

## 位置特定社会基盤のシステム創成学論的考察

### ～Wi-Fiによるスマートフォン位置特定性能～

間邊 哲也<sup>†</sup> 長谷川孝明<sup>†</sup> 永長 知孝<sup>††</sup> 相原 弘一<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

<sup>††</sup> 関東学院大学 理工学部 理工学科 〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1

<sup>†††</sup> パナソニックシステムネットワークス株式会社 〒224-8539 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町 600

E-mail: <sup>†</sup>{manabe,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp, <sup>††</sup>nagaosa@kanto-gakuin.ac.jp,

<sup>†††</sup>aihara.koichi@jp.panasonic.com

**あらまし** 本稿では、スマートフォンにおける第二の位置特定社会基盤である無線 LAN(Wi-Fi; Wireless Fidelity) による位置特定について、学習用データ収集時と評価用データ収集時で Wi-Fi の電波環境が大きく異なるイベント会場において、その性能評価を行っている。評価結果から、イベント会場や空港、ショッピングモールなど、営業時間外(データベース構築時; 学習用データ)と営業時間内(システム利用時; 評価用データ)で Wi-Fi の電波環境が大きく異なるような場所では、1) 人の出入り、2) モバイルルータやテザリング端末の存在、3) Wi-Fi による電波の利用状況が変化することで、それぞれの位置で観測される Wi-Fi による位置特定に必要な情報である基本サービスセット識別子(BSSID; Basic Service Set Identifier)や受信信号強度(RSSI; Received Signal Strength Indicator)に変化が生じ、その結果として、位置特定誤差が大きくなることが明らかにしている。

**キーワード** Wi-Fi, 位置特定, システム創成, 社会基盤, スマートフォン

## Positioning Social Infrastructures from the Viewpoint of Systems Innovation

### —Smartphone Positioning Performance Using Wi-Fi—

Tetsuya MANABE<sup>†</sup>, Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup>, Tomotaka NAGAOSA<sup>††</sup>, and Koichi AIHARA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

<sup>††</sup> Kanto Gakuin University 1-50-1 Mitsuura-higashi, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-8501 Japan

<sup>†††</sup> Panasonic System Networks Co., Ltd. 600 Saedo-cho, Tsuzuki-ku, Yokohama, 224-8539 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{manabe,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp, <sup>††</sup>nagaosa@kanto-gakuin.ac.jp,

<sup>†††</sup>aihara.koichi@jp.panasonic.com

**Abstract** This paper describes smartphone positioning performance using wireless LAN (Wi-Fi; Wireless Fidelity) in an event hall that Wi-Fi radio wave environments are different between learning data and evaluation data. From the results, the previously mentioned environments, e.g., event halls, airports, and shopping malls, have the following differences: 1) the number of people, 2) existstence of mobile routers and tethering terminals, 3) use state of Wi-Fi, so that the positioning error becomes large as a sequel to the change of BSSID(Basic Service Set Identifier) and RSSI(Received Signal Strength Indicator).

**Key words** Wi-Fi, Positioning, Systems Innovation, Social Infrastructure, Smartphone

### 1. ま え が き

スマートフォンの普及に伴い、歩行者ナビゲーションシステ

ムや SNS(Social Networking Service)をはじめとした、位置情報に基づくサービス(LBS; Location-Based Services)の普及・需要増加が進んでいる。また、人間の活動の約7割は屋内で行

われているとも言われており、屋外だけでなく、屋内や地下街などでも LBS の提供が求められている。LBS の実効性・サービスの質は、それらが利用する位置特定サブシステムの性能に大きく影響され、また、質の高いサービスを提供するためには、あらゆる場所で正確かつ高精度な位置特定を行う必要がある。

現在、スマートフォンなどのモバイル機器で一般的に利用されている位置特定手法は、GPS(Global Positioning System)、携帯電話基地局による方法、Wi-Fi(Wireless Fidelity)による方法である。GPS は、第一の位置特定社会基盤として広く利用されている。オープンスカイであれば高精度だが、高層ビル街の屋外や建物内・地下では電波の反射・遮蔽・減衰などによって位置特定結果が得られない、または、大きな誤差を生じることがしばしばある(例えば[1])。携帯電話基地局による方法(例えば[2])は、大まかな位置特定は可能だが、セル半径が大きく、マルチパスフェージングなどの影響により高精度な位置特定は期待できない。Wi-Fiによる方法は、GPSに次ぐ第二の位置特定社会基盤になりつつあり、スマートフォンを用いた LBS でも広く利用されている。

