

機関番号：33910

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560378

研究課題名 (和文)

空間合成技術を用いたユビキタス無線アクセスシステムに関する基礎検討

研究課題名 (英文)

Basic Study of Ubiquitous Wireless Access System by Using Space Combining Technique

研究代表者

常川 光一 (TSUNEKAWA KOICHI)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：40434568

研究成果の概要 (和文)：

あらゆる無線通信端末にアクセス可能な「統合された室内無線アクセスシステム」を提案した。主要なアイデアは「デジタル信号を直接複数のアンテナに給電し、空間合成/フィルタ効果を用いて所望信号を所定の端末近傍に形成する」ことにある。まず、基本技術であるアンテナ配置/構成法、キャリブレーション手法について検討した。次に、システム構成法を検討し実用化に向けた設計指針を明らかにした。また、デモ機として「ユビキタスシーリングライト」を試作した。

研究成果の概要 (英文)：

We proposed “Indoor Integrated Wireless Access System” in order to be accessible to any wireless communication terminals. A main idea is that multiple antennas, which are powered the digital signals directly, provide the desired signal field near a terminal given by the spatial composition and spatial filtering effect. Antenna constructing and placement of the basic technologies and calibration methods were studied. Next, the system configuration was also studied and clear guidelines for practical design methods. And “Ubiquitous Ceiling Light” was developed as a demonstration machine.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：アンテナ、無線通信

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：ユビキタス通信、無線アクセス、アレイアンテナ、室内電波伝搬

1. 研究開始当初の背景

本研究は、総務省が推進する「u-Japan」政策における無線アクセスインフラを構築するための基礎技術を検証・確立することにある。日本の将来において、現在の通信システムを包括し、さらにあらゆる人や物が通信により情報共有するユビキタス社会を実現させるためには、従来個別に実用化されてきた無線システムを統合し、将来のシステムにも適合できる統合された無線アクセスシ

テムが必要となる。このためには、各無線通信システムにおける以下の課題を克服する必要がある。

a：運用無線周波数の違い

b：伝送方式（変復調）、アクセス方式（FDMA, TDMA など）の違い

c：システムアーキテクチャの違い

これらを解決する方法は以下が考えられる。
A：広帯域無線入出力系の構築（例：広帯域アンテナ、広帯域増幅器など）

B: ソフトウェアによる適応形無線信号処理システムの開発 (ソフトウェア無線)
 C: 簡易な統一的アーキテクチャの構築
 A, B は既に個別に多くの研究がされているが、C についての具体的提案は見られない。
 そこで、A, B を取り込み、C としてユビキタス社会で必須となるセンサシステムにも適合できる統合無線アクセスシステムである「空間合成技術を用いたユビキタスアクセス通信システム」を提案する。本研究はシステムの基礎検討にあたり、3 年で基本概念の検証、簡易な検証実験までを行う計画である。

2. 研究の目的

ユビキタス社会におけるアクセス系インフラとして「ユビキタス無線アクセスシステム」を構築することが本研究の最終目的である。本研究の柱となるアイデアは「デジタル信号を直接多数のアンテナに給電し、空間合成/フィルタ効果を用いて所望信号に成形する」ことにある。本システムは制御装置のソフトウェア変更によって周波数や変調方式が異なる従来および将来に渡るあらゆるシステムに対応できる無線アクセスシステムである。本期間ではシステムの基礎検討を行い、基盤技術の検証・確立を行う。

3. 研究の方法

MIMO 技術、広帯域アンテナ技術、ソフトウェア無線技術を応用し、図 1 に示す「ユビキタス (統合) 無線アクセスシステム」を提案する。本システムは従来及び将来に渡る全ての通信システムに適用可能な汎用的アーキテクチャの提案であり、全てのアクセスシステムにソフトウェアの変更のみで対応できるものである。

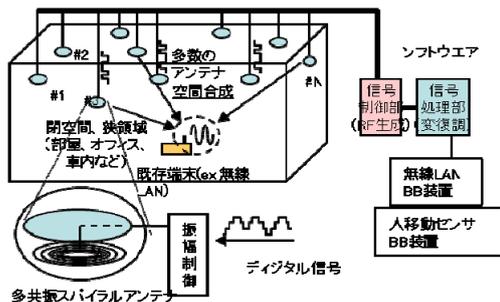


図1 ユビキタス無線アクセスシステム

下り回線について具体的に説明する。サービスエリア (室内など) 内に非常に多数 (10 ~100 程度) の送信アンテナを設置し、そこにデジタル装置からの変形パルス信号を直接入力して各々独立に非常に微弱な広帯域電波を送信する。各送信信号の信号系列、タイミング、振幅、波形を制御することで部屋内のある特定空間にある特定周波数の電波を空間合成により強調/発生させる

