

## 終了報告書（平成 21 年度終了）

次世代照明を活用した創発型コンテキスト・サービスの研究開発（082303006）

### 研究代表者

黒川裕之（50518107）（株）アウトスタンディングテクノロジー（6989684554）

### 研究分担者

古田尚之（30518105）（株）アウトスタンディングテクノロジー（6989684554）通期

繁定和哉（00518110）（株）アウトスタンディングテクノロジー（6989684554）通期

松田俊介（60540531）（株）エクスペリエンス総合研究所（6000204091）通期

**研究期間** 平成 20 年度～平成 21 年度

### 年度別研究費一覧（直接経費のみ、消費税を含む）

	予算要求額	実績額
平成 20 年度	9,500 千円	9,500 千円
平成 21 年度	7,685 千円	7,685 千円
合 計	17,185 千円	17,185 千円

### 府省共通研究開発管理システム（e-Rad）登録情報

○課題 ID 08081422。

○研究分野

主分野：0203

副分野：① 0204                      ② 0299                      ③ 0721

○研究キーワード

①A010606 光学的信号処理 ②A011812 通信方式 ③B020200 通信デバイス・回路

④B020300 伝送方式・機器 ⑤B020501 光通信用部品・素子, 実装技術

## **本研究開発の概要（要約）**

次世代照明を用いた安全・安心や地域振興に貢献できる創発型コンテキスト・サービスの研究。

(a) フュージョン型半導体照明モジュールの開発

センサー機能を持つ照明モジュールと制御方法を及び無線通信機能を持つモジュール開発。

(b) 照明間コミュニケーションをベースとした新インフラを実現する通信方式の確立

照明とセンサーの融合技術に関する研究

電灯線多重化に関する研究

(c) コンテキスト型メッセージングシステムの開発

携帯電話と次世代照明間において、コンテキスト情報とメッセージの交換方式の開発

(d) 創発型ビジネスモデルの実証

次世代照明の価値評価（広告配信能力、危機回避能力など）の実施

委員会による推進方式の検討

照明を利用した創発型コンテキスト・サービスの可能性評価

## **Abstract**

Studies on emergent type context service that can contribute to safety and security and regional improvements using the advanced lighting

(a) Development of a fusion type semiconductor lighting module

Development of a lighting module with the sensor functions and control method, as well as development of a module with the radio communication functions

(b) Establishment of a communication system that achieves new infrastructure based on the Digital Addressable Lighting Interface.

Studies on the fusion technology of lighting and sensors

Studies on multiplexed electric lines

(c) Development of a context-based messaging system

Development of context information and message exchange system between mobile phones and advanced lighting

(d) Demonstration of emergent type business model

Implementation of value assessment (advertisement delivery capabilities, abilities to prevent crisis, etc.) of the advanced lighting

Investigation of the promotion system by a committee

Potential assessment of emergent type context service utilizing lighting

## **研究代表者の連絡先**

株式会社アウトスタンディングテクノロジー, 取締役, 黒川裕之, 104-0013, 東京都中央区京橋1丁目14番5号土屋ビル2階, 電話 03-5524-5727, FAX 03-5524-5737, E-mail [h\\_kurokawa@ot-c.co.jp](mailto:h_kurokawa@ot-c.co.jp)

## 1. 研究目標

フージョン型半導体照明モジュールの開発

カメラ、マイク、BT、可視光通信などの機能を照明モジュールへ実装するための技術開発。  
DC駆動LED照明を試作し実証試験を行う。

- ② 照明間コミュニケーションをベースとした新インフラを実現する通信方式の確立  
照明間無線アドホック通信技術と照明間電力線通信の高速化と多重利用技術の開発  
プラットフォームを試作し実証試験を行う。
- ③ メッセージングシステムの開発  
携帯電話と次世代照明間でのメッセージ交換方式の開発
- ④ 創発型ビジネスモデルの実証  
次世代照明の価値の評価（広告配信能力、危機回避能力など）の実施

## 2. 研究内容

### 2. 1. 平成20年度実施内容

#### 2. 1. 1. フージョン型半導体照明モジュールの開発

カメラ、マイク、BT、可視光通信などの機能を照明モジュールへ実装するための技術開発における要素技術のなかで新規な要素のうち以下の物を試作、開発した。

直流電力線通信が可能な専用電力線ケーブル 20A の電流容量のある専用ケーブルを設計した。

また、同時に電源と信号とを分離するパッシブ型スプリッタを開発した。

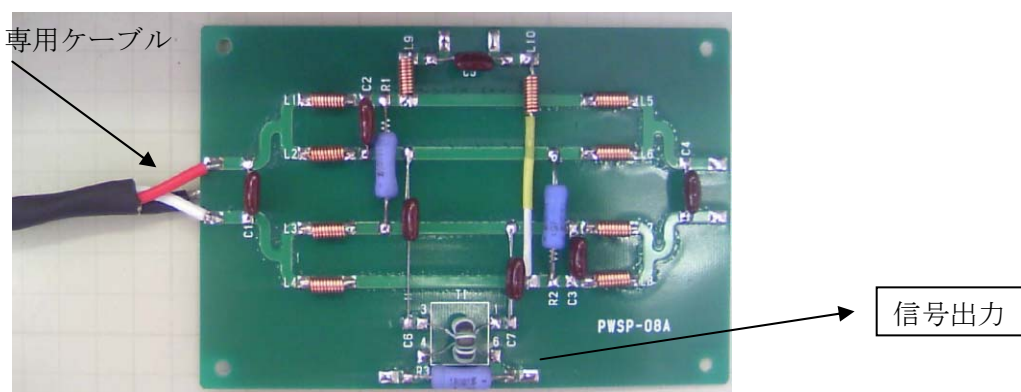


図 2-1 専用DC給電ケーブルと信号スプリッタ

#### 2. 1. 2. 可視光通信に重要な高感度受光アクセプタ (MPA) の開発



約 100 倍の集光比を  
実現

低静電容量をめざ  
してF特を維持

図 2-2 高感度超高速ミラーアクセプタ

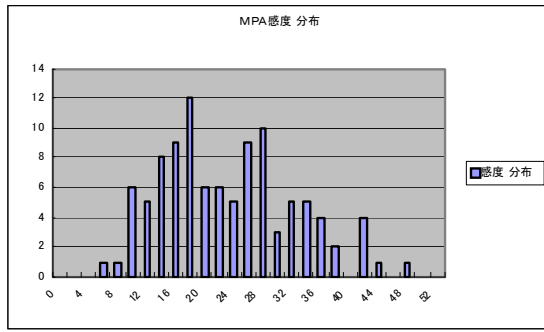


図 2-3 MPA約100個の感度ばらつきヒストグラム

### 2. 1. 3. 光通信に重要な LNA、及び高速変調回路モジュール

灯具と変調回路を分離出来る独自回路を考案した。

ミラー一体型アクセプタを試作しその性能を実証するためのローノイズ Amp と

共に限界性能を向上する目的から屋外での通信実験を重ねた。

低照度、高感度受光システムの実証試験を兼ねて空間長距離テストを行った。

システム構成概要



図 2-4

### 2. 1. 4. ネットワーク機器ブロックシステム構成図

2 KWの直流分電盤にDC PLC信号を重畳させネットワークを構成

灯具専用 PLCを開発

可視光通信用モデムを灯具側に搭載

電力制御盤を構想検討し、回路図、ブロック図を作成とともに、予備実験機材を購入し

制御盤の組立を始めた。

制御盤仕様概要

入力電力 単層 AC 100V

出力電力 DC 53V / 20A × 2ch

信号重畳 OFDMモデム、低速FSKモデム、~100MHz信号帯域全般

#### 慶應キャンパス照明系(構想案)

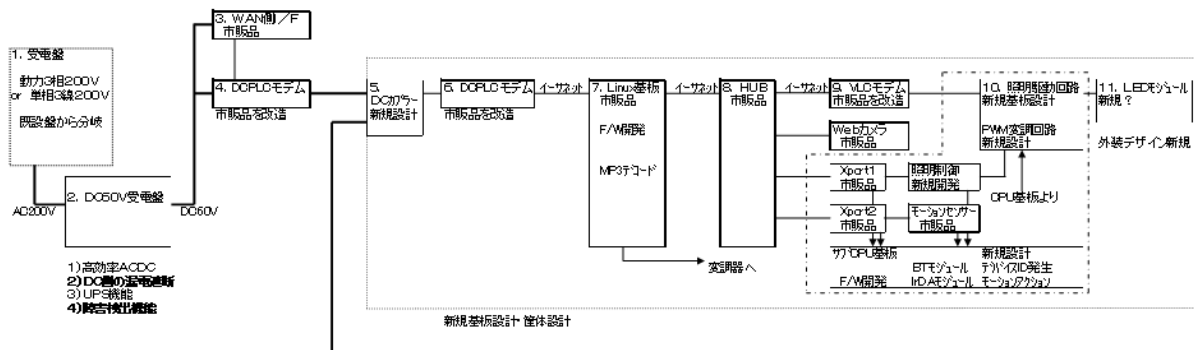


図 2-5

## 2. 1. 5. 屋外実験の様子



図 2-6 日中屋外環境下で 4315m もの長距離通信に成功した。

試作したMPAの実力を調査する目的で図 2-4 の様な市販のアマチュア無線機器を使ったシステムを試作し光学系を手作りした機器を使って空間長距離通信でLED通信の可能性を示す実験を千葉県印旛沼湖畔で実験を行った。

2008年8月	150m	
2008年9月	450m	
2008年10月	1412m	
2008年11月	4315m	肉眼で確認が不可能な光の信号まで光学的な処理で受信を達成。
2009年9月	13034m	千葉県東金市にて達成。(平成21年度に更新)

## 2. 1. 6. 照明間コミュニケーションをベースとした新インフラを実現する通信方式の確立

高速化無線アドホック通信技術と電力線通信による照明間通信で構成する目標に対し高速電力線通信が可能なモデム方式の選定を完了しこの電力線通信と電力を供給する制御盤の設計、製作を行い、デバックを開始した。

