地上デジタル放送用SFN電測ソフトウェアの開発

Development of ISDB-T SFN Field Measurement Software

安嶌裕之 Hiroyuki Ajima, 池谷友仁 Tomohito Ikeya, 後藤剛秀 Yoshihide Goto, 宮崎千佳子 Chikako Miyazaki

[要 旨]	国内の地上デジタル放送(ISDB-T 方式)用の中継局の建設,保守用として,SFN(Single Frequency Network)環境下にて到来波ごとの遅延時間,信号電力,電界強度,DU 比を測定する MS8911A/B-032 ISDB-T SFN 電測ソフトウェア を開発した。また,本ソフトウェアは,遠方の SFN 中継局からの遅延波に対応するため,従来より6倍長い遅延時間の測定範囲(約±1 ms)を実現した。
[Summary]	Anritsu has developed the MS8911A/B-032 ISDB-T SFN Field Measurement Software for in- stalling and maintaining ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) repeater stations. This software can measure delay time, signal power, field strength, and DU ratio of each incoming signal in the SFN environment, and provides a six times longer delay range (approxi- mately ±1 ms) than traditional methods of measuring delay signals.

1 まえがき

2003 年 12 月に東京,名古屋,大阪で開始された地上デジタル 放送は,視聴エリアの拡大が続き,さらなる全国普及に向けて,放送中継網の整備が急ピッチで進められている。

この放送中継網を整備するための技術のひとつに SFN(Single Frequency Network)がある。SFN は、単一周波数を使用した放送中継網であり、周波数の有効利用のために複数の中継局が同じ チャンネルを使って放送するデジタル放送特有のネットワーク技術である。SFN では、複数の中継局が同じチャンネルを利用するため、目的の電波以外にも他の中継局の電波や建物、山岳などからのマルチパスによる影響により、同一チャンネル内に遅延時間や電力が異なる複数の電波が存在することになる。

電波法では電界強度測定が義務付けられており、中継局を置局、 または、保守する際には、電界強度の測定を行う必要があるが、 SFN 環境下では、すでに放送を開始している電波の影響により、 目的とする到来波の電界強度を正確に測定することが困難な状況 が発生する。

これまでの測定方法では、同一チャンネルの目的以外の放送を 休止させ SFN 環境を解消してから、目的とする放送局から発射し ている電波の電界強度測定を行わざるを得なかった。また、一般的 に放送休止にできるのは、深夜の限られた時間帯であるため、測 定を行うには、事前のスケジュール調整に時間を要する。しかし、 今後、置局数が急激に増加し、頻繁に放送休止で対応するのでは、 放送サービスの低下を招くため望ましくない。

この状況を改善する手段として,同一チャンネル内に遅延時間 を伴う複数の到来波が存在する状況においても,到来波ごとの電



図1 MS8911B外観図 External view of MS8911B

界強度測定を可能にする MS8911A/B-032 SFN 電測ソフトウェア を開発した。本ソフトウェアを用いることにより、SFN 環境下での到 来波ごとの電界強度測定が可能となり、測定時の放送休止の必要 がなくなる。また、遅延プロファイル(到来波の伝播状態)測定にて 従来より 6 倍長い遅延時間の測定範囲を実現したことにより、遠方 の中継局からの遅延波が電波の受信に影響しているかの判断がで きる。

本ソフトウェアは、ハンドヘルド型の MS8911A/B デジタル放送 フィールドアナライザ(図1)に搭載して使用する。

2 開発方針

本ソフトウェアの開発方針として,以下の測定機能の実現を目指 した。

(1) SFN 環境下における到来波ごとの電界強度測定機能

測定対象チャンネルの信号を信号処理により到来波ごと に分離する。そして、メイン波(最も電力の大きい到来波)と 各遅延波の DU 比 (メイン波と遅延波の電力比)から到来波 ごとの電力を求め, アンテナ係数とケーブル損失の補正値 を加えることにより電界強度を算出する。

(2) SFN 環境下における長時間遅延波の測定機能

従来の遅延プロファイル測定は、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)に含まれるパイロット 信号である SP (Scattered Pilot)を利用しており、理論上、 遅延波が1シンボル長の 1/3 の範囲を超えた場合には遅延 時間を正しく測定することができない。さらに、ガードイン ターバル (伝送信号に付ける冗長部)を超える遅延波が存 在した場合、異なるシンボルの影響により DU 比の測定誤 差が大きくなってしまう。

本ソフトウェアでは、連続したシンボルの受信信号を一括 して FFT(Fast Fourier Transform)演算することにより、 $-1 \text{ ms} \sim +1 \text{ ms}$ の長時間の遅延プロファイル測定を可能 とする。

3 測定方法と機能

3.1 測定方法

本ソフトウェアでは、次の3つの測定を行い、それぞれの結果を 組み合わせることで到来波ごとの電界強度を求めている。また、遅 延プロファイル測定は、電力スペクトル法と伝達関数法のそれぞれ の長所を組み合わせることにより測定精度を高めている(図2)。 (1) チャンネル電界強度測定

