

# 23 GHz帯映像無線伝送装置用モジュールの開発

## Development of 23 GHz-band Module Wireless Transfer System

若菱 忠高 \*1  
Tadataka Wakabishi

山口 文枝 \*1  
Fumie Yamaguchi

小林 洋幸 \*1  
Hiroyuki Kobayashi

鳥光 悟 \*1  
Satoru Torimitsu

石田 史彦 \*2  
Fumihiko Ishida

黒澤 肇 \*3  
Hajime Kurosawa

大森 昭 \*2  
Akira Omori

### 〈概要〉

近年多発する大規模災害の際に、有線による放送や通信が長期に渡り停止する事態が発生しており、無線による冗長化が求められている。今回、ケーブルテレビの幹線伝送路設備が損壊した際に、応急復旧するための伝送路を確保、および難視聴地域への伝送路を確保することを目的とした23 GHz映像無線伝送装置用モジュールを開発したので、その内容、基本性能について紹介する。

### 1. はじめに

東日本大震災では、多くの情報通信インフラが損壊され、公共サービスの利用が困難になる事態が発生した。ケーブルテレビ設備においても、幹線伝送路などが被災し、復旧までに1ヶ月以上要した。

23 GHz帯映像無線伝送装置は、VHF/UHF帯映像信号を23 GHz帯の無線周波数へ変換し映像伝送するシステムであり、難視聴地解消の固定局として用いられているが、東日本大震災を受け、ケーブルテレビ網の冗長系としても用いられるように、移動局として利用可能となる法制度の改正がなされた。

本稿では、移動局としての運用を念頭に置いた23 GHz帯映像伝送装置の開発内容について紹介する。

### 2. 開発内容

#### 2.1 開発目的

23 GHz帯映像無線伝送装置は、準ミリ波帯無線アクセスシステム規格JCTEA STD-023に準拠している。主要な仕様を表1に示す。従来の固定局向け装置は、各要素ブロックをディスプレイ部品で構成しており、移動局の小型化を妨げる要因となっていた。そこで、各要素ブロックを高集積モジュール化し、装置の小型化に取り組んだ。

表1 23 GHz帯映像無線伝送システム仕様  
Specification of 23 GHz-band wireless transfer system.

項目	分類	仕様	単位
無線周波数	固定	23.2 ~ 23.6	GHz
	汎用可搬	23.28 ~ 23.52	
	辺地用可搬	23.2 ~ 23.6	
空中線電力	固定	< 1.0	W
	汎用可搬	< 0.5	
	辺地用可搬	< 0.005	
周波数偏差		< 300	ppm
受信機雑音指数		< 8.0	dB
位相雑音(送受)		< 0.5	deg
通信方式		単向通信	—
変調方式		FDM-SSB	—
使用温度範囲		-20 ~ +40	℃

#### 2.2 モジュール仕様

システム仕様から性能配分した送信モジュールの仕様を表2に、受信モジュールの仕様を表3に示す。高周波性能と高集積化を両立するため、高周波基板の多層化技術を取り入れ、QFN(Quad For Non-Lead)パッケージに代表されるリフローMMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)部品を採用した。

\*1 研究開発本部 コア技術融合研究所

\*2 ブロードバンド事業部門 ブロードバンドシステム部

\*3 ブロードバンド事業部門 伝送方式部

表2 送信モジュール仕様  
Specification of Transmitter module.

項目	仕様	単位
入力周波数 (VHF)	90 ~ 470	MHz
入力周波数 (UHF)	336 ~ 710	MHz
RF出力周波数	23.2 ~ 23.6	GHz
変換利得	42.0 ± 1.0	dB
帯域内周波数偏差	≤ 2.0	dB
P1dB	≥ +23.0	dBm
利得可変範囲	≥ 27.0	dB
IM3@ Pout+2.7 dBm/tone	≥ 60	dBc
LOリーク	≤ -40	dBm
スプリアス (1stLO+2ndLO)	≤ -33	dBm

表3 受信モジュール仕様  
Specification of Receiver Module.

