2. 地上デジタル放送の送信技術

2-2. ミニサテとギャップフィラーの技術

(正会員) 中原 俊二[†]

キーワード 地上デジタル放送, 極微小電力局, ミニサテ, ギャップフィラー

1. ま え が き

地上デジタル放送の完全デジタル化を控え、日本全国で中継局の建設が進められている。現在、比較的大規模な中継局はすでに開局し、日本全国のほとんどの世帯を電波でカバーしている。あと残りの世帯に向けて、小規模な中継局とさらに規模の小さいミニサテの建設が急ピッチで進められている。

また、地上デジタル放送は、自治体や共同アンテナ組合等が主体となりギャップフィラー (Gap Filler) 設備を設置し電波サービスをすることが可能となっている。もともとアナログテレビ放送では共同アンテナなどのケーブルテレビで受信していた地域において、新たに地上デジタル放送を受信するのに、ケーブルテレビに替えてギャップフィラー設備を導入するようなケースが増えている。今後このように山間部など電波の届きにくい地域で、ギャップフィラーによる難視聴の解消が進むことが予想される。

地上デジタル放送のギャップフィラーは、狭小な区域を対象とする放送の無線設備の一般的な呼称であり、技術基準は通常の中継局と区別した出力50mW以下の極微小電力局として位置づけられている。また、放送事業者が設置す

るミニサテは、アナログテレビ放送において、狭小な区域を対象とする放送局の技術基準が定められていたように、デジタルテレビ放送においても、極微小電力局の技術基準のもと運用されている。

地上デジタル放送用のミニサテとギャップフィラー（以降、ミニサテとギャップフィラー）は、地上テレビ放送が迅速かつ円滑にデジタル化されるよう、図1に示すように難視聴、デジタル混信などさまざまな電波環境への導入が可能となっている。本文では、ミニサテとギャップフィラーの技術として、まず、極微小電力局の技術基準の概要を述べる。次に、これらの装置の特徴についてそれぞれ述べ、最後に、ミニサテやギャップフィラー特有の送受信、および、電波伝搬にまつわる技術検証実験の一部を紹介する。

2. 極微小電力局の技術基準の概要^{1)~3)}

2.1 極微小電力局の制度化

極微小電力局の技術基準は、総務省情報通信審議会において放送システムに関する技術的条件（諮問第2023号）のうち「地上デジタル放送の中継局に関する技術的条件」として、通常の中継局の技術基準とともに審議され、平成19年5月に施行された。

図1 地上デジタル放送の極微小電力局の例

[†] NHK 放送技術研究所

"Gap Filler Technology for Digital Terrestrial Television Broadcasting"
by Syunji Nakahara (NHK Science and Technology Research
Laboratories, Tokyo)

表1 ミニサテ、ギャップフィルターの位置づけ
(情報通信審議会 情報通信技術分科会放送システム委員会報告書より。なお備考を追加)

設置者(免許人)	無線局の種類	施設	技術基準	備考
放送事業者	テレビジョン放送	中継局	中継局の技術基準 (大きな電波の出力)	
			極微小電力局の技術基準 (いわゆる“ギャップフィルター” と呼ばれている小規模なもの)	ミニサテ
放送事業者以外の者 (市町村, 共聴組合等)	受信障害対策中継放送	無線共聴施設	中継局の技術基準 (大きな電波の出力)	
			極微小電力局の技術基準 (いわゆる“ギャップフィルター” と呼ばれている小規模なもの)	ギャップフィルター

