

# ビーム伝送による多点共通ローカル方式におけるシステム特性に関する研究

尾長谷 正和\* 張 宰赫\*\* 松元 良寿\* 安田 茂\*\*\* 林 理三雄\*\*\*

## A STUDY ON THE SYSTEM CHARACTERISTICS FOR A MULTIPOINT BEAM-TRANSFERRED COMMON LOCAL OSCILLATOR METHOD

Masakazu OBASE, Jea Hyeuk JANG, Yoshihisa MATSUMOTO,  
Shigeru YASUDA and Risao HAYASHI

This paper is described a Study on the System characteristics for a Multipoint Beam-Transferred Common Local Oscillator method. This system construct a principle of a radio wave interferometer and observe a fluctuation of the received phase difference and the signal power by the use of two antennas at the same time. In order to attempt higher precision system, one more base line was adding to former CLM system method, and two reflectors which reflect the radio wave from the satellite and the direct and reflected radio wave are received at the same position. We experimented basically on the system characteristic for the purpose of the establishment of the system.

### 1. はじめに

近年の衛星放送の高性能化、大容量化、マルチメディア化といった関連技術の進展方向などを考慮すると、高周波数化や通信需要の増大に伴って周波数の不足の問題などがあり、従来使用されていないミリ波帯電波の活用も考慮されなければならないため、衛星通信回線設計上に問題となる降雨減衰などの対流圏が電波に及ぼす影響を詳細にセンシングすることがますます重要となっている。

そこで、我々は地球-衛星間の電波伝搬特性を高精度に測定することを第一目標として電波の多目的利用及びマイクロ波での安定な通信回線の確保などの周波数有効利用を考慮し、ほぼ 24 時間受信可能である衛星放送波(12GHz 帯)を利用した大気特性の測定方式を構築し、対流圏による電波伝搬へ

の影響を把握することを目指している。これまでに、電波干渉計の原理を利用し、2 基のアンテナで受信される信号の位相差と受信信号電力の変化を同時に観測する CLM (Common Local oscillator Measurement) 方式<sup>1),2)</sup>を提案し、観測・解析を行ってきた。さらに基線の一端に 2 基の受信アンテナを設置し、他端に設置した反射器を用いて衛星放送波を伝送するビーム伝送による CLM (Beam-transferred CLM:B-CLM) 方式<sup>3)</sup>を提案し、研究を行った結果、簡易なシステムで 10GHz 以上の電波への対流圏大気に及ぼす影響及び衛星軌道運動を測定するのに十分有効であることを実験的に確認した。

本稿では上述した測定方式をさらにより高精度化を図るため、ビーム伝送による CLM 方式を更に干渉計の基線を 1 つ増やして、2 つの反射器を設置し、衛星からの電波を反射させ、直接受信アンテナと同位置で受信できるようにしたビーム伝送による多点 CLM 方式<sup>4),5),6)</sup>を提案し、そのシステムの確立を目的として研究を行ったので報告する。

2000 年 7 月 15 日受理

\* 博士前期課程電気電子工学専攻

\*\* 博士後期課程システム情報工学専攻

\*\*\* 電気電子工学科

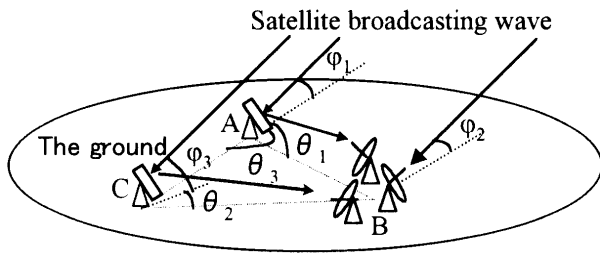
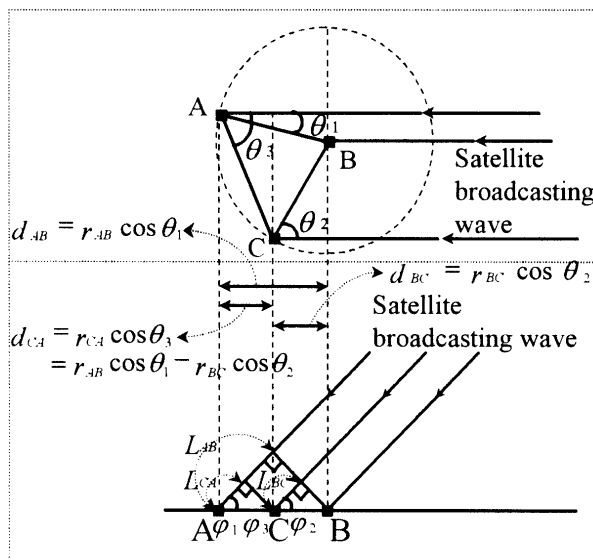