項目	仕様	単位
RF入力信号レベル	-82 ~ -27	dBm
雑音指数	≤ 8.0	dB
変換利得	≥ 14.0	dB
帯域内周波数偏差	≤ 2.0	dB
利得可変範囲	≥ 27.0	dB
IM3 @VHF/UHF Pout-21.7 dBm/tone	≤ -54.0	dBc

### 3. モジュール開発

移動局の小型化には、主要な機能部の小型化・低消費電力化が必要である。このために、特に重要な、周波数レイアウト、小型化技術、周波数安定化技術について述べる。

#### 3.1 周波数レイアウト

23 GHz帯映像伝送装置のスプリアス発射強度は、固定局/辺地用可搬型として図1のスペクトラムマスクに規定されている。図1のスペクトラムマスクの各周波数帯における規定値を表4に示す。

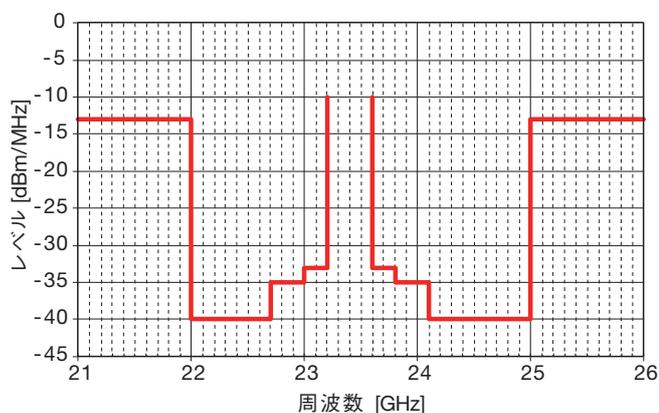


図1 固定局、辺地用可搬型 スペクトラムマスク  
Spectrum mask for fixed system.

表4 固定局/辺地用可搬型スプリアス規定  
Specification of fixed system.

周波数範囲	不要発射
22.0 GHz ~ 22.7 GHz	-40 dBm/MHz 以下
22.7 GHz ~ 23.0 GHz	-35 dBm/MHz 以下
23.0 GHz ~ 23.2 GHz	-33 dBm/MHz 以下
23.6 GHz ~ 23.8 GHz	-33 dBm/MHz 以下
23.8 GHz ~ 24.1 GHz	-35 dBm/MHz 以下
24.1 GHz ~ 25.0 GHz	-40 dBm/MHz 以下

従来、VHF/UHF帯映像信号を23 GHz帯に1回で変換するシングルコンバージョン方式を採用しているため図2に示すように局発信号やイメージ信号といった不要信号が伝送帯域と近接している。不要信号の抑圧には急峻な遮断特性を持つ導波管フィルタ使用が一般的であり装置の大型化の一因となっていた。

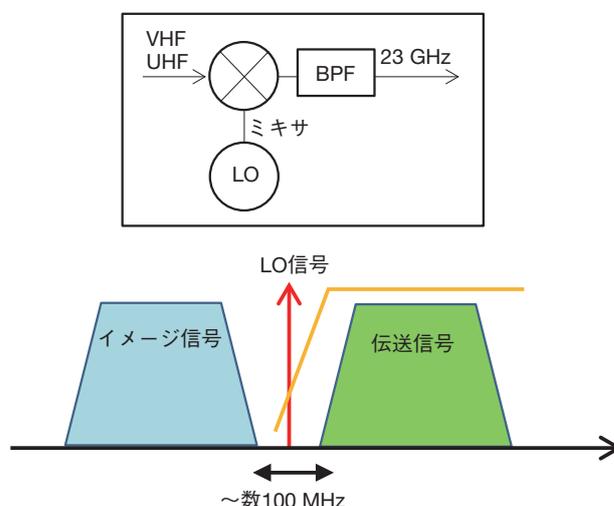


図2 シングルコンバージョン方式  
Single conversion.

