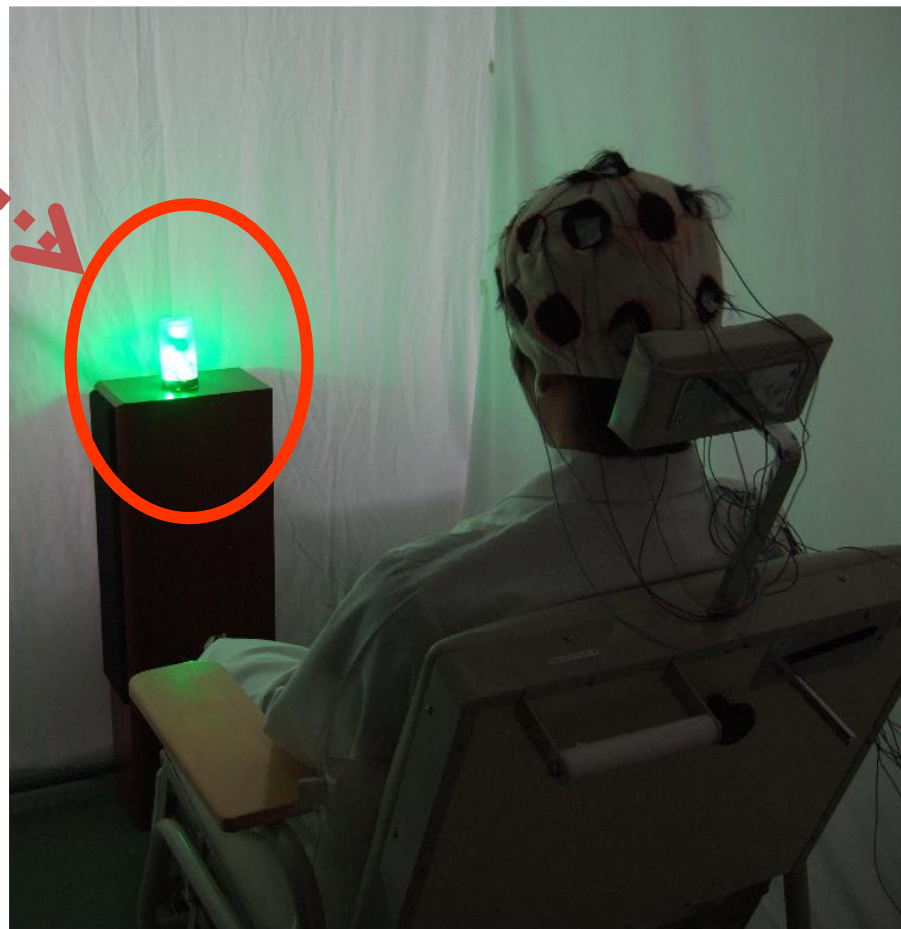
緑色LEDを使用した「癒し効果」の実験

1/fゆらぎの光を
発生する緑色LED
オブジェ

測定条件

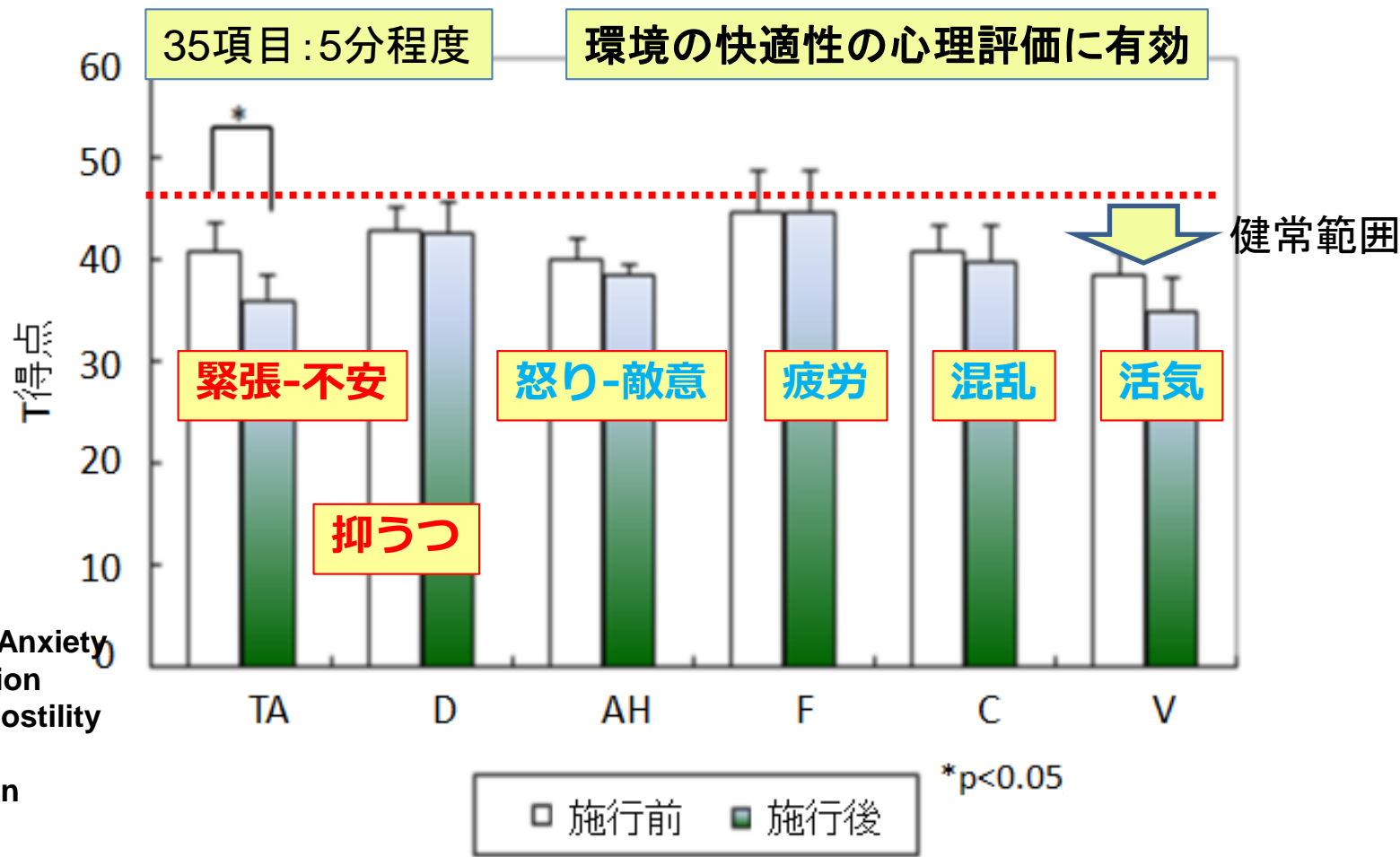
可視光 (波長516nm)	緑色LED
刺激時間	5分
1/fゆらぎ	0.3(~1)Hz

- ・脳波計測 (8-13Hz)
- ・7段階リッカート方式
(心理評価手法)

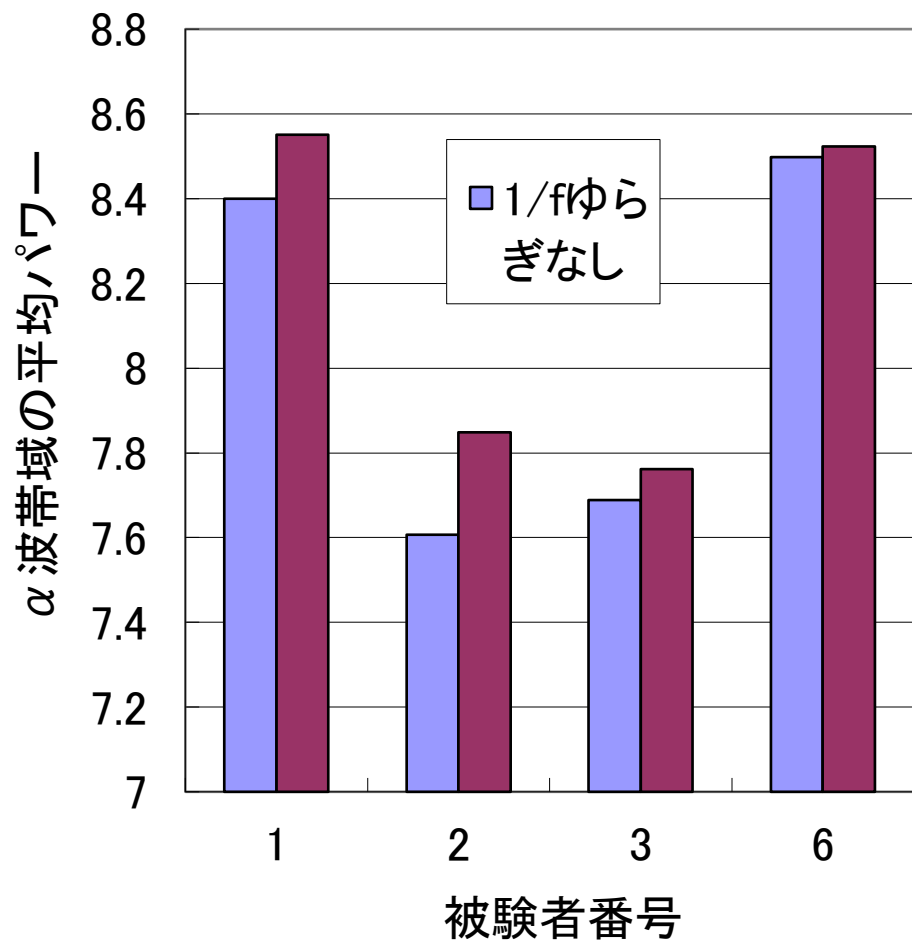


POMSによる心理評価 (1/f ゆらぎありの場合)