表2 極微小電力局(空中線電力50mW以下)の技術基準

項目	技術基準
(1) 周波数の許容偏差 (相対周波数許容偏差)	20kHz (10Hz以内) 相対周波数偏差は, 単一周波数ネットワーク(SFN)を構成する局間相互の 相対周波数偏差
(2) 空中線電力許容偏差	上限50% 下限50% 複数波同時増幅を行う送信設備に限る。
(3) 送信スペクトルマスク	<div> <div>空中線電力が 25mW超～50mW以下</div> <div>30dBと40dBの中間マスク</div> </div> <div> <div>空中線電力が25mW以下</div> <div>30dBマスク</div> </div> ただし, 自局の放送区域内で隣接チャンネルにアナログ放送があり, その実 効輻射電力が自局の10倍以上の場合は40dBマスク, 10倍未満の場合は 50dBマスク。 中間マスクは $\pm 4.36\text{MHz}$ より離れた周波数の減衰量は平均電力Pに対して $-(73.4+10\log P)\text{dB}/10\text{kHz}$ 。

また、デジタル混信やビルなど構造物の陰などで受信障害が発生している地域においてもギャップフィルターの設置の必要性があることから、同審議会において、「デジタル混信等の難視対策のためのギャップフィルターに関する技術的条件」についても審議され、平成20年5月に極微小電力局の技術基準の適用範囲がデジタル混信や建造物遮蔽による受信障害にも拡大された。その結果、ギャップフィルターは、図1の極微小電力局の例に示すように、さまざまな電波環境において利用可能となった。

さらに2009年12月には、すでに整備済のケーブルテレビ網または共聴施設の末端にギャップフィルターを接続して再送信を行うことも可能となった。

2.2 ミニサテとギャップフィルターの位置づけ

ミニサテとギャップフィルターは、極微小電力局の技術基準が適用される。表1に示すように、両者の違いは無線局の設置者が異なることである。ミニサテの設置者は放送事業者であるのに対して、ギャップフィルターの設置者は放送事業者以外の者、例えば、市町村などの自治体やテレビ共聴組合などである。また、無線局の設置者が異なることで、無線局の種類も異なる。設置者が放送事業者の場合、無線局はテレビジョン放送で、設置者が放送事業者以外の者の場合は受信障害対策中継放送となる。

受信障害対策中継放送は、1990年の電波法改正で制度として導入され、高層ビルや大規模な橋梁などの建設により新たに発生する受信障害を解消するために設置される無線

局である。地上アナログテレビジョンの受信障害対策中継放送は、利用周波数をVHF帯、UHF帯とするとさらなる混信が懸念されたことからSHFを利用していった。地上デジタル放送については混信に強いことから、受信障害対策中継放送にはUHF帯を利用できることとなっている。

2.3 極微小電力局の技術基準

極微小電力局は、電波の特性上閉鎖的で狭小な区域を対象とし、空中線電力50mW以下の微弱な電力で送信する中継局である。地上デジタル放送の放送局・中継局の空中線電力は、所要C/Nの違いなどから、一般にアナログテレビ放送の1/10の空中線電力とされている。それに倣うと、地上デジタル放送の極微小電力局の空中線電力は10mWということとなる。しかしながら、地上デジタル放送の極微小電力局では、送信アンテナが住宅地の電柱など送信地上高10m～20m程度の低い所に設置され、電波が送信される可能性がある。その場合、家屋の屋根等により電波が遮蔽され損失が生じる。これを第一フレネルゾーンの半分程度の遮蔽として6dB程度と見込むと、その損失を補うためには空中線電力は50mW程度必要となる。このことから、地上デジタルテレビ放送の極微小電力局の空中線電力は50mW以下が適当とされた。

極微小電力局の無線設備は地上デジタル放送の中継局整備の迅速化を図る目的から小規模な設備として実現されるよう、その技術基準は通常の中継局と区別されている。極微小電力局の技術基準は、表2に示すように、(1) 周波数の

図2 送信スペクトルマスク

許容偏差, (2) 空中線電力の許容偏差, (3) 送信スペクトルマスクなどが定められている。

周波数の許容偏差は, CATVなど現行の有線テレビの受信者端末における基準が20kHzと規定されていることから, 放送ネットワークの末端に位置する極微小電力局についてもこの基準を満足することとされている。なお, 単一周波数ネットワーク (SFN: Single Frequency Network) の関係にある局間相互の相対周波数の偏差は, 市販の受信機による受信においても, 性能の劣化が問題とならない10Hz以内とされた。空中線電力の許容偏差は, 現行アナログテレビ放送の極微小電力局と同様に $\pm 50\%$ とされた。送信スペクトルマスクについては, 狭小なエリアで放送を行う中継局は自局の放送区域外への影響が小さいことから, 図2にも示すように空中線電力に応じて基準が緩和された。