図3に今回採用したダブルコンバージョン方式による送信モジュールのブロック図を示す。2つのミキサでVHF/UHF帯映像信号をIF周波数である2 GHz帯へ変換し、IF周波数を23 GHz帯無線周波数へ変換する。

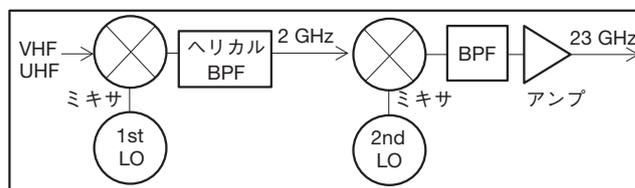
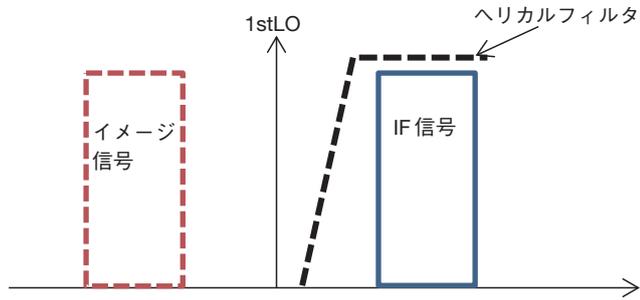


図3 ダブルコンバージョン方式の送信モジュールブロック図  
Block diagram of transmitter module for double conversion system.

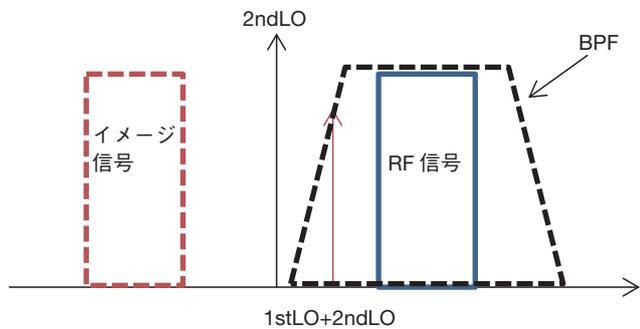
ミキサの局発として1stLOの周波数を2 GHz付近に配置し、2ndLOの周波数を21 GHz付近に配置して伝送帯域と不要信号を離すことで、フィルタの要求仕様を緩和し、装置小型化を実現できる。

### 3.2 フィルタ開発

ダブルコンバージョン方式におけるミキサ出力 (IF 周波数) の VHF/UHF to IF 周波数配置を **図4**、ミキサ出力 (RF 周波数) での IF to RF 周波数配置を **図5** に示す。