図1 MB-CLM方式概略図



$r_{AB}$   $r_{BC}$   $r_{CA}$ : Each baselines  
 $L_{AB}$   $L_{BC}$   $L_{CA}$ : Each of the geometrical propagation path difference  
 $\theta$ : Making angle with a baseline and an azimuth angle of an arrival direction radio wave  
 $\phi$ : Making angle with an arrival direction radio wave and the ground  
 B : Three antennas  
 A,C : Reflectors  
 $\phi_1$   $\phi_2$   $\phi_3$ : Each phase differences  
 $\lambda$ : Wave length of incoming wave

図2 MB-CLM方式の基線配置図

## 2. MB-CLM方式の原理及びその検討

ビーム伝送による多点 CLM 方式を、以下 MB-CLM (Multipoint Beam-transferred Common Local oscillator Measurement) 方式とする。

図1に MB-CLM 方式の概略図を示す。また図2に MB-CLM 方式の基線配置図を示す。この方式は電波干渉計の原理を利用し、3つのアンテナで受信

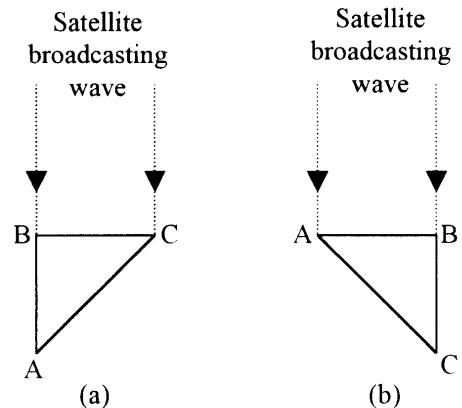


図3 理論的検討による基線配置図

される信号の位相差と受信信号電力変化を同時に観測する方式である。対流圏大気が位相に与える影響を測定することができ、また各アンテナ間の位相差から到来角の変化を得て衛星軌道の変化と大気屈折率変動を求めることができる。

図2において、B 点に3基の受信アンテナを、A 点とC 点に反射器を設置して基線長  $r_{AB}$ 、 $r_{BC}$ 、 $r_{CA}$  の3つの電波干渉計を構成する。基線と到来電波の方位方向とのなす角を  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  と、到来電波方向と地面とのなす角を  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$  とする。

MB-CLM 方式によって測定される各位相差は、各受信アンテナ及び反射器の配置、及び伝搬路上での大気変動がもたらす幾何学的な各伝搬光路差  $L_{AB}$ 、 $L_{BC}$ 、 $L_{CA}$  による各位相差  $\phi_{AB}$ 、 $\phi_{BC}$ 、 $\phi_{CA}$  である。図2に示すとおり幾何学的な各伝搬光路差  $L_{AB}$ 、 $L_{BC}$ 、 $L_{CA}$  は各基線長  $r_{AB}$ 、 $r_{BC}$ 、 $r_{CA}$  と到来角の関数となる。

また図2の基線配置が直角三角形、つまり、 $\theta_{01}=0^\circ$ 、 $\theta_{02}=90^\circ$  (図3(a)) あるいは  $\theta_{01}=90^\circ$ 、 $\theta_{02}=0^\circ$  (図3(b)) となるような配置を取れば、測定したい方向に対して直角になるように基線を配置すればその方向の変動成分のみが拡大され、より高精度に測定できる。実際の基線配置は  $\theta_{01}=0^\circ$ 、 $\theta_{02}=90^\circ$  となるような配置を取っている。