Wi-Fiを用いた位置情報の取得方法には、大きく2つの方法がある。1つは、スマートフォンの基本 API(Application Programming Interface)から提供される位置情報(一般的に緯度経度で表現されている)を利用する方法、もう1つは、Wi-Fiアクセスポイントのビーコンなどから得られる情報(BSSID(Basic Service Set Identifier)、RSSI(Received Signal Strength Indicator)など)と位置情報を紐付け、それらを事前にデータベース化しておき、位置情報取得時にこのデータベースを参照する方法である。前者の位置特定性能については、文献[3]において、スマートフォンやタブレットなどのモバイル機器を前提とした LBS の基本となる位置特定の誤差発生メカニズムについて、下位レイヤ(GPS、Wi-Fi、携帯電話基地局などの位置特定サブプラットフォーム(要素技術))、中位レイヤ(Android、iOSなどのプラットフォームから提供される機能 API)、上位レイヤ(アプリケーションの動作アルゴリズム)の3層に分け、最終的な位置特定性能はこれらの複合要因によって決定することを明らかにしている。後者については、文献[4]~[12]などにおいて性能評価が行われているが、いずれもデータベースの質が位置特定性能に大きく影響する。位置情報とWi-Fiアクセスポイントのビーコンなどから得られる情報と紐付けの方法として、屋外で、かつ、GPSによる正確な位置特定が行える環境では、GPSから得られた位置を真値として利用することができるため、データベースを自動的に更新することも可能である。一方、GPSが不得手とする建物付近の屋外や屋内・地下などでは、多くの場合、位置情報を別途入力しなくてはならない。特に、通常は人で混雑しているような場所(例えば、イベント会場、空港、ショッピングモールなど)でのデータベース構築に必要な情報の収集は、営業時間外など人の少ない状況で実施されるが、システム利用時(営業時間内)と比較して、1)人の出入り、2)モバイルルータやテザリング端末の存在、3)Wi-Fiによる電波の利用状況が大きく異なる。データベース構築時とシステム利用時でWi-Fiの電波環境が大きく異なる状況はしばしば

発生することから、このような状況がWi-Fiを用いたスマートフォンの位置特定性能にどのような影響を与えるのか明らかにしておくことが必要である。そこで本稿では、Wi-Fiアクセスポイントのビーコンなどから得られる情報を実際のイベント会場で収集し、それらの情報を用いて、Wi-Fiによるスマートフォンの位置特定性能評価を行い、システム創成論の観点で考察を行う。

## 2. Wi-Fiによるスマートフォンの位置特定

Wi-Fiを用いた位置特定手法の多くは、Proximity, Trilateration(Triangulation), Scene Analysisの3種類に大別される[4]。

Proximity(例えば[13])は、位置が既知である基準点(Wi-Fiアクセスポイント)から得られる情報を用いて、位置特定対象(ユーザ)がどの基準点の近くに存在するか特定する。各Wi-FiアクセスポイントのBSSIDと位置を紐付け、予めデータベースに登録しておく。測定時に受信信号強度(RSSI)が最も強いWi-FiアクセスポイントのBSSIDに紐付けられた位置をユーザの位置として特定する。

Trilateration(Triangulation)(例えば[14])は、位置が既知である複数の基準点からの相対的な位置関係を用いて位置特定を行う。Proximity同様、BSSIDと位置のデータベースを用意しておくが、測定時は、3つ以上のWi-FiアクセスポイントのRSSIと電波伝搬距離からユーザの位置として特定する。

Scene Analysis(例えば[4])は、位置特定を行う領域中の複数の特定の位置でシーン(scene; 場面)の観測を行い、各シーンとそのシーンを観測した場所を対応付けるデータを学習用データとして事前に構築し、構築した学習用データを用いて位置を行う。

Wi-Fiによる位置特定用データベースを作成して行う位置特定手法の性能評価の例として、屋外においてGPSとWi-Fiの位置特定性能の比較[5]、屋内においてWi-FiによるTriangulationとScene Analysisの比較[6]、屋内においてWi-FiとBluetoothの比較[7]がそれぞれ行われている。文献[8]では、屋内廊下において人によるWi-Fi電波の遮蔽と位置特定性能の関係性の調査が行われている。まず、基礎実験として、Wi-Fiアクセスポイントとスマートフォンの間に人が入らない場合(電波遮蔽なし)と入った場合(電波遮蔽あり)のそれぞれの状況でRSSIを計測した結果、人が電波を遮蔽するとRSSIが10~15dBm減少することを確認している。次に、電波の遮蔽がない状況で収集した学習用データで構築したデータベースに対して、電波の遮蔽がある状況で収集した評価用データを用いて位置特定性能の評価を行った結果、人による電波の遮蔽によって位置特定性能も大きく低下することを確認し、Wi-Fiを用いた位置特定では、人による電波の遮蔽を考慮したデータベースを構築する重要性について述べられている。文献[9]では、体育館・グラウンド・中庭のWi-Fiの電波環境で性能評価を行い、位置特定専用のWi-Fiアクセスポイントの設置により、正確かつ高精度な位置特定が行えることを示している。文献[11],[12]では、BluetoothによるProximityを用いて位置特定対象エリアを限定した上で、Wi-FiによるScene Analysisを行うこと