重畳周波数バンドプランをVLC標準化委員会へ提出した。

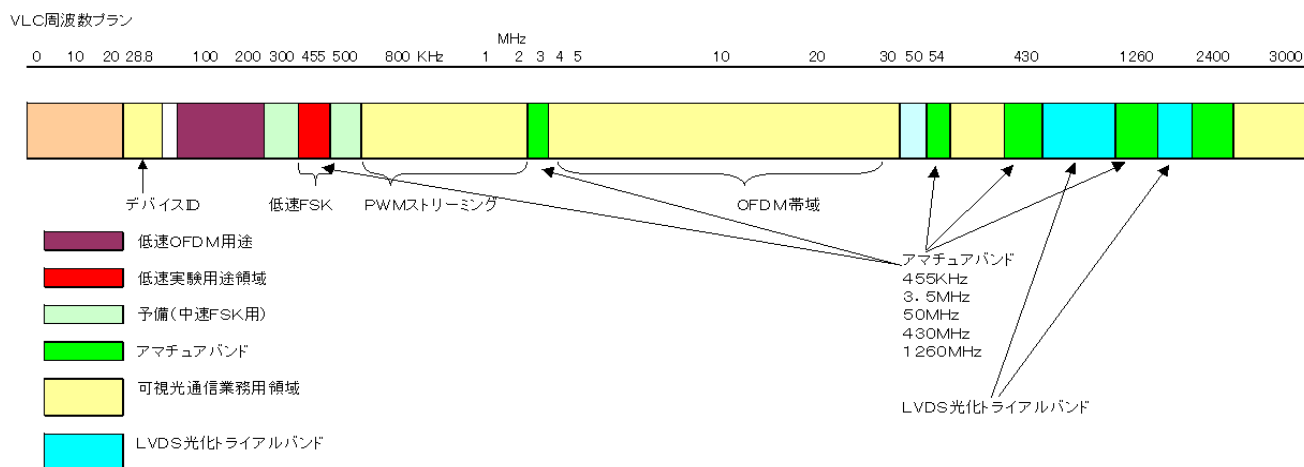


図 2-7

## 2. 1. 7. ネットワーク対応した可視光通信モジュールを開発



図 2-8

LAN ネットワークから制御可能な LED 可視光通信モジュールを開発

仕様概要

受光素子 帯域 405nm～860nm 視野角±10°

発光素子 LED 最大 500mA 駆動

変調方式 FET によるドレイン変調 FPGA によりプログラム

プロトコル ASK,FSK,PPM,ベースバンド

NCO 搭載 DC～66.667MHz

イーサネット Xport

電源 DC12V

サブキャリアー信号を FPGA 内に展開した NCO（数値制御発信器）により DC～66.667MHz まで自在に作成できるハードウェアを開発し LED 特性、MPA 特性の最適化を図りながら重畳周波数の有効利用を図りバンドプランに柔軟に対応可能なサブキャリアー可変型 LED 変調回路を構成し今後の研究用プラットフォームを作ることが出来た。

## 2. 1. 8. コンテキスト型メッセージングシステムの開発

次世代照明とのコンテキスト情報、メッセージ交換方式の開発に先きだち識者による勉強会、検討会を開始しブレインストーミングなどから要望、アイデア、現状の問題点を洗い出す作業を行った。別途研究分担者成果報告書参照

## 2. 1. 9. 創発型ビジネスモデルの実証

次世代照明の価値を高めるビジネスモデル提案は、勉強会、検討会の報告を元に次年度の活動テーマとした。別途研究分担者成果報告書参照

## 2. 2. 実施 2 年目以降への継続内容に関する予備調査

### 2. 2. 1. フージョン型半導体照明モジュールの開発

継続して次世代照明としての実証モジュールを 4 セット製作し設置する検討をおこなった。ネットワーク対応した可視光通信モジュールを開発出来たので、実際にネットワークを構築し MPA の性能を照明システムとして利用した場合の事前検討を行った。

### 2. 2. 2. 照明間コミュニケーションをベースとした新インフラを実現する通信方式の確立

可視光通信用高感度受光素子の改良が順調に進み空間長距離通信も街灯照明間通信に十分対応できる距離まで向上した。電波を使った無線アドホック通信網を可視光に代替出来るところまで近づき次年度は可視光による通信網構築の可能性を研究する。電力線通信と電力を供給する制御盤と照明機器を接続評価する。

### 2. 2. 3. コンテキスト型メッセージングシステムの開発

コンテキスト情報、メッセージの交換方式の開発を行う。設置した制御盤内に設置したコンピュータを擬似的なネットワークと見立て、照明間通信を行う。

### 2. 2. 4. 創発型ビジネスモデルの実証

ビジネスモデル提案を行い必要なサービスの研究や実際に設置候補地の検討を行う。また、安心・安全や地域振興に貢献できるような創発型コンテキスト・サービスの研究を行う。

2. 3. 平成21年度実証内容

2. 3. 1. 2kVA 直流・情報制御盤の開発

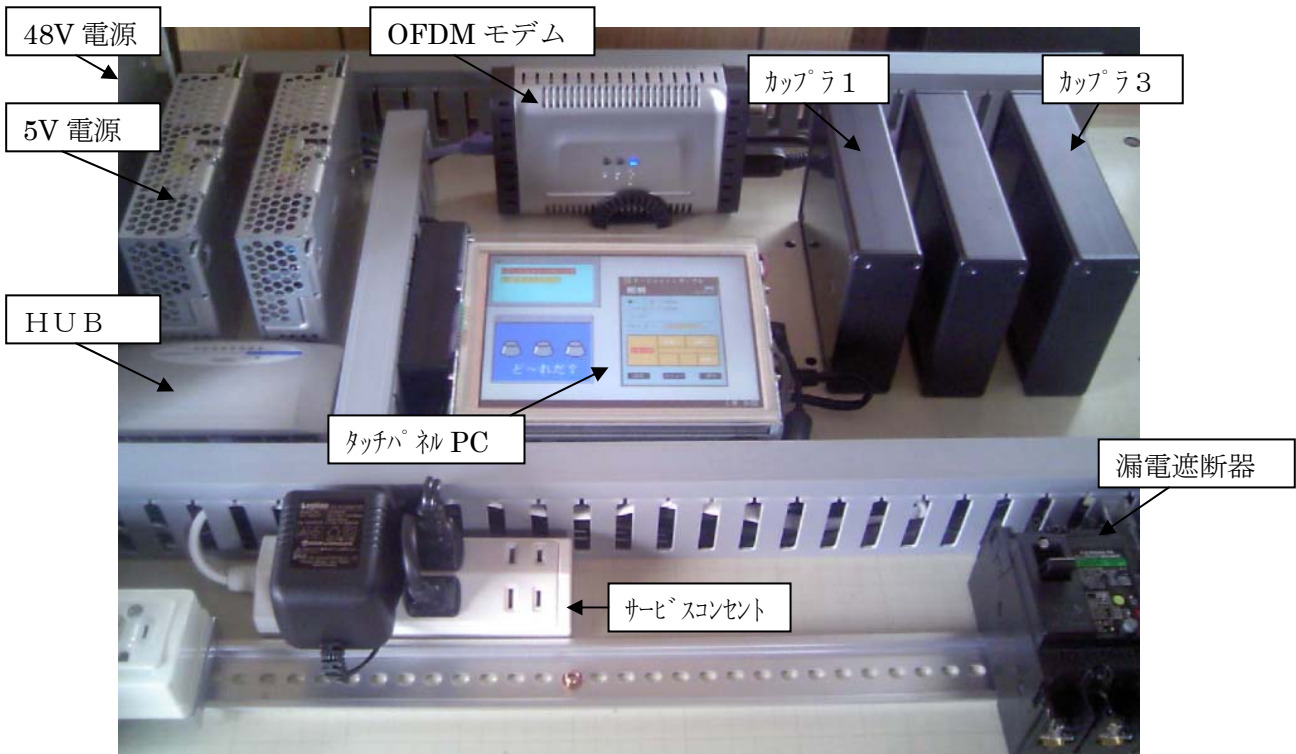


図 2-9 専用DC給電制御盤と信号スプリッタ (カップラ)