従来の電界強度測定と同様に, ISDB-T 信号の帯域幅 (5.6 MHz)の電力を測定した結果と, あらかじめ設定して おいた補正値情報からチャンネルの電界強度を算出する。

- (2) 電力スペクトル法による遅延プロファイル測定 信号品質が低下した条件下でも、メイン波との時間差と DU 比を正確に得ることができる反面、メイン波に対して正負 のどちらの時間に遅延が発生しているか判断できない。また、 疑似パス(本来存在しないはずの遅延波)が発生する。
- (3) 伝達関数法による遅延プロファイル測定

メイン波に対して, 正負のどちらの時間に遅延が発生して いるか判断できる。ただし, 電力が極端に低下した場合, も しくは, ガードインターバルを越えた遅延波が存在する場合 に DU 比の精度が低下する。

3.2 測定画面の説明

3.2.1 到来波ごとの電界強度測定機能

本ソフトウェアでは到来波ごとに電力測定を行い,個別到来波の 電界強度を表示できるようにした。測定画面上では,最も大きい電 力を持つ到来波をメイン波として表示し,さらに任意の遅延波に マーカをあわせることによりメイン波に対する DU 比および遅延時 間を読み取ることができる(図3,図4)。これにより,目的とする到 来波の電界強度測定を実施できるようになる。そして,あらかじめア ンテナ係数やケーブル損失などの補正値を測定装置に記憶させ



図2 測定方法の概要

Block diagram of measurement methods



図 3 測定結果画面 Delay profile screen

[.	メイン波]	[遅延波]
遅延[µs]	0.00	100.04
DU比[dB]	0.0	3.0
電力[dBm]	-24.8	-27.8
電界強度[dBµV/m]	114.9	111.9

図 4 到来波ごとの測定結果表示エリア Measurement results of main and path signals

ておくことにより, 電界強度を直読することが可能である。

なお,従来の電界強度測定装置としても用いることができるように, すべての到来波を合成したチャンネル電力と電界強度の結果も表 示する。

3.2.2 長時間遅延プロファイル測定機能

図 5 は、従来の遅延プロファイル測定にて遅延時間 500 μs, DU 比 20 dB の遅延波が存在する到来波を測定した結果である。

この遅延波は測定範囲を超えているため,約 1/3 シンボル長(本 例では、期待値と測定値の差として 500 μs-164.02 μs≒336 μs) の時間誤差が発生している。また、ガードインターバル(126 μs)を 超えているため、シンボル間干渉の影響により信号品質が劣化し、 DU 比についても大きな誤差(本例では、期待値と測定値の差とし て 20 dB-7.6 dB=12.4 dB)が発生している。

これに対し図6は、本ソフトウェアにて遅延時間500μs, DU比20 dBの遅延波の測定結果を示しているが、高い精度(遅延時間が0.06 μs, DU比が0.2 dBの誤差)で測定できていることが確認できる。

3.2.3 サイドローブキャンセル機能

遅延プロファイル測定では,約5.6 MHz に帯域制限された信号 を処理するため演算結果の裾野(サイドローブ)が広がり,電力の 小さい遅延波が電力の大きい遅延波の影響により検出できないこ



図 5 従来の測定画面例(遅延時間 500 µs, DU 比 20 dB の遅延波を 測定した場合) Delay profile screen using traditional method (Delay: 500 µs, DU: 20 dB)



図 6 本ソフトウェアの測定画面例(遅延時間 500 µs, DU 比 20 dB の 遅延波を測定した場合) Delay profile screen using MS8911A/B-032 (Delay: 500 µs, DU: 20 dB)

とがある。本ソフトウェアでは、遅延プロファイルにおけるメイン波の サイドローブの中に埋没する遅延時間の小さい到来波を検出する ために、メイン波の広がり成分を除去する機能を有している。本機 能によりメイン波が鋭く表示されるようになり、メイン波近傍の遅延波 の検出が可能となる。

4 実証実験

4.1 室内検証

4.1.1 検証方法

開発したソフトウェアを検証するため,室内において1波のみの 場合と同一チャンネルで時間遅延を有する2波を合成した場合の 比較実験を行った。実験は、電波暗室内に2つの送信アンテナと1 つの受信アンテナを設置し、2波モデルのSFN環境を想定して実 施した(図7,図8,表1)。



図7 室内実験風景 View of anechoic room



図 8 室内実験の測定系統図 Simple diagram of experiment

表1 室内実験の送信信号 Parameters of transmitter system

項目	メイン波	遅延波
周波数	$600 \mathrm{~MHz}$	$600 \mathrm{~MHz}$
遅延時間	0 µs	100 µs
アンテナ高	4 m 固定	2 m 固定

送信アンテナの高さは、それぞれ4m,2mに固定して受信アン テナの高さを1m~4mに可変することにより、アンテナ高に対する 電力測定(ハイトパターン測定)を行った。なお、実験に使用した電 波暗室は床面が金属面となっており、実フィールドにおける大地反 射を模擬している。