(Hotspot の発生)。さらに制御により変調信号を生成すれば、そこに既存の通信装置 (無線 LAN 端末、携帯など) を設置することで受信を行うことができる。上りはその逆とする。ただしエリア内の環境変化に追従するため、装置のキャリブレーションは必須である。信号発生処理装置のソフトウェア変更により、周波数や変調方式が違うあらゆるシステムに対応できる。

本研究の主な課題は以下である。

- (a) 空間合成による局所的な所望変調電波の発生方法 (Hotspot の生成)
- (b) 送信装置の信号制御 (同期、信号系列、振幅など) 方法
- (c) 送信アンテナ、システムの構成法
- 実運用 (キャリブレーションなど) の方法
- (d) 電波法、電磁波環境問題。

これらの課題について、本期間内で以下を明らかにする。

- a: 各アンテナより正弦波送信時における Hotspot の生成実験の実施と、(変形)パルス信号送信時の変調波形による Hotspot の生成のシミュレーションによる確認
- b: 部屋などの小空間において任意空間に任意周波数、方式の電波を生成する送信信号制御法の提案、およびそのシミュレーションによる検証
- c: 本システムで適用するアンテナ素子の開発とアンテナ設置方法を含めたシステム設計、装置設計 (V.1) の実施
- d: 部屋の環境が変化した場合のキャリブレーションを含めた運用法の提案

4. 研究成果

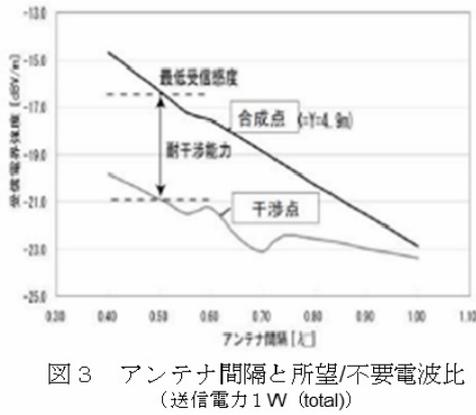
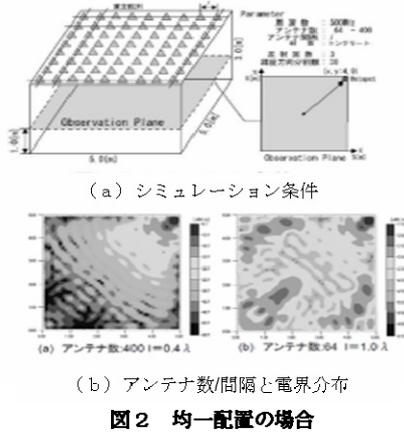
(1) アンテナ配置法の検討

①均一配置

空間合成の特性を検証するため、シミュレーション解析を行った。モデルを図 2 (a) に示す。アンテナは天井に直交させて配置し、アンテナ間隔をパラメータとして床から高さ 1 m の面で電界強度をレイトレース法により計算した。アレイ理論より最も高い不要波 (サイドローブ) が発生すると推定される広角方向、すなわち本モデルでは部屋の角に電界を集中させた場合の結果を図 2 (a) に示す。アンテナ間隔が広い場合、所望の点以外にも電界が高い場所が存在することがわかる。

