

無線機同定法の研究—受信機能付高速データ取得装置の開発—

Transmitter Identification — The Development of a High-Speed Data Acquisition System with Receiving Functions —

渋谷政昭 杉山 功 岩崎 憲 平野隆之 鈴木 晃

Masaaki SHIBUKI, Tsutomu SUGIYAMA, Ken IWASAKI,
Takayuki HIRANO, and Akira SUZUKI

要旨

CRLは無線機識別システムの開発に成功した。無線機をオン／オフする時、様々な過渡応答を示す。受信機能付高速データ取得装置を使用して、無線機の過渡応答特性を評価するために、立上り、立下りのデータを得ている。従来の高速データ取得装置に、アンテナ経由による実環境でのデータ取得を確実に実行するための狭帯域スペクトラム・トリガ・システム(NSTS)を装着した。このことにより、トリガが安定に動作する下限を以前の受信機入力換算値Pinで-70dBm から-120dBmに、大幅に低下させることに成功した。本稿では受信機能追加高速データ取得装置の開発について述べる。

CRL (Communication Research Laboratory) has developed a system that improves the clarity of trigger settings used in the identification of FM radio transmitters. This method uses a hybrid system that consists of a trigger-based high-speed data acquisition system with receiving functions. This system enhances the ability to accurately identify FM radio transmitters via a narrow-band spectrum trigger system (NSTS) that mediates the variable transient response patterns that occur when a press-to-talk button is switched on and off. To accomplish this, an NSTS unit was installed into a high-speed data acquisition system to elicit trigger settings that would provide discrete transmitter identification. This hybrid system was used to obtain rise and fall data from FM transmitters, and the transient response patterns were then analyzed. Experimental evaluation demonstrated that this method increases the dynamic range [receiver input level (Pin) = -70 to -110 dBm] and significantly reduces noise interference, making it possible to obtain more accurate transmitters identification.

【キーワード】

無線機同定, 狭帯域スペクトラム・トリガ・システム

Radio transmitter identification, narrow-band spectrum trigger system (NSTS)

1 まえがき

無線通信分野の飛躍的な進歩と無線局の増加に伴い様々な障害が発生してきた。その障害の中で不法無線局による重要な無線通信や一般業務無線への混信や妨害の発生が問題となっている。

る。発生件数は最近の通信白書によると、年間45,000件以上で更に増加する傾向にある。この不法無線局に対する効果的な対策の実施と、電波環境の保護が緊急の課題となっている。

不法無線局の取り締りを的確かつ、効果的にを行うためには、方位測定装置や、電波監視等に

において受信した電波を分析することにより、当該の電波の発生源を識別する電波監視システムの開発が望まれている。

このような背景の下に、CRLでは郵政省の取り組みに先駆けて平成4年から、プレストーク送受信機のon/off時の過渡応答特性を解析して送信機を同定する研究を行ってきた。ここでは、過渡応答特性のデータ解析法として音響計測分野で用いられているウィグナー・ビレ分布を用いる方法で検討を行った。^[1]

その後、郵政省で推進している「次世代の電波監視システム」の実現に寄与するために、平成8年から郵政省協力依頼事項として新たに研究を開始した。

第1期(H8.4 - H11.3)の4年間で無線機同定用高速データ取得装置のハードウェアとソフトウェアを整備した。この結果、RF波形データ又は、I-Qデータの取得と表示、更にI-Qデータに基づいたスペクトログラムの計算と表示が可能となった。

データ解析法の研究では、瞬時周波数表現、疑似ウィグナー分布及びスペクトログラムを非定常信号である過渡応答に適用し、各解析法の特徴と有効性について明らかにするとともに「高次指数関数法による逐次相関関数」を用いてスペクトラムを求める手法を提案し、時間分解能、周波数分解能、ノイズ頑健性などの点から従来手法と比較を行った。^[2]

第2期(H11.4 - H14.3)には、無線機メーカー3社6機種24台による室内データ取得実験を行った。この実験の目的は無線機の特長や傾向を客観的に把握することである。データ処理は送信立上り時の振幅包絡線を飽和電圧で規格化して、メーカー別、機種別あるいは、同一機種内における振幅包絡線波形の違いによる無線機同定の可能性を検討した。無線機同定用高速データ取得装置に受信機能を付加し、関連ソフトウェアを整備した。この結果、アンテナ経由によるデータ取得が可能となった。ノイズ、マルチパス等の電波伝搬上の影響について実験を開始した。^[3]