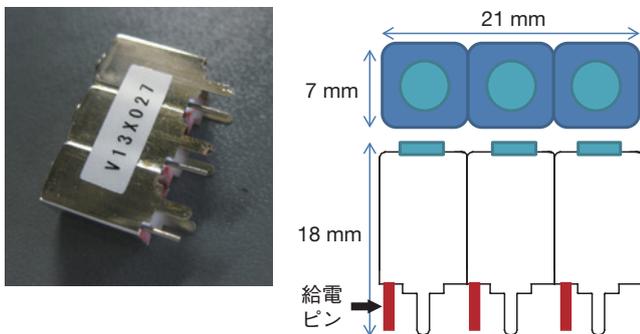


**図4** VHF/UHF to IF 周波数配置  
Frequency layout for VHF/UHF to IF band.



**図5** IF to RF 周波数配置  
Frequency layout for IF band to RF band.

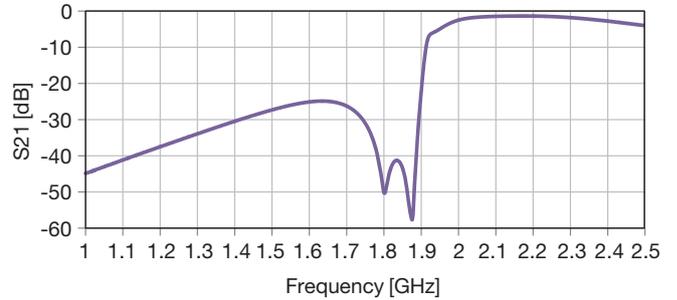
IF 帯域では、1stLO 抑圧用としてカットオフ特性 (高Q値) に優れた3連の立体共振回路からなるヘリカル共振型フィルタ (HP) を開発した。その外観と構造を **図6** に、仕様を **表5** に、評価結果を **図7** に示す。ヘリカルフィルタ単体で1stLOを約 50 dB 抑圧できる特性を実現している。



**図6** ヘリカルフィルタ外観と構造  
Helical filter appearance and structure.

**表5** ヘリカルフィルタ仕様  
Specification of helical filter.

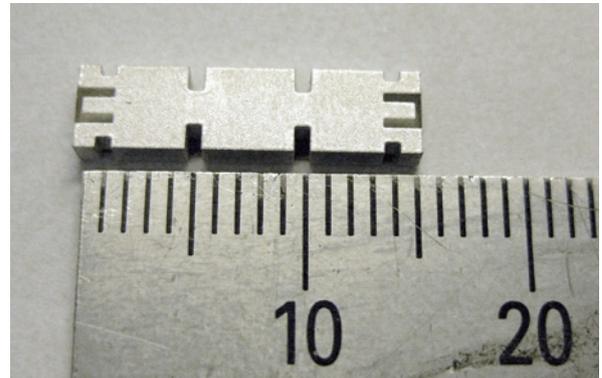
通過帯域	1965 ~ 2345	MHz
挿入損失	2.0 ~ 4.0	dB
減衰極周波数	1785 ~ 1875	MHz
抑圧量	≥ 50.0	dB



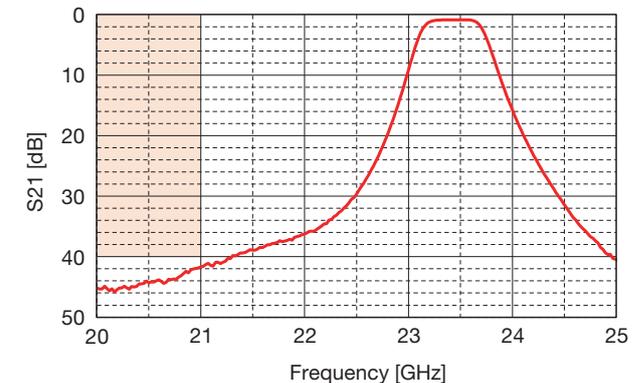
**図7** ヘリカルフィルタ評価結果  
Helical filter evaluation result.

23 GHz 帯回路に実装する BPF は 2ndLO や 混変調成分を抑圧するもので、誘電体導波管フィルタで構成される。

部品サイズは 15.7 mm × 4.1 mm × 1.9 mm と小型であり、リフロー実装が可能である。開発した BPF の外観を **図8** に、通過特性を **図9** に、仕様を **表6** に示す。通過特性 (S21) から 2ndLO を 40 dB 以上抑圧できるフィルタを実現した。



**図8** BPF 外観  
BPF appearance.



**図9** BPF 通過特性  
BPF performance.

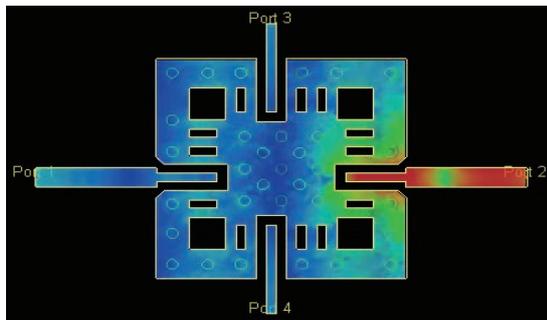
表6 BPF仕様  
Specification of BPF.

