

無線 LAN 端末の接続数とフリーアドレス座席数の関係に着目した サービスエリア推定の実験的検討

- Dual 5GHz 帯（小セル on 大セル）モード運用している Cisco AP3802I の
小セルのサービスエリア推定 -

松戸 孝[†] 中野 清隆[†] 丸田 竜一^{††} 田中 政満[†] 大石 太郎[†]
山下 聖太郎[‡] 宇都宮 光之[‡] 力石 靖^{‡‡} 植谷 昌博^{††}

† ネットワンシステムズ株式会社 ビジネス推進本部 応用技術部 ENT_IT チーム

†† カスタマーサービス本部 テクニカルサポート部 第 5 チーム

‡ 市場開発本部 市場開発部 技術第 1 チーム

‡‡ カスタマーサービス本部 エキスパートオペレーション部 第 2 チーム

†, ††, ‡‡ 〒140-8621 東京都品川区東品川 2-2-4 天王洲ファーストタワー

‡ 〒100-7024 東京都千代田区丸の内 2-7-2 JP タワー

あらまし Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した無線 LAN アクセスポイント(AP)を運用している一般的な事務所のフロア環境において、小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）の関係に着目して小セルのサービスエリアの広さを実験的に推定した。提案する推定方法は、各 AP と無線 LAN コントローラで日常的に一元集中して収集されている上り回線のデータ（無線 LAN 運用管理者が日常的に容易に入手可能なデータ）を簡易な方法で解析するだけである。推定された小セルの円形のサービスエリアの半径の値は、各種の不確定要素の影響を受けている可能性はあるが、目安として、例えば、無線 LAN の運用管理を適切に実施するために貢献できると考えられる。

キーワード 小セル, 大セル, サービスエリア, フリーアドレス, Dual5GHz 帯, 無線 LAN, 高密度

Experimental Study of Estimating a Service Area based on a Relationship between Number of Wireless LAN Client Terminals Associated with a Micro Cell added on a Macro Cell Operated by Dual 5GHz Band Mode of Cisco AP3802I and Number of Seats Prepared in the Cell in a Non-Territorial Office

Takashi MATSUDO[†] Kiyotaka NAKANO[†] Ryuichi MARUTA^{††} Masamitsu TANAKA[†]
Taro OISHI[†] Seitaro YAMASHITA[‡] Mitsuyuki UTSUNOMIYA[‡] Yasushi CHIKARAISHI^{‡‡}
and Masahiro UETANI^{††}

† ENT_IT Team, Applied Technology Engineering Department, Business Development Division,
NetOneSystems Co., Ltd.

†† Technical Support Department, Customer Service Division

‡ Solution Sales Department, Market Development Division

‡‡ Expert Operation Department, Customer Service Division

†, ††, ‡‡ Tennoz First Tower, 2-2-4 Higashi Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8621 Japan

‡ JP TOWER, 2-7-2 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-7024 Japan

Abstract We estimated a service area for a micro cell added on a macro cell operated by dual 5GHz band mode of a wireless LAN access point(AP) Cisco AP3802I in an indoor office. The proposed estimation method is based on a relationship between

number of wireless LAN client terminals associated with the micro cell and number of seats prepared in the cell in a non-Territorial Office. The proposed method can estimate a value of radius of the service area for the micro cell. It is easy to use the estimation method because of only needing data on an up link in the micro cell that we can easily measure via both a wireless LAN controller and APs.

Keyword Micro cell, Macro cell, Service area, Non-territorial office, Dual 5GHz operations, Wireless LAN, High density

1. はじめに

企業等の屋内事務所環境の無線 LAN を快適に利活用するための対処の基本は、1 台の無線 LAN アクセスポイント（以下 AP と記載する）に実装された 1 つの周波数帯の無線部あたりに収容する無線 LAN クライアント端末（以下無線端末と記載する）の数を、極力、少なくすることである。有線 LAN で伝送されているリッチコンテンツ（テキストだけでなく動画等のデータ容量が大きいコンテンツ）が、そのまま無線 LAN でも伝送される状況なので、上記の対処の基本が、単純明快、効果的、かつ現実的である。筆者らが利活用している社内無線 LAN の導入に際しても、Virtual Desktop Infrastructure（以下 VDI と記載する）[1]上で動作するコンテンツの無線 LAN 伝送における体感状況を検証評価した結果、1 台の AP に実装された 1 つの 5GHz 帯の無線部あたりに収容する無線端末の最大数は 20 台程度を目安にした[2]。

弊社の事務室フロア内は、少人数用の会議室が一部に存在する他は、大半のエリアは、フリーアドレス（各社員の座席は固定されていなくて、空席をどこでも自由に選択して業務遂行する形態）の座席列である[3]。フリーアドレス座席には、広い画面を具備した VDI 専用端末（有線 LAN 接続）を各社員で共用するエリアの他に、机等と椅子だけが配置されていてノート型 PC 等の無線端末で無線 LAN 接続するエリアがある[4]。無線端末は、私物端末の業務利用(Bring Your Own Device)が社内制度として推奨されたことや、より高速伝送可能な IEEE802.11ac 規約に対応したことで、その数が増加する傾向にあり、最近では、1 台の AP に実装された 1 つの 5GHz 帯の無線部あたりに収容する無線端末の最大数が上記の目安の約 1.5 倍以上である 30 台を超えることも、観測される状況になってきた。そして、この状況に伴うと推測される「無線 LAN 利活用時における各種コンテンツの動作の体感が悪い」という無線端末利活用者の声を聞くことも多くなった。