データ解析法については、Root-MUSIC法、線形予測法による検討を行った。^[4]^[5] 瞬時周波数表現、スペクトログラム及び疑似ウィグナー分布による解析との比較を行い、結果をまとめた。

このほか、室内データを解析した結果、無線機のモデル毎に様々な時間-周波数空間上のパターンを確認した。振幅波形と異なりパターンが多様なため、同定に有効な特徴量の抽出について検討した。その結果、振幅波形で同定が困難な場合、時間-周波数空間の情報を加味することが更に有効であることが明らかになった。^[6] また、マルチパス等により損傷を受けた信号に対する適応等化法の検討を開始した。さらに、アダプティブアレーを無線機同定システムへ適用することを目的に、2次元CMAと固有ベクトル合成法を取り上げ、その性能を過渡応答のスペクトログラムにより比較評価を行った。^[7]

本稿では最初に本装置の改良について報告する。改良前、受信機のみを追加した場合の装置のトリガーが正常に動作する受信機入力レベルの下限が-70dBmであった。これに対して、受信機に狭帯域スペクトラム・トリガ・システムを追加してトリガ機能に工夫を施し改善を試みた。これにより、装置の最小受信機入力レベルを-120dBmに大幅に低下できたことを紹介する。

2 高速データ取得装置

開発の課程で高速データ取得装置は、室内実験用とアンテナ経由による野外実験用に改良し現在の構成に至った。装置を室内実験用と野外実験用に切り分けた理由は、室内実験で無線機の過渡応答特性をノイズフリーの状態環境特性や供給電源の依存性等正確に把握しておくこと。次にシステムを野外実験用に改修、改良を施し、得たデータを解析し無線機識別の有効性について具体的に要因別に整理して、比較検証を行う必要性を考慮した結果である。

図1に受信機能を付加したシステムの機能ブロック図を、また装置の外観を写真1にそれぞれ示す。最初に室内実験用の構成について説明する。図1の受信機RR502AとE6500Aダウンコンバータ間にあるアッテネータ0~30dBの入力側のコネクターから無線機の信号を接続する。信号レベルは、ミキサーへの入力を-10dBmに保つ必要があり、E6500Aはゲインを約10dB程度期待できることから、入力信号に応じてE6500AのA