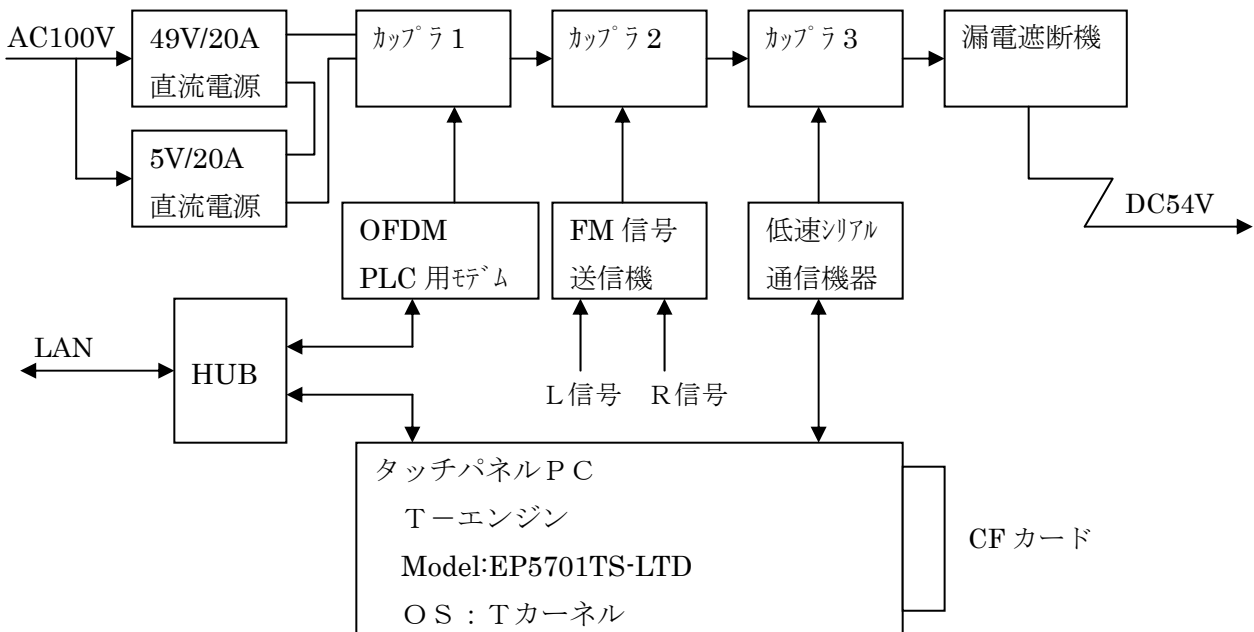


図 2-10 制御盤ブロック図

実施結果：FM 信号 84MHz、インターネット用 4～34MHz、2.1MHz、の信号源を DC54V に合成し伝送することに成功した。



## 2. 3. 2. 高輝度 LED 照明

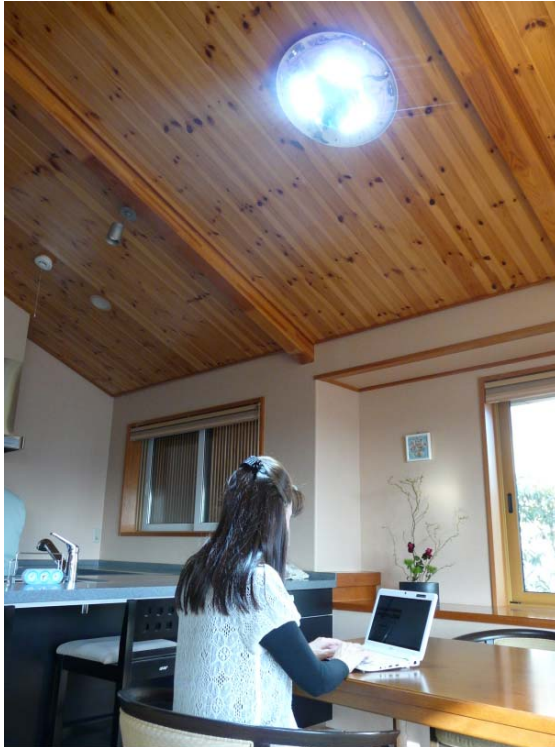


図 2-11 モデルハウス内に設置



図 2-12 灯具 (拡大)

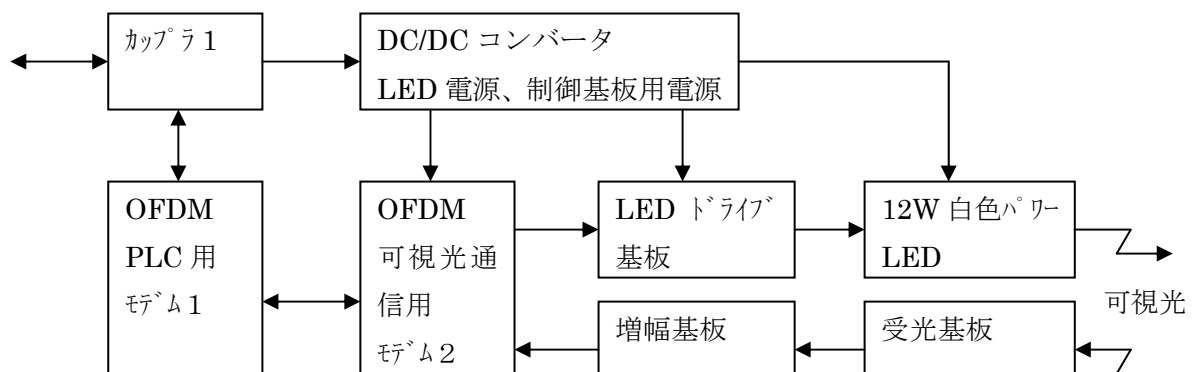


図 2-13 灯具ブロック図

### 灯具仕様

- LED 12W 白色高輝度 LED×6 灯 (可視光通信用)
- 3.3W 白色 LED×3×3 モジュール (輝度補間用)
- 合計 81.9W

実施結果：照明機能を最優先し、高輝度 LED の選定と一般的な照度を確保出来た。  
 当初の目標としていた街路灯への実装には至らなかったが、体積、照度は、  
 12W 級パワー白色 LED を使うことで十分可能だと考えられる。  
 インターネット接続も実現し、照明間通信も可能になった。

2. 3. 3. モバイル側可視光通信端末



図 2-14 モバイル端末正面

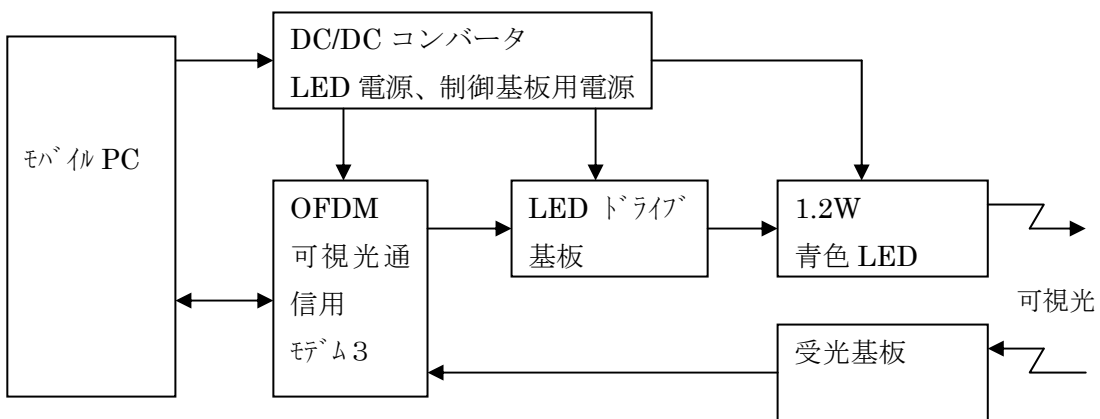


図 2-15 モバイル側ブロック図

灯具仕様

LED 700mW 青色高速 LED×16 灯 (可視光アップリンク通信用)

受光素子 LEC-RP ×9 素子アレー (可視光ダウンリンク用)



図 2-16 高速青色 LED 基板

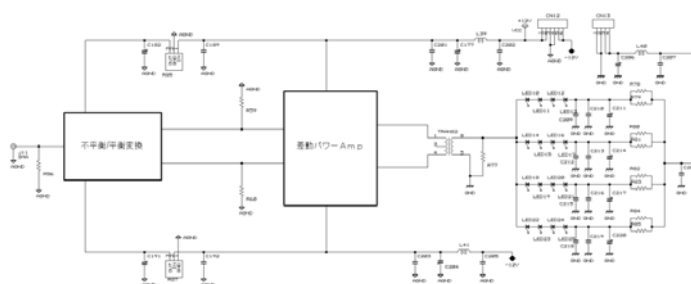


図 2-17 LEDドライバー基板ブロック図

## 2. 3. 4. 12W 高速白色高輝度パワーLED

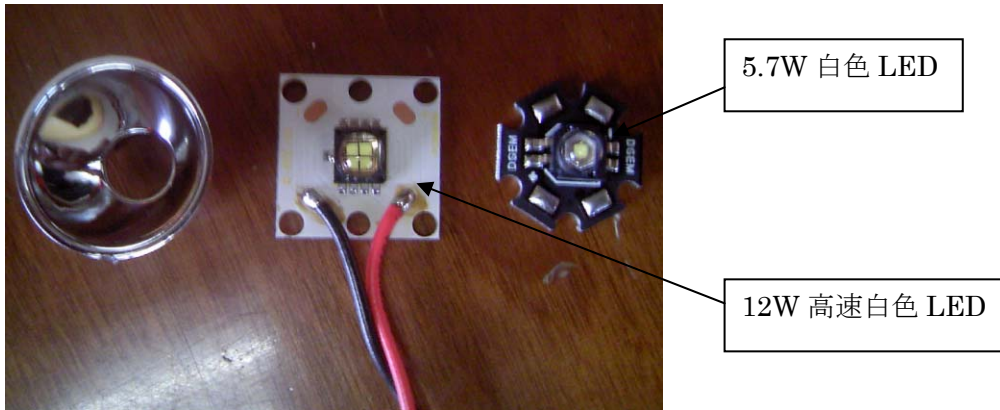


図 2-18 12W パワーLED

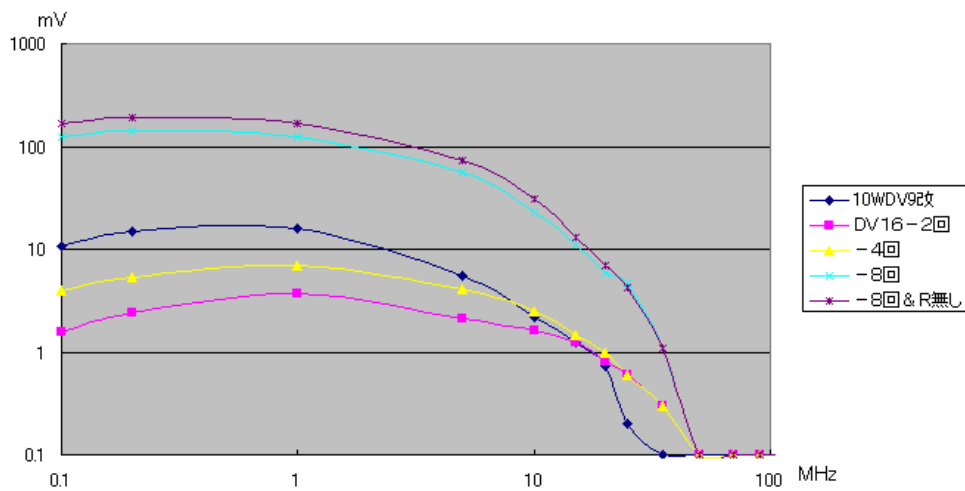


図 2-19 12W パワーLED 周波数特性

実施結果：進歩著しい白色パワーLED の評価を行った。

当初、5.7W 品を最有力候補としてテストしていたが、[レボックス株式会社](#)より提供頂いた 12W 品 (図 2-10 中央) を評価したところ、高速性を備えた高輝度白色 LED としての性能を確認し高周波応答は、図 2-11 の通りでインターネット用 OFDM モデム信号 (4 MHz 程度) を十分重畳出来ることが判った。高周波特性をイコライジングする帯域補償を行うことで、十分な輝度と高速性を両立させることに成功した。