無線端末や AP の数が増加した高密度・稠密な状況でも無線 LAN を快適に利活用するための大きな改善策は、2019 年頃に策定完了予定である IEEE802.11ax 規約に期待するところが大きい[5],[6],[7]、現時点で少しでも改善に挑戦する場合には、高周波回路の実装技術の進化によって登場した 1 台の AP 本体内に 5GHz 帯の 2 つの別の周波数チャンネルの無線部を同時に動作

できる機能（Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モード）が実装されている AP の採用も有用であると考えられ[8]、筆者らが利活用している社内無線 LAN でも、Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP に変更を開始した。

Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP を屋内天井面（無線端末から AP が見える側）に設置した場合、1 台の AP で、2 つの異なる 5GHz 帯の無線 LAN サービスエリアを形成できる[9]。即ち、Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードにおける第 1 番目の無線部は、内蔵アンテナ（利得 6dBi、垂直面内の半値幅 90 度、水平面内無指向性）によって、AP の直下周辺のやや狭い範囲（小セル、マイクロセル）を 5GHz 帯の無線 LAN のサービスエリアに形成できる。一方、同モードにおける第 2 番目の無線部は、別の内蔵アンテナ（利得 5dBi、垂直面内の半値幅約 164 度（筆者による文献[9]からの読み取り値）、水平面内無指向性）によって、AP の直下から周辺のやや広い範囲（大セル、マクロセル）を 5GHz 帯の別の周波数チャンネルを利用して同エリアに形成できる。同エリアとしては、小セルが大セルにアドオンした状況になっている。図 1 は、その状況のイメージを示している。従って、無線端末を 2 つの異なる同エリア（小セルまたは大セル）へ空間的に分離して収容できる仕組みが Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP では動作している。

最終的に、AP の小セルまたは大セルのどちらへ接続するかの判断は無線端末に実装された制御仕様に依存するが、Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードの無線 LAN 運用管理においては、次の 2 つの状況を、AP 側から、まずは把握しておきたい。

（状況 1）複数の無線端末が、大セルと小セルに、うまく分離して接続できているか？

（状況 2）大セルにアドオンした小セルのサービスエリアは、どの程度の広さになっているか？

本稿では、上記の状況 2 に着目し、Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP を日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境、即ち、筆者らが利活用している社内無線 LAN において、小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）の関係に着目して小セルのサービスエリアの広さを実験的に推定する。なお、状況 1 の検討結果につ

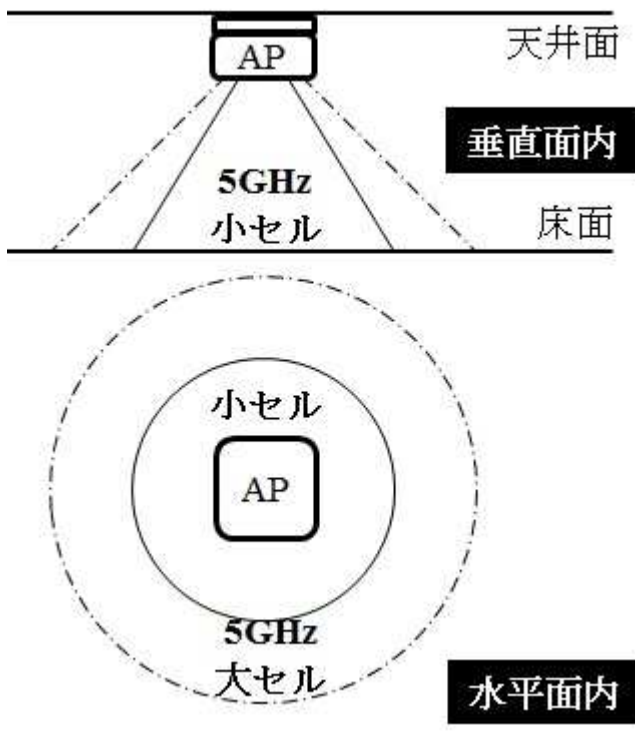


図 1 Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP が形成する小セル（実線）と大セル（一点鎖線）のサービスエリアのイメージ

いは別途の機会に述べることにしたい。

第 2 章では、小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）を用いることによって、小セルのサービスエリアの広さを推定する方法を提案する。第 3 章では、筆者らが利活用している社内無線 LAN へ新たに導入した Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP によって測定された実験データを第 2 章で提案した方法へ適用して、小セルのサービスエリアの広さを実験的に推定する。

2. 小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）の関係に着目して小セルのサービスエリアを推定する方法の提案

2.1. 動機

AP の小セルは大セルにアドオンされている形になるが、両セル間での電波干渉を防止するために、各セルで運用する 5GHz 帯の周波数チャンネルはその中心周波数が 100MHz 以上離れるように、また小セルの送信電力は最小値が設定されるように、複数の AP を集中制御管理する無線 LAN コントローラの RRM(Radio Resource Management, 自動的な電波制御管理機能)[10], [11]によって自動的に設定されている。そして、AP を

屋内天井面（無線端末から AP が見える側）に設置しているため、第 1 章で述べたように、小セル用の内蔵アンテナ（利得 6dBi, 垂直面内の半値幅 90 度, 水平面内無指向性）の特徴からは、AP の直下周辺のやや狭い範囲（小セル, マイクロセル）が小セルの無線 LAN のサービスエリアに形成されているだろうと定性的には考えられるが、詳細は不明である。

ここで、もしも、AP とそれらを集中制御管理する無線 LAN コントローラで収集している運用中のデータ、即ち、無線端末から AP 方向への上り回線のデータ（例：小セルへ接続している無線端末数や、その各無線端末の AP（小セル）での受信電力等）を用いることによって、小セルの無線 LAN のサービスエリアが、どの程度の広さになっているかを推定できるならば、その推定値は目安として、無線 LAN の運用管理を適切に実施するために有益であり、また、Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードを実装した AP を新たに導入するための設計の際に、有用な知見となるだろうと考えた。