で位置特定性能が向上することを示している。文献[10]では、Wi-Fiによる位置特定にスポット情報(ユーザの目の前にある店舗名や部屋名など)を加えることで位置特定性能が向上することを示している。

これらの従来研究はいずれも、データベース構築時(学習用データ)とシステム利用時(評価用データ)とでWi-Fiの電波環境の変化がほとんど発生しない状況での性能評価結果であり、質の高いLBSを社会に提供していくためにも、データベース構築時とシステム利用時でWi-Fiの電波環境が大きくことなる状況でのWi-Fiによる位置特定性能に関する知見が必要である。

### 3. Wi-Fi アクセスポイント情報の収集

2013年10月15日~18日に東京ビッグサイトで開催されたITS世界会議東京2013の展示会の会場(西1ホール・西2ホール)を対象エリアとして実験を行った。実験環境を図1に示す。本実験では、BUFFALO製Wi-Fiアクセスポイント(WHR-300; IEEE802.11b/g/n対応(2.4GHz帯のみ); Ch.1固定)計22台を展示ブース内に設置した(図1中の☆印)。シーンの観測を行う場所は、学習用データを収集する参照点(図1中の○印)計232ヶ所で、これらの参照点のうち14ヶ所は評価用データの収集を行う計測点(図1中の◇印)も兼ねている。

シーンとして収集する情報は、各参照点で観測された全てのWi-FiアクセスポイントのBSSIDとRSSIで、本稿では以後、Wi-Fiアクセスポイント情報と呼ぶこととする。Wi-Fiアクセスポイント情報の収集は、文献[8]同様、図2のように市販のAndroidスマートフォンを三脚に取り付け、高さ1.2mの位置に固定した後、本実験用に開発したスマートフォンアプリを用いて、各参照点で観測される全てのWi-FiアクセスポイントのBSSIDとRSSIを1秒毎に記録した。また、2.で述べたように文献[8]において、Wi-Fiを用いた位置特定では人による電波の遮蔽を考慮したデータベース構築が重要であることから、1参照点につき複数方向のWi-Fiアクセスポイント情報を収集した。具体的には、図1の上方向を起点にWi-Fiアクセスポイント情報を15秒間収集した後、時計回りに90°回転し、同様に15秒間Wi-Fiアクセスポイント情報を収集した。これを4方向に対して行った60秒間分のデータを1セットとして、全ての参照点において異なるスマートフォンを用いて、2回または3回収集を行った。

学習用データの収集は展示会開催前の10月14日、評価用データの収集は展示会開催中の10月18日にそれぞれ行った。本実験でWi-Fiアクセスポイント情報の収集に用いたスマートフォンとその仕様を表1に示す。

### 4. 位置特定性能評価

3.で収集した学習用データと評価用データを用いて位置特定性能評価を行う。評価指標には、各計測点(計14ヶ所)における、位置特定誤差(真値からの距離)の平均および標準偏差を用いる。

各計測点での位置特定誤差を図3に示す。図3において、棒グラフで平均値、エラーバーで標準偏差をそれぞれ表している。

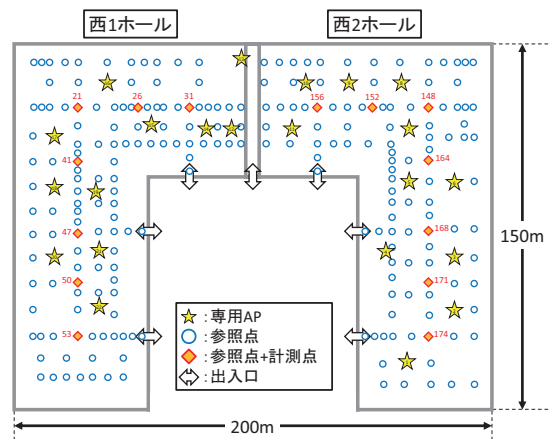
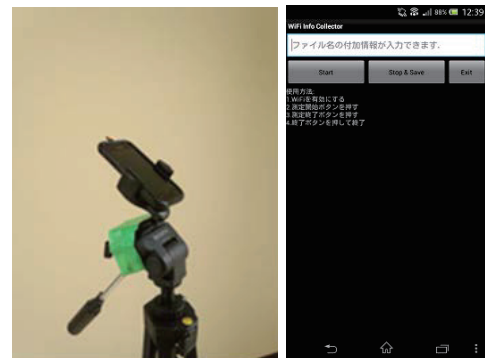