当初計画していた屋外街灯での実施は、開発した直流制御盤の漏電遮断能力が未完成だった点とケーブルの仕様上屋外での敷設に無理が有ることが判明し 54V という高い電圧であることをふまえ、ケーブル開発元との協議の末、試験的な屋外敷設とはいえ感電事故防止を最優先し屋外の敷地を越えての敷設は危険と判断し同一敷地内の屋内に限定して実証試験に修正し実施した。しかし当初の目標である直流電力と高速情報通信、放送周波数信号伝送の同時伝送を実現し且つ、高輝度 LED から可視光を使った無線通信システムを提供する事が可能となった。また、灯具側にも LAN と同じ I/F を構築出来たため既存のインターネット LAN 機器をほぼ接続することが出来るフュージョン型半導体照明モジュールの原型を試作できた。

### 2. 3. 5. 可視光通信用 FM 送受信モジュール

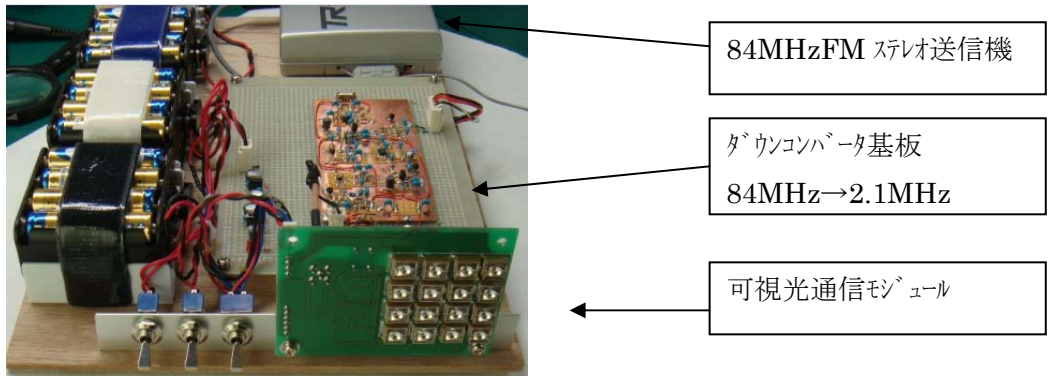


図 2-20 2.1MHzFM ステレオ送信モジュール

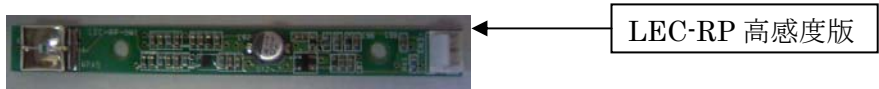


図 2-21 高感度受光モジュール

実施結果：昨年度報告のバンドプランを元に、インターネット用 OFDM 信号と共存する為に周波数シフトを行った。84MHz→2.1MHz に帯域シフトを行い、OFDM 信号帯域との共存と、可視光通信時の性能を大幅に向上させた。

街灯間の平均距離 40m を十分カバーする到達距離を実証しレンズなどの光学系をいっさい使わない通信（狭帯域に限定）の可能性を示せた。

本技術成果を利用した水中通信システムへの応用提案が沖縄県にある [株式会社国建システム](#) 様から打診があり本研究の成果物のなかで FM 通信モジュールのユニットを一部提供した。

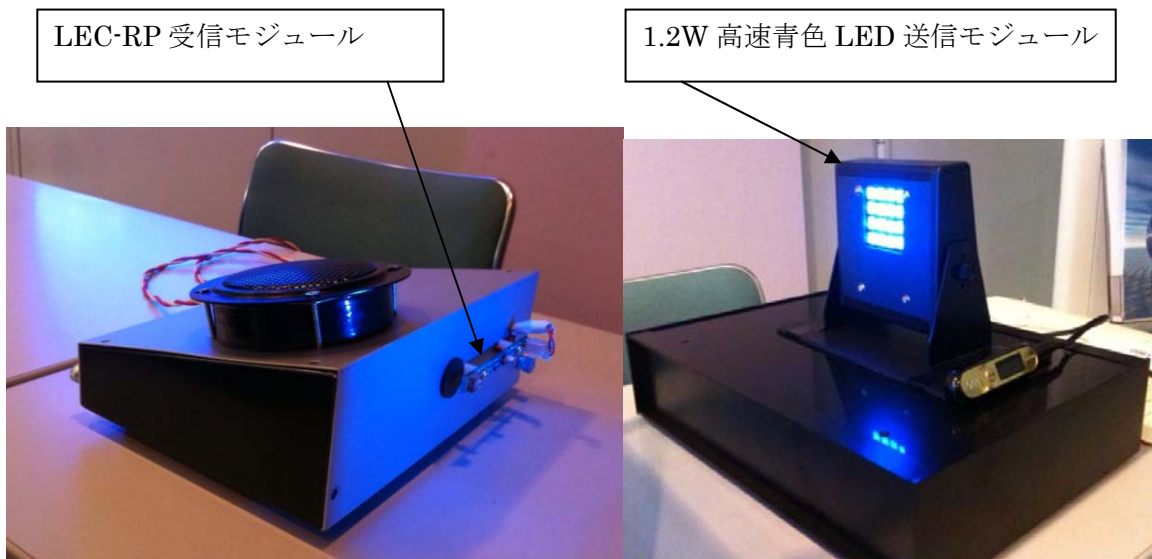


図 2-22 株式会社国建システムの水中通信用実験機

## 2. 4. プラットフォームの性能評価

### 2. 4. 1. 開発した高速通信可能なDC電力ケーブル周波数特性

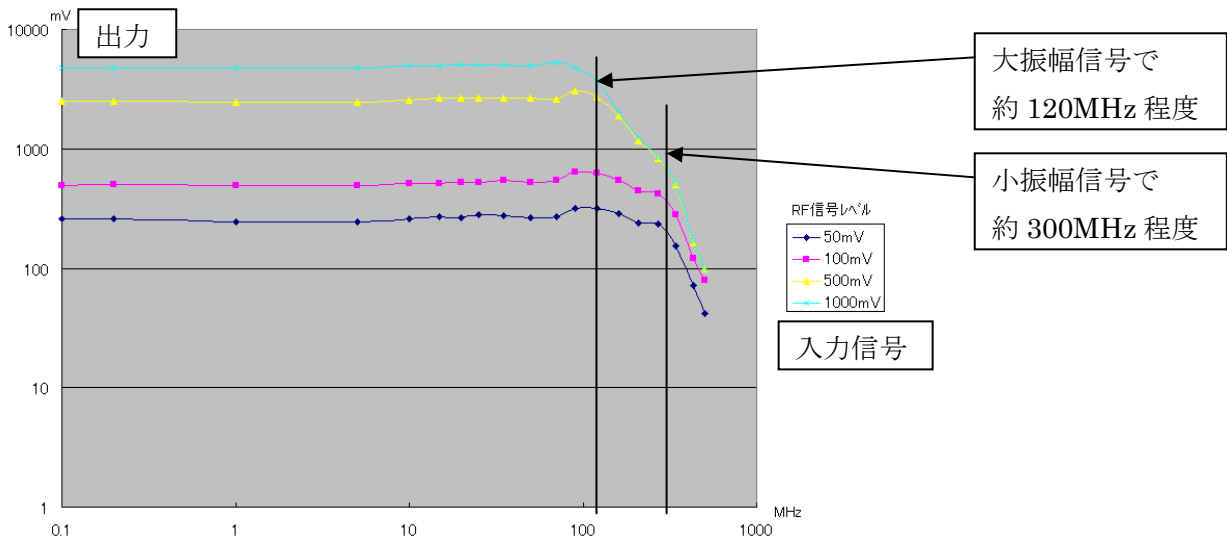


図 2-23 ケーブル特性 (増幅回路含む)

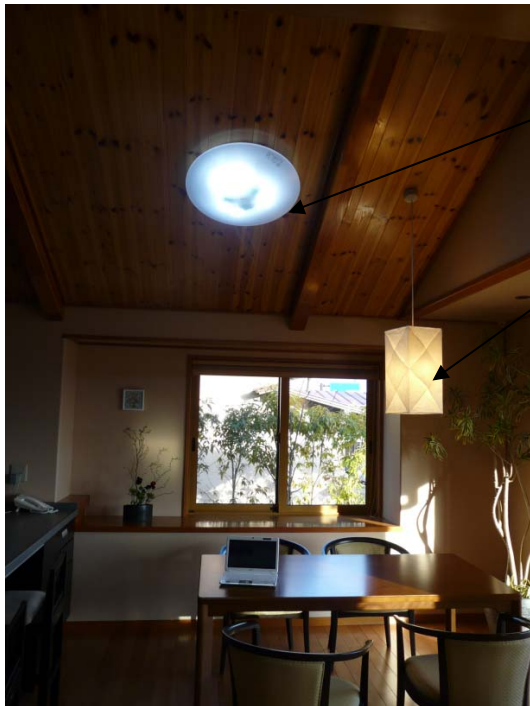


図 2-24 照明として使用



図 2-25 制御 PC サンプル画面

実証例：白色パワーLEDに通信機能を搭載することが出来た。

照明としての機能も十分な明るさを確保した。

可視光による無線LANインターネットシステムを構築できた。

直流制御盤からコントロール可能なT-カーネル搭載タッチパネルPCシステムを構築できた。

## 2. 5. プラットフォームの詳細を提示

街灯間通信、街灯一端末間通信からなるプラットフォームの詳細を提示

### 2. 5. 1. 変調方式（ベースバンド QAM など）

可視光通信に適した通信方式として、同一のデータが続く（” 111111” や” 000000”）ことをさけて、高速性（最初の目標は 4Mbps）を実現するために、ベースバンド通信では 4-PPM やマンチェスタ符号化を採用すべきである。変調方式では QAM、OFDM 変調を採用すべきであるが、この場合には変調度を 100%変調度では駆動回路は正常動作しても LED は追従しないことがあるので、25-50%の変調度として LED の追従性を確保することは重要である