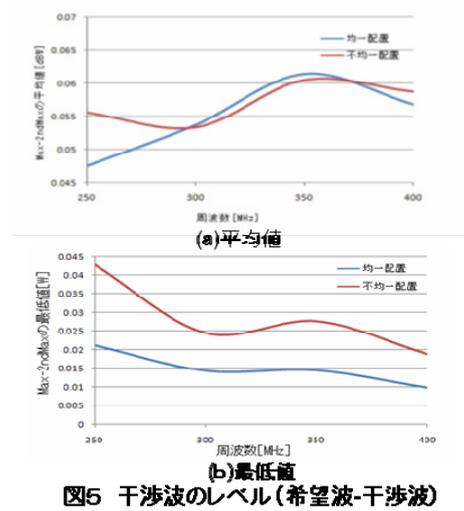
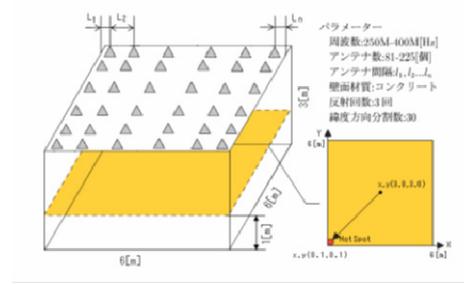
図 3 に部屋の角 (合成点) に電界を集中させた場合の電界強度、及びそれ以外の場所での最大電界強度 (干渉点) についてアンテナ間隔をパラメータとして示した。アンテナ送信電波はスプリアスが多いため、端末近傍以外で電界が高い場所は隣接チャネルへの干渉となる。図 5 より、アンテナ間隔が狭いとアンテナ素子数が多くなるため指向性利得向上効果で合成点の電界が上がり、一方干渉電力は下がることがわかる。干渉電力は同時

通信が可能な端末数を決める。すなわち、a) 端末の受信感度、b) 同時に使う端末台数、を決めるとアンテナ間隔が決まることから図3は最も基本的なアンテナ配置に関する設計チャートになる。



②不均一配置

アンテナの不均一配置による干渉波抑圧効果を調べるため、図4に示す条件でシミュレーションを行った。その際、アンテナ間隔は壁面付近では狭く、中心部にいくほど広がるように等比級数的に設定されている。また、アンテナ数は0.5波長の等間隔配置時と同じ数とし、周波数の変化に応じてアンテナ数も変化させる。中央から徐々に部屋の隅にホットスポットを生成し干渉波レベルを調べた。このときのホットスポット以外の点での最大値が干渉値となる。これを2ndMaxとし、各点におけるホットスポットと2ndMaxの差を α とし、一方、平均値については低い周波数で若干の差が出る程 α とする。 α の平均値と最小値を周波数軸で示したものが図5である。このことから、干渉抑圧については α の最低値が不均一配置の方が低度であることがわかった。すなわち不均一配置の方が干渉抑圧効果が高いことがわかる。これは不均一配置が通信が途切れにくいシステムを実現できること示している。



(2) キャリブレーションに関する検討

通信する端末空間に電界を合成する必要があるため、本システムではキャリブレーションが必須となる。予めパイロット信号などにより端末アンテナと各送信アンテナ間の伝達関数を測定しておく。その後、図6に示すように端末近傍空間で同相に合るように送信する。すなわち、端末の移動や部屋の内部環境の変化に応じて適宜キャリブレーションを行う必要がある。キャリブレーションはシステム負荷となるため、その特性を把握しておくことは重要である。

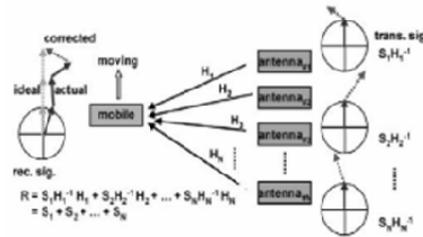


図2と同じ大きさの部屋において、キャリブレーション間隔と受信電力の低下量を計算した。この結果キャリブレーション点から1波長程度移動すると数dBの電力低下が起こることがわかった。そこで典型的な複数の経路について同様の計算を行い、平均受信電力低下量をキャリブレーション間隔とアンテナ数をパラメータとして計算した結果を

図7に示す。この図からキャリブレーションはアンテナ数に係わらず0.5波長程度移動したら再度行う必要があることがわかる。室内であることから端末の移動は少ないと考えられるが、通信周波数が高い場合は歩行速度程度でも頻繁にキャリブレーションを行う必要がある。ただし、全アンテナに関して毎回伝達関数の測定を行う必要は無く、キャリブレーション時に比較して大きく位相が変化したアンテナのみを判断してキャリブレーションを行えば良い。