2.2. 提案する推定方法の考え方

小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）の関係に着目して小セルのサービスエリアを推定するための提案方法の考え方を図 2 を用いて述べる。

企業等の屋内事務所環境の無線 LAN を想定しているので、AP と無線端末間には見通しを確保することが (line-of-sight: LOS) 基本である。この状況では、小セルのサービスエリアは、水平面内において、AP を中心に

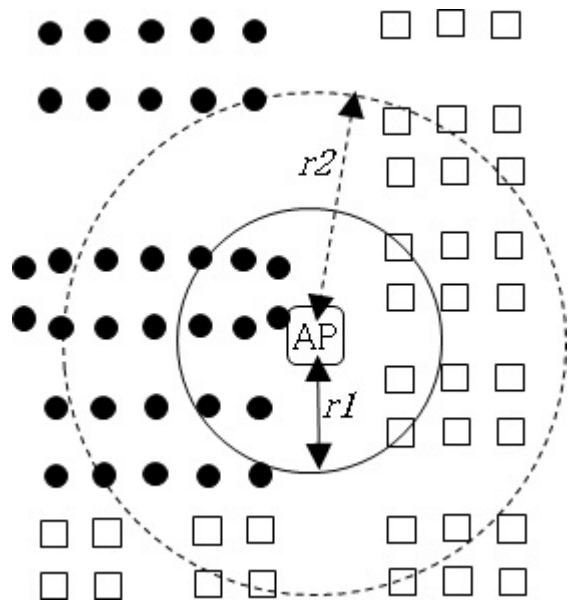


図 2 フリーアドレス座席（無線端末用、有線端末用）と小セルのサービスエリア（例：半径 $r1$ と $r2$ の円）の水平面内における位置関係の例

した概ね円形になると考えられ、それを仮定する（これを**仮定 1**とする）。さらに、次の状況であることも仮定する。

（仮定 2）小セルに接続している無線端末は、必ず、フリーアドレス座席（無線端末用）の位置から接続している。

（仮定 3）1つのフリーアドレス座席（無線端末用）の位置から小セルへ接続する無線端末の数は1台である。

そうすると、円形の小セルのサービスエリアの半径が変化すると、同エリア内に存在するフリーアドレス座席数（無線端末用）も変化する。その変化の状況は、定性的には、次の傾向であると言えよう。例えば、図2における半径 $r1$ のように、円形の小セルのサービスエリアの半径が小さい場合には、同エリア内に存在するフリーアドレス座席数（無線端末用）は少なくなる。従って、実際に小セルに接続する無線端末の数も、定性的には、少なくなると考えられる。一方、反対に、図2における半径 $r2$ のように、同半径が大きい場合には、同エリア内に存在するフリーアドレス座席数（無線端末用）は多くなる。従って、実際に小セルに接続する無線端末の数も、定性的には、多くなると考えられる。この傾向は、次式のように表される。

$$Rm \times Rm = N \times Nmax \quad (1)$$

ここで、

Rm : 小セルのサービスエリアの半径

N : 円形の小セルのサービスエリア内のフリーアドレス座席数（無線端末用）

$Nmax$: 小セルに実際に接続した無線端末の最大数

図2を元にした上記の考え方と仮定を吟味すると、円形の小セルのサービスエリアの半径 Rm がある値の場合に、同エリア内に存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N が、実際に小セルに接続する無線端末の数 $Nmax$ と概ね等しくなるならば、その半径 Rm の値は、円形の小セルのサービスエリアの広さの推定値であり、目安を与えていると理解した。そこで、小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数（無線端末用）の関係に着目して小セルのサービスエリアを推定するための具体的な方法は、次の手順を進めることを提案する。

（Step1）日常的に利活用している AP とそれらを集中制御管理する無線 LAN コントローラで収集している運用中のデータ、即ち、無線端末から AP 方向への上り回線のデータ（例：小セルへ接続している無線端末数や、その各無線端末の AP(小セル)での受信電力等）に着目する。

（Step2）(Step1)で、ある期間に測定した運用中のデータにおいて、各小セルに接続した無線端末の数が各最大の場合のデータだけを採用する。

（Step3）円形の小セルのサービスエリアの半径の案 Rm を任意に定める。なお、 Rm は、無線端末を利活用する机上面の高さにおける値とする。

（Step4）小セルを実装したある AP において、(Step3)の円形の小セル内に存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N をフロア図面等を用いて把握する。

（Step5）(Step2)で採用した運用中のデータから(Step4)で選択した小セルに実際に接続した無線端末の最大数 $Nmax$ を測定する。

（Step6）小セルの数だけ(Step4)から(Step5)を実行する。

（Step7）半径の案 Rm の小セルの場合について、横軸がその小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N であり、縦軸がその小セルに実際に接続した無線端末の最大数 $Nmax$ であるグラフ上に、(Step4)から(Step6)で把握した結果を表示する。

（Step8）(Step7)で表示したグラフ上の測定点の近似式として、原点を通る一次式を導出する。

（Step9）(Step3)の Rm を別の値に定めて、(Step3)から(Step8)を実行する。なお、 Rm の大きさは、大小いくつの場合を採用して様子を見る。