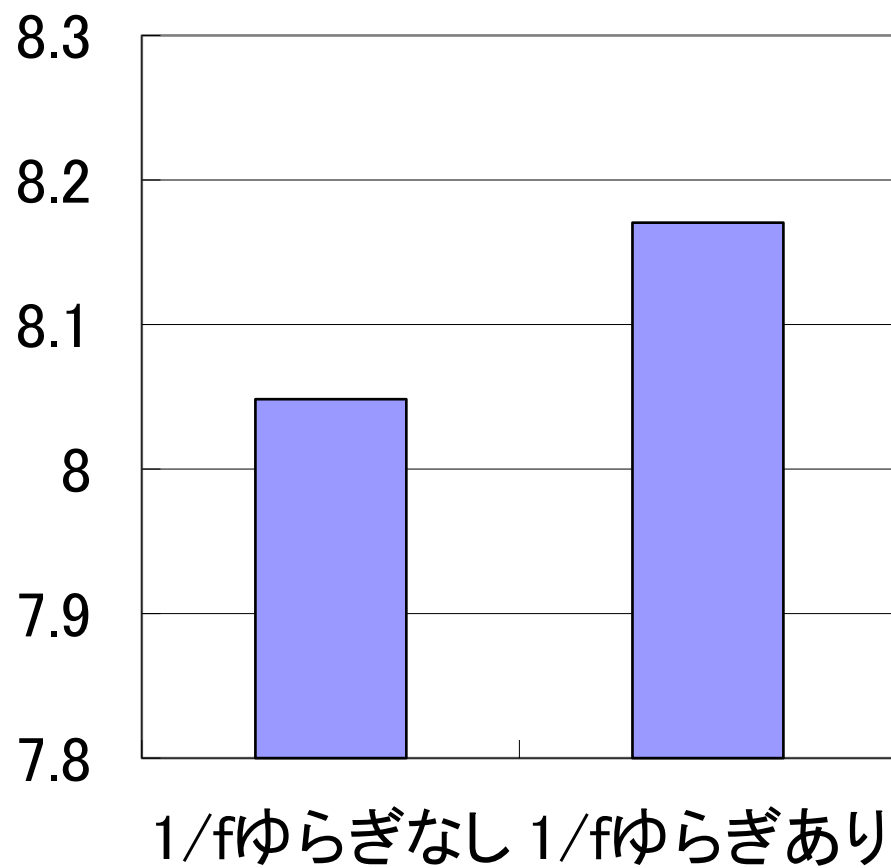
POMS (Profile of Mood States) 気分状態の評価
(室内環境の変化, 運動後の気分の変化の評価)



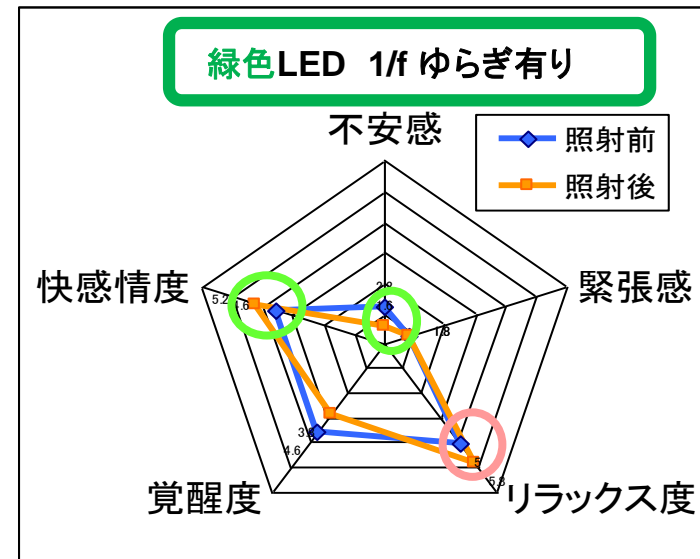
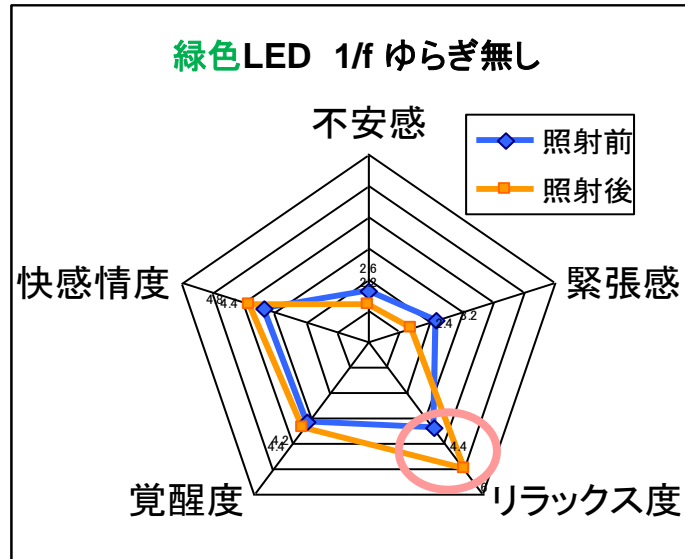
1/fゆらぎの光刺激による α 波帯域のパワーの増加



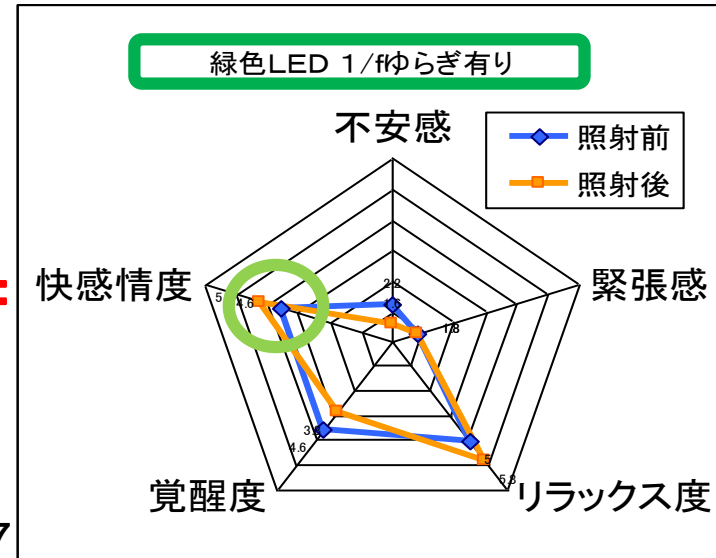
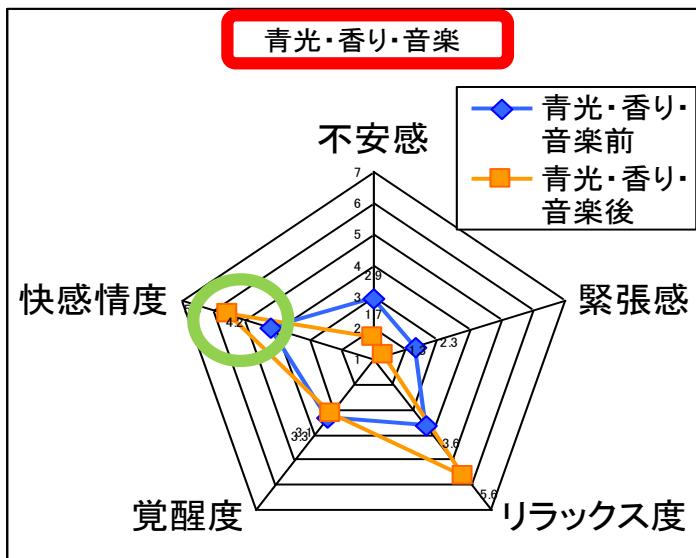
α 波帯域のパワー (全被験者平均)



緑色LED(1/f ゆらぎ)有/無の心理学による評価



総合検証：「青色+良い香り+心地良い音楽」と「緑LEDの1/f」の関係



ゆらぎを加えた緑色の光が最も人に癒やし効果を与える。東京電機大学の宮保憲治教授らの研究チームは発光ダイオード(LED)を用いた実験で、こんな結果を得た。緑色の光に比べて青色の光は不安感を高め、赤色の光は不安を増すとともにリラックス度も低下した。LED光線として類似的に「人工ロウソク」や「人工朝陽」などの商品化し、ネットワークつなげば遠隔医療などに用いられると見込む。システムとして今年以内の実

光のゆらぎで癒やし



脳波と心理評価で確認

「緑」に高い効果

東京電機大

LEDでシステム、遠隔医療も

用化を目指す。開発メーカーを募る。研究の成果は3日に開かれる電子情報通信学会の学生大会で発表する。川のせせらぎや草花が風にそよぐ動きなど、自然界に数多く存在する「1/1ゆらぎ」(1は結果解析したところ、2は、遠隔地でも見える精神療法など個人に合わせたオーダーメイド医療への展開を期待している。

アルゴリズムで回路を設計し、回路の出力信号を制御することで周波数を調節する。この結果をもとに緑色の光が最も人に癒やし効果を与える。東京電機大学の宮保憲治教授らの研究チームは発光ダイオード(LED)を用いた実験で、こんな結果を得た。緑色の光に比べて青色の光は不安感を高め、赤色の光は不安を増すとともにリラックス度も低下した。LED光線として類似的に「人工ロウソク」や「人工朝陽」などの商品化し、ネットワークつなげば遠隔医療などに用いられると見込む。システムとして今年以内の実

第2部 放射線量を照明光の色で見える化 (7~~~8分程度)

-放射線量警告通信サービスの提案-

東日本大震災直後の被爆状況

- ・3.11の原発事故以降の、放射線被爆に対する関心の高まり
⇒原発に起因する放射線量のリアルタイム通知が可能な経済的なシステム整備の社会的な要請

技術課題の認識

- ・放射線量は汚染源からの距離に単純に反比例せず、局所的なホットスポットに点在。
⇒放射線量は視覚で検知できないことが、社会的な不安を助長。
⇒目に見える可視光の手段で放射線量のレベルを警告できるシステムに期待



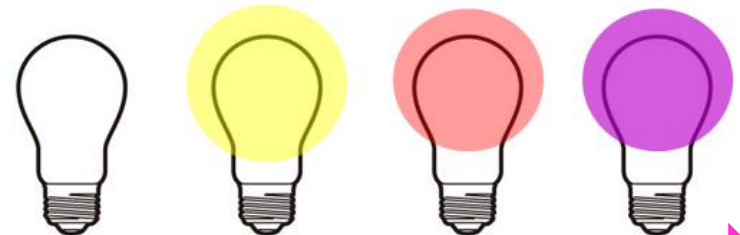
期待されるシステムの機能

放射線量を、迅速かつ、視（聴）覚的に、周囲に通知できる「可視光照明・通信ハイブリッドシステム」

放射線量のレベルを、照明光の色の種別で警告。

（第一段階は視覚を活用し、次の段階では、聴覚も活用）

- 常時、放射線量を検出し、放射線量が通常レベルの時は通常の照明（白色光）として使用することで余剰投資は不要。
- 検出した放射線量の値に応じ、照明の色を白色から黄色、赤色、紫色へ、照明光の色を段階的に変化させて警告。