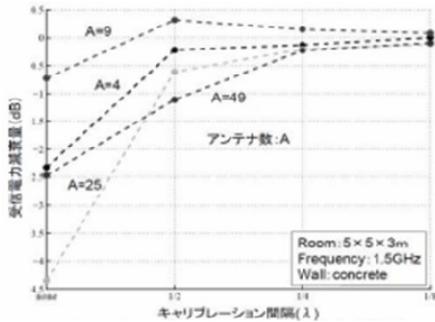


図7 キャリブレーション間隔と電力減衰量

(3) アンテナ構成に関する検討

① アンテナ素子フィルタ特性

本システムは空間合成と共にアンテナ素子をフィルタとしても利用しなければ十分な干渉波抑圧効果は得られない。そこでアンテナのフィルタ特性を検討した。図8に示す大きさの異なる代表的なアンテナであるダイポール/平行二線形/スパイラルの3種類のアンテナを実験及びシミュレーションで検討した。



図8 代表的なアンテナ3種類 (ダイポール、平行二線、スパイラルアンテナ)

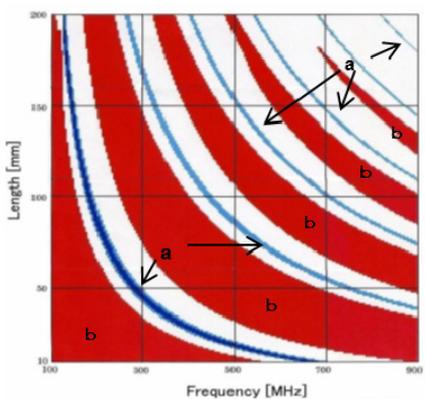


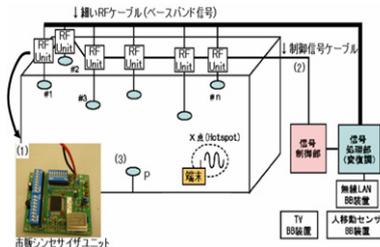
図9 D.P.アンテナのVSWR特性 (VSWR, a<3, b>20)

図9にダイポールアンテナの場合のフィルタ設計チャートを示す。図中a領域が通過(放

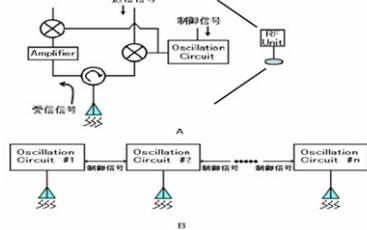
射)周波数、b領域が抑圧周波数を表しており、本図より所望不要周波数を設定すればアンテナ長が明らかになる。

② アンテナ回路一体化 (アクティブアンテナ)

提案システムは各アンテナから放射される微弱な電波を精度よく送信し、任意点において空間合成することで通信を行うものである。これにはアンテナの集中制御が必要だが、RF ケーブル数の膨大化及びケーブル損失の問題が発生する。このことから、提案システムの実現に向けてはアンテナ直下に送受信装置を接続する図10に示すようなアクティブアンテナが有効である。そこで提案システムに適用するアクティブアンテナの具体的な構成法を検討した。図10(a)のRFユニットは、(b)のように構成する。



(a) 適用システム



(b) 具体的構成

図10 アクティブアンテナの適用

これらの RF ユニットにおいて、アンテナの送信信号の振幅及び位相は主に発振回路の制御により行う。このため、各 RF ユニットの発振回路に制御信号を接続し、全体を制御する必要がある。したがって、発振回路の精度がアクティブアンテナでは最も重要である。そこで本検討では、アンテナの直下に発振回路のみを接続して検討を行うことで、簡易なアクティブアンテナを構築し検討を行った。また従来の研究から、高価な精度の高い発振回路を用いることで高い性能が得られることは明らかである。よって、出来るだけコストを抑えた安価な発振回路を用いて構成することを考える。このため図10(a)に示す簡易なアクティブアンテナを構成し実験的検討を進めた。

各発振回路の基準信号回路を共通とし、同期制御を行った。これにより、全発振回路の最大周波数偏差は 0.1~0.6% ($\Delta f/f_0$) となり、十分ではないが高い効果を得られた。また、固定観測点での位相差情報を用いた任意点へのホットスポット形成を試みた。P 点で

各アンテナの位相を測定し、その情報を用いてある点でホットスポット及びヌルスポットを形成する実験を行った。図11に結果を示す。明らかに適切な位相制御により電界強度の大きな落ち込みが見られ、ヌルスポットが形成できていることがわかる。本検討により、安価な発振回路でもある程度の実用に耐えうることが明らかとなった。また、固定観測点位相差の取得により、任意点へのホットスポットの形成が可能であることも明らかとなった。