（Step10）(Step8)で導出した原点を通る一次式の傾きが1となる場合の Rm が、小セルの無線 LAN のサービスエリアの半径の推定値であると理解する。先に述べたようにこの場合の Rm では、 N と $Nmax$ が概ね等しくなっている状況である。この状況は、ある Rm のとき、次式のように表される。

$$Nmax = 1 \times N \quad (2)$$

但し、上記の提案する推定方法による Rm の推定値は、例えば、次に示す4つの不確定要素による何らかの影響を受けている可能性があることは、認識しておく必要がある。

（その1）各小セル付近での、無線 LAN 利活用者の存在（着席）状況、つまり、実際に小セルに接続する無線端末の数は、流動的になると考えられる。

（対処）この不確定要素へは、次の対処を採用した。上記(Step2)で述べたように、小セルのサービスエリアを推定するためのデータ解析では、測定した期間の実験データ（無線端末から AP 方向への上り回線のデータ（例：小セルへ接続している無線端末数や、その各無線端末の AP(小セル)での受信電力等））において各小セルに接続した無線端末の数が最大の場合のデータだけを採用した。

（その2）VDI 専用端末（有線 LAN 接続）のフリーアドレス座席からその VDI 専用端末（有線 LAN 接続）を使わずに無線端末を使う利活用者が存在する状況もありえる。この状況は、上記の仮定2に反する状況である。

（対処）この状況がありえることは、承知しておく。

なお、事務所フロアの様子を観察すると、この状況の発生が、極端に多くなることはないと推測している。その理由の1つとしては、ノート型PCの無線端末の比較的小さな画面では業務遂行がやりにくいので、画面が広いVDI専用端末(有線LAN接続)が活用されていると考えられるからである。

(その3)スマートフォン等の無線端末を、1つのフリーアドレス座席から、ノート型PCの無線端末やVDI専用端末(有線LAN接続)と併用する利活用者が存在する状況もありえる。この状況は、上記の仮定3に反する状況である。

(対処)この状況がありえることは、承知しておく。なお、筆者らが利活用している社内無線LANでは、スマートフォン等の無線端末とノート型PCの無線端末には、異なるSSIDが付与されている。そこで、小セルに同時に接続している異なるSSIDの状況を、別途、5GHz帯において確認したところ、スマートフォン等の無線端末の数は、ノート型PCの無線端末の数の、約10%以下であると推測できた。

(その4)各無線端末の送信電力、アンテナ利得、アンテナ放射パターン(アンテナ利得の角度変化)、及び実際の位置は、不明であり、様々な状況があると考えられる。

(対処)この状況であることは、承知しておく。これら各種の不確定要素によって、上記の提案する推定方法によって得られた R_m の推定値は目安に留まる可能性がある。しかしながら、同推定方法は、無線端末からAP方向への上り回線のデータだけで、即ち、各APと無線LANコントローラで日常的に一元集中して収集されているデータ(無線LAN運用管理者が日常的に容易に入手可能なデータ)を容易な方法で解析するだけであり、別途に用意する装置や大きな手間は不要である利点がある。

一方、サービスエリア内において複数の位置で受信電力等の測定(下り回線で、上り回線で、または、上下両方の回線で)を実施して、その測定位置と受信電力等の測定結果を対応づけて状況を把握すること、即ち、サイトサーベイは、サービスエリアを直接的に把握することを可能とするが、日常的な運用とは別の測定装置や大きな手間(手間は費用と同等とも言える)を必要とすることが一般的である。

無線LANの運用管理者としては、 R_m がどの程度か全く不明な状況に比べて、目安程度であっても R_m の推定値を知ることが可能なのは、無線LANを運用管理する上で安心感を持てる。しかも、日常的に継続的に、そして手軽に入手可能なデータによって R_m が容易に推定可能になることは、多忙になりがちな同運用管理者には歓迎されると思われる。もしも、どうして

も小セルのサービスエリアを直接的に把握したい場合には、 R_m の推定結果を知った後に、本格的なサイトサーベイを実施するか否かを、改めて判断するのも一案であると考える。

3. 屋内事務所環境で測定された実験データと提案する方法による小セルのサービスエリア推定

3.1. 実験の目的

筆者らが利活用している社内無線LANに新たに導入したDual5GHz帯(小セル on 大セル)モードを実装したAPの小セルで測定された実験データを第2章で提案した方法へ適用して、小セルのサービスエリアの広さを実験的に推定する。

3.2. 実験場所の環境

本実験は屋内事務所環境で日常的に運用している筆者らが利活用している社内無線LANにおける複数のDual5GHz帯(小セル on 大セル)モードを実装したAPで測定されたデータを用いており、特別な実験環境を新たに構築はしていない。

図3に本実験場所の環境をフロアの平面概要図とし

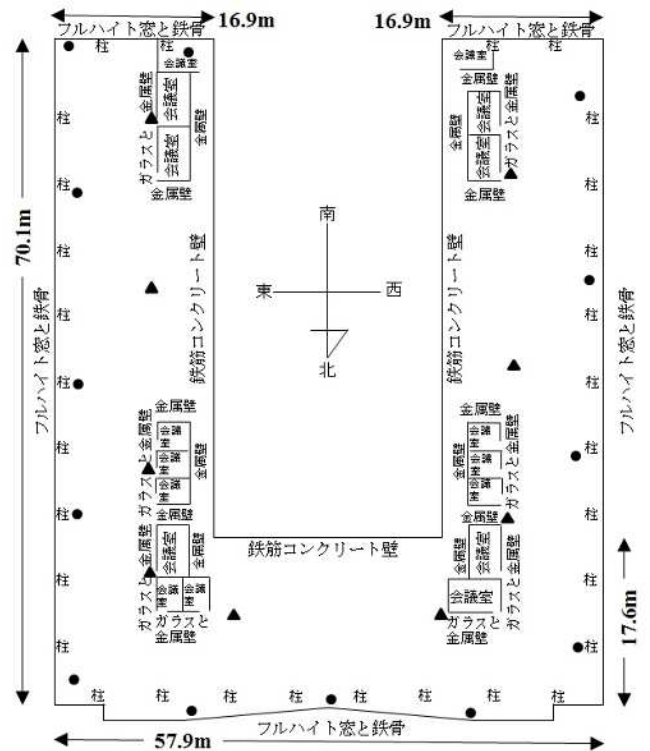


図3 本実験場所の環境(フロアの平面概要図)