低 放射線量 高

放射線量警告用照明システム

プログラム
表示画面

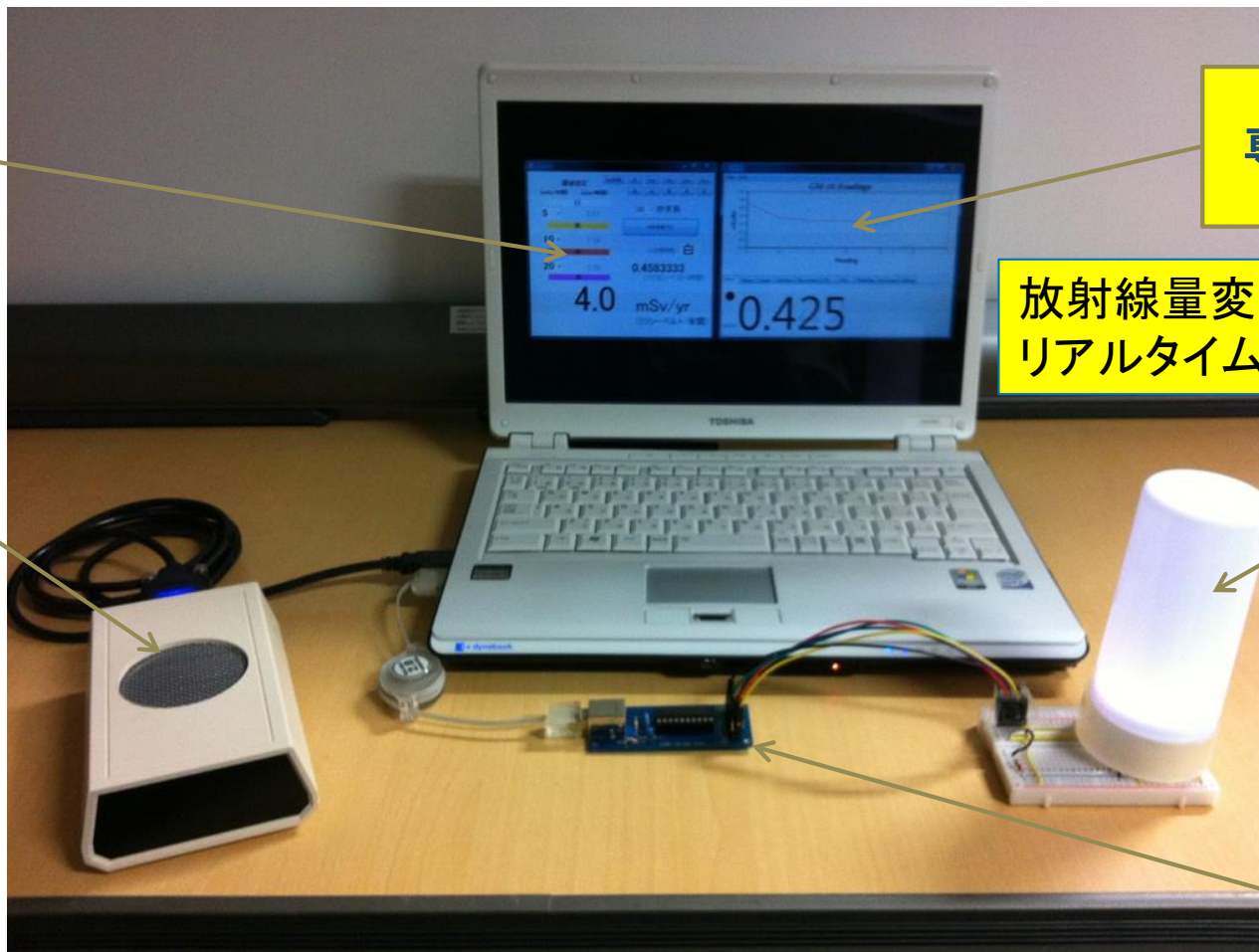
GM-45
専用ソフト
Rad

放射線量変化の
リアルタイム表示

ガイガー
カウンター
GM-45

フルカラー
LED照明

LED制御用
マイコン
USB-IO



放射線量の閾値の設定例

- 閾値は国際基準などを参考に設定.

自然放射線の世界平均	2.4mSv/年
ブラジルなど高い地域	10.0mSv/年
一般公衆の人工的な線量限度	1.0mSv/年
胃のX線写真	0.6mSv/回
CTスキャン	6.9mSv/回

- 閾値, 平均値を求める時間は容易に, ソフトウェアで変更可能

Form1

Rad起

閾値設定

(mSv/年間)	(uSv/時間)
5	0.00
10	0.00
20	0.00

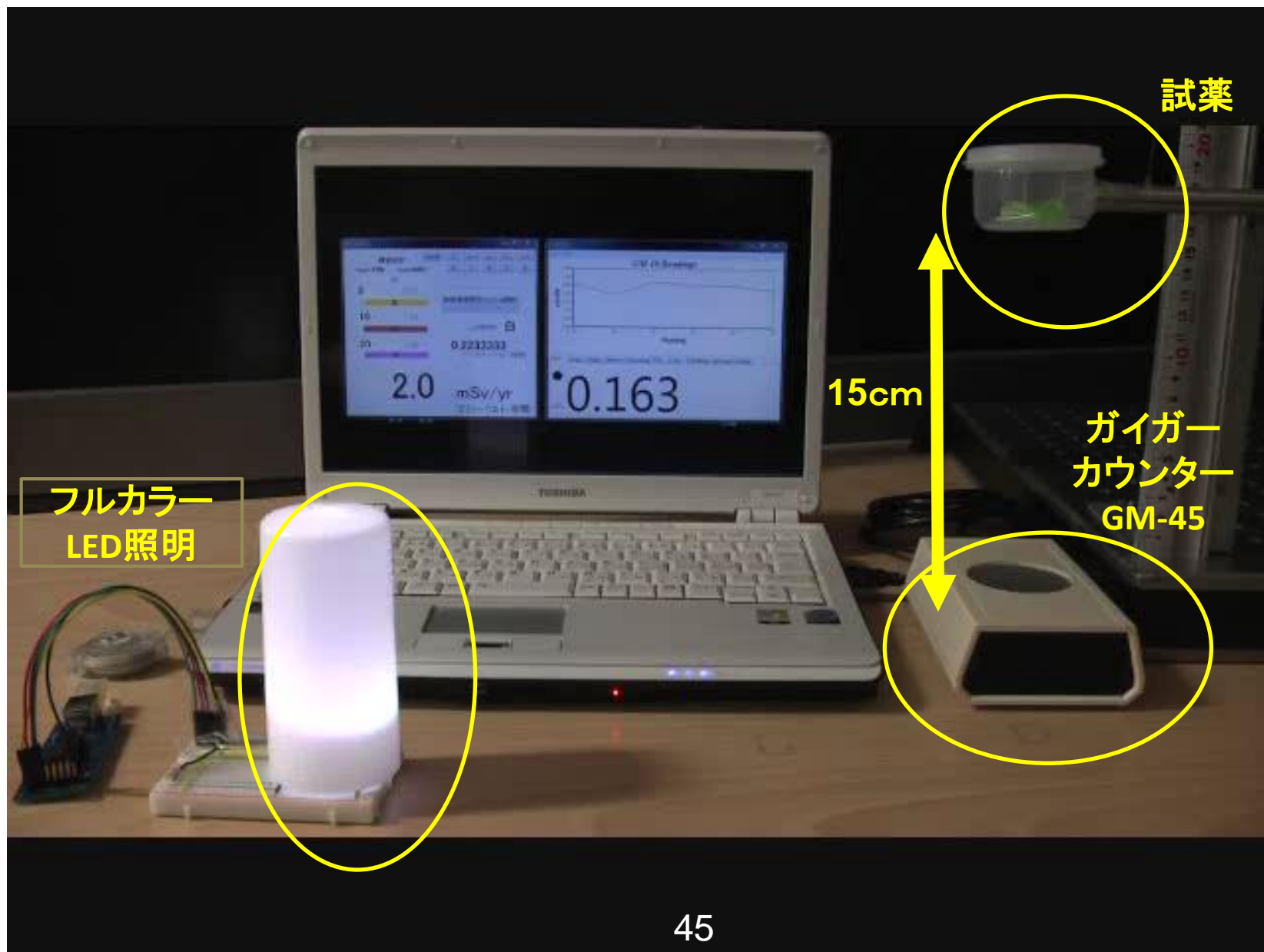
- ⇒本格的な導入には、行政との、きめ細かな調整が必要

(参考) ガイガーカウンター GM-45

- Black Cat Systems (米国)
ガイガーカウンター放射線検出器
- 放射線カウント値
(CPM: Counts Per Minute単位) を取得し
そのシリアル値(57600bps) を
RS-232CでPCに出力する仕組みを内蔵
- USBインタフェースに変換するアダプターが付属
→PCによるデータ処理が容易



放射線量警告用の可視光照明実験システム

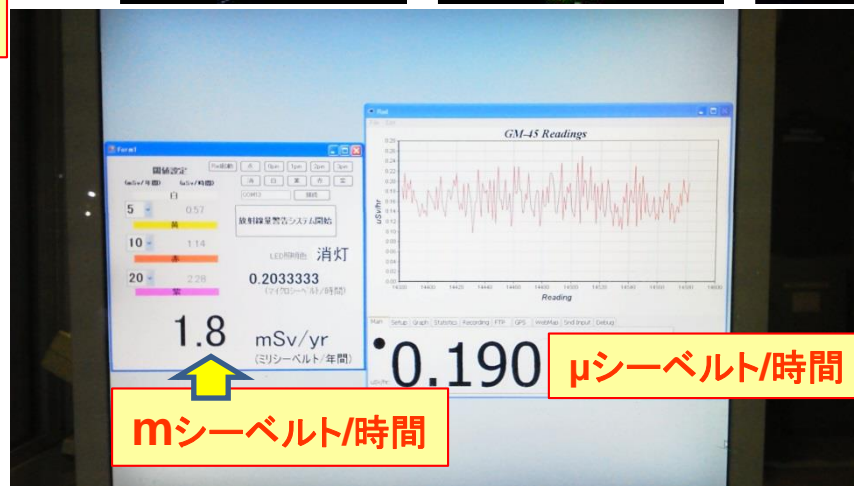
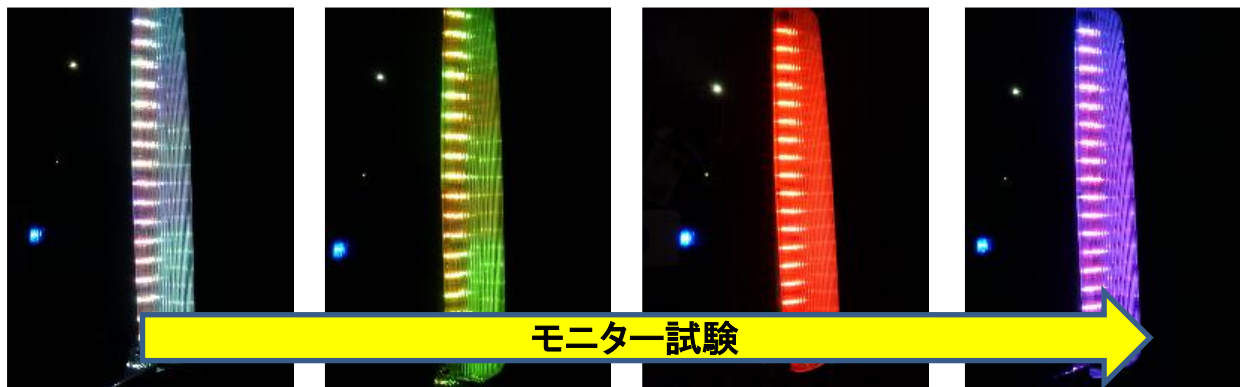