### 2. 5. 2. 変調周波数帯域と分光帯域

無線通信ではベースバンド通信もできないといってよいが、可視光通信では 2 種類の周波数帯域が使用できるところが、無線通信と異なるところである。無線通信と同様の周波数の扱いとカラーに反映される分光帯域である。赤（中心波長：470nm）、緑（中心波長：627nm）、青（中心波長：530nm）の LED を用いることで帯域を 3 倍に拡張したのと同じの効果をうることができる。受診側に光学フィルターを交換できる機能が必要である。無線と同様に可視光通信においても周波数の割り当てプランは必要である。

ベースバンド符号化は広い周波数帯域が必要なので、QAM 変調や OFDM 変調を用いると周波数効率が向上する。照明のちらつきを重視する場合には、パケットとパケットのインターバルやコンテンツとコンテンツのインターバルを 8msec 以内に抑えることが必要である。

### 2. 5. 3. 空間分解能

無線通信に比べて大きな差があるのが空間分解能である。無線の場合い異方性を実現するのは、高価なアンテナを用いる必要があるが、可視光通信ではレンズやミラー、プリズムなどの光学系を用いることで安価に異方性を実現できる。商店街の看板は 6m ほどの高さに設置されることが多いが、隣り合う看板は 1.5m ということが多い。無線では等方的なため、地上までの 6m を重視すれば、隣の看板との分解能が得られなくなる。光学系ではこのことに配慮して、横方向の空間分解能を重視した設計にすべきである。

### 2. 5. 4. IrSimple

ベースバンド通信のプロトコルとして重要なものに IrSimple がある。ドコモやシャープが中心となってまとめたプロトコルで携帯電話同士で写真を単方向中心で送るアプリケーションのために設計された。可視光通信では照明の光は強く、端末の光は弱いという非対称な光強度になることが多いので、単方向のアプリケーションが物理的に需要になる。パケットを要求に基づいて再送するのではなく、送信側では繰り返し送信し、受信側では複数回の受信でパケットのロスを補充する体系を用意する。そのためにパケットサイズは移動に影響されにくいように 20msec 以内にするのが適切である。IrSimple では 2 Kbytes 程度のパケットを用いているので、1 個のパケットは 4msec で送信を終えることができるので、要求に合致している。

### 2. 5. 5. TCP/IP

双方向のプロトコルでもっとも重要なものは、インターネットプロトコル TCP/IP である。可視光通信 TCP/IP を QAM や OFDM で実現する試みがなされているが、今日では全てのメディアに TCP/IP を乗せる動きにあり、可視光通信でもこれを実現できなければ、通信メディアとして一定の評価を受けることができないと思われる。シリアル通信プロトコルや USB 通信プロトコルも双方向通信として重要であるが TCP/IP で代替できることが多いと考えていい。

### 2. 5. 6. 街灯への実装

商店街の街灯、看板、あるいは一般道路の街灯を可視光通信や他の通信たとえば UIHF 帯域の IC タグを実

装するスペースはありそうである。水銀灯の 80W 街灯は 24 粒の LED で代替できる。消費電力はほぼ 1/3 である。メタルハライドランプの 150W 街灯は 15W 程度の 12 粒 LED で置換することができる。

消費電力は 1/10 である。30W 蛍光灯からなる看板照明はほぼ 30W の 32 粒 LED で置換できる。消費電力は約 1/2 である。ほぼ同じ発光効率 60-100lm/W の蛍光灯に比べても実際には 1/2 で十分であるということは、ランプの発熱を逃がすために多くの空間を持つように設計された灯具は LED 化されたときには通信デバイスを実装するだけの余地があることが容易に推測できる。

### **2. 5. 7. AR 端末 携帯電話**

携帯電話が可視光通信の将来の受信装置であって欲しいというのは、可視光通信に関わるものの願いである。二つの方向がありうると考えているが、一つの方法は高フレームレートのカメラを用いて 100-1000bps くらいの比較的低速の通信を用いるものである。もうひとつはカメラで信号のある光源を探索し、光路をイメージセンサ（カメラ）とフォトダイオード（可視光通信信号受信）へ分岐してイメージセンサはカメラ画像を撮影、フォトダイオードは可視光通信を行うということで高速性であって空間分解能を実現することができる。これによって実際のカメラ画像にその場所の情報を重畳できるので、AR 端末（拡張仮想現実）を構成できる。

### **2. 5. 8. その他の端末への実装**

デジタルカメラ、UMPC、PND、ゲーム機などが AR 機能を付加して有用になるデバイスであると考えられる。実装方法は携帯電話を利用したケースと同等である。

### **2. 5. 9. 街灯間通信**

街灯が情報基地になったときに、WAN や LAN と接続される必要がある。Ethernet による通信は工事費が高い、携帯電話ネットワークではキャリアへの支払いが高い、地域 WiMAX はまだ実装が始まったばかりでコスト、工事等が明確でないものの携帯キャリア程の支払いは発生しないと思われるので、可能性としては有望である。街灯間で可視光通信ができれば、ネットワークは私設通信網となって月々の支払いが軽減した LAN を構成できる。

### **2. 5. 10. コンテキスト情報の街灯への実装方法の提示**

情報として、ストリーミング、一定サイズのダウンロード、ID（主として PI）を検討しており、実装方法を提示する。

### **2. 5. 11. PI 基盤**

街灯通信基地という視点でみた場合に最も基本的なコンテキスト情報は PI (Place Identifier) であろう。現在街灯は自治体が多くを整備し、それは管理台帳で管理されている。東京都北区では A3205 や D3213 のような管理番号で W 数とシリアル番号で管理している。時間の経過とともにその番号は番号だけでは、どこに存在するものか分からなくなっていく。東京電力は契約との差異を見る検査員が巡回しているが、東京電力は北区とは異なる管理番号を持っている。両者は時折照合をして混乱に陥ることがあるという。ユニークで場所とリンクしたような体系であれば、このような 2 重性に基づく混乱を避けることができる。また通信基地が多くのサービスを含むようになると、その区分のためにも PI 基盤が必要となる。PI 基盤によって実空間の通信基地は情報空間に存在するものと、仮想的に存在するものをリンクすることができる。

### **2. 5. 12. 放送型コンテンツ**

商店街では 1 日に何度もスピーカで案内が放送されている。これまでのことを考えると放送形式は、編集不能のコンテンツであった。しかし AVCHD カメラの登場やブルーレイディスクの登場で、メタデータとし

て編集情報を含み、映像・音声ストリームのほかに、テロップ、グラフィックを含むような放送型コンテンツが使用できるようになった。メタデータを編集すれば、放送型コンテンツでもテロップやコンテンツ尺の変更もできるようになった。これは可視光通信で単方向通信を行う場合に大変有効である。

誰もが携帯電話によって、情報を発信できる今日では、顧客の情報発信を携帯電話に任せて商店街は従来通りの一方的な放送スタイルでも有効な情報発信手段となる。

### **2. 5. 13. WEB 型コンテンツ**

携帯電話が音声の枠から出て、情報の発信に使用されるモデルになったことで、パン屋の従業員が携帯でパンを撮影し、添付メールで多少のポップをいれて、商店街所定のメールアドレスへ送信すると、自動的にコンテキスト・コンテンツを生成して街灯通信基地から送信することは可能である。WEB コンテンツは AVCHD より多彩なデータ形式を含むので、多数のファイルからなるフォルダーとして提供されることになる。

### **2. 5. 14. 創発型ビジネスモデルの具体案の提示**

街灯に実装したモデルで、創発型ビジネスモデルを組み立てる

電気事業連合会によれば、全国で公衆街灯は 1100 万基あるとされ、これらが消費する電力は 77 億 kWh である。水銀灯換算で 65%もの省エネとなり 924 億円の年間電気代は 600 億円も減少する。3 年に 1 度行っていた水銀灯の交換は 10 年に 1 度の作業となる。1 基の交換には 3.6 万円かかるので、全国では 1320 億円の費用が必要だが 10 年に 1 度になると 924 億円減少して 396 億円に減少することが予測される。経費は 1524 億円減少することが期待できる。これは自治体にとっては朗報であるが、産業的、雇用的には大きな問題を提示する。インターネットが一部で大きな価格破壊を起こしながら、一方で新たなビジネス機会を創造したように、LED 照明もまた新たなビジネス機会をもたらすものであって欲しい。

これが今回の研究テーマの根幹的な認識である。街灯基地が実現すると、街灯基地を用いてどんなアプリケーションが生まれてくるか、予想できないほどの創発型コンテキストサービスを生み出しうるのではないか。

### **2. 5. 15. 照明インフラの通信活用の意義**

自治体は道路管理責任者としての管理責任の視点や防犯の観点から街灯を整備している。LED 照明とすることで、高速な変調が可能となり、街灯を通信基地として活用する機会が生まれている。街灯は道路沿いに 30m 間隔で設置されており、これを見守りや広告あるいはセンサ基地として利用すれば、電力会社の電柱のようにこれでもかというばかりに張り巡らされたケーブルに象徴されるような通信利用に進むことは可能である。