- ：Dual5GHz帯(小セル on 大セル)モードで運用するAP
- ：2.4GHz帯と5GHz帯の両方の無線LANを各大セルで運用するAP

て示す．建物中央の共用部（廊下，エレベータ等）を除いた北及び東西の3方向にコの字型の無柱のフロアが広がっており，そのフロア全面を無線 LAN サービスエリアとするために 22 台の AP が天井面（無線端末から見える面）に設置されている．22 台の AP の内，図 3 で印で示された 9 台が Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードで運用するアンテナ内蔵タイプの AP であり，フロアの内部側に設置されている．一方，図 3 で印で示された 13 台が 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の無線 LAN を各大セルで運用するアンテナ内蔵タイプの AP である．フロア内は，少人数用の会議室が一部に存在する他は，大半のエリアは机等と椅子のフリーアドレスの座席列と物品保管用キャビネットが展開されている．

図 4 には，本実験場所の環境をフロアの立面概要図として示す．AP は無線端末から見える側の天井面に設置されており，各 AP と各無線端末間，また，各 AP 間の見通しは，大半のエリアにおいて良好である．天井の材質は石膏ボードである．床面にはカーペットが敷かれている．屋内と屋外の境界は，床から天井まで 1 枚ガラスのフルハイト窓が 2 重になっており，かつ 2 重のフルハイト窓の中間内部に電動ブラインドが存在する．外壁側窓ガラスは銀を 2 層コーティングした高性能 Low-E ガラス（高性能遮熱断熱ガラス）とのことであるが，電波に対する周波数特性は不明である．なお，電動ブラインドは，屋外の風景が概ね見える程度に開いていることが一般的であるが，開き具合の状況は様々である．

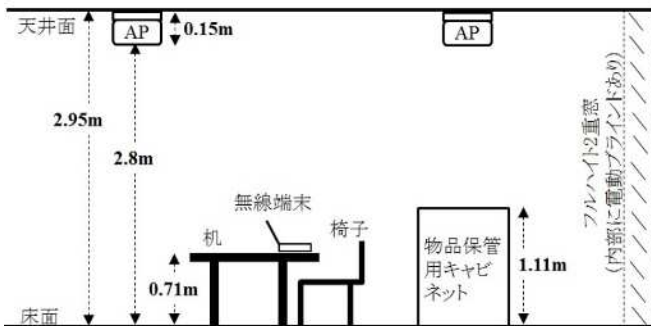


図 4 本実験場所の環境（フロアの立面概要図）

3.3. 実験方法

（1）実験システムの構成

図 3 に示された 22 台の AP（シスコシステムズ社製の AP3802I）は，そのフロアの上下階に設置された他 AP と共に無線 LAN コントローラ（同社製の CT5508）で集中的に制御運用管理されている．

表 1 に実験での測定諸元を示す．実験で利用した 5GHz 帯の小セルを実装した AP（シスコシステムズ社

●実験システム	
無線LANアクセスポイント (AP)	AP3802I (シスコシステムズ社製, IEEE802.11ac第2世代対応)
無線LANコントローラ	CT5508 (シスコシステムズ社製, Ver.8.2.141.0 (実験前半2か月間), Ver.8.3.121.0 (実験後半3か月間))
●APの小セルの送信部 (5GHz帯)	
送信電力 (CT5508における show advanced 802.11a summary コマンドの表示値)	2dBm
アンテナ数	4
●APの小セルの受信部 (5GHz帯)	
アンテナ数	4 (最大比合成ダイバーシチ受信)
●APの小セルの送受信部共通 (5GHz帯)	
アンテナ利得	6dBi
アンテナ垂直面内半値幅	90度
アンテナ水平面内指向性	無指向性
伝送周波数帯域幅	基本は20MHz, なお, 40MHzも自動選択の可能性あり
実験時の周波数	19波 (20MHz幅伝送) から自動選択

表 1 実験での測定諸元

製の AP3802I) は, 3.2.節で述べたように, 図 3 の印で示された 9 台であり, それらは Dual5GHz 帯（小セル on 大セル）モードで運用している．

（2）実験における測定データ収集と小セルのサービスエリアを推定する手順

実験における測定データ収集と小セルのサービスエリアを推定する手順は，次のとおりである．

（手順 1）測定者である筆者の業務状況が許す限り，原則，平日の業務時間帯の 11 時頃と 14 時頃に，図 3 の印で示された 9 台の AP の小セルへ接続している無線端末の数を，無線 LAN コントローラの GUI 画面を經由して測定する．なお，その 2 つの測定時刻は，弊社の社内無線 LAN へ接続する無線端末数が 1 日の中で極大になる概ねの時刻である．

（手順 2）上記（手順 1）においては，各無線端末の AP（小セル）での受信電力も，無線 LAN コントローラの GUI 画面を經由して測定する．なお，受信電力は 8dB 幅刻みに集約された形での測定になる．

（手順 3）上記（手順 1）と（手順 2）を，ある期間継続し，各小セルに接続した無線端末の各最大数 N_{max} を把握する．

（手順 4）上記（手順 3）において，各無線端末の AP（小セル）での受信電力を把握する．

（手順 5）上記（手順 3）の結果を 2.2.節で述べた (Step1) から (Step10) へ適用して小セルのサービスエリアの広

さを実験的に推定する。

3.4. 実験結果

3.3.節の実験方法によって測定した実験データを第2章で提案した方法へ適用して、小セルの円形のサービスエリアの半径の案 R_m が異なる場合において、その小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N とその小セルに実際に接続した無線端末の最大数 N_{max} の関係を図5から7に示す。なお、3つの小セルの各 N_{max} は約5月間の測定期間中の175回の測定における中での各最大数であり、6つの小セルの各 N_{max} は約5月間の測定期間中の154回の測定における中での各最大数である。