試作機の学内での稼働状況

千葉キャンパス正門の守衛室で試験運用



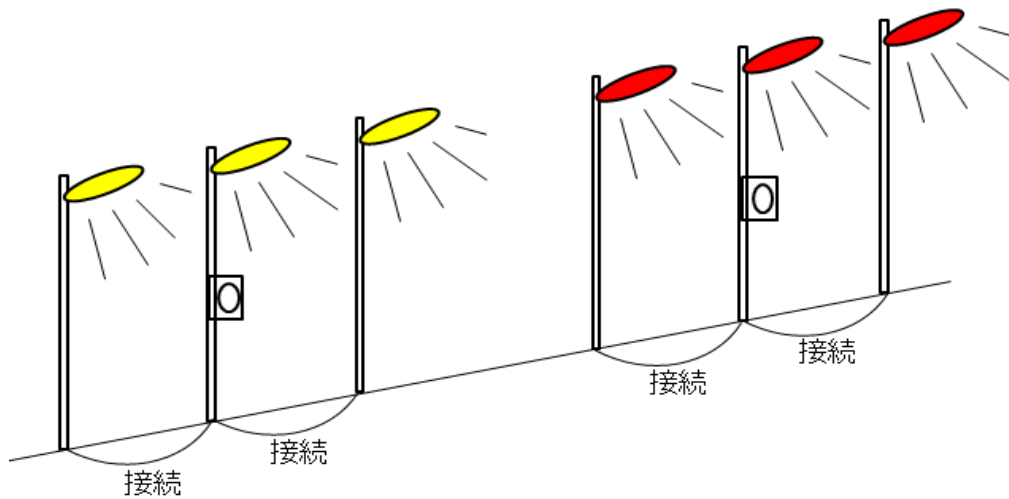
正門の守衛室前



守衛室内の
モニタ画面

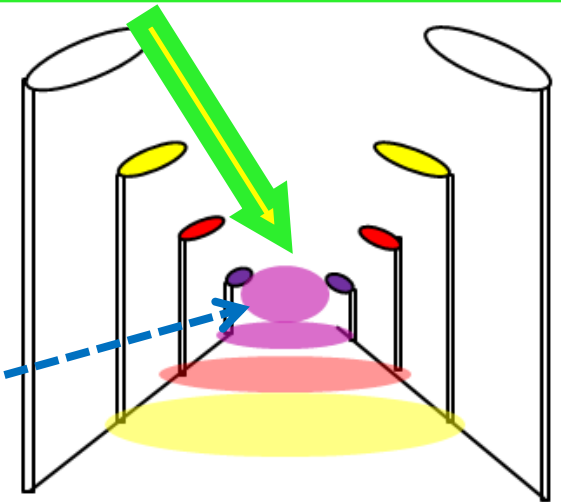
放射線量警告システムの適用例

- 街灯用照明として、道路沿いに配置
- システム1つに対して、照明機能だけを備えるものを接続
→ 低コスト化の実現



街路の前方にホットスポットが存在することを即座に周知

ホットスポットが、視覚で認識可能



第3部 将来の可視光通信（15分）

IoTの普及に貢献するCSK(変調)

-原理と応用

- 心理学と生理学を用いた検証

-可視光通信サービスの現状と将来

TOP 10 COMMUNICATIONS TECHNOLOGY TRENDS IN 2017

Visible Light Communication(VLC), or LiFi promises an additional avenue of data to your computer .



Ten Communications Technology Trends in 2017

Source: [IEEE ComSoc Technology News](http://www.comsoc.org/CTN)

SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS

Localisation, Communication and networking with **VLC**: Challenges and Opportunities

New Ways to Communicate : **LiFi** Lights the Way

Everyone is talking about the **lack of radio frequency** spectrum.

One of the solutions to this problem is right over our head-**office lighting**.

Visible Light Communication(VLC), or **LiFi** as it is known, promises an additional avenue of data to your computer. An LED can vary its intensity so quickly the human eye cannot see it, but a **photo detector** can detect it. As **LiFi** can certainly supplement the **vast amount of data by downloading** data ,sound and **videos** and other important **documents**. **LiFi** also has the advantage that it will **not leak through walls**, ensuring a **fair amount of privacy** to the intended user.

How to **integrate LiFi into existing WiFi** connections will be much more effective. How to modulate, multiplex and handover **LiFi** data is still under debate in engineering circles and includes OFDM-based light intensity modulation schemes, though the **IEEE standard 802.15.7** has defined a MAC layer as well as an **On-Off Key** physical layer.

International Conference and Exhibition committee for Visible Light Communication Association (VLCA)

株式会社 沖縄海洋工機開発
Okinawa Ocean Mechatronics Inc. (O2M)

日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

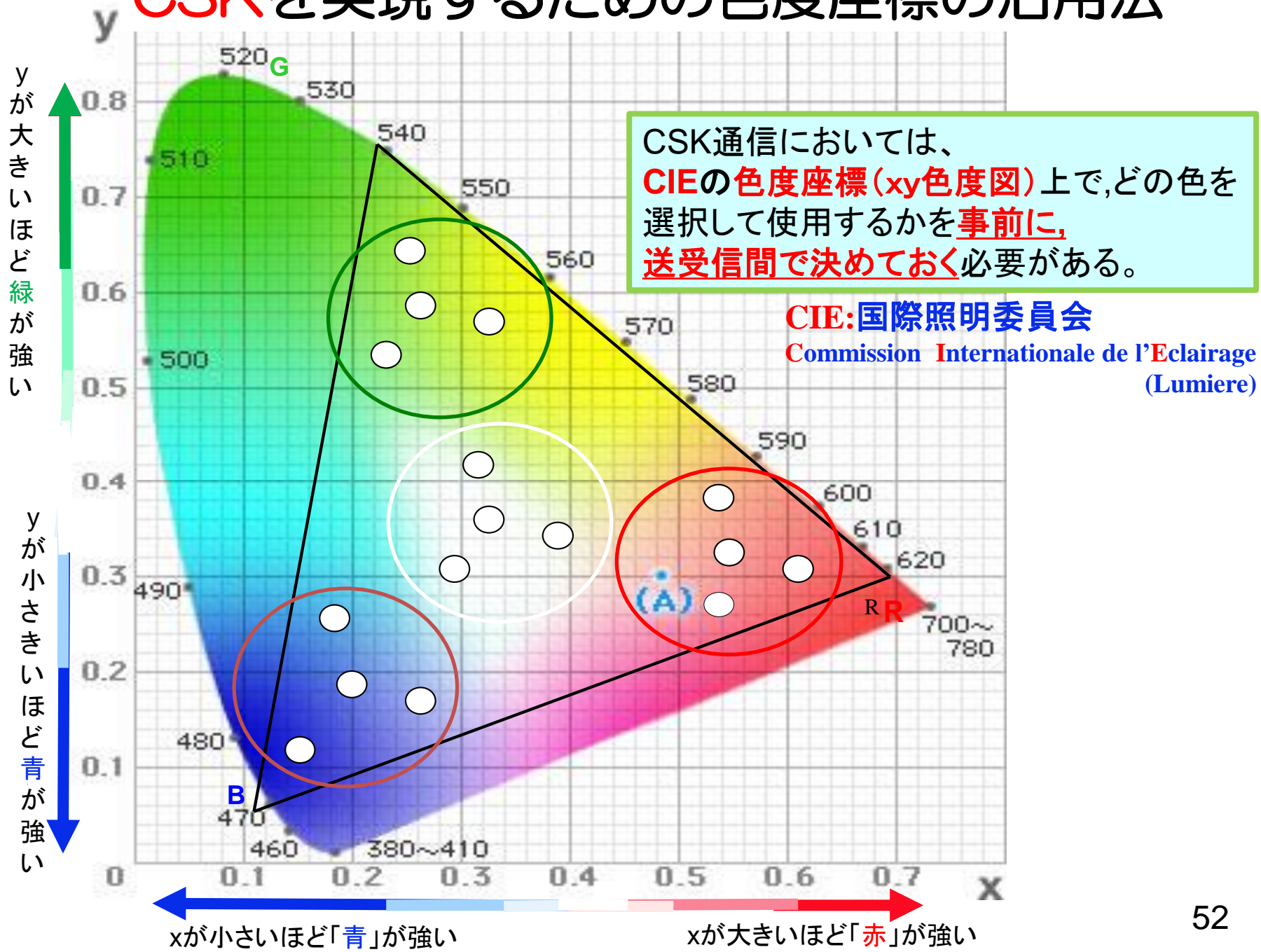
株式会社 島津製作所
SHIMADZU Corporation

Presentation Outline

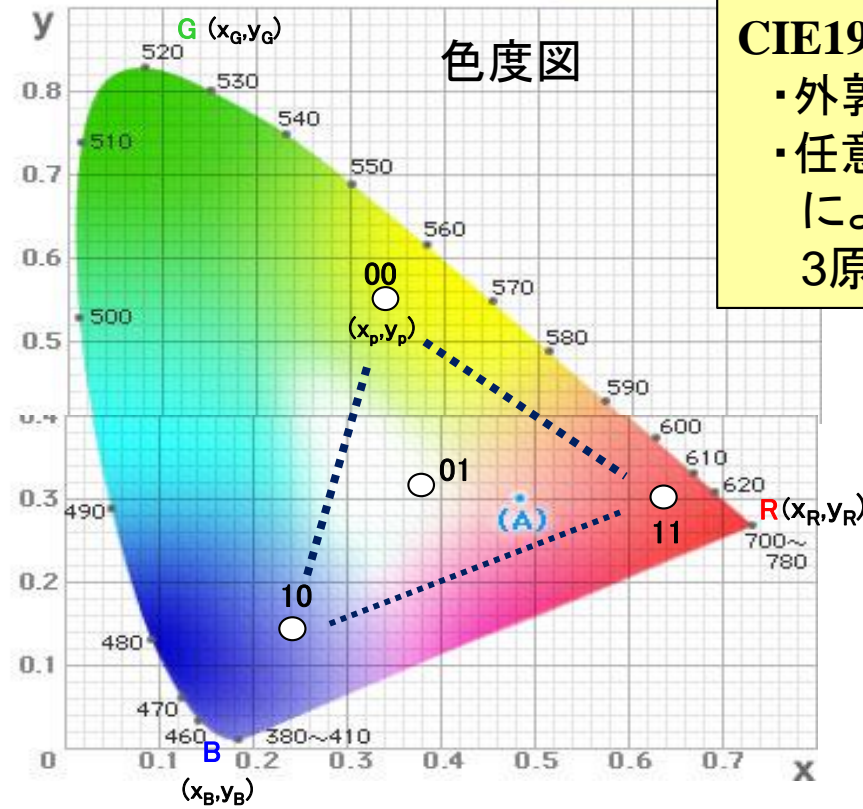
1. Research background of the proposed technologies.
⇒ Introduction of CSK technology.
CSK (Color Shift Keying)
In fact, there are demands for secure communication using CSK.
→ As for security level, it will be difficult to assure, because of its security level. It means an interception or eavesdropping is possible.
2. We propose a practical security improvement technology to solve the problem for CSK communication
3. We will mention substantial examples of CSK services by combining the convention CSK technology and a new innovative methods.
4. Improvement of conventional SDM(Space Division Multiplexing) by combining CSK technology is improved for realizing error-free communication.
5. Economical IoT Big data collection application by combining LTEWA(such as SIGFOX) and CSK technology.
6. Summary and future plans