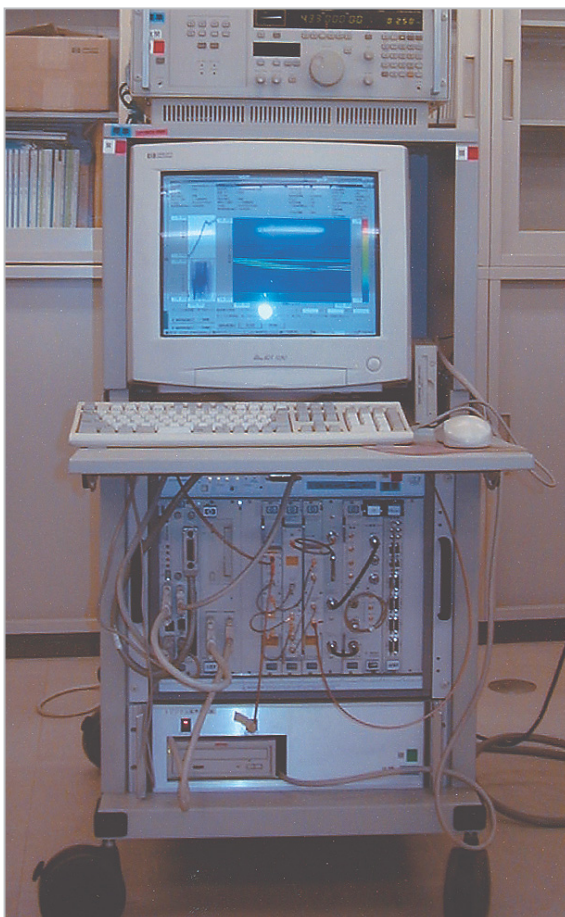


図1 無線機同定システムの外観

ッテネータを次式に従って値を設定する必要がある。周波数範囲については30～3000MHzで任意に設定可能である。

$$Att \geq -10\text{dBm} - 10\text{dB} - Pin(\text{dBm})$$

ただし、 $Att \geq 0\text{dB}$

Pin ：受信機入力レベル

トリガ入力については、トリガ条件を、外部トリガ入力、内部トリガから選択する。トリガモードがフリーランの場合はトリガ無しで連続的にデータ取得を行う。室内実験では、通常、内部トリガを選択して使用する。内部トリガを選択する場合、ダウンコンバータへの入力信号レベルのトリガレベルをコントロール画面上で設定し、トリガとしている。この場合、トリガレベルの目安として、入力信号レベルの十分の一程度として扱われる。このダウンコンバータ以降の機能については、次の受信機を付加した場合と重複する部分が多いので、次の野外実験用

に受信機を追加した場合の説明を参照することにする。

受信機R502AのIF OUT (21.4MHz)をE6500Aダウンコンバータで2.7MHzに周波数変換を行いA/D変換後デジタル直交検波でIF信号を実数成分(I)と虚数成分(Q)に分離し、デシメーションフィルタでデータの間引きと帯域制限を行い、64MBのデータファイルとして保存できるように構成されている。データ取得時間は0～200msの範囲で任意に設定可能である。ダウンコンバータE6500Aを使用する上で、歪みS/N比の点で最適な条件は、IFの入力レベルを $-20 \sim -10\text{dBm}$ の範囲に入るよう設計してある。これ以上レベルが大きくなると歪みが増大し、低すぎるとE6500Aのノイズ特性との関係でS/N比が悪化する。このため、取得する信号レベルが既知である場合、IF出力が $-20 \sim -10\text{dBm}$ となるように受信機のアッテネータ値とゲインを次式の関係が成立するように設定する。ただし、受信機の入力レベル Pin が予測できない時、あるいは正確に把握したい場合、測定条件の設定画面から測定モード選択し、スペクトラム画面を起動することにより、フリーランでの信号レベルを図2に示すような画面表示から知ることができる。

$$-20 < Pin - Att + Gain - Loss < -10 \quad (1)$$

$Pin(\text{dBm})$ ：受信機の入力レベル

$Att(\text{dB})$ ：受信機のアッテネータ値
(0、6、10、20)

システムはWindowsNT Ver 4.0の日本語版にて動作し、開発言語はVisual Basic Ver 5.0、また、グラフィック描画や測定部分の機能向上にVisual C++ Ver 5.0を使用した。図3にコントロール画面のトリガ条件の表示例を示す。コントロール画面は5枚で構成されており、測定のための各種条件、RF信号、サンプリング、トリガ、受信機に関する条件をコントロール画面で設定する。例えば、受信機の設定項目にはIF帯域幅があり状況に応じて12kHz、50kHz、250kHzの中から選択して設定することが可能である。本システムでは、ルビジュウム周波数標準を受信機及びダウンコンバータの外部基準信号(10MHz)として使用しており、装置としての周波数確度、安