なお, 建造物遮へいによる難視聴やデジタル混信による受信障害を解消するための難視対策用ギャップファイラーについては, 2次的な障害の発生を抑制するために, 偏波面は上位局の電波と直交させることが原則となっている。これは, 受信側において交差偏波識別度を利用してSFNによって生じるマルチパスの D/U を改善することを目的としている。

3. ギャップファイラー装置^{4) 5)}

3.1 ギャップファイラーの装置と運用

ギャップファイラー装置の基本構成は, 送・受信アンテナ, 受信増幅部, および送信機部からなる。受信増幅部は, 受信チャンネルごとに増幅器を持ち, その増幅器内部には技術基準に定められたスペクトルマスクを満足するようなフィルタ機能とチャンネル間のレベル偏差を検知し補正する機能を有している。また, 送信機部は, 極微小電力局の特徴である複数波同時増幅器 (MCPA: Multi Channel Power Amplifier) を備えている。図3に示すように, 受信部と送信部を分離する場合には, その間には同軸ケーブルもしくは光ファイバで結ばれる。

山間地などの電波の届きにくい地域で, 共同アンテナなどのケーブルテレビに替えてギャップファイラーを設置する

図3 ギャップファイラーの基本構成 (分離型)

場合は, 共同アンテナの受信点などにギャップファイラーの受信アンテナと受信増幅部を設置し, 送信機部と送信アンテナを設置する集落まで, 光ファイバなどで信号を伝送する。放送区域が大きい場合には信号を分配し, 複数のギャップファイラー送信によりエリアをカバーすることとなる。

ギャップファイラーは, 放送事業者が行う地上デジタル放送の放送波などを受信し, その送信チャンネルを変えないSFN再送信が原則である。したがって, 同一受信信号を分配し, 広範囲に複数のギャップファイラー送信を行う場合には, 設置区域において放送波とギャップファイラー送信波の信号の遅延時間差が, 地上デジタル放送信号のガードインターバル期間 $126\mu\text{s}$ を越えないような設計とする必要がある。

また, 建造物等の陰など受信障害が発生している地域にギャップファイラーを設置する場合には, 建造物の屋上など放送電波が受信できる場所に受信アンテナを設置し, 建造物の陰となっている地区に向け送信アンテナを設置することとなる。これもSFN再送信であるから, 再送信信号が受信アンテナに回り込み込んで受信されて発振妨害とならないよう送受信アンテナの設置場所には十分な注意が必要となる。

3.2 ギャップファイラーの性能および信号品質

ギャップファイラーの機器は, 前節で述べた極微小電力局の技術基準を満足するものである。そのうえで, JCTEA ((社) CATV技術協会) においては, 表3に示す項目についてギャップファイラー機器の望ましい性能を定めている。また, 運用条件として, ギャップファイラーの受信信号の望ましい信号品質を規定しており, 受信信号は, フェージングにより受信レベルが低下した場合でも, 時間率99.9%で C/N 26dBを確保するものとしている。ただし, 建造物遮蔽対策用もしくは地下街など閉空間対策用のギャップファイラーは時間率99.9%で C/N 27dBを確保することとしている。表3のギャップファイラー機器の C/N は, 受信増幅部, 連絡線 (同軸ケーブル, 光ファイバ), 送信機部各々の位相雑音, 相互変調成分, 雑音指数などを総合した雑音性能を表し, 等価 C/N 32dB以上と規定されている。このことから, ギャップファイラーの送信信号の C/N は, 25dB以上を目安としている。同様に, 建造物遮蔽対策用もしくは閉空間対策用のギャップファイラーの送信信号の C/N は25.8dB以上である。