ICEVLC 2018国際会議
発表模様:講演冒頭の場面
宮保憲治 (2018/3/16)

CSKを実現するための色度座標の活用法



CIE表色系における色記号マッピング (4CSKの場合)



CIE1931x-y色度座標におけるCSK色記号マッピング

- ・ 外郭の境界は、波長スペクトルの軌跡を示す。
- ・ 任意の色度座標 (x_p, y_p) で色空間を指定することにより、RGB色空間への座標変換を実施すれば、3原色の輝度 P_R, P_G, P_B が算出できる。

$$x_p = P_R \cdot x_R + P_G \cdot x_G + P_B \cdot x_B$$

$$y_p = P_R \cdot y_R + P_G \cdot y_G + P_B \cdot y_B$$

$$P_R + P_G + P_B = 1 \Rightarrow P_R, P_G, P_B \text{ が決定する。}$$

(変換行列の値 $x_R \sim y_B$ は、NTSC, HDTVなどの色空間の種別によって異なる)

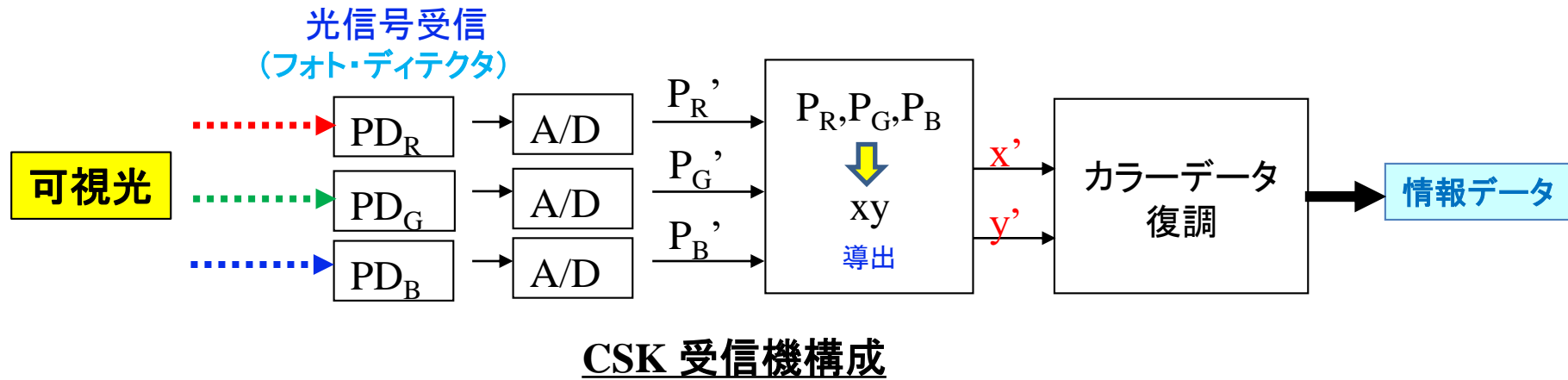
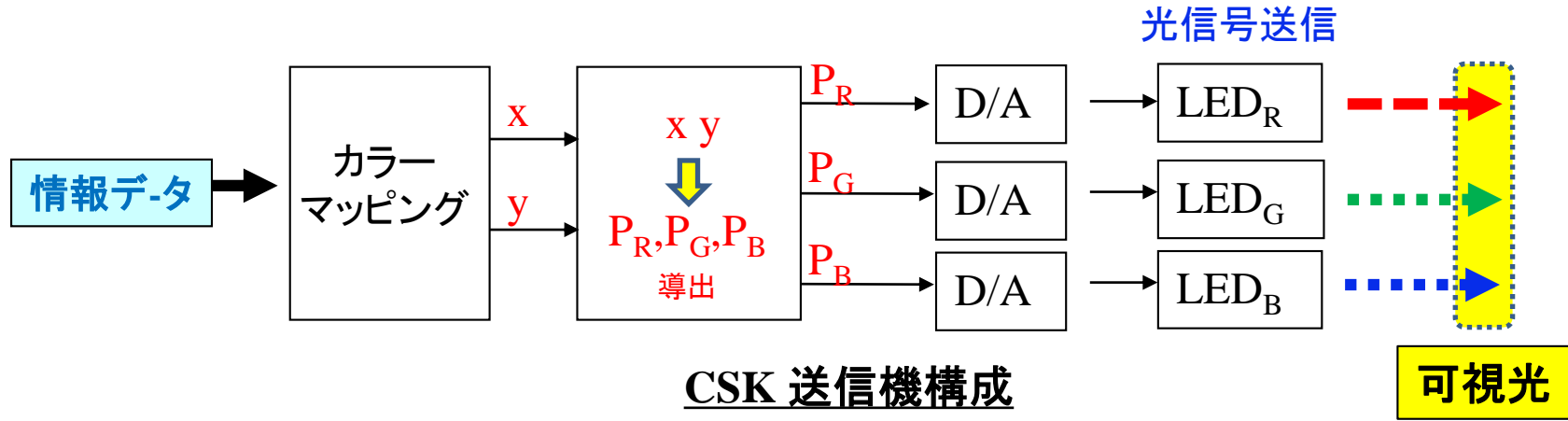
(x_p, y_p) 座標の決定。

→ P_R, P_G, P_B は容易に算出可能。

4つの色相点(00, 01, 10, 11)の表現例

CSKシンボルとして、例えば、上図に示す三角形の頂点と中心の位置を選ぶと、各々のシンボルは2ビットデータとして活用できる。

CSKコードの送信処理と受信処理



送信機はカラーマッピング部,D/AコンバータおよびマルチカラーLEDで構成。
受信機はフォトディテクタ、A/Dコンバータ、およびカラーデータ復調部で構成。

CSK (Color Shift Keying)の活用法

色座標を用いて情報を伝送するVLCの変調方式の


実用化: IEEE802.15.7(標準化勧告)

ISC(Image Sensor Communication

(イメージセンサ)通信で2次元表現された

16CSKを使用する例

16×16マス構成の2次元CSKコード(SDM-CSK)

では、データ送信速度は256(=16×16)倍. 

16CSKではカラー種別は16種あり、

16 = 2⁴ のため1つのCSK シンボルは

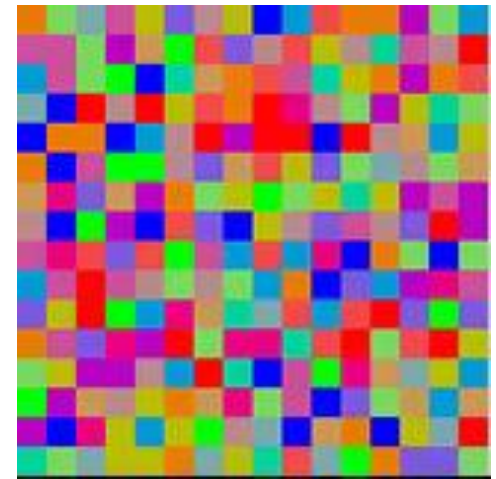
4bit情報に相当. フレームレートが30f/sの場合, データ送信速度は、

256 × 4 × 30 = 30 (kbps)

課題: 光信号の強度変化や色変化がヒトに与える影響の検証

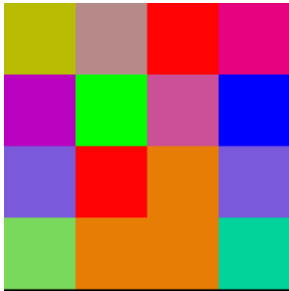
⇒ヒトへの影響に関し、心理学, 脳生理学の研究者と共同研究

SDM:
Space Division Multiplexing
16-CSK (4bit/symbol)

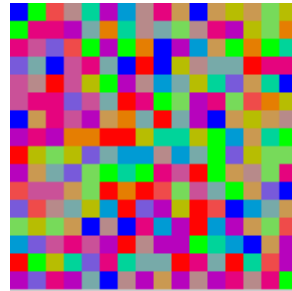


2次元CSKコード(16CSK SDM)方式の例

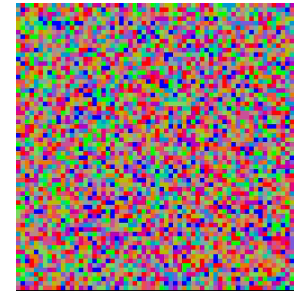
(1) 4 × 4 SDM-16CSK



(2) 16 × 16 SDM-16CSK



(3) 64 × 64 SDM-16CSK



例： 4 × 4SDM-16 CSK
(960bps)
(=16 × 4 × 15)

16 × 16SDM-16 CSK
(15kbps)
(=16 × 16 × 4 × 15)

64 × 64SDM-16 CSK
(245kbps)
(=64 × 64 × 4 × 15)