4.1.2 検証結果

各々の到来波を単独で送信した場合の測定結果を図9に示す。 また,2波を同時に送信した SFN 環境下にて本ソフトウェアで測定 した結果を図10に示す。







図 10 メイン波と遅延波の同時送信時(SFN 環境下)の測定結果 Measurement of SFN environment

図 9 から、メイン波もしくは遅延波に相当する到来波を単独で送信した場合、送信アンテナ高の違いにより異なるハイトパターンが得られる。次に、図 10 の 2 波を同時に送信した SFN 環境下にて本ソフトウェアを使用した場合にも、メイン波および遅延波のハイトパターンとして測定できていることがわかる。ハイトパターンのピーク値を比較すると、メイン波、遅延波とも測定結果は、±0.2 dB 以内の差であった。この実験結果から、電波暗室により静的環境が保たれた SFN 環境下において、2 つの到来波を個別に測定できることを実証できた。

4.2 屋外検証

4.2.1 検証方法

日本放送協会殿と共同で,茨城県にある日本放送協会殿の日 立局,水戸局により構築された SFN において,屋外における実環 境での検証を行った。

本検証では、夜間の放送休止時間を利用して水戸放送局の電 波発射をOn/Offし、従来の測定法である単独局ごとの測定とSFN 環境下での測定でのハイトパターン測定結果を比較した。測定場 所は、2 つの放送局を直線で結んだ線上になるように設定した。ま た、受信アンテナにダイポールアンテナを使用することにより、日立 局と水戸局の DU 比が小さくなる条件で測定を実施した。

2 つの放送局と測定場所の位置関係を図 11 に、実験風景を図12 に示す。



図 11 屋外実験の位置関係 Simple diagram of positional relationship



図 12 実験風景 View of experiment

4.2.2 検証結果

測定場所は水戸局および日立局の双方の局からの到来波が受信されるために従来の測定方法でハイトパターン測定を行った場合には、それぞれの局からの合成波として測定される(図13の●)。 次に、開発した本ソフトウェアを使用してそれぞれの局から発射される電波を分離してそれぞれの局から到来する電波のみのハイト パターンを測定した。日立局波のみ、水戸局波のみのハイトパター ンをそれぞれ図13の▲、○として示す。本ソフトウェアによる測定 画面を図14に示す。





Delay profile screen

さらに,水戸局の電波発射を停止して日立局単独送信状態とし, 従来の測定方法でハイトパターンを測定した(図13のム)。

水戸局波に関して、本ソフトウェアを使用して合成波を分離して 測定したハイトパターンと、従来の測定方法により単独送信状態に て測定したハイトパターン結果に着目すると、両者がほぼ一致(差 がほぼ1dB以内)していることが確認される。これにより、本ソフトウェ アを使用して実際の SFN 環境下においても目的の到来波のみの 電界強度を精度よく測定可能であることが実証された。

5 むすび

室内および屋外の実証実験を通して、本ソフトウェアを使用する ことにより、SFN 環境下における到来波ごとの電界強度の測定が 可能であることを実証した。

今後,地上デジタル放送のエリアを拡大するために新たな中継 局の置局が増加するが,本ソフトウェアを使用することにより,放送 サービスを継続したままで置局に必要な電界強度測定が可能とな るため、置局時の作業効率を大幅に高めることができる。

なお、今回開発した技術は、ISDB-T と同じ変調方式である OFDM を用いたシステムに広く適用することができる。例えば、 ヨーロッパ、アジアで運用されている地上デジタル放送(DVB-T/H 方式)にも容易に転用可能であり、その使用目的も同じであることか ら、国内外での需要が期待できる。今後は、海外における地上デジ タル放送の SFN 中継網の発展にも貢献したい。

また, OFDM は次世代通信網の中核をなす技術であるため, 今回開発した SFN 解析技術を次世代通信網に転用することにより, 新たな測定ソリューションを創出していきたい。

謝辞

本ソフトウェアの開発は、日本放送協会殿、株式会社 NHK アイ テック殿、財団法人 NHK エンジニアリングサービス殿との共同開 発である。開発ならびに実証実験に協力いただいた関係各位に深 く感謝の意を表する。

参考文献

- 川那義則,後藤剛秀:
 "SFN 電界強度測定ソフトウェアの概要",放送技術 Vol.60 No.3, pp.111-114(2007.3)
- 初鹿勝也,前川直志,三崎裕司:
 "小型・軽量・可搬型デジタル放送フィールドアナライザの開発",アン リツテクニカル 82 号, pp.18-22(2006.3)

執筆者



安 嶌 裕 之 営業統轄本部 第2営業本部 第1営業部



池谷友仁
 計測事業統轄本部
 ワイヤレス計測事業部
 第1開発部 プロジェクトチーム



後 藤 剛 秀 計測事業統轄本部 ワイヤレス計測事業部 第1開発部 プロジェクトチーム



宮崎千佳子 計測事業統轄本部 ワイヤレス計測事業部 第1開発部 プロジェクトチーム