図1 実験環境。



(a) 三脚固定方法。 (b) アプリ。

図2 スマートフォンによるWi-Fiアクセスポイント情報収集方法。

表1 スマートフォン仕様。

Vendor	Model	5GHz Wi-Fi Support
Panasonic	ELUGA X (P-02E)	○
LG	Nexus 4	○
Samsung	Galaxy Nexus (SC-04D)	○
Samsung	Galaxy S II LTE (SC-03D)	○
Samsung	Nexus S	×
SHARP	Aquos Phone Xx (SBM206SH)	○
SHARP	Aquos Phone ZETA (SH-02E)	○
Sony	Xperia P (LT22i)	×
Sony	Xperia SX (SO-05D)	○
Sony	Xperia Z (C6603)	○

位置特定誤差は計測点によって大きく異なるが、位置特定誤差の平均が10m未満となったのは#21・#164のみで、#53に至っては平均55.12m、標準偏差76.15mとなり、このような位置特定性能では歩行者ナビゲーションをはじめとするLBSの質の低下を招きかねない。

#### 4.1 一般アクセスポイントの利用の検討

文献[8],[9]では、位置特定に用いるWi-Fiアクセスポイントの属性として、本稿のように位置特定専用にしたWi-Fiアクセスポイント(専用AP)に加えて、通信など通常の使用目的で設置されているWi-Fiアクセスポイント(一般AP)を組み合わせることで位置特定性能が大きく向上することが示されている。本実験においては、学習用データ収集時と評価用データ収集時とともに観測されたWi-Fiアクセスポイントを一般APと

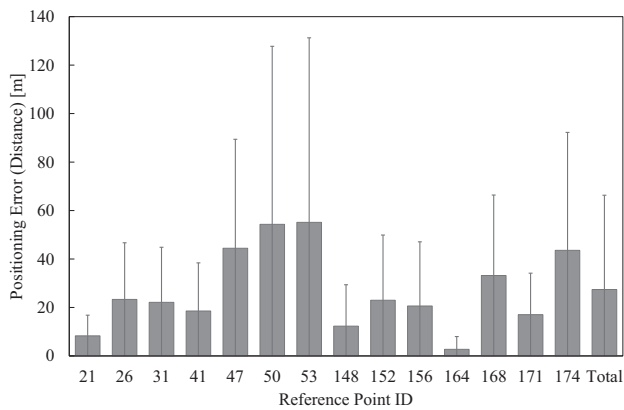


図 3 各計測点での位置特定誤差.

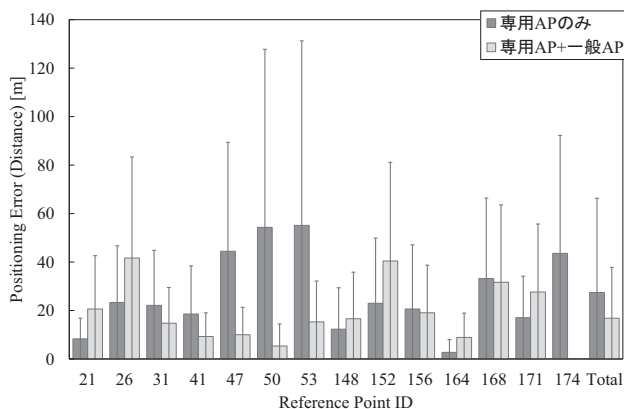


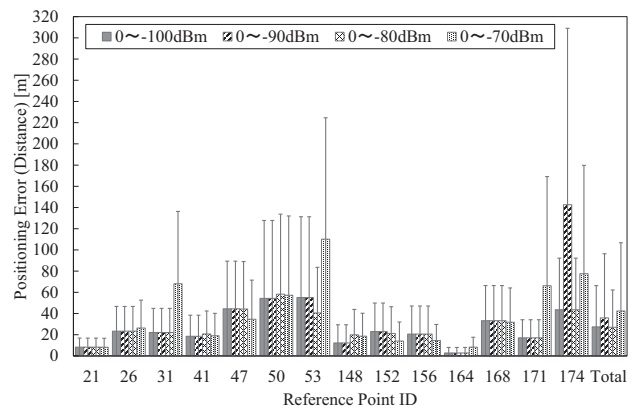
図 4 各計測点での位置特定誤差—専用 AP に一般 AP を加えた場合.