図5には、半径の案 $R_m=2.24m$ の場合の各小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N と各小セルに実際に接続した無線端末の最大数 N_{max} の関係を示す。小セルが9つ存在するので、測定点として9個の印が表示されている。実線は、それら9つの測定点に対する原点を通る一次の近似式であり、その傾きは約3.0である。

図6には、半径の案 $R_m=5.4m$ の場合の N と N_{max} の関係を示す。印と実線の意味は図5と同じである。実線の傾きは約0.4である。

図7には、半径の案 $R_m=3.4m$ の場合の N と N_{max} の関係を示す。印と実線の意味は図5と同じである。実線の傾きは約1.0である。

図8には、9つの各小セルに接続した無線端末が各最大数 N_{max} の場合において測定された各無線端末の

AP(小セル)での（上り回線での）受信電力の累積確率分布を×印として示す。3.3節(2)(手順2)で述べたように受信電力は8dB幅刻みに集約された形での測定結果である。受信電力のデータ総数 N_p は104個である。なお、ある小セルでの N_{max} の状況が、同じ N_{max} で複数回発生していたときは、その複数回における受信

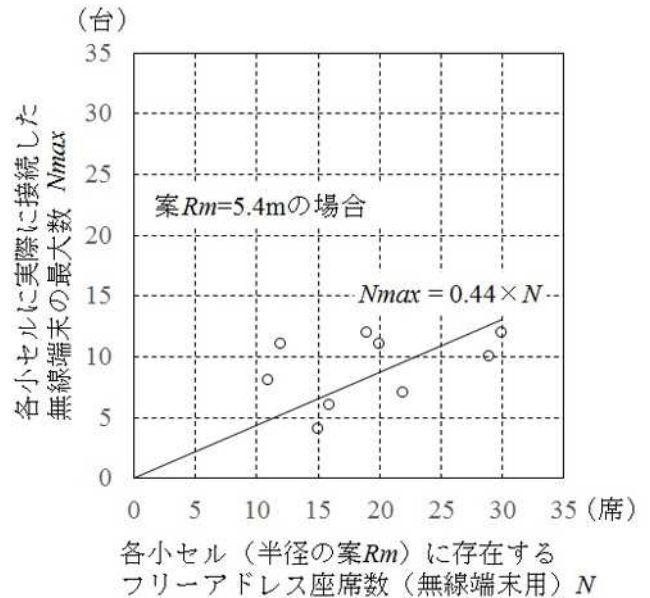


図6 半径の案 $R_m=5.4m$ の場合の各小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N と各小セルに実際に接続した無線端末の最大数 N_{max} の関係

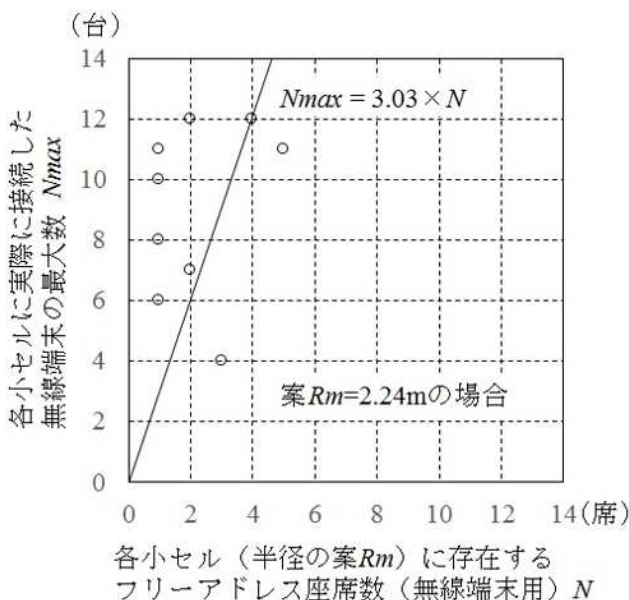


図5 半径の案 $R_m=2.24m$ の場合の各小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N と各小セルに実際に接続した無線端末の最大数 N_{max} の関係

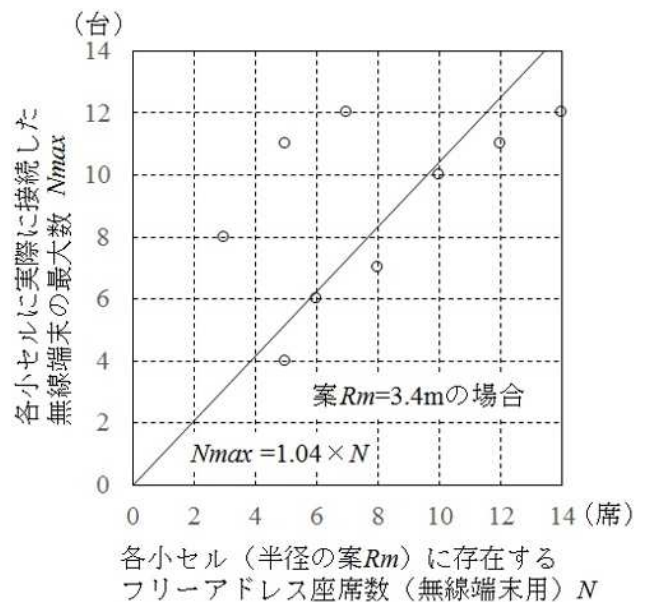


図7 半径の案 $R_m=3.4m$ の場合の各小セルに存在するフリーアドレス座席数（無線端末用） N と各小セルに実際に接続した無線端末の最大数 N_{max} の関係