表3 ギャップフィルター機器の望ましい性能
(JCTEA STD-019-1.0より)

項 目	定 格
機器の等価C/N	32dB以上
SFNの場合の相対周波数許容偏差	1Hz以内
帯域外領域におけるスプリアス発射	-60dB以下
スプリアス領域における不要発射	-45dB以下
インピーダンス	50Ωまたは75Ω
AGC機能(入力レベル範囲)	20dB以上の入力変動幅に対応すること
遅延時間	1μs以上120μs以下
出力停止機能	定格空中線電力+50%を越える場合に出力停止
スケルチ機能	入力信号が低下した場合に出力停止
屋外の能動機器防水性能	JIS C0920に規定する保護等級4以上

図4 ミニサテ装置

4. ミニサテ装置

4.1 ミニサテの装置と運用

アナログテレビ放送のミニサテ、送信機を格納したボックスをパンザマストに据付ける整備方式を採用していた。デジタルテレビ放送のミニサテについても、屋外設置型の送信機が開発され導入されている。ミニサテ装置は、①耐雷性能など設備の信頼性確保、②据付工事の簡素化による工期短縮、③メンテナンスの容易性などを考慮し、送受信回路の簡素化、機能毎のボックス構造化、効率的な熱設計により、図4のように小型化を実現している。極微小電力局は、通常の中継局に比べ技術基準が緩和されており、ミニサテ装置では、それらを考慮して表4に示す定格・性能としている。装置の構成は、図5に示すように、受信変換回路と送信変換回路を含む基本部を、チャンネルごとのユニット構成としている。ユニットの局部発振回路にシンセサイザ回路を採用し、UHFテレビチャンネルの任意の受信チャンネルへの同調と、任意の送信チャンネルへの送信周波数変換が可能である。また、送信部は、MCPAにより最大8波まで同時送信が可能である。ミニサテは、一般には1本のパンザマストに受信アンテナと送信アンテナを設置する送受非分離型の設備であるが、放送に耐えうる品質の良い信号を受信するために、受信点を分離する分離受信方式にも対応可能である。また、ミニサテ装置においても、通常の中継局と同様に放送信号の品質の維持と放送の安定的な継続

表4 ミニサテ装置の主な定格・性能

項 目	定格・性能
入力信号チャンネル	UHFテレビチャンネル
出力信号チャンネル	UHFテレビチャンネル
出 力	0.01W/ch×8波,または,0.05W/ch×8波
周波数偏差	±10kHz
出力変動	定格出力の±50%以下
スペクトルマスク	40dBマスク
位相雑音	-40dBc以下
IM	-40dB以下
冷却方式	自然空冷
使用条件	性能保証 周囲温度-10~+45℃,湿度45~90% 動作保証 周囲温度-20~-10℃,+45~+60℃

に留意している。具体的には、中継信号の品質を維持・改善するために、上位局の受信信号のマルチパスによる信号の歪を補償する等化器や、SFN放送波中継の時に生じる回り込みを抑制する回り込みキャンセラなど、信号補償器を搭載することが可能であり、また、放送の継続と早期復旧を図るため、非常用電源や監視装置の組み込みも可能とする設計となっている。

4.2 ミニサテ装置の性能および信号品質

ミニサテ装置は、前節で述べた極微小電力局の技術基準

図5 ミニサテの基本構成

を満足しており、受信増幅部、送信部各々の位相雑音、相互変調成分、雑音指数などを総合した装置の雑音性能は、等価 C/N 38dBを実現している。ミニサテは、ネットワークの末端を構成する中継局であることから、通常の中継局より雑音性能を緩和した回線設計を行っている。ミニサテの回線設計では、上位局の信号品質は、 C/N 30dBを満足するものとし、その受信信号は、フェージングにより受信レベルが低下した場合でも、時間率99.9%で、 C/N 33dB（受信レベル-67dBmの受信機の熱雑音による C/N ）を確保している。その結果、ミニサテの送信信号は C/N 27.4dB以上となる。