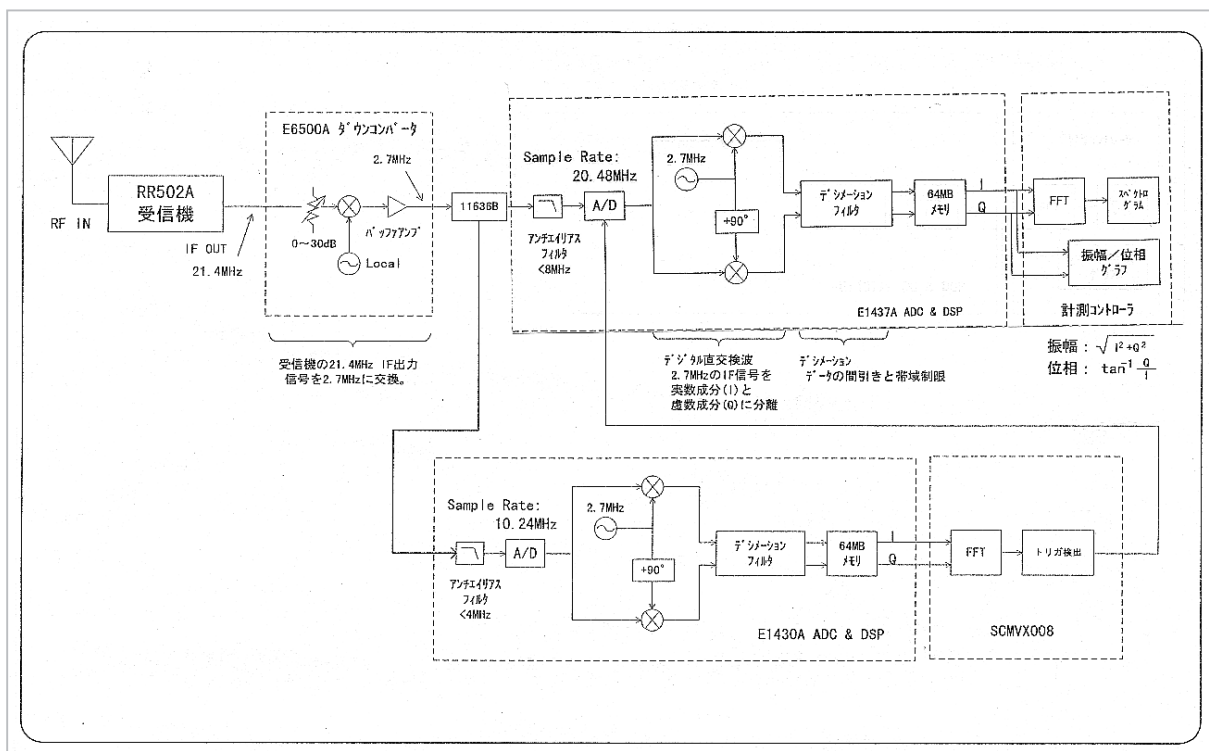


図2 受信機能付き無線機同定システムの機能ブロック図

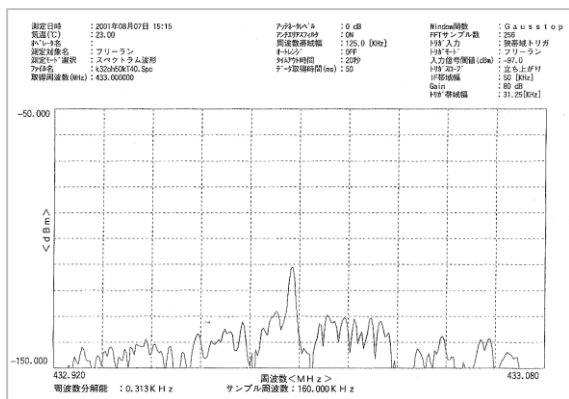


図3 フリーランでのスペクトラム

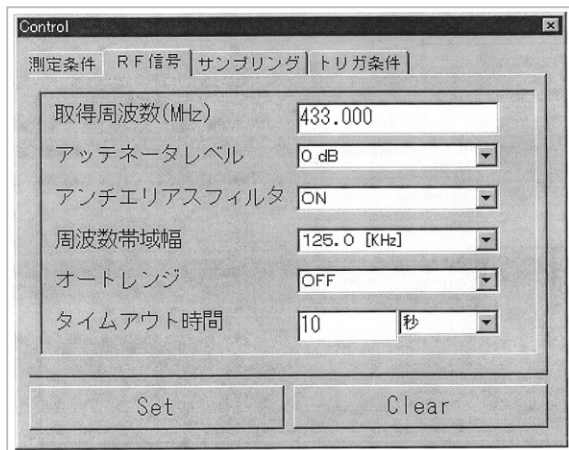


図4 コントロール画面の表示例

定度を得ている。このシステムの標準ソフトウェアとして、I-Qデータの取得と表示、スペクトラム波形、RF波形、スペクトログラムの表示、データ処理、印刷等が可能となっている。図4に、システムの表示例を(a)～(d)にそれぞれ示した。

改良前の内部トリガ方式を採用したブロック図は、図1の上半分です。トリガはプリトリガ機能を有し、最大3msまでさかのぼってデータ取得が可能である。装置の各機能の評価試験を信号発生器等により行い、データ取得に問題が生じるような項目はなく試験項目をクリアしたことを確認した後、実環境でアンテナを経由してデータ取得試験を試みたところ、RF入力信号レベルが-70dBm程度で動作が不安定になりデータ取得が正常に終了しなくなった。ちなみに、この装置でのトリガレベルの設定は受信機の入力信号レベルPin (dBm) とトリガレベルTl (dBm) は、

$$Tl \text{ (dBm)} > Pin \text{ (dBm)} - 10 \text{ (dB)} \quad (2)$$

の関係になるように設定する必要がある。種々検討をした結果、この系統ではA/Dコンバータへの入力信号に対してトリガをかける仕組みに

なっている。このため、信号波形がトリガレベルの設定値に達した時点でトリガが発生する。IF帯域内において、ノイズは概ねホワイトノイズであるので、その波高値は実効値の10倍以上となり、IF帯域を広げた場合には適切なトリガレベルの設定が難しくなることに起因して装置の動作が不安定になることが判明した。