見なせることから、専用 AP に一般 AP を加えて、再度位置特定性能の評価を行った。

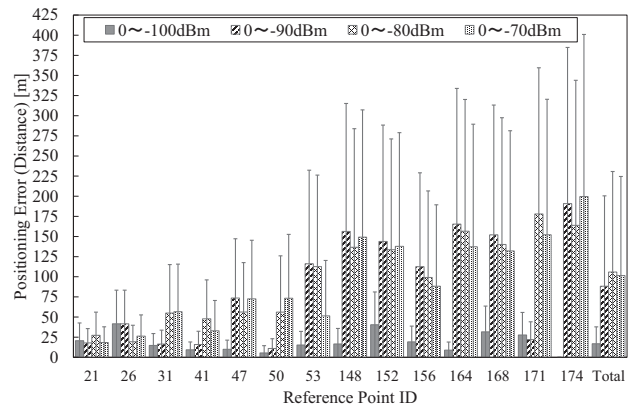
学習用データ収集時に 1 回以上観測された BSSID は 293 個、評価用データ収集時に 1 回以上観測された BSSID は 312 個であり、このうち、学習用データ・評価用データでともに 1 回以上観測された BSSID は 154 個 (専用 AP の BSSID 22 個を含む) であった。この 154 個の BSSID を用いて、専用 AP に一般 AP を加えたときの各計測点での位置特定性能の評価を行った。各計測点での位置特定誤差を図 4 を示す。図 4 より、専用 AP に一般 AP を加えることで、#47・#50・#53・#174 のように位置特定性能が大幅に向上する計測点がある一方で、#21・#26・#152 のように位置特定性能が大幅に劣化する計測点があった。

#### 4.2 位置特定に用いる RSSI のパラメータの検討

位置特定に用いる RSSI のパラメータの位置特定性能に対する非線形効果を考慮して、1)RSSI の大きなアクセスポイント、つまり端末に近い位置にある (可能性のある) アクセスポイントの選択、2) 量子化幅についてそれぞれ検証を行った。具体的には、1) では位置特定に使用する RSSI の下限値を-100,-90,-80,-70dBm を変えた場合 (量子化幅は 1dBm で固定)、2) では量子化幅を-1,-5,-10,-20dBm と変えた場合 (下限値は-100dBm で固定) のそれぞれで各計測点での位置特定性能の評価を行った。1) の結果を図 5、2) の結果を図 6 に示す。これらの結果に



(a) 専用 AP のみ.



(b) 専用 AP+一般 AP.

図 5 各計測点での位置特定誤差—位置特定に用いる RSSI の下限値を変えた場合.

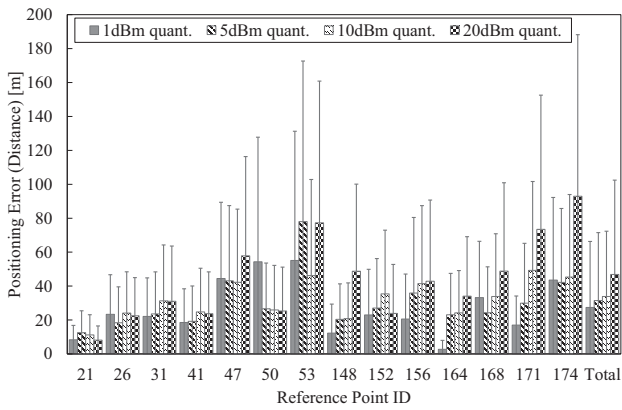
ついて、一部に位置特定性能の改善が見られたが、顕著な改善効果は得られなかった。

#### 4.3 学習用データと評価用データ内の BSSID と RSSI

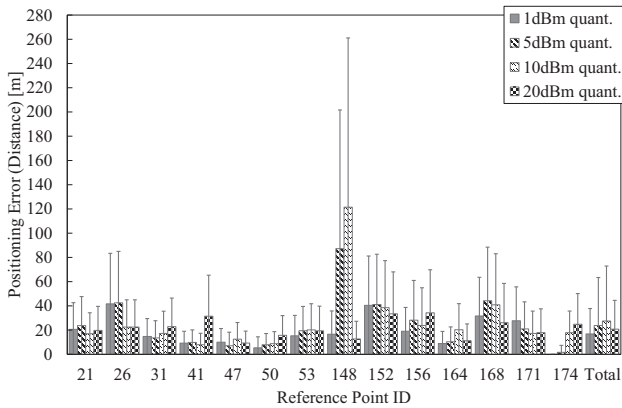
4.1 および 4.2 では、文献 [8], [9] のような正確・高精度な位置特定結果が得られなかった。そこで、Scene Analysis における出現確率の算出で必要となる、学習用データ・評価用データのそれぞれに含まれている BSSID と RSSI について改めて検討を行う。