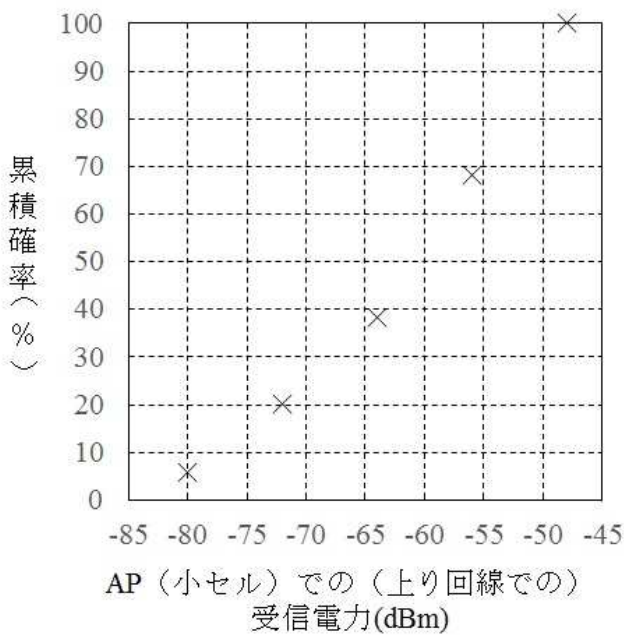


図 8 9つの各小セルに接続した無線端末が各最大数 N_{max} の場合において測定された各無線端末の AP(小セル)での(上り回線での)受信電力の累積確率分布

電力データをすべて採用している。

3.5. 考察

2.2節で述べたように、 R_m を推定するには各種の不確定要素はあるが、3.4節の実験結果を次のように考察した。

(1) R_m の推定値の吟味

図 5 からは、円形の小セルのサービスエリアの半径の案 $R_m=2.24m$ を想定した場合のフリーアドレス座席数(無線端末用) N より、実際には多い無線端末の数 N_{max} が小セルへ接続していると理解できる。なお、測定点を原点通過の一次式で近似した場合の実線の傾きは 1 より大きい約 3.0 になっている。実際に接続している無線端末は、半径の案 $R_m=2.24m$ の円形のサービスエリアより外側にも多く存在していると推測した。

一方、図 6 からは、円形の小セルのサービスエリアの半径の案 $R_m=5.4m$ を想定した場合のフリーアドレス座席数(無線端末用) N より、実際には少ない無線端末の数 N_{max} が小セルへ接続していると理解できる。なお、測定点を原点通過の一次式で近似した場合の実線の傾きは 1 より小さい約 0.4 になっている。実際に接続している無線端末は、半径の案 $R_m=5.4m$ の円形のサービスエリアの境界位置より内側に多く存在していると推測した。

図 7 では、円形の小セルのサービスエリアの半径の案 $R_m=3.4m$ を想定しているが、測定点を原点通過の一

次式で近似した場合の実線の傾きが約 1.0 になっている。この状況では、半径の案 $R_m=3.4m$ を想定した場合のフリーアドレス座席数(無線端末用) N は、実際に小セルへ接続した無線端末の数 N_{max} に、概ね一致していると理解できる。つまり、実際に接続している無線端末は、半径の案 $R_m=3.4m$ の円形のサービスエリアの外側近傍と内側に存在していると推測した。

従って、図 3 と 4 に示した本実験環境では、小セルのサービスエリアは、概ね半径 $R_m=3.4m$ の円形程度であると推測判断した。なお、測定点の印が傾き約 1.0 の原点通過の一次の近似式の周辺に分散している状況は、2.2節で述べた各種の不確定要素の影響によると考えられる。

(2) 小セルのサービスエリア境界位置からの上り回線の受信電力を推定する一案

図 7 において、測定点を原点通過の一次式で近似した場合の実線(傾き約 1.0)より上側には 3 つの測定点(小セルにおける N_{max} の状況)がある。これら 3 つの測定点の場合、円形の小セルのサービスエリアの半径 $R_m=3.4m$ を想定した場合のフリーアドレス座席数(無線端末用)より、実際には多い無線端末の数 N_{max} が小セルへ接続していると理解できる。これら 3 つの測定点の実際に接続している無線端末は、半径 $R_m=3.4m$ の円形のサービスエリアより外側にも存在していると推測した。図 7 から半径 $R_m=3.4m$ の円形のサービスエリアより外側に存在すると推測される無線端末数 N_e は、次式のように表せられると考えた。

$$N_e = N_{max} - N \quad (3)$$

上記の図 7 における 3 つの測定点の場合、別途の確認によって $N_{max}=8$ と 12 が各 1 回発生し、 $N_{max}=11$ が 2 回発生していたので、その発生数を k とすると、 N_{max} 、 N 、 N_e 、 k 、及び N_e となる受信電力データ数の関係は、表 2 のように表される。

表 2 から、 N_e となる受信電力データ数の合計 N_{etotal} は 22 となった。3.4節で述べたように図 8 における受信電力のデータ総数 N_p は 104 個なので、 $N_{etotal}=22$ は発生確率=約 21%になる。この発生確率=約 21%を累積確率=約 21%相当であると理解して、図 8 を見ると累

N_{max}	N	N_e (= $N_{max} - N$)	k	N_e となる受信電力 データ数(= $N_e \times k$)
8	3	5	1	5
11	5	6	2	12
12	7	5	1	5
Netotal(= $N_e \times k$ の合計)				22