委員会のメンバーの一人が東京都北区のまちづくりに関わっているところから、北区をモデルにした検討を行ってみた。担当者によれば、街灯の LED 化は地球温暖化に貢献すること、交換作業を減らすことができ、突然の球切れで夜間の交換作業でなく、昼間に計画的に交換作業を行うことができるので、どうしても推進したい。これまでの球の代わりに LED を装備するという考えに立ち推進することとしている。平成 21 年度に 7600 万円の予算を組み、650 基を交換した。おそらく LED 化では日本一 LED 化を行った自治体ではないかということである。

従前にミニ AM ラジオを道路沿いに設置したことがあるが、エリアがかぶって案内に混乱を招く結果になったものの、その有用性は認められている。通信基地として、赤外線通信、可視光通信、WiFi 通信、UHF 帯 IC タグなどのインフラ側の設備になるのであれば、自治体は応援する価値がある。

その際に自治体へインフラの費用として、少しでも支払いをしていただければ自治体としては満足する。

照明インフラを通信にも使おうとするとき、通信として利用する人の料金はどう定めたらいいのだろうか。この項ではこのことを記述する。



## 2. 5. 16. 総括原価方式と長期増分費用方式

電力会社の電柱をケーブル会社はケーブルの架設に用いる時の料金として考えるのか、あるいは通信会社の接続料金として考えるかという選択肢があるが、非常に多くのアプリケーションが共存しうる基地局になるであろうから、接続料金的に考えることとした。自治体側の委員はケーブル架設の占有使用的料金であっても、通信基地整備を自治体が了承する契機にはなるが、積極的に自治体が取り組めるようにするためには接続料金的であることが大事であるとの指摘があった。

端末自由化や新電電の参入によって接続料金の算出が始まった。当初用いられたのは総括原価方式であって、単純には設備投資の原価償却とその補修費、運営費などから算出方式であり、接続料金の多寡を考えたものではなかった。接続料は長距離通信事業者にとって支出の大きな部分であった。接続には加入者局で接続する方式（GC）と中継局で接続する方式（IC または ZC）があるが、自由化の始まりの時期は中継局接続が中心であった。中継局接続料は 1994 年に 3 分 19.78 円であったが、次第に低下し、2000 年には 7.65 円となった。ISDN 投資が一段落した 1996 年からは加入者局接続が 3 分 6.31 円に決定されている。

日米協議では減価償却年数や ISDN 投資の算入をめぐって論戦が展開され、過去の投資の無批判的な積み上げでなく、現在必要なインフラを現在の費用で造るとしたらという計算で接続料金を計算する長期増分費用方式が 2000 年に導入された。

## 2. 5. 17. 費用負担の考え方と実際

加入者局から加入者宅までの回線設備料は加入者がトラフィックに関係なく加入者が負担するという前提で加入時に支払う負担金と月々支払う基本料で対応している。中継局の費用はトラフィックに依存して支払う従量制になっている。ADSL は加入者局へ事業者がヘッドエンド装置 DSLAM を設置して行う加入者局接続になっていて、料金もドライカップとよばれる線貸しのスタイルになっている。しかし光ファイバーでは電話、インターネット、テレビとして利用することに関し、定額化が進んでいるが、それは多重利用の過程で、加入者が自ら利用量を加味して使用するのが困難なインターネットの特質やそもそも定額だったケーブルテレビの料金体系と関係があるのであろう。接続すべき基地局との間に設備が存在しない携帯電話ではすべて従量制となるところであるが、経営上、あるいはユーザの支払いの便宜から基本料と従量制の組み合わせになっていて、選択できるコースとして設定されている。街灯を基地局とする通信体系は無線的であるので、携帯電話のような加入者負担にするのが妥当である。基地局化するための設備については不要不急のものはなかろうから、総括原価方式が採用されるであろうが、10 年もたつと LED 照明コストは 1/5 から 1/6 になっていることが期待できるので、その頃には増分費用方式が採用されることになるだろう。それが長期増分なのかについては議論が残る。

## 2. 5. 18. 料金制度における新たな視点

多くのユーザがフリーであるサービスについて、2 種類の方法がある。ひとつは従来の放送や Google のように運営費用を第 3 者が支払ってくれるので、一般のユーザは無料で利用できるという方式で、もうひとつはプレミアムなサービスを楽しむ僅かなメンバーがフリーで参加する大多数のユーザの分を負担するというモデルである。Skype というサービスでは一般の電話へ通話する費用で多くのユーザがフリーで世界中の Skype ユーザと通話することを可能にしている。オンラインゲームではフリーのユーザよりもよく釣れる釣りざおを購入するユーザが 95% のフリーユーザを支えているという。後者はネットとともに生まれた方式で、今後多くの事例を生み出すものと考えられている。慶応大学の藤井は「一部のわがままユーザがサービスを支える」という視点を提供している。

## 2. 5. 19. 赤羽を例にした街灯のビジネスモデル

赤羽の商店街では防犯の枠を超えて潤沢な照明を装備している。8mほどの高さには250W水銀灯が3mおきに配置され、10mおきに羽根の形をした装飾照明があり、看板もまた照明の役割をしている。もちろんこれは商店街の繁栄を願って設置されたものであるが、防犯の役目を十分にはたしている。商店街がアーケードを造った時から音響設備は5mおきに設置されている。3年前に防犯カメラが15mおきに設置され、映像は2週間商店街事務所の録画機に保存されている。おそらくどの商店街においてもこの3点セットは装備される3大機能ではないか。

## 2. 5. 20. 商店街の検討から街灯のLED化と通信基盤の経費の考察

商店街の照明を通信基地局とする場合を考えても、防犯、商店街の繁栄のいずれかに寄与するものであなければならないだろう。防犯に寄与できるだろうサービスとして、UHF帯域の省電力無線を用いるアクティブタグ（ICタグ）を用いた見守りサービスを考えることができる。商店街の繁栄に貢献する意味で情報提供、店舗の広告、クーポンの配信やイベントでの活用で近距離無線通信を用いることは効果的であろう。無線通信にはWiFiによるUMPCへの配信、可視光通信による携帯電話への配信、可視光通信による専用端末あるいは将来のスマートフォンへの配信が考えられる。LED照明基地局のWANとの接続は商店街事務所を介したEthernetでよい。これらの費用は商店街の手で負担され、一部自治体から補助金が投入される。

## 2. 5. 21. 赤羽地区への実装シミュレーション

北区のLEDの保守に当たっている会社は赤羽駅近くで200haのエリアで1800基の街灯を管理している。

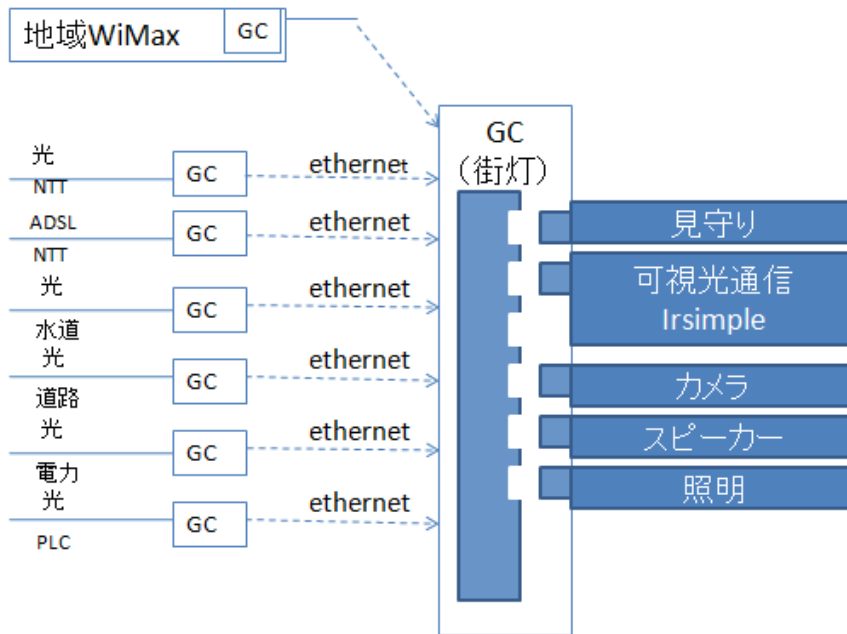


図3-1 通信基盤の簡単化した構造

ここでは事務所から1本1本Ethernetを敷設するとは困難になる。このため光ファイバ、ADSLなどでWANへ接続するよりも、地域WiMAXによる接続が有用と考えられる。基地局の内部にはカードスロットあるいはUSBコネクタのような汎用的なインタフェースで容易に挿すだけで新しいアプリケーションを開始できる構造が望ましい。北区の平均的な密度からするとこの地域に3.8万人が暮らし、約1万世帯が存在する。（世帯あたり家族1.72人）。拡散すると商店街のような費用の担い手がなくなるので、この規模ではアプリケーションの実装までは困難で自治体依存になってしまい、最初の意図とは違った形になる。

## 2. 5. 2.2. 全国展開の考え方

全国展開になると通信基盤はよりサーバなどの運営費用になってくる。 アメリカでラジオの創世記に、局同士が強い電波を出す競争をして広域化をはかろうとしたものの、干渉でラジオ音質が低下し、AT&T 回線をバックボーン化して、それぞれの局のカバーエリアをもつことで成功を取めたように、サービスの広域化は必然である。