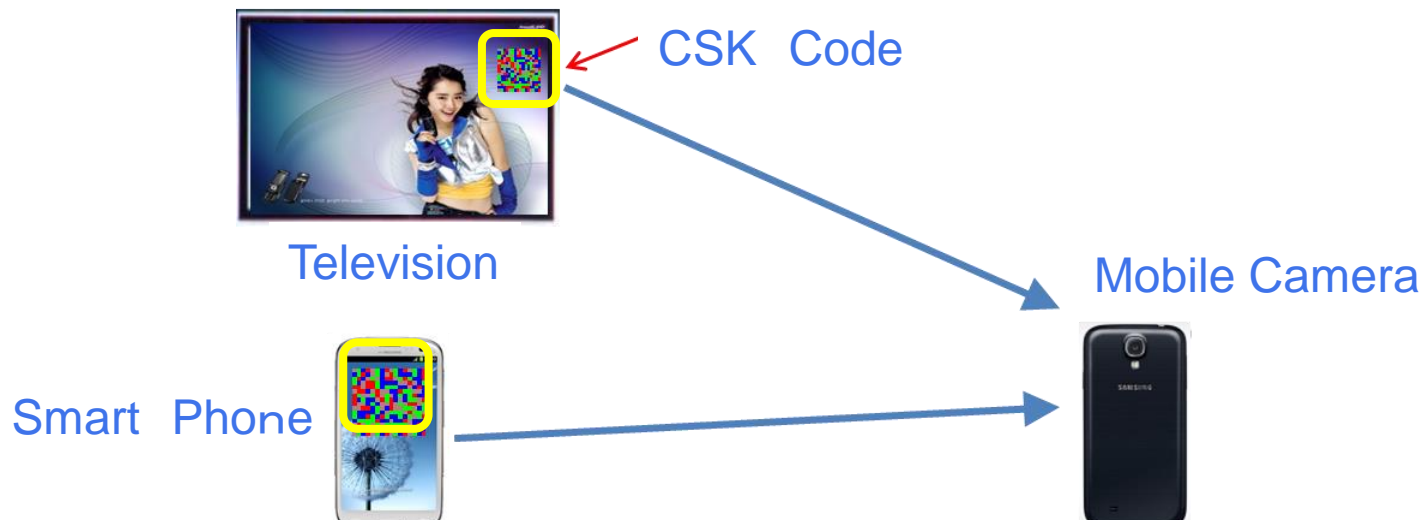
上の例ではフレームレートを15 frame/sとして、外郭形状が正方形の場合を示す。空間分割多重 (SDM) -CSKにおいて、色は色度座標面上の領域内の色点群により定義できる。より高いデータ通信速度を実現するために、

- ①LED発光素子および、カメラの画像表示フレームレートを向上させるか、
- ②空間分割多重 (SDM) フレームサイズの大規模化、あるいは
- ③多くの色種別の作成・判別機能

の仕組みをシステム内に適切に組み込む必要がある。

一方、通信ユーザー間で事前に決められたフレームの外郭形状を任意に変更することで高精度の秘匿通信を可能にする画期的な技術が提案されている。

CSK (TV画面) とスマートフォンによる 通信アプリケーションの例



CSKを用いた可視光通信は、ディスプレイからカメラへの画像センサー通信(ISC)に適している。画像ディスプレイを送信機として使用し、殆どすべてのデジタルカメラは追加のハードウェアを用いることなく、CSK受信機として使用可能である。

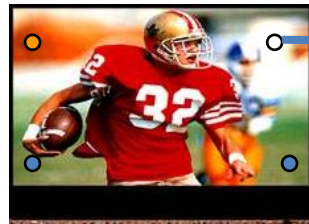
一方、可視光信号は周囲の環境からは、簡単に**検査または傍受**される可能性もある。このため、

⇒**セキュリティの向上**を図るために、盗聴防止を強化するための技術を開発する必要がある。解決策の一部を以下に紹介する。

CSK用アプリケーションの可能性



TV, PC, Sign board
Display



デジタルサイネージ
RGB LED



Mobile
Display

シンボルレート: **15Hz**
16CSK (4 bit)

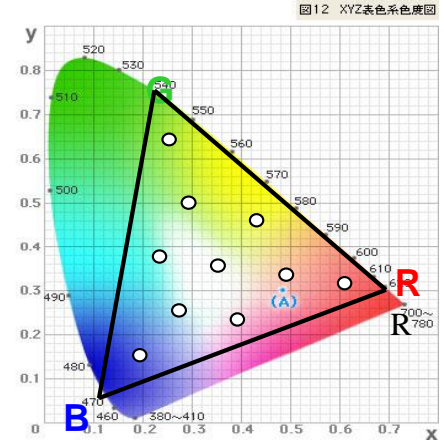
低速データ通信
(60bps 程度)



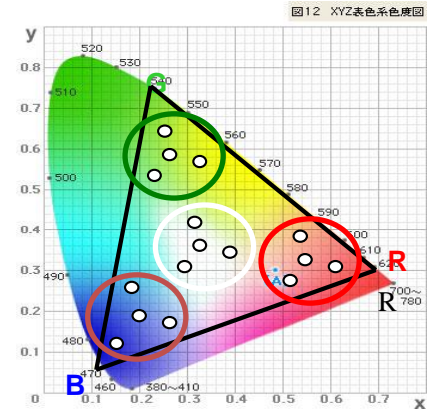
モバイル端末

通信サービス

- ・ 情報案内
- ・ ストリーム音声
- ・ 障がい者支援
- ・ セキュリティ



Full Color Coding



Color Offset Coding

各種Display → Mobile 端末にCSK情報で伝送。

- ・ 問題点: シンボルレートの制限 → 低速度通信

CSK (Color Shift Keying)の特徴

1.色度座標によって接続性が保証される

- 光源の波長に直接影響されない
- 送信側と受信側に、波長の異なる光源を用いることができる

2.総合輝度（発光強度）が一定

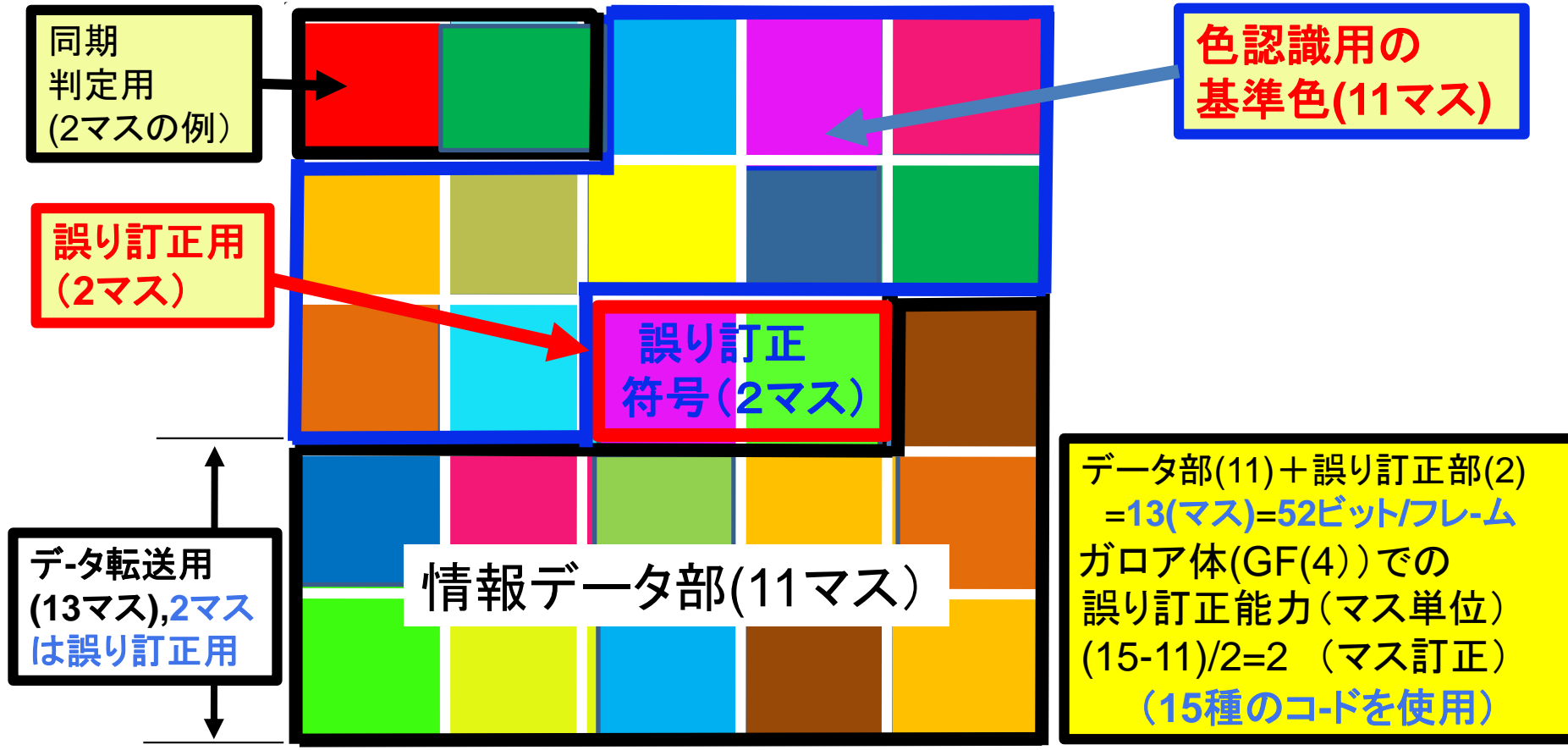
- 輝度変化によるフリッカーが起きない
- 輝度制御や色制御にも容易に対応できる

3.通信速度可変可能

- 通信速度（ビットレート）はシンボルレートとコンスタレーションの信号点数で決定できる
- OOK (On Off Keying) に比べて高速伝送が可能

誤り訂正可能な16 CSKコードの割当て(例)

(16種類のうち15色を使用) (全体で5×5マスの例)



(参考)最近の研究では4m程度の距離で512色のCSK伝送(CMOSイメージセンサ)に成功

デジタルサイネージの広告配信,ドローンなどの移動体制御,スマート農業への応用

CSK信号の表示例（画面上に分離する形態）



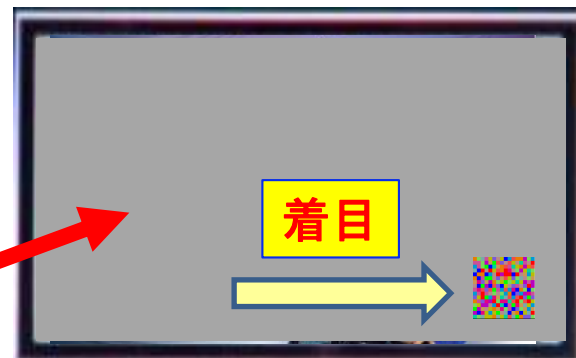
CSKコードがヒトに与える 心理学的・脳生理学的な効果

表示画面の背景パターン

- ・ **Gray Back**

(人間の目で灰色に見える表示色)

Gray



- ・ **静止画Back**

(静止画を一定間隔で切り替える)