## 3. 実験システム図及び測定装置の特性

図4に MB-CLM 方式実験システム概略を示す。3基の BS 受信用アンテナを1箇所に設け、1基は衛星電波を直接受信し、干渉計を構成する2つの基線の一端にそれぞれ平面反射器を置き、その反射器で衛星電波を反射させ他の2基の受信アンテナに伝送し受信している。また衛星電波受信アンテナ及

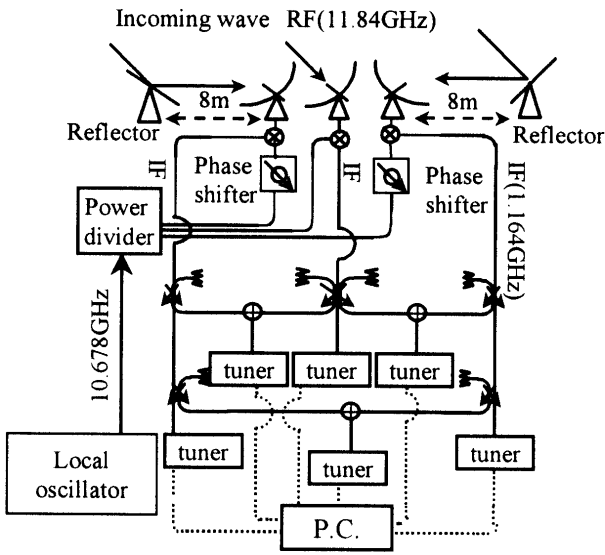


図4 MB-CLM方式観測システム概略

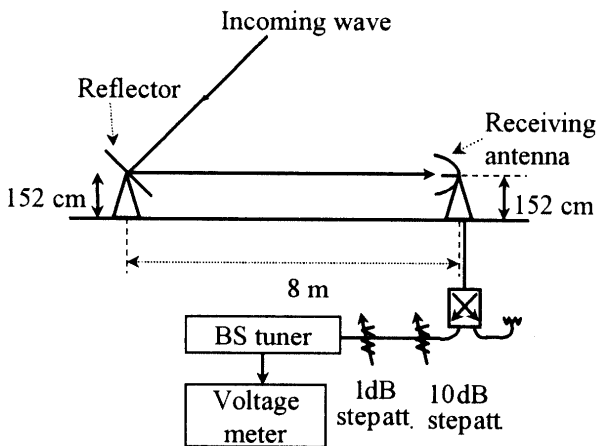


図5 反射器の特性実験

び平面反射器はそれぞれ距離 8m で配置している。3 基のアンテナによって受信された衛星放送波 (12GHz 帯) を共通の局部発振器 (10.678GHz) により IF 信号 (1GHz 帯) にダウンコンバートし、それぞれの基線において 2 つの受信信号の位相差を電力合成器の位相特性を利用し、測定している。測定出力は BS チューナのキード AGC 回路から取り出しパソコンに取り込んでいる。

これまでに MB-CLM 方式のシステム特性基礎実験として局部発振器で要求される特性 (発振出力 20dBm 以上、発振周波数 10.678GHz、周波数安定度  $1.1 \times 10^{-4}$  以内、出力変動 0.1dBm 以内) は観測を行うのに十分有効であることが確認できた<sup>5),7),8)</sup>。そこで我々は実際に観測を行った結果、1 つの合成出力が変動幅最大 15dB で従来の変動幅より大きい

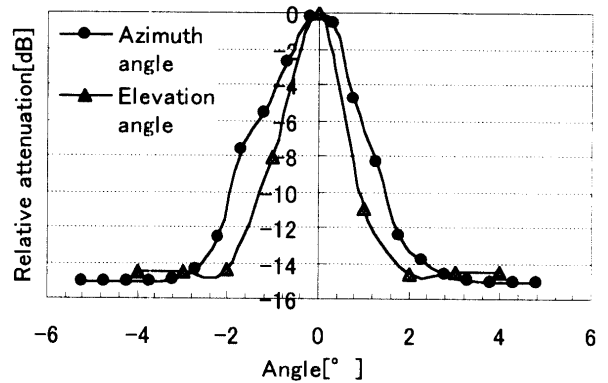


図6 ビーム伝送系のビームパターン (到来電波の方位方向と基線とのなす角度が  $0^\circ$ )