まず、学習用データと評価用データで BSSID の増減があるか検証を行う。表 2 は、学習用データと評価用データに関して、各計測点 (RP) での専用 AP の BSSID の増減をまとめたものである。ここで、学習用データに含まれていない BSSID が評価用データに含まれている場合は「+」、学習用データに含まれている BSSID が評価用データに含まれていない場合は「-」を付している。表 2 より、多くの計測点で BSSID の増減があり、RP#53 のように学習用データと評価用データで半数近くの専用 AP の BSSID が入れ替わっていることも分かる。

次に、RSSI の頻度分布について検証を行う。ここでは例として 4ヶ所の参照点 (#21,#53,#148,#174) において、学習用データ収集時・評価用データ収集時のそれぞれで観測された RSSI の相対頻度分布を図 7 に、平均値・標準偏差を表 3 にそれぞれ示す。図 7 および表 3 より、一部の計測点で頻度分布に偏りが生じていることが分かる。



(a) 専用 AP のみ.



(b) 専用 AP+一般 AP.

図 6 各計測点での位置特定誤差—位置特定に使用する RSSI の量子化幅を変えた場合.

表 2 専用 AP の BSSID の増減.

AP \ RP	21	26	31	41	47	50	53	148	152	156	164	168	171	174
1						+	+	-	-					
2						+	+	-	-	-				
3						+	+	-	-	-				
4						+	+	-	-	-			+	+
5								-	-	-				
6														
7														
8														
9			-											
10			+											
11			+	-										
12			-	-	+			+	+				+	
13													+	
14														
15			+	+	+			+	+	+				
16			-	+	-	-		+	-					
17										+	+			
18				+	+	+	+							
19			+	+	+	+	+							
20			+			+	+	+						
21			-	-	-									
22				+	+	+	+							
増加	2	3	7	3	4	8	9	2	3	2	0	0	3	1
減少	2	5	2	2	2	1	1	3	5	7	1	0	2	2

ここまでの結果から、データベース構築用にイベント開催前に収集した学習用データと位置特定性能評価用にイベント開催中に収集した評価用データに関して、計測点によって BSSID の増減、RSSI の頻度分布の変化が生じていることが確認できた。これらの原因として、イベント開催中は開催前と比較して

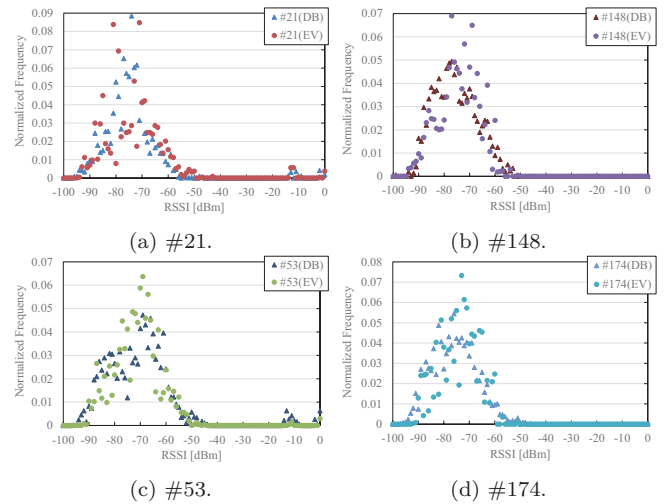


図 7 RSSI の相対頻度分布.

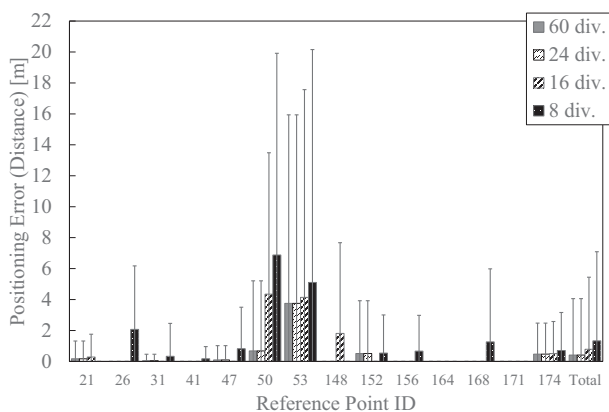
表 3 RSSI の平均値・標準偏差.