静止画面

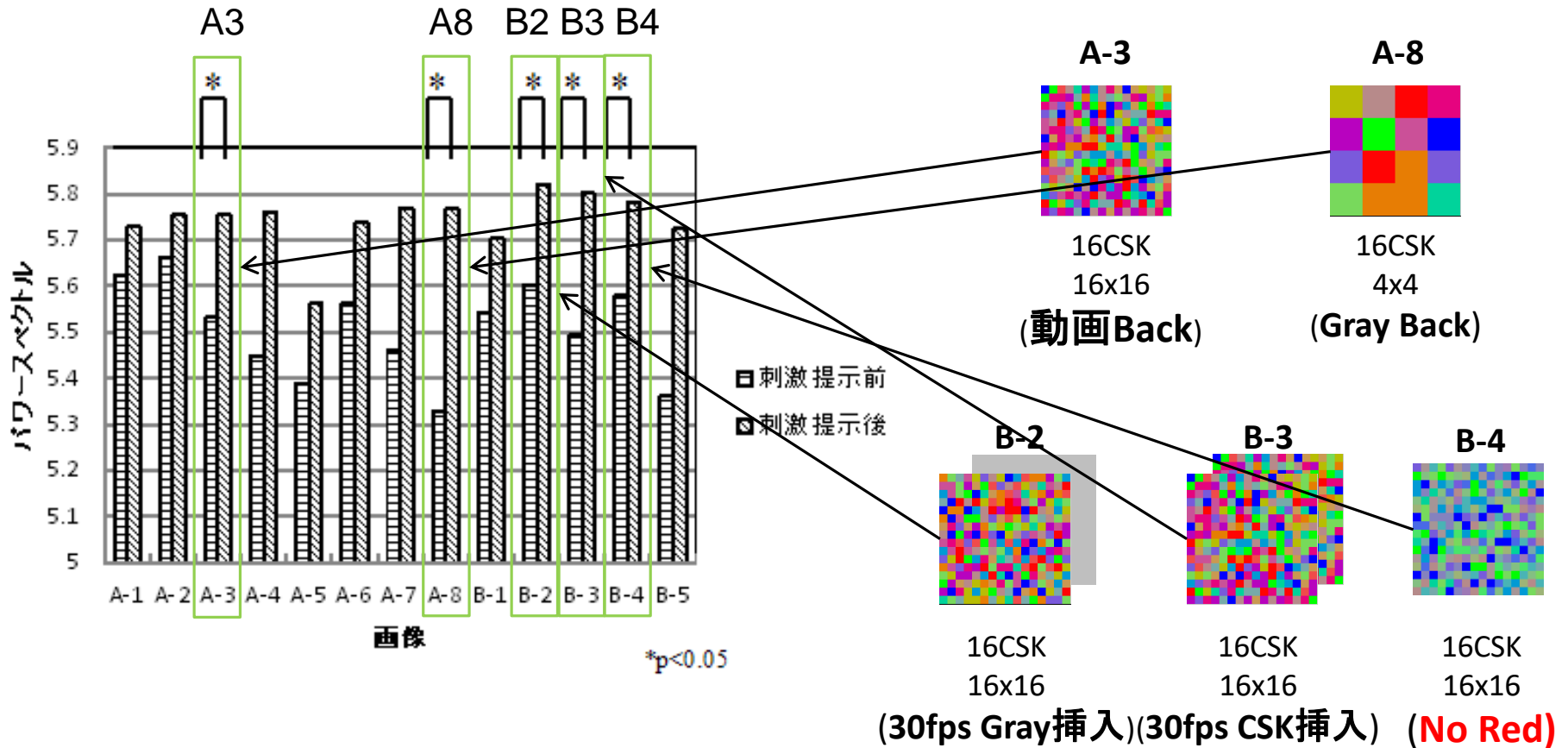


- ・ **動画Back (30秒)**

動画

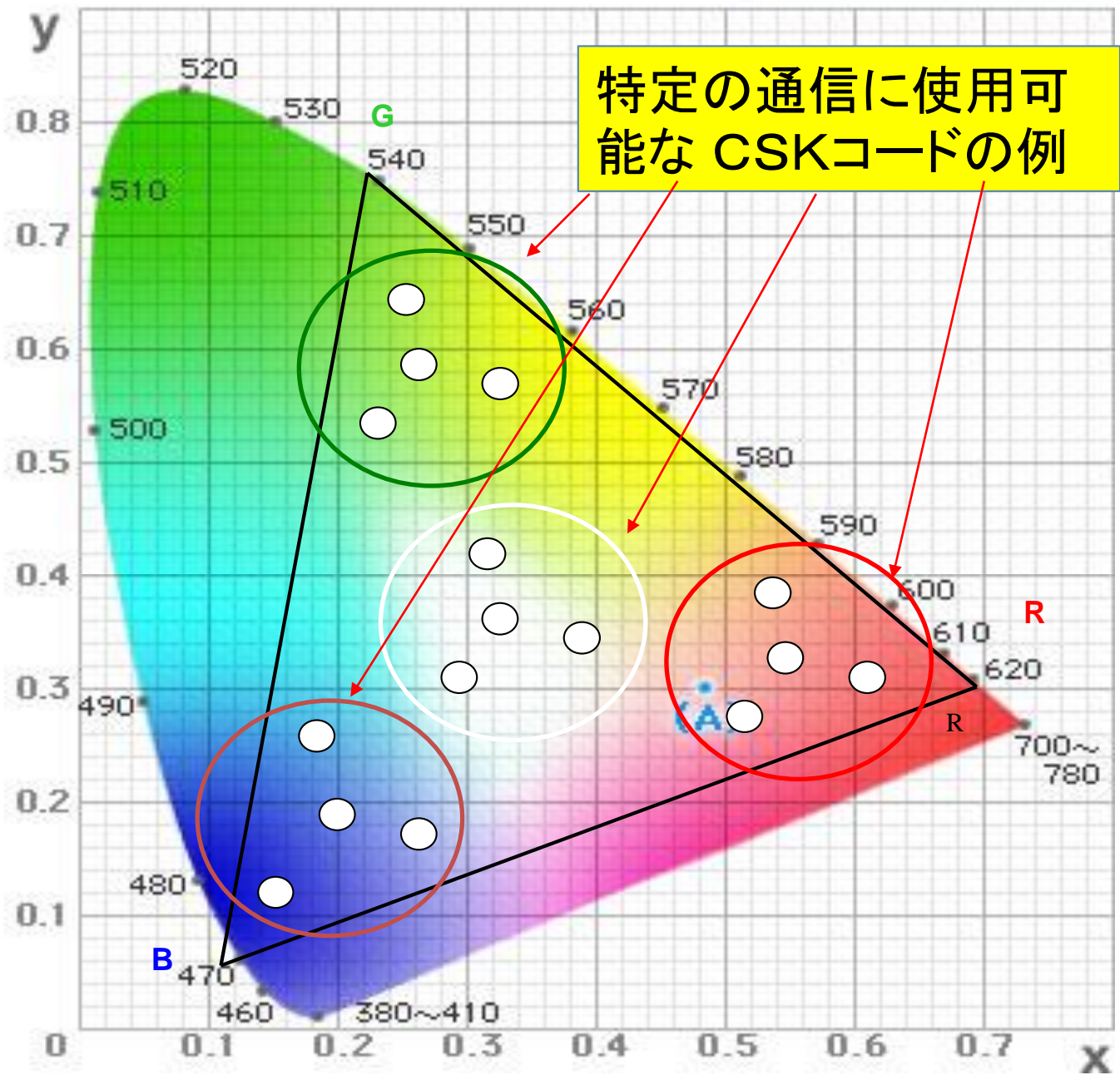


脳生理学評価： α 波の評価結果

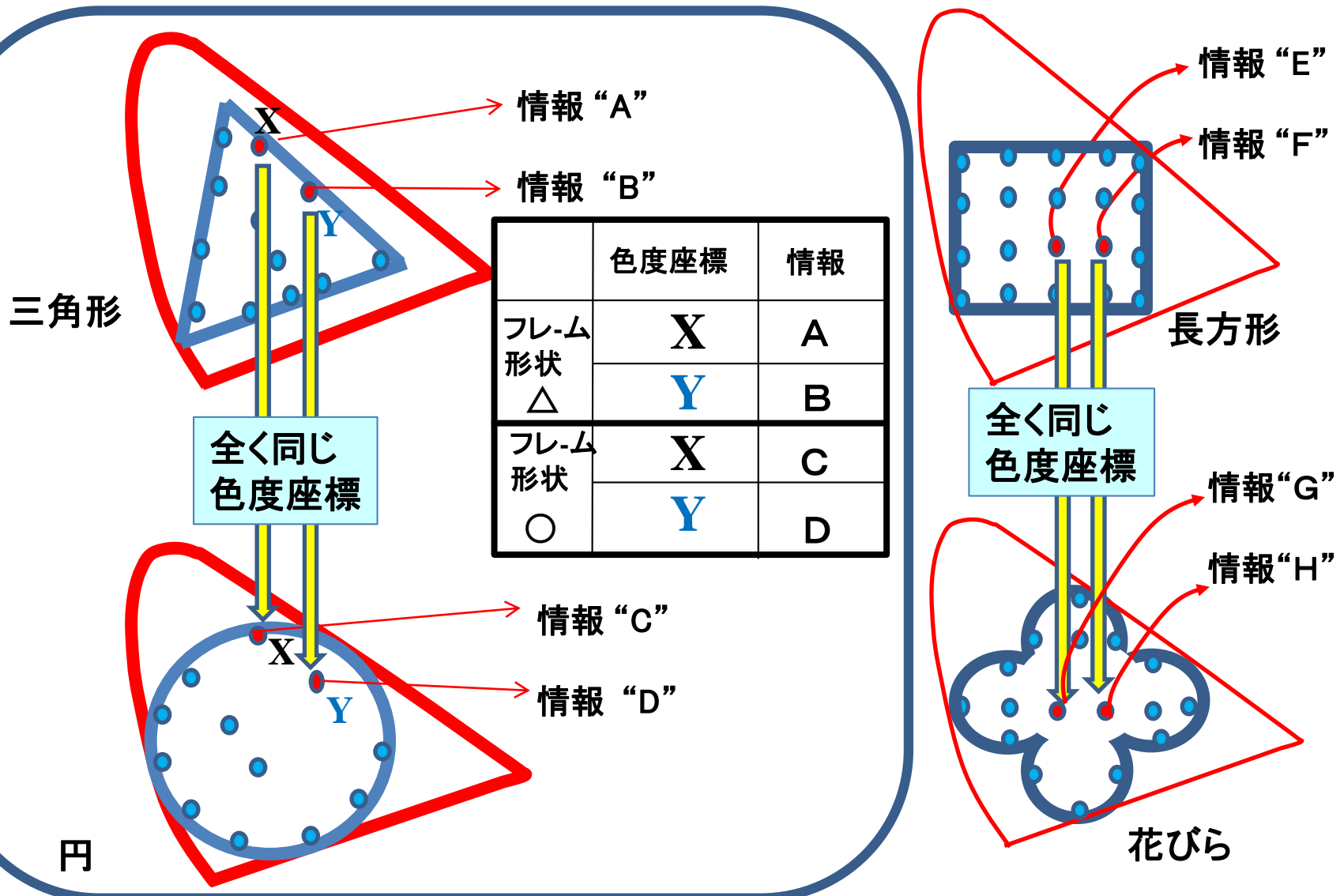


画像A3, A8, B2, B3, B4では有意な α 波のパワー増加。
 ⇒ 特定の画像刺激は環境ビデオや、ゆらぎ照明と同様の作用を持ち、被験者の安静状態が生じやすい効果をもつ。