### 街灯のビジネスモデル

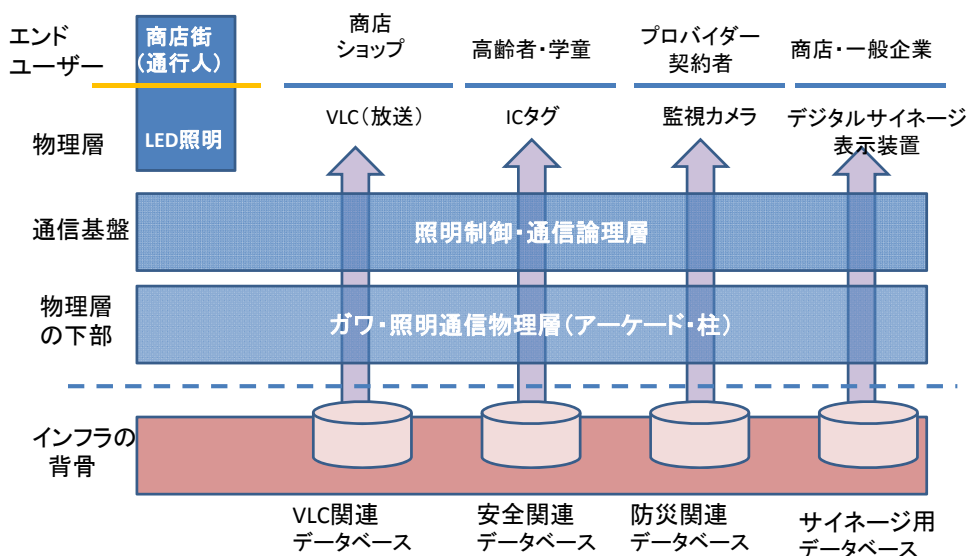
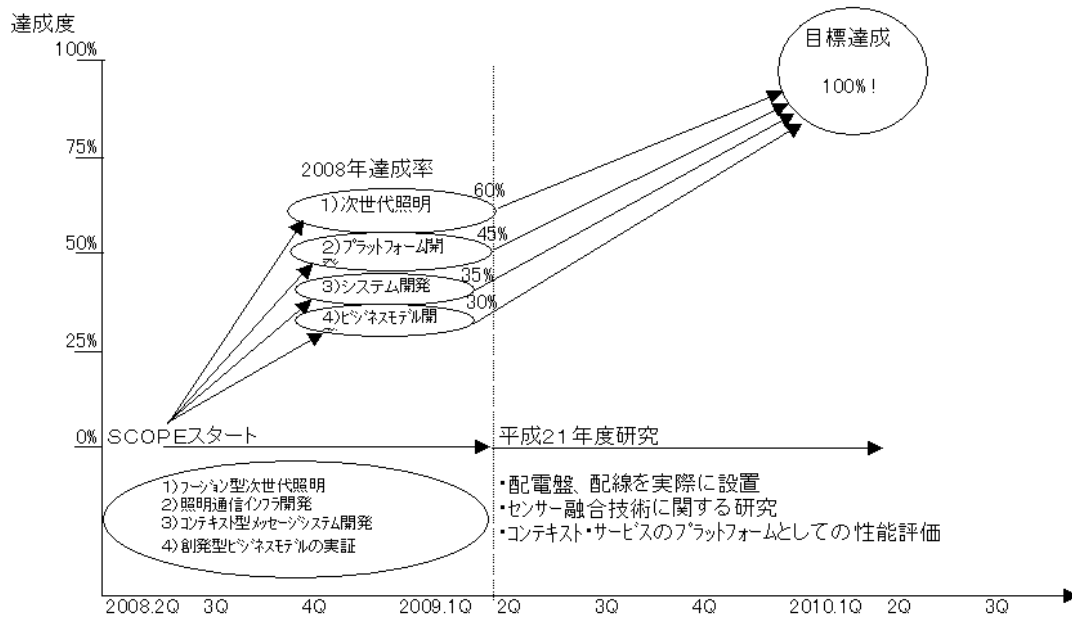


図 3-2 サービスの構造

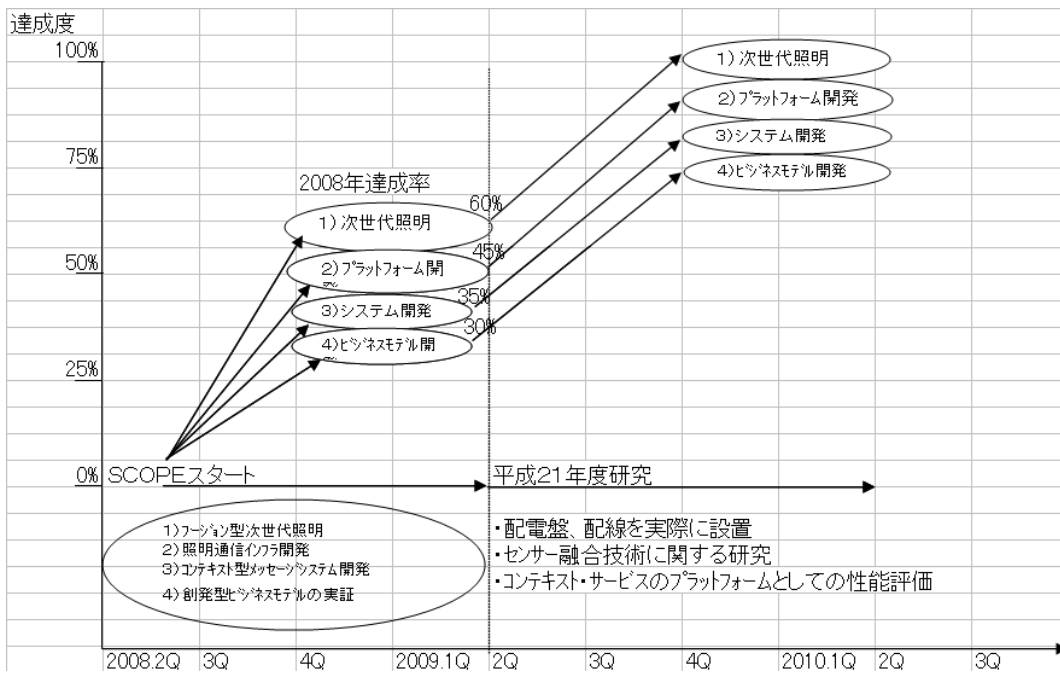
街灯基地局通信サービスの適用においても全国展開が必要になってくるが、この際には全国規模のサーバが稼働している。この際には料金モデルは、一部ユーザが負担するだけで運営できる可能性がある。これは仮想と現実の組み合わせであろう。

### 3. 研究結果

#### 3. 1. 平成20年度末の目標達成状況



#### 3. 1. 2. 平成21年度末の目標達成状況



## ○自己評価

### ・自己評価点

80点

### ・理由

次世代照明という今後大きく世の中に普及するであろう未来のデバイスを先取りする形でこうな  
ってゆくだろうという技術の進歩の可能性を示し、であるならば社会インフラは、こうあるべきだ、  
こうありたい、これが実現したならばこんなことができるはずだ、という切り口からスタートしたプ  
ロジェクトである。このため提案時にも述べたマッシュアップされた街の情報がバラバラな現状から  
インフラの多重利用を可能にする技術革新と特に街頭の持つ安心、安全、見守りという暗がり  
を照らす  
す  
明  
り  
と  
い  
う  
パ  
ッシ  
ブ  
な  
機  
能  
か  
ら  
情  
報  
を  
発  
信  
し  
た  
り  
、  
ネ  
ッ  
ト  
ワ  
ー  
ク  
接  
続  
さ  
れ  
た  
街  
頭  
か  
ら  
携  
帯  
電  
話  
を  
使  
っ  
た  
コ  
ン  
テ  
キ  
ス  
ト  
な  
サ  
ー  
ビ  
ス  
提  
供  
の  
実  
現  
に  
向  
け  
て  
研  
究  
開  
発  
を  
進  
め  
た  
。  
こ  
の  
中  
で  
D  
C  
電  
力  
ラ  
イ  
ン  
に  
高  
周  
波  
信  
号  
を  
重  
畳  
す  
る  
技  
術  
と  
そ  
の  
実  
現  
に  
必  
須  
な  
専  
用  
ケ  
ー  
ブ  
ル  
、  
照  
明  
通  
信  
に  
必  
須  
な  
高  
感  
度  
な  
受  
光  
デ  
バ  
イ  
ス  
を  
試  
作  
で  
き  
た  
こ  
と  
は  
大  
変  
高  
く  
評  
価  
し  
て  
い  
る  
。  
特  
に  
、  
可  
視  
光  
を  
高  
感  
度  
に  
受  
信  
し  
且  
つ  
高  
速  
な  
信  
号  
を  
重  
畳  
さ  
れ  
た  
白  
色  
LED  
光  
に  
よ  
る  
可  
視  
光  
通  
信  
が  
実  
用  
域  
に  
達  
し  
た  
こ  
と  
は  
、  
照  
明  
通  
信  
の  
実  
現  
性  
へ  
一  
歩  
近  
づ  
け  
た  
と  
言  
え  
る  
。  
ま  
た  
、  
照  
明  
通  
信  
の  
実  
現  
性  
を  
経  
済  
的  
な  
指  
標  
で  
と  
ら  
え  
る  
た  
め  
に  
（  
株  
）  
エ  
ク  
ス  
ペ  
リ  
エ  
ン  
ス  
総  
合  
研  
究  
所  
が  
調  
査  
し  
た  
街  
頭  
の  
設  
置  
状  
況  
や  
、  
そ  
の  
メ  
ン  
テ  
ナ  
ン  
ス  
費  
、  
次  
世  
代  
照  
明  
に  
置  
き  
換  
え  
た  
場  
合  
を  
想  
定  
し  
た  
新  
た  
な  
ビ  
ジ  
ネ  
ス  
モ  
デ  
ル  
の  
研  
究  
を  
し  
、  
短  
期  
間  
と  
は  
い  
え  
日  
本  
国  
す  
べ  
て  
の  
地  
域  
に  
及  
ぶ  
可  
能  
性  
を  
示  
唆  
す  
る  
デ  
ー  
タ  
を  
集  
め  
ら  
れ  
た  
こ  
と  
、  
さ  
ら  
に  
そ  
れ  
を  
運  
用  
す  
る  
た  
め  
の  
サ  
ー  
ビ  
ス  
モ  
デ  
ル  
ま  
で  
提  
案  
で  
き  
た  
こ  
と  
は  
、  
特  
筆  
に  
値  
す  
る  
と  
総  
合  
評  
価  
し  
て  
い  
る  
。