この問題を解決するため講じた対応策は、ランダムノイズを伴った信号に対し、トリガタイ

ミング検出用に図1の下半分に示すようなシステムを付加することを考案した。このシステムを狭帯域トリガ方式と呼ぶことにする。トリガタイミング検出用A/DコンバータとDSP(Digitizers/Signal Processor)モジュールによる信号処理を用いてランダムノイズを除去して取得したい信号の立上りを確実にとらえるように改良を施した。狭帯域トリガ方式では帯域幅を31.25kHz、15.63kHz、7.81kHzの3種類から状況に応じて選択できるよ

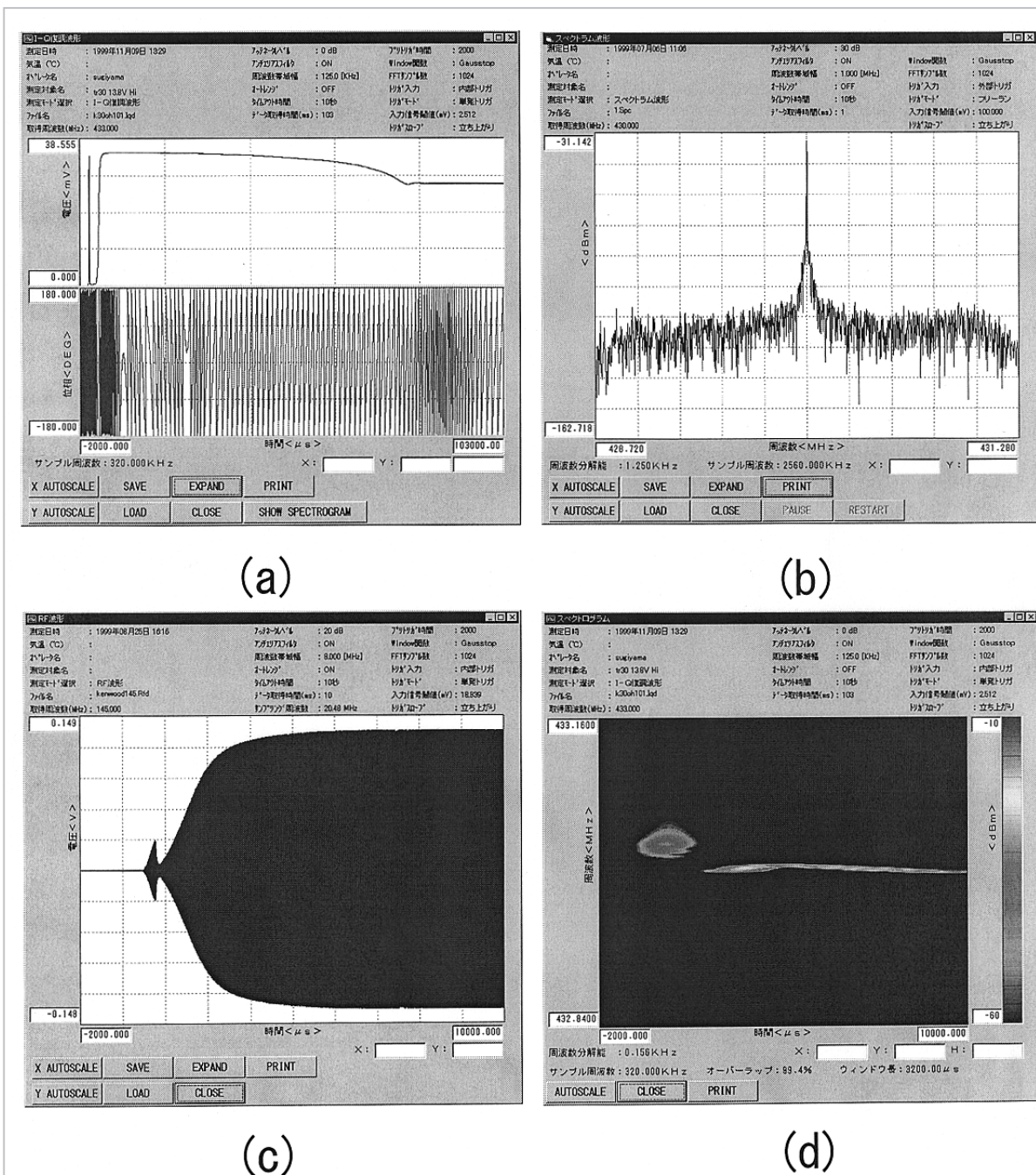


図5 システムによる表示例

うにした。この改良の結果、アンテナを経由したデータ取得試験において、 $P_{in} = -120\text{dBm}$ に対して $T_r = -110\text{dBm}$ 、 $IF\ BW = 250\text{kHz}$ の状況に置いても正常にデータ取得が終了することを確認した。引き続いて行われた室内実験と野外実験に基づく実験方法とその比較検証結果については、後編の実験手法とその結果で詳細に記述することにする。

3 まとめ

無線機識別用高速データ取得装置への受信機能追加に当たり、アンテナ経由でのデータ取得を確実に実行するための狭帯域スペクトラムトリガーシステム (NSTS) を装着した。このシステムの効果によって装置のトリガー設定のダイナ

ミックレンジを以前の装置と比較して、アンテナ入力換算値 $P_{in} = -70\text{dBm} \sim -120\text{dBm}$ まで、安定に動作する無線機識別装置のハードウェアの開発に成功した。

謝辞

本研究は郵政省 (現総務省) の協力依頼事項として、本省の支援のもとに行われた。研究期間中の本省及び通信総合研究所の関係者に深く感謝する。また、装置の開発に協力を頂いた Agilent Technologies の鈴木康雄氏、加藤好忠氏、さらに、無線局の申請等に協力を頂いた三木千紘主任研究官、論文掲載にあたり貴重なお意見を寄せられた科学技術情報グループリーダー磯部俊吉氏に感謝する。