5. ミニサテとギャップファイラーの送信および電波伝搬に関する検証

極微小電力局の技術基準の審議に並行して、山間部の難視地区向け、都市部の建造物の遮蔽対策向けなど、極微小電力局の用途ごとに、各種の電波伝搬実験や送受信実験が実施されている。

送信地上高を10m～20mとする低送信高の伝搬実験では、送受信間の見通しが家屋にさえぎられるような受信点では、十分な電界強度が得られないこと、このため、送信点は、たとえ送信地上高が低くても、サービスエリアとする範囲の受信アンテナが見通せる場所に設置することが重要であることが示されている⁶⁾。

ギャップファイラーは、SFN再送信が原則であることから、これを設置することによる影響についても、技術的検証が行われている。送受信アンテナの設置方法によるSFN再送信信号の回り込み抑圧の効果を評価する測定が行われた。その結果、同一の建造物に送受信アンテナを設置する場合は、建物の構造を利用して送受信アンテナが見通しとならない場所を選定し、なおかつ、送信アンテナの設置高を下げるほど、回り込みの影響が軽減されることが示されている。逆に、同一の建造物上で送受信アンテナが見通しとなるような条件では、回り込みキャンセラを用いないギャップファイラーの設置は困難であることが示されている⁷⁾。

また、建造物遮蔽対策やデジタル混信対策に用いるSFN再送信によるギャップファイラーは、カバーする地域の周辺において、ギャップファイラー設置前には受信可能であった受信者が、設置後にもととの放送波に加えギャップファイ

ラー再送信波も受信することとなり、マルチパス干渉が増加し受信不良となる可能性がある。このような2次的な障害の発生についても技術的要因が明らかにされ、回避手法が指針化されている⁵⁾。

6. むすび

地上デジタル放送への完全移行に向けては、山間部などアナログテレビ放送のときも電波の届きにくかった地区や、周波数が混雑していることから生じているデジタル混信の地区など、これまでの通常の中継局ではサービスできなかったところを、電波でサービスする必要がある。ミニサテとギャップファイラーは、このような地区の小規模な世帯向けに効率よく電波を届ける設備として制度化され、全国で積極的に導入されている。本文では、ミニサテおよびギャップファイラーの技術基準と装置、運用などの特徴について述べた。その際、第2章は文献1)～3)を、第3章は文献4)5)を参照し、技術情報を適宜引用した。また、第4章は、NHK技術局送受信技術センター副部長吉見智文氏より技術情報を提供いただいた。

(2010年2月5日受付)

〔文 献〕

- 1) 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会（第4回）資料4-3、平成19年1月19日
- 2) 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会（第10回）資料10-4、平成19年12月12日
- 3) 地上デジタルテレビジョン放送のギャップファイラー設置に向けて～設置・運用のためのハンドブック～、ギャップファイラーハンドブック編集委員会（June 2009）
- 4) 地上デジタルテレビジョン放送用ギャップファイラーシステムとその機器JCTEA STD-019-1.0、社団法人日本CATV技術協会標準規格、2008年6月27日
- 5) 地上デジタル放送の無線共聴システム設置ガイドライン、社団法人日本CATV技術協会、平成20年5月
- 6) 中村洋、上田裕人、中禮大輔、中原俊二、成尾利秋：“地上デジタル放送用ギャップファイラーの電波伝搬実験結果”，2008年映情学年大、15-5（2008）
- 7) 太田弘毅：“SFN-GF中継における回り込みに関する基礎的測定”，映情学技法、BCT2008-92、32、42、pp.13-16（Oct. 2008）

なかほら しゅんじ
中原 俊二 1986年、早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。同年、NHK入局。1991年より、同放送技術研究所に勤務。2003年より、同技術局に勤務。2009年より、同放送技術研究所に勤務。この間、地上デジタル放送の研究開発、および地上デジタル放送の置局ネットワーク計画業務に従事、正会員。