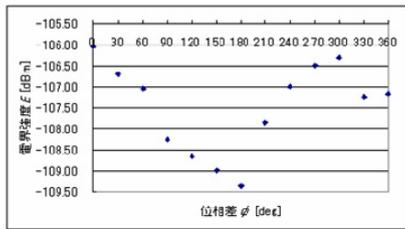


図11 位相制御によるホットスポット発生

(4) システム構成法の検討

前章までは主に各要素技術の検討であったのに対し、本章ではシステムとしての構成を検討する。すなわち、「ユビキタスアクセス無線システム」における送信部伝送系の設計及び構成の実験的検討を行い、本システムが周波数特性を持たない装置となることの実証を行う。さらに具体的な構成において送信部伝送系の動作を確認すると共に通信系の設計指針を得ることとした。具体的検討は以下4項目に集約される。

- A). 伝送系構成設計法
- B-1). システム波形形成法
- B-2). アップコンバート回路構成法
- B-3). 空間フィルタ特性を用いた合成技術

① 送信部伝送系

図12に本章で検討する周波数特性を持たない送信部伝送系を示す。送信部伝送系の検討は任意波形形成器でチャンネル信号を作成し、提案するアップコンバータを用いて周波数変換を行うと共に複数のアンテナを用いて空間合成を行う。これにより、任意の点において空間合成が実現できることを示し、さらにそこから情報成分を取り出す。

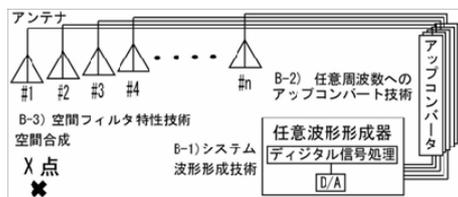


図12 送信部伝送系構築

本システムの送信部伝送系は、あらゆる周波数帯の無線規格を満足させるため電氣的周波数フィルタを備えていない。このためチャンネル信号は、そのノイズがそのまま放射さ

れることとなる。そのため現信号の作製において、端末での所望 SN 比を満足するに十分な精度が要求される。

② 搬送波抑圧型アップコンバータ回路提案

本送信部伝送系では周波数変換器によって発生する高調波をフィルタで抑圧しない。そこで、図13に示した信号発生器2台により互いに逆位相の搬送波でアップコンバートした信号を合成することで、周波数特性を持たず搬送波をキャンセルする「搬送波抑圧型アップコンバータ」を考案した。

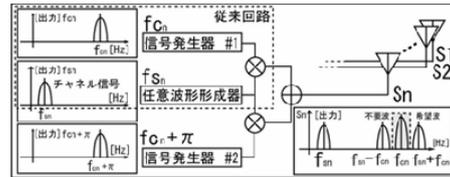


図13 搬送波抑圧型アップコンバータ回路

図14は搬送波抑圧型アップコンバータを用いてアップコンバートを行った信号である。この結果、ミキシングによる所望波に対し、搬送波が抑圧されているのがわかり、搬送波抑圧効果が確認された。

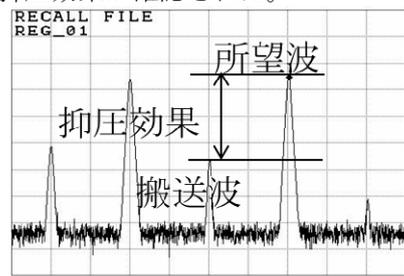


図14 提案回路による搬送波抑圧効果

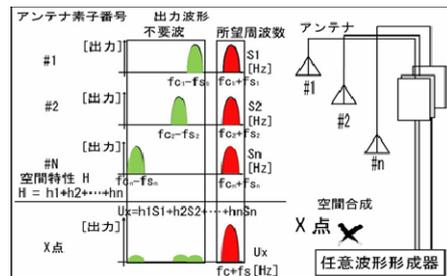


図15 空間合成概要図

図15は本研究における、空間フィルタ特性を用いた合成技術の模式図である。複数のアンテナから所望周波数信号波を共通に、不要波を周波数軸上に分散させた電波信号を送信した。この不要波を抑圧するため空間フィルタ特性を用いる。そこで、望周波数信号波が同相となる電界強度の高い点において、不要波との電界強度の差を調べた。この計測結果より、不要波を抑圧する空間フィルタ特性を実現できることがわかる。図13に示す送信部伝送系の構成の検討は、入力情報信号から端末受信信号までの送信系を実際に構築し、その信号伝送と特性を実験的に明らかに