通過帯域	23.2 ~ 23.6	GHz
挿入損失	≤ 2.0	dB
抑圧量 (23.4 ± 1.8 GHz)	≥ 40	dB

3.3 小型化技術

モジュールは送受信共にQFNパッケージに封止されたMMIC (GaAsプロセスでゲート長も0.15 mm以下と短い) を多用しておりQFNパッケージは端子間距離が0.2 ~ 0.3 mmと非常に狭く、高利得のため発振し易く、利得に対して十分なアイソレーション特性を確保したパターン設計が必要である。

図10にLNA (Low Noise Amplifier: 部品パッケージ外形で4 mm × 4 mm) のフットパターン単独の電磁界シミュレーション結果を示す。LNAは26 dB以上の利得を持つが、スルーホールも含めたフットパターンで、伝送帯域内で約40 dBのアイソレーション特性が確認できた。



LNA フットパターン  
LNA foot pattern

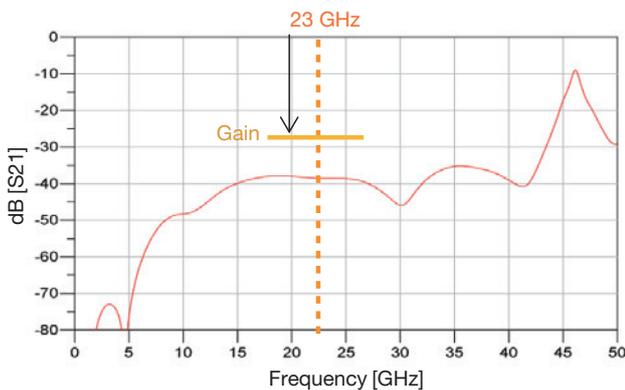


図10 LNA 電磁界シミュレーション結果  
EM simulation model and result.

3.4 周波数安定化技術

23 GHz映像伝送装置で送信・受信の映像信号周波数を一致させるには、それぞれの局発振周波数をそろえる必要があるが、発振周波数は温度や個体差によってズレが発生するため、通常の無線システムではある程度の周波数偏差を許容したシステム設計となっている。しかし、周波数ズレを想定していないケーブルテレビ網の冗長系として使用するには、無線部の周波

数偏差が許容されない。本装置では、送信側よりパイロット信号を付加し、受信側のフィードバックループによりパイロット信号を抽出しVCXO (Voltage Controlled Xtal Oscillator)を同期させることで完全な周波数制御を実現した。図11にパイロット同期ブロックを示す。

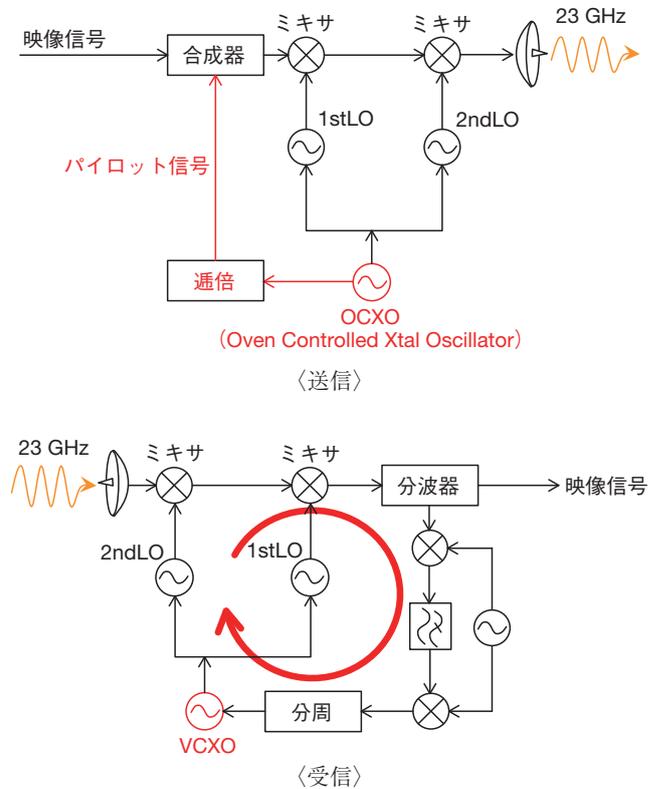


図11 パイロット同期ブロック  
Block diagram for Pilot synchronous.