表 2 N_{max} 、 N 、 N_e 、 k 、及び N_e となる受信電力データ数の関係

積確率=約 21%の受信電力は約-71dBmであると判明する。

従って、本実験環境において、小セルのサービスエリア(半径 $R_m=3.4\text{m}$ の円形)境界位置に存在する無線端末から上り回線として AP(小セル)で受信した受信電力は、約-71dBm になると推測した。なお、本実験環境における 5GHz 帯の 20MHz 幅伝送における雑音電力は、概ね-92dBm 前後なので、受信電力が約-71dBm の SN 比は約 21dB であり、PC データ通信の場合のサービスエリアとしては良好であると考えられる[12]。

4. まとめ

Dual5GHz 帯(小セル on 大セル)モードを実装した AP を日常的に運用している一般的な事務所のフロア環境、即ち、筆者らが利活用している社内無線 LAN において、小セルへ接続した無線端末数とフリーアドレス座席数(無線端末用)の關係に着目して小セルのサービスエリアの広さを実験的に推定した。小セルの円形のサービスエリアの半径は約 3.4m と推定された。また、そのエリアの境界位置に存在する無線端末から上り回線として AP(小セル)で受信した受信電力は、約-71dBm になると推測した。

提案する推定方法は、無線端末から AP 方向への上り回線のデータを、即ち、各 AP と無線 LAN コントローラで日常的に一元集中して収集されているデータ(無線 LAN 運用管理者が日常的に容易に入手可能なデータ)を簡易な方法で解析するだけであり、別途に用意する装置や大きな手間は不要である利点がある。

推定された小セルの円形のサービスエリアの半径の値は、各種の不確定要素の影響を受けている可能性はあるが、実験結果を考察すると、目安として、例えば、無線 LAN の運用管理を適切に実施するために貢献できると考えられる。

今後の課題は、(1)本推定方法の妥当性をさらに追求すること、(2)本推定方法を大セルに適用した場合にどうなるかを検討すること等である。

謝 辞

社内無線 LAN 環境を利活用する機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社 経営企画本部 情報システム部 インフラ基盤チームの飯田シニアマネージャー、古森エキスパート、大井社員、田牧社員、及び、角田社員に感謝する。無線 LAN 製品の様々なことで日頃よりお世話になっているシスコシステムズ合同会社の 大野奈津子様、竹林百合香様、及び、大藤皓哉様に感謝する。本検討の機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社 ビジネス推進本部長の 篠浦本部長、及び、同本部応用技術部の 井上部長

に感謝する。

文 献

- [1] 丸田竜一, "第 1 回 無線 LAN を介して VDI を利用するとき意識する特徴と課題", ネットワンシステムズ, http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20150521_3.html, 2015 年 5 月 21 日, 参照 November28, 2017.
- [2] 丸田竜一, "第 2 回 無線 LAN を介して VDI を利用するための改善策", ネットワンシステムズ, http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20150525_3.html, 2015 年 5 月 25 日, 参照 November28, 2017.
- [3] ネットワンシステムズ, "ネットワンの働き方革命-フリーアドレス", <http://www.netone.co.jp/workstyle/want-to-do/2-3.html>, 参照 November28, 2017.
- [4] ネットワンシステムズ, "ワークスタイルの変革を実践するファシリティ紹介", <http://www.netone.co.jp/workstyle-old/facility.html>, 参照 November28, 2017.
- [5] 山田暁, 野島大輔, 浅井孝裕, "無線 LAN 関連システムの国際標準化動向", https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/10/2/10_74/_pdf, 通信ソサイエティマガジン B-plus, 2016 秋号 No.38 (http://www.ieice.org/~cs-edit/magazine/archive_2016.html), 電子情報通信学会, 参照 November28, 2017.
- [6] 河村憲一, 石原浩一, 岩谷純一, 篠原笑子, 秋元守, 井上保彦, 市川武男, 鷹取泰司, "無線 LAN の最新動向と協調無線 LAN 技術", <http://www.ntt.co.jp/journal/1701/files/jn20170118.pdf>, NTT 技術ジャーナル, 2017 Vol.29 No.1 (<http://www.ntt.co.jp/journal/1701/index.html>), NTT, 参照 November28, 2017.
- [7] 足立朋子, "IoT 時代の超高速&高効率無線 LAN をめざす 802.11ax 最新ドラフトの詳細と主要技術", 第 54 回ワイヤレス技術セミナー「次世代ワイヤステクノロジーフォーラム, 標準化動向で読み解く無線技術の新潮流」, リックテレコム, 2017 年 10 月 5 日。
- [8] 中野清隆, "Cisco IEEE802.11ac wave2 対応アクセスポイント Flexible Radio Assignment 機能のメリット", ネットワンシステムズ, <http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20160805-2.html>, 2016 年 8 月 5 日, 参照 November28, 2017.
- [9] Cisco systems, "Cisco Aironet 3800 Series Access Points Data Sheet", <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3800-series-access-points/datasheet-c78-736498.html>, Oct.17, 2017, 参照 November28, 2017.
- [10] Cisco systems, "Radio Resource Management under Unified Wireless Networks", Cisco systems, http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008072c759.shtml, May 17, 2010, 参照 November28, 2017.
- [11] 中野清隆, "第 1 回 見えた! 無線 LAN の電波!!! ~電波の可視化の重要性~", ネットワンシステムズ, <http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20150525.html>, 2015 年 5 月 25 日, 参照 November28.

- [12] 松戸孝, "第 4 回 無線 LAN の製品や技術の理解を助けてくれる便利な単位「dB (デシベル)」～実験的検討に挑戦! どのメーカーも具体的に示していない無線 LAN 製品におけるダイバーシティ受信の性能状況 その 4～", ネットワンステムズ,
<http://www.netone.co.jp/report/column/column1/20160107.html>, 2016 年 1 月 7 日, 参照 November28, 2017 .