した。本構成では情報信号に着目し、全ての系を通った SN 比を検討した。図 16 は本送信部伝送系を実際に構築し、伝搬実験を行った結果である。横軸を電界強度、縦軸を SN 比としている。本送信部伝送系の構成による複数のアンテナを用いることで SN 比が改善された。

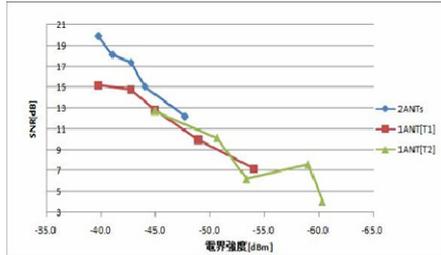


図16 本送信部伝送系によるSN比の改善

(5) 本システムの設計指針

本システムを「任意波形形成技術」、「アップコンバート回路構成法」、「空間フィルタ特製を用いた合成技術」に分けて検討したことで、伝送系構成の指針が明らかになった。本送信部伝送系の設計指針は要約すると以下であると言える。

- 端末で受信する信号の SN 比を考慮してチャネル信号を作成する必要がある。
- 搬送波抑圧型アップコンバータ回路では 2 台の発信機の同期を確実に合わせる必要がある。
- 搬送波抑圧型アップコンバータ回路ではミキサとして十分損失の小さいものを用いる必要がある。
- 空間合成技術では空間フィルタの効果がアンテナ数に比例することを考慮して設備を検討する必要

なお、本検討で得られた成果を基に実用化装置として、実内の天井照明にこれら機能を統合した「ユビキタスシーリングライト」としてデモ機を設計すると共に実用化研究を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 常川 光一, “小形アンテナを用いた電磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送技術の研究”, 中部大学情報科学リサーチジャーナル, 査読無, 18 巻 2011, 103~104
- ② 常川 光一, “空間合成技術を用いたユビキタスアクセス通信システムの研究小形アンテナを用いた電磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送技術の研究”, 中部大学情報科学リサーチジャーナル, 査読無, 17 巻 2010, 59~72
- ③ 常川 光一, “小形アンテナを用いた電磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送技術の研究”, 中部大学情報科

学リサーチジャーナル, 査読無, 18 巻 2011, 103~104

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① Koichi Tsunekawa, “A Feasibility Study of Wireless Power Transmission System by using Two Independent Coupled Electric Fields”, IEEE MTT-S IMWS on IWPT, 2011 年 5 月 12 日, 宇治市
- ② 坪倉 正則、有地 裕哉、常川 光一, “指向性アンテナによる室内 UHF 帯 RF-ID システムの接続率改善”, 電気関係学会東海支部連合大会, 2010 年 8 月 31 日, 愛知県
- ③ 常川 光一, “結合形ワイヤレス電力伝送において相互インピーダンス補償による効率改善に関する検討”, アンテナ・伝播研究会, 2009 年 9 月 3 日, 八戸市
- ④ 常川 光一, “屋内ユビキタス無線アクセスシステムにおいてアンテナ相互結合を用いた電力伝送の可能性検討”, アンテナ・伝播研究会, 2008 年 9 月 18 日, 金沢市
- ⑤ 坂口 昭平、常川 光一, “ユビキタスアクセス通信システムにおける任意無線システムへ適応可能なアップコンバート技術の検討”, 電気関係学会東海支部連合大会, 2008 平成 20 年 9 月 18 日, 愛知県

その他、アンテナ・伝播研究会 1 件、電気関係学会東海支部連合大会 2 件

〔図書〕(計 1 件)

- ① 常川 光一, “特集記事：やさしい数式で理解するアンテナの常識屋内ユビキタス無線アクセスシステムにおいてアンテナ相互結合を用いた電力伝送の可能性検討”, R F ワールド No. 11, C Q 出版社, 2011 年, 60p.

〔その他〕

研究者情報(中部大学 HP)

<http://www.chubu.ac.jp/about/faculty/profile/17ef3e5d8ef3dfbe13bfb0e842f4c3cbcabd4fb7.html>

中部の技術シーズ(中部科学技術センター)
<http://www.chubu.meti.go.jp/technology/hp/chapter7/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

常川 光一 (TSUNEKAWA KOICHI)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：40434568

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し