4. モジュール性能

開発した送信モジュールの評価結果を図12に示す。変換利得が約42 dB、周波数偏差が1.5 dB以下と仕様を満足した。図13に送信スプリアス評価結果を示す。ダブルコンバージョン方式によって2ndLOは十分な抑圧量を確保しており、測定系のノイズフロア以下となっている。1stLO + 2ndLOのスプリアスも23.0 ~ 23.2 GHzの範囲における規格-33 dBm以下を満足した。

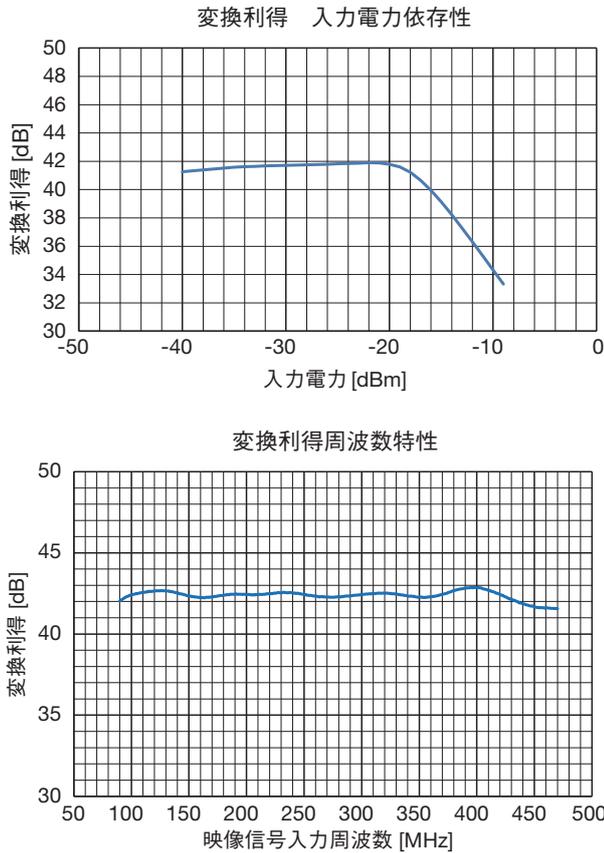


図12 送信モジュール変換利得  
Conversion gain of transmitter module.

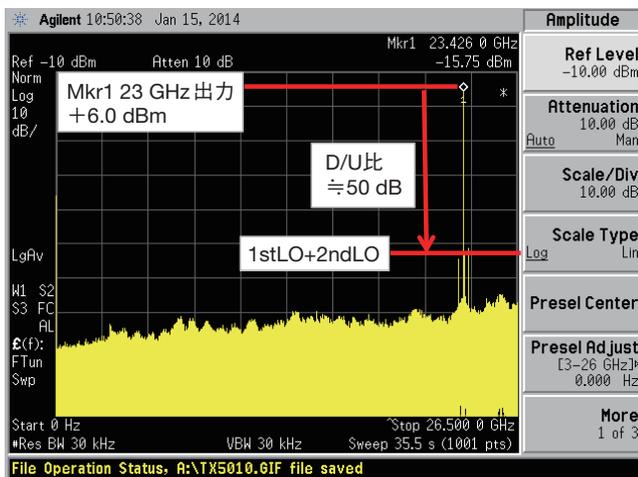


図13 送信スプリアス評価結果  
Evaluation result of transmitter spurious.