	#21(a)	#53(c)	#148(b)	#174(d)
学習用データ	-73.1±12.1	-71.1±9.6	-74.4±7.8	-74.0±7.5
評価用データ	-74.2±11.2	-70.0±14.5	-75.5±8.4	-75.8±8.6

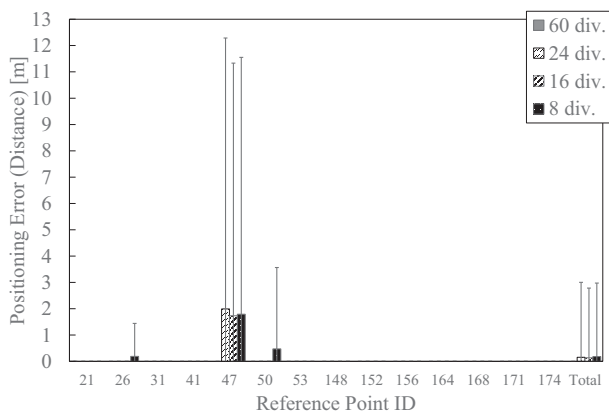
人が多くなるため、1) 周囲の人の体によって Wi-Fi 電波の遮蔽・減衰が起きやすい、2) 近年普及しているモバイルルータやテザリング対応機器の Wi-Fi とのチャンネル干渉、3) Wi-Fi で通信を行うモバイル機器とのチャンネル干渉・パケット衝突などが挙げられ、これらが位置特定性能に影響していると考えられる。

最後に、ここまで使用したデータセットに対して、BSSID の増減・RSSI の頻度分布の変化がなかったときに、同じ位置特定アルゴリズムで正確かつ高精度な位置特定が行えるか検証するため、評価用に収集したデータを 2 分割し、一方をデータベース用、もう一方を評価用としたときの位置特定性能の評価を行う。ここで、元の評価用データは 3. で述べたように 15 秒毎に計測方向が異なるため、計測した 4 方向のデータが均等に分割されるように、8 分割、16 分割、24 分割、60 分割した上で、奇数番目の分割データをデータベース用、偶数番目の分割データを評価用データとして用いた。なお、位置特定に使用する RSSI に関するパラメータについては、下限値-100dBm、量子化幅 1dBm とした。各計測点での位置特定誤差の結果 (図 8) を見ると、専用 AP+一般 AP の元の評価用データを 60 分割して作成した学習用データと評価用データを用いた場合、位置特定誤差は平均・標準偏差ともに 0m となった。その他の分割数や専用 AP のみについても、4.2 までの結果に対して良好な結果が得られている。

以上のことから、今回実験を行ったイベント会場をはじめ、空港やショッピングモールなどでは、1) 人の出入り、2) モバイルルータやテザリング端末の存在、3) Wi-Fi による電波の利用状況が変化することによって、データベース構築時 (学習用データ) とシステム利用時 (評価用データ) で Wi-Fi の電波環境が大きく変化し、その変化によって Wi-Fi による位置特定の性能は悪くなるため、システム利用時になるべく近い環境でのデータベース構築が重要であり、その手法を今後検討する必要がある。



(a) 専用 AP のみ.



(b) 専用 AP+一般 AP.

図 8 各計測点での位置特定誤差—評価用データを分割した場合.

## 5. む す び

本稿では、スマートフォンにおける第二の位置特定社会基盤である Wi-Fi による位置特定について、学習用データ収集時と評価用データ収集時で Wi-Fi の電波環境が大きく異なるイベント会場において、その性能評価を行った。評価結果から、イベント会場や空港、ショッピングモールなど、営業時間外（データベース構築時；学習用データ）と営業時間内（システム利用時；評価用データ）で Wi-Fi の電波環境が大きく異なるような場所では、1) 人の出入り、2) モバイルルータやテザリング端末の存在、3) Wi-Fi による電波の利用状況が変化することで、各参照点で観測される Wi-Fi の BSSID や RSSI に変化が生じ、その結果として、位置特定誤差が大きくなることが明らかとなった。

今後の課題として、Wi-Fi による位置特定性能向上に向けて、ユーザによるシステム利用時に近い Wi-Fi 電波環境での学習用データの収集方法・データベースの構築方法・位置特定アルゴリズムの確立、既存のスマートフォン API から得られる GPS・Wi-Fi・携帯電話基地局を利用した位置特定結果との協調・統合方法の検討などが挙げられる。