参考文献

- 1 市野芳明, 鈴木 晃, 杉山 功, 鎌田満博, “無線機同定へのウィグナー・ビレ分布の応用について,” 信学論 (B), Vol.J77-B-II, No.10, pp.584-586, Oct.1994.
- 2 平野隆之, “高次指数平滑法による逐次相関関数を用いたスペクトル,” 1998 信学ソ大(基礎, 境界), A-4-21, Sep. 1998.
- 3 杉山 功, 渋谷政昭, 平野隆之, 岩崎 憲, “無線機同定システムにおけるデータ取得システムと無線機の立上り波形,” 2000 信学総大, B-4-23, Mar. 2000.
- 4 岩崎 憲, 平野隆之, 渋谷政昭, 杉山 功, “過渡応答に基づく無線機同定のためのデータ解析法ー Root-MUSIC 法ー,” 1999 信学総大, B-4-70, Mar.1999.
- 5 岩崎 憲, 平野隆之, 渋谷政昭, 杉山 功, “過渡応答に基づく無線機同定のためのデータ解析法ー線形予測法ー,” 1999 信学ソ大(基礎, 境界), A-4-3, Sep. 1999.
- 6 平野隆之, 杉山 功, 渋谷政昭, 岩崎 憲, “無線機同定のための時間一周波数スペクトル・パターンの一考察,” 2000 信学総大, B-4-24, Mar. 2000.
- 7 岩崎 憲, 渋谷 政昭, 杉山 功, “過渡応答に基づく無線機同定のためのアダプティブアレー・アルゴリズム,” 論文誌(B), Vol.J84-b No.7 July 2001.



しづ き まさあき
渋木政昭

電磁波計測部門測定技術グループ主任
研究員
周波数標準



すぎ やま ましと
杉山 功

電磁波計測部門測定技術グループ研究
員
型式検定試験法の開発



いわ さき つよし
岩崎 憲

電磁波計測部門測定技術グループ主任
研究員
移動通信

ひら の たかゆき
平野隆之

元科学技術庁 特別研究員



すず き あきら
鈴木 晃

企画部企画室主任研究員
周波数標準