表7に送信及び受信モジュールの評価結果を示す。CTEA STD-023では、望ましい位相雑音性能として送受信機FDM-SSB搬送波総合値(積分範囲100 MHz～1 MHz)で0.5 deg rms以下とされている

表8にパイロット信号を送信側に付加し、受信側で同期を取った送受信対向での位相雑音特性を示す。周波数安定化技術と各発振器の低位相雑音化により、23 GHz映像無線伝送システムに求められる位相雑音特性を満足した。

試作した送信モジュールの外観を図14に示す。従来のモジュールサイズ150 mm×350 mm×80 mmに対し、200 mm

×200 mm×30 mmと体積比率で40%以下に小型化することができた。

表7 モジュール評価結果  
Evaluation result of module.

送信			
項目	仕様	評価結果	単位
変換利得	≥ 42.0	≥ 42.0	dB
帯域内周波数偏差	≤ 2.0	≤ 1.5	dB
PldB	≥ +24.0	≥ +24.0	dBm
IM3@ Pout+2.7 dBm/tone	≥ 60.0	≥ 61.0	dBc
1stLO+2ndLO	≤ -33 dBm/MHz	≤ -40.0	dBm
1stLO + 2 × 映像信号 + 2ndLO	≤ -33 dBm/MHz	≤ -40.0	dBm

受信			
項目	仕様	評価結果	単位
RF入力信号レベル	-82 ~ -27	—	dBm
雑音指数	≤ 8.0	≤ 7.0	dB
変換利得	≥ 14.0	≥ 15.0	dB
帯域内周波数偏差	≤ 2.0	≤ 1.3	dB
利得可変範囲	≥ 27.0	≥ 33.0	dB
IM3 @VHF/UHF Pout-21.7 dBm/tone	≤ -54.0	≤ -63.0	dBc

表8 位相雑音特性  
Phase noise.

Spot Freq	仕様	単位	送受信対向
100 Hz	-75.0	dBc/Hz	-79.12
1 kHz	-85.0	dBc/Hz	-86.30
10 kHz	-95.0	dBc/Hz	-95.50
100 kHz	-105.0	dBc/Hz	-113.12
1 MHz	-110.0	dBc/Hz	-122.89
	0.5	deg rms	0.346

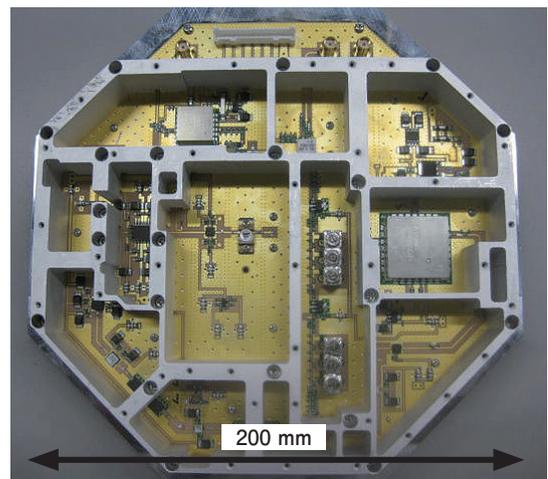


図14 送信モジュール外観  
Transmitter module appearance.

## 5. おわりに

VHF/UHF帯映像無線伝送信号を23 GHz帯に変換するモジュールを開発した。本モジュールを組み込んだ23 GHz帯映像無線伝送装置は無線冗長対策の他、難視聴地域の解消といった適用を想定している。今後、映像伝送システムの利用拡大も進み双方向化や、大容量化へのニーズが高まることが予想される。今後、さらなる性能向上や小型・低コスト化を進めてゆく。

### 謝辞

本開発の一部は京セラコミュニケーションシステム株式会社の協力で行われたものである。

### 参考文献

- 1) JCTEA STD023 準ミリ波帯無線アクセスシステム
- 2) ARIB STD-T58 準ミリ波帯・ミリ波帯の周波数を利用した加入者系無線アクセスシステム
- 3) Pilot同期による周波数安定化技術は特許取得済(登録番号5840283)