**謝辞** 本研究は、ITS 世界会議東京 2013 日本組織委員会の協力のもとに実施されたものである。ここに深謝する。Wi-Fi アクセスポイントの設置に協力頂いた株式会社東芝、三菱自動車工業株式会社、株式会社フォーラムエイト、アイサンテクノロジー株式会社、日産自動車株式会社、日本電気株式会社、三菱電機株式会社、株式会社ユビキ

タス、矢崎総業株式会社、マツダ株式会社、東日本高速道路株式会社 (NEXCO 東日本)、沖電気工業株式会社、NTT グループ、富士通株式会社、アイシン精機株式会社/アイシンエィダブリュ株式会社/株式会社アドヴィックス、トヨタ自動車株式会社、一般財団法人道路交通情報通信システムセンター、ヤマハ発動機株式会社、株式会社デンソー、住友電気工業株式会社、パナソニック株式会社 (展示会ブース番号順) に深く感謝する。また、事前調査に協力頂いた株式会社東京ビッグサイト、貴重な意見を頂いた WYSIWYAS ナビゲーションコンソーシアム (WyNC) メンバー各位ならびに実験協力者各位に感謝する。

## 文 献

- [1] 児島伴幸, 戸川 望, 柳澤政生, 大附辰夫, “歩行者の現在地認識に基づく道路標識とランドマークを用いた位置特定システムの改良とシミュレーション評価,” 信学技報 ITS2009-64, pp.153–158, Feb. 2010.
- [2] 萩谷範昭, 中野雅友, 中井智也, 竹田 勝, 川下史博, 山口弘樹, “FOMA i エリアシステム構成と実現機能,” NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, vol.11, no.2, pp.60–69, July 2003.
- [3] 長谷川孝明, 間邊哲也, 細江克治, 水野一男, “位置特定社会基盤のシステム創成論的考察—GPS/Wi-Fi/携帯電話基地局によるスマートフォン位置特定とアプリケーション—,” 信学技報 ITS2013-76, pp.69–78, March 2014.
- [4] 伊藤誠悟, 河口信夫, “アクセスポイントの選択を考慮したバイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用,” 電学論 C, vol.126, no.10, pp.1212–1220, Oct. 2006.
- [5] A. Kealy, B. Li, T. Gallagher, and A. Dempster, “Evaluation of WiFi Technologies for Indoor Positioning Applications,” Proc. Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial Int. Conf. (SSSI'09), pp.411–421, Adelaide, Australia, Sept. 2009.
- [6] B. Li, J. Salter, A.G. Dempster, and C. Rizos, “Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN,” Proc. 1st IEEE Int. Conf. on Wireless Broadband and Ultra Wideband Commun. (AusWireless'06), pp.13–16, Sydney, Australia, March 2006.
- [7] D.C. Dimitrova, I. Alyafawi, and T. Braun, “Experimental Comparison of Bluetooth and WiFi Signal Propagation for Indoor Localisation,” Proc. 10th Int. Conf. on Wired/Wireless Internet Commun. (WWIC'12), pp.126–137, Santorini island, Greece, June 2012.
- [8] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, “屋内廊下における無線 LAN による位置推定に関する一検討,” 信学技報 ITS2012-41, pp.239–244, Feb. 2013.
- [9] 野田真吾, 間邊哲也, 長谷川孝明, 渡部晴夫, 木村寛治, 原田良一, 星悠太郎, “屋内外無線 LAN 位置推定における専用アクセスポイントの設置効果について,” 信学技報 ITS2012-59, pp.7–12, March 2013.
- [10] 井口裕仁, 永長知孝, “スポット情報を用いた無線 LAN ポジショニングシステムの性能向上に関する検討,” 信学技報 ITS2012-5, pp.25–30, May 2012.
- [11] 東 誉之, 永長知孝, “無線 LAN と Bluetooth を用いた屋内ポジショニングシステムの性能評価,” 信学技報 ITS2013-21, Dec. 2013.
- [12] 田村侑介, 永長知孝, “Bluetooth を用いた無線 LAN ポジショニングシステムの性能改善に関する検討,” 信学技報 ITS2010-71, pp.23–28, March 2011.
- [13] J. Krumm and K. Hinckley, “The NearMe Wireless Proximity Server,” Proc. 6th Int. Conf. on Ubiquitous Comput. (UbiComp'04), pp.283–300, Nottingham, UK, Sept. 2004.
- [14] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, J. Scott, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powlledge, G. Borriello, and B. Schilit, “Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild,” Proc. 3rd Int. Conf. on Pervasive Comput. (Pervasive'05), pp.301–306, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Munich, Germany, May 2005.