CSKを用いたVLCのセキュリティ向上



外郭図形の形状(種別)を活用した色度座標の読み替え

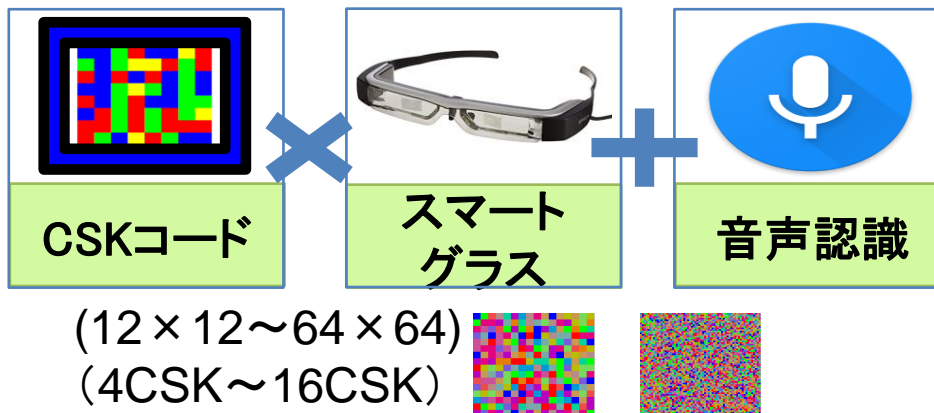


各種の研究開発要素の組み合わせによる 安全な医療システムの構築

患者の個人情報保護

新型コロナウイルスの接触感染

非接触での情報共有システムが有効



可視光通信の利点と各種のAI/セキュリティ技術を活用することにより病院内の環境改善と患者や医師のプライバシーにも配慮した安全な医療システム

[国際会議] (2019.4)
可視光と拡張現実 (AR)の融合研究発表

CSKコードを用いたVLCによる非接触の診療

従来の可視光システムでは
タブレット操作を「タップ」で実施。
→ 接触感染の可能性を
回避するのが困難
→ 音声認識機能の取込み
↓
非接触での臨床診断を実施

院内クラウド

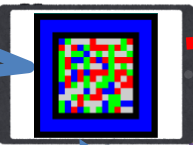
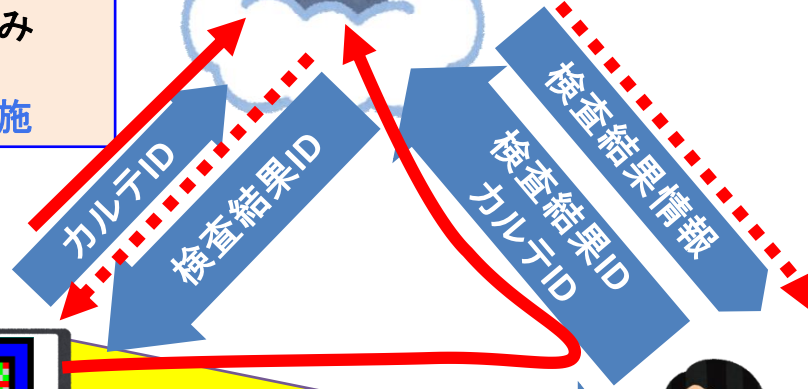
クラウドへの情報送信 →
クラウドからの情報受信 ←

スマートグラス上での表示情報

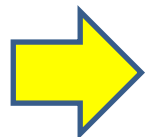
日付	2020/7/6	体温(°C)	36.6
血圧 上(mmHg)	126	白血球($10^2/\mu\text{l}$)	40
血圧 下(mmHg)	75	赤血球($10^4/\mu\text{l}$)	435

医師はクラウドアクセス用の
無線インタフェースと患者アクセス
の可視光通信インタフェースを併用。

検査結果ID
カルテID

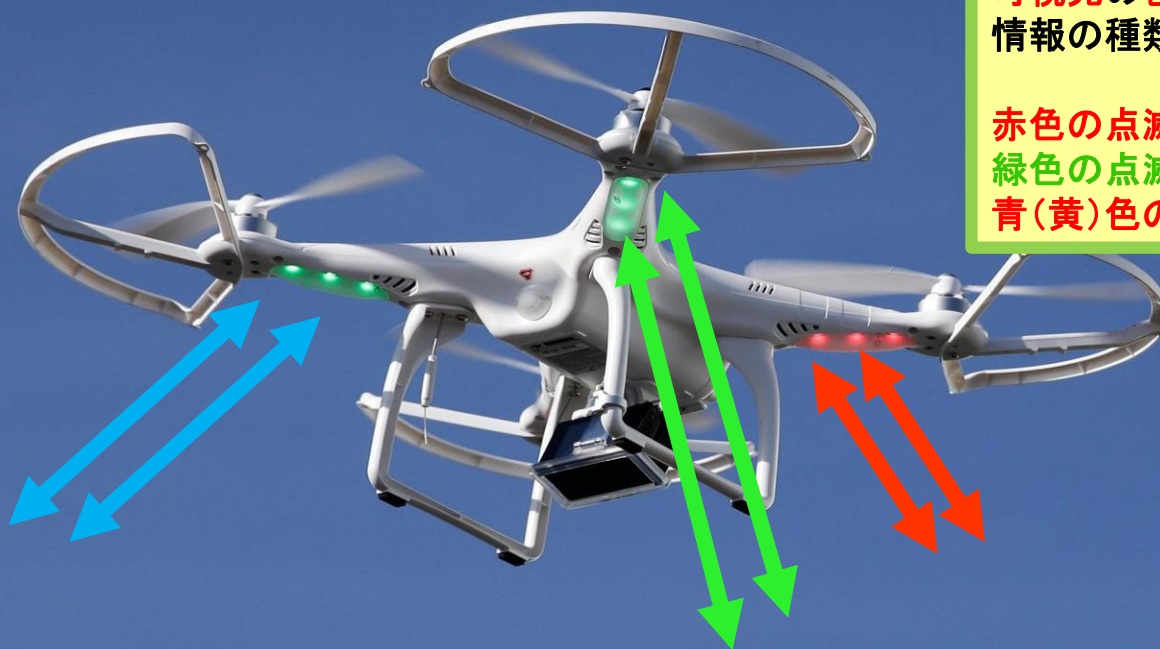


今日の検査の
結果を見せて



秘匿情報の安全な送受信が可能

可視光通信とドローンの融合



可視光の色種別で、
情報の種類を分離する。

赤色の点滅:緊急情報/個人確認
緑色の点滅:気象情報
青(黄)色の点滅:ニュース情報

可視光通信とドローンの融合による安否確認サービス
⇒暗号化された遠隔制御等のセキュリティサービス

⇒自動で飛翔するドローンが人間の生活空間内に入る。

ドローンの適用例

大規模災害時,通信手段が制限されている(殆どのインフラを構成する無線設備が損壊)場合に,
ドローンを用いた迅速な情報収集(可視光通信)



- 今後の課題: ①高度500フィート(約152m)以下
②日中での通信に限る
③飛行速度は時速160km以下

⇒ドローン用航空管制システムが必要

商用化されたサービス例（1）

博物館・美術館での情報提供アシスト



展示品毎に詳細情報を提供し、来賓者は興味のある項目に対して更に深堀をすることで、関連情報の取得が可能となる。
顧客満足度の向上を目指したサービスの改善が行いやすく、マーケティングにも活用可能である。

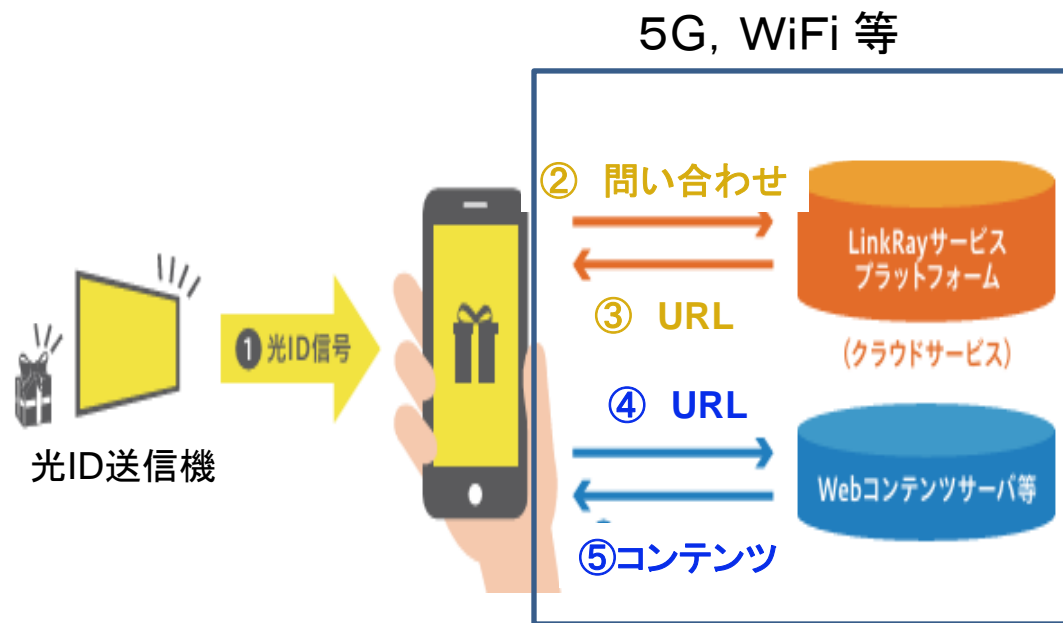
商用化されたサービス例（2）

集客・販売効果をも高める広告手段に活用




- ユーザの購買意欲を増加させる手段に活用
- 顧客毎にカスタマイズされた情報配信も可能
- 実店舗に加え、オンライン店舗の集客にも利用可能

商用化されたハイブリッドサービス例（3）



- ① スマートフォン搭載のイメージセンサで光ID信号を読み取る。
- ② その後、IDをLinkRayサービスプラットフォームに照会
- ③ 当該のURLを受信する。
- ④ 上記のURLを用いてWebサーバにアクセスし、コンテンツを取得する。

今後の可視光通信の実用化により、 発展が期待できる科学・工学の連携

- ① 電子・情報工学と臨床医学との連携
電子工学・心理学・(脳)生理学・医療工学
(癒し通信, 遠隔診断, 遠隔手術等の遠隔医療)
 - ② 交通・環境工学とビジネス社会への浸透
自動運転, 車々間通信, センサ-環境モニタリング,
WiFi と連携したセキュアな商業利用環境の整備
- 
- ③ ①/②の付加価値を高める高度情報通信
高度情報通信(5G, 6G, NTN等)とAIの連携
(可視光通信と光電融合, 高度暗号, ロボット技術との融合)

ご清聴を，どうも有難うございました。

皆さんの積極的な質問を期待します。

宮保憲治

E-Mail: miyaho@mail.dendai.ac.jp

(旧) 先端ネットワーク技術研究室