一方、要素技術研究に費やす時間が多く、成果をまとめた形で特許や論文形式にまとめ上げる時間  
がほとんど割けなかったことが公的資金を利用した研究であったにも関わらず、人材育成や技術公開、  
移転に関する発表が乏しかった点などが減点要因かと反省している。

## ○評価や意見への対応

### ・目標や手法について、変更や修正を行った内容

創発型ビジネスモデルの実証というテーマに関しては、具体的に慶応大学キャンパス内に4台次世  
代照明を設置し具体的な動作をさせる計画であったが、屋内設置にとどまり、実際のコンテキストサ  
ービスまでは実現できなかった。

### ・評価や意見に対する反論

フージョン型半導体照明モジュールの開発、照明コミュニケーションをベースとした新インフラを  
実現する新インフラを実現する通信方式の確立、コンテキスト型メッセージングシステムの開発、創  
発型ビジネスモデルの実証という4テーマに関して具体的な成果を数値で示せなかった。

これは、要素技術特に、DC直流伝送路の特性評価や、可視光通信用の受光デバイスの性能評価に  
対して目標、計画に数値目標を掲げなかった点を指摘された。

これらデバイスベースの研究と、ビジネスモデル提案ベースとの両輪研究がテーマで有ったために  
性能を一定以上にするというような数値基準を設けられなかったためであり、実現するためのハード  
ルを市場ニーズとシーズとを見極めていたことによる。

## ○人材育成や雇用に関する効果

・関係した学生：学部生

・関係した技術者、研究者など： 4名（内、労務費計上対象 3名）

## 4. 今後の展開と波及効果

目的に掲げた次世代照明は、LED、OLEDなどの半導体ベースの照明とセンサーやカメラ、無線ネットワークを一体化させ街路灯や自動販売機照明等への利用が可能な要素技術を開発することにより、都市化により希薄化する街と人とのコミュニケーション問題を解決する突破口となりうる。加えて、人（携帯電話）と街（街路灯）に新たなメッセージングシステムを開発し、都市の価値向上に資する創発型コンテキストサービスの実現を目指すための技術的課題を明確にすることで、大規模災害対策、商店街の活性化、街の経験値の共有など都市化が抱える課題に対して大きなコストをかけることなく照明インフラの変更と携帯電話の活用により解決されることを示すことで、従来行政に頼らざるを得なかった社会インフラの整備についても、本ビジネスモデルの確立により多重利活用が進み行政の負担を軽減し且つ都市の生産性を向上させる新しい関係が構築出来る事を提案できた。

フージョン型半導体照明モジュールの核となる可視光通信に必須な高感度受光素子開発は、街灯が照明としての機能から一変し情報発信源としての役割を持つことが出来ることを意味する。街灯が放つ光に情報を載せて周辺に届く光から情報を再び取り出すことが可能となった今回の高感度受光アクセプタ開発は、携帯電話に搭載する検討が一部の通信機メーカーで始まった様に情報通信技術の新たな局面がスタートし今後半導体化される照明光源がすべて情報発信基地としての利用が始まる大きなブレイクスルーを成し遂げる一歩を踏み出した効果は絶大だと感じる。

また、街灯への電力供給を従来の交流から直流にすると共に高速データ通信用信号をこの電力線に重畳することが可能となった専用のケーブルを開発したことでインフラとしての必要十分な性能を合わせ持つことが出来た。特に、200MHzもの広帯域を備え、20Aもの大電流を流せることが可能となった事から市街地における照明インフラとインターネット、放送（TV、ラジオ）、電話、行政ネットワークなど地域通信のインフラを一つのこのケーブルで多重利活用が可能となったばかりか、照明からの可視光を使った無線通信により携帯端末との相互通信が実現可能な要素技術をほぼ確立出来たことで、ラスト3mの情報伝達を従来の電波を使ったパーソナルネットワークまで有機的に結合可能となる可能性を示せた。一部の自治体では、道路管理責任者や、防犯管理責任者としての視点だけでなくこの次世代照明を使った街灯整備を真剣に検討し始めている。この多重化活用が可能な次世代照明が広く街に設置され多重化されたインフラが実現できた場合を想定した環境をシミュレーションし、全国に1100万基有ると言われる街灯の通信基地化を進めるためのプラットフォーム構造を提案できたことで今後の大きな展開を予感し、さらに基地局として街灯を位置づけ、送信するコンテキスト情報の実装方法を提示した。そして、創発型ビジネスモデルの具体案を提示し費用負担の考え方や料金制度における新たな視点についても考察を加え最後に全国展開の考え方を示すことが出来たことは、大変意義があると確信する。

## 研究開発成果リスト（平成22年3月末日現在）

次世代照明を活用した創発型コンテキスト・サービスの研究開発

### 1. 査読付き誌上発表リスト

#### (1) SCOPE の委託研究に基づく発表リスト

なし

#### (2) SCOPE の委託研究に関連する発表リスト

なし

### 2. その他の誌上発表リスト

#### (1) SCOPE の委託研究に基づく発表リスト

なし

#### (2) SCOPE の委託研究に関連する発表リスト

- [1]黒川裕之、“散乱可視光通信が可能な高感度ミラーP A”、  
光アライアンス 日本工業出版 2008November Vol19No.11 平成20年11月01日
- [2]黒川裕之、“可視光通信”、月刊ディスプレイ、(株)テクノタイムズ社 2009Vol15No.2
- [3]宮入寛太郎、松田俊介 “可視光の料金プラン” 政策情報学会 (平成22年7月24日)
- [4]宮入寛太郎、松田俊介 “街灯のLED化の推進” 照明学会 (平成22年4月末)
- [5]宮入寛太郎、松田俊介 “街灯通信基地のビジネスモデル” (平成23年2月)

### 3. 口頭発表リスト

#### (1) SCOPE の委託研究に基づく発表リスト

- [1]黒川裕之、可視光無線 LAN 標準化、可視光通信コンソーシアム WG2 平成20年09月17日
- [2]黒川裕之、可視光無線 LAN 標準化、可視光通信コンソーシアム WG2 平成20年11月19日

#### (2) SCOPE の委託研究に関連する発表リスト

- [1]黒川裕之 長野県ベンチャー企業飛翔会 可視光通信技術  
2009年10月26日
- [2]黒川裕之 高度ポリテクセンター主催セミナー  
「通信・ネットワーク/LED 可視光通信システム設計技術」  
2009年10月8日～9日開催時に研究内容と成果を一部紹介。  
[http://www.apc.ehdo.go.jp/seminar\\_2009/course/09semi22234.html](http://www.apc.ehdo.go.jp/seminar_2009/course/09semi22234.html)
- [3]黒川裕之 可視光通信技術の応用について長野県塩尻市組込システムセミナーで紹介。  
2010年3月5日、12日、19日にて研究内容と成果を一部紹介。

#### 4. 申請特許リスト

- [1]黒川裕之「直流電力線通信」 日本 平成 21 年 3 月
- [2]松田俊介「光無線通信装置、光無線通信方法、およびプログラム」 日本 平成 21 年 6 月 23 日
- [3]松田俊介「光無線通信端末装置、光無線通信システム、光無線通信法王、およびプログラム」  
日本 平成 21 年 6 月 23 日
- [4]松田俊介「撮影装置、携帯端末、送信装置、撮影方法、およびプログラム」  
日本 平成 21 年 6 月 23 日
- [5]松田俊介「光無線通信端末装置、光無線通信システム、光無線通信法王、およびプログラム」  
日本 平成 21 年 6 月 23 日

#### 5. 登録特許リスト

なし

#### 6. 国際標準提案リスト

なし

#### 7. 国際標準獲得リスト

なし

#### 8. 受賞リスト

なし

#### 9. 報道発表リスト

なし

#### 10. 報道掲載リスト

- [1] “最長・最速の可視光通信 国建システムが共同開発”、琉球新報、2010 年 2 月 11 日  
<http://ryukyushimpo.jp/news/storyid-157322-storytopic-4.html> : 沖縄 IT まつりでデモ

#### 11. ホームページによる研究成果の公表等

- <http://www.ot-c.co.jp/topics/100201.html> : 高速双方向通信、13Km 長距離通信実験に成功。
- <http://www.ot-c.co.jp/topics/100212.html> : 国建システムへ成果物の FM 通信モジュールを提供。  
平成 22 年 2 月に掲載以降、国内外からのアクセス、問い合わせが多数寄せられている。
- <http://jp-eri.jp/> : 掲載情報の概要 委託情報のみ

#### 12. その他

- ・ 関西大手企業との共同研究時に本研究成果物の一部を提供した。内容詳細は、後日公開される予定。
- ・ 沖縄に拠点を置く株式会社国建システムへ技術提供し水中通信用可視光通信システムの研究開発がスタートした。



### 本研究開発による成果数一覧

	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	合 計	当初目標* 5
査読付き論文数* 1	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件
被引用論文数* 2	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	—
その他の誌上発表数* 3	2 件 ( 件)	3 件 ( 件)	件 ( 件)	5 件 ( 件)	—
口 頭 発 表 数* 4	3 件 ( 件)	2 件 ( 件)	件 ( 件)	5 件 ( 件)	2 件
申 請 特 許 数	1 件 ( 件)	4 件 ( 件)	件 ( 件)	5 件 ( 件)	11 件
登 録 特 許 数	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	3 件
国 際 標 準 提 案 数	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	—
国 際 標 準 獲 得 数	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	—
受 賞 数	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	件 ( 件)	—
報 道 発 表 数	件 ( 件)	1 件 ( 件)	件 ( 件)	1 件 ( 件)	1 件

注：( ) 内は、海外分の件数を再掲する