現象が見られた。この現象は我々が製作した発振器でなくても同様な結果が得られた。そこで、我々は、システムでの問題があるのではないかと考え、システムにおける各部分を検討した。今回検討したのはビーム伝送系、周波数変換器、電力合成器の特性である。その他のケーブル・チューナ・電源・3端子分配器等は問題ないことを確認できた。

### 3.1 ビーム伝送系の実験

ビーム伝送系の実験システムを図5に示す。受信アンテナと平面反射器の配置は実際に構築するシステムの配置とし、地上高 152cm、距離 8m 離して設置した。衛星放送波は反射器によりビーム伝送し受信アンテナで受信する。受信レベルは市販の BS チューナの Keyed AGC 電圧を測定して求めた。この実験では基線の長さが近傍領域であるため、受信アンテナの指向パターンと反射器の指向パターンの合成パターンを測定することになるが、実際の観測と同様なシステムでデータを取得するのでこの方法が望ましいと考えた。図6に到来電波の方位方向と基線とのなす角度が  $0^\circ$  の時の結果を、図7にその角度が  $90^\circ$  の時の結果を示す。縦軸は相対的な値を示し、小さい値ほど受信信号電力が小さいことを示す。各基線におけるビーム伝送系の半値幅は、図6では方位角の半値幅  $1.4^\circ$ 、仰角の半値幅  $0.9^\circ$  で方位角の方が大きく、図7では方位角の半値幅  $1.5^\circ$ 、仰角の半値幅  $1.5^\circ$  でほぼ同じであった。我々は衛星軌道運動により起こる到来角の変動は約  $0.1^\circ$  と見込んでおり、今回の結果から MB-CLM 方式における受信信号電力の振幅の変化は、到来角の変動  $0.1^\circ$  により最大 0.6dB まで変動することが確認でき、実用上問題ないと判断した。

次に反射器に対する降雨等の影響を調べるために反射器に水をかけ、その時に観測データがどの程

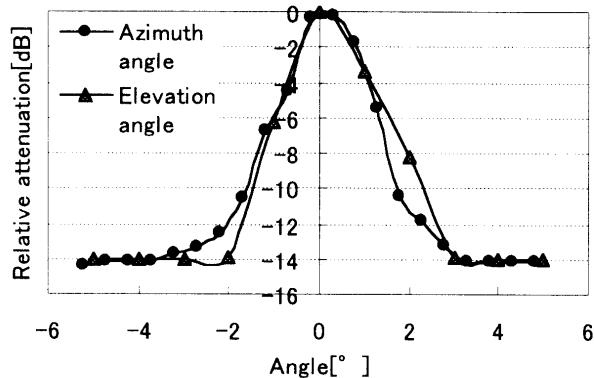


図7 ビーム伝送系のビームパターン（到来電波の方位方向と基線とのなす角度が90°）

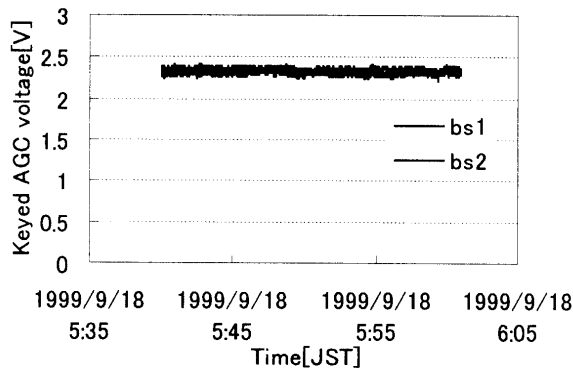


図8 反射器の水による影響

度影響を受けるか実験を行った。実験結果を図8に示す。図8より、反射器によりビーム伝送し受信アンテナで受信した衛星放送波は、水による影響をほとんど受けないことが確認できた。

### 3.2 周波数変換器の特性実験

次に周波数変換器の特性実験システム図を図9に示す。12GHz帯のRF信号源としてスイープオシレータによりホーンアンテナを用い送信した。実験スペースの関係でホーンアンテナから136cm離れたところに周波数変換器を固定させ、更にホーンと周波数変換器の間を電波吸収体で覆い、周波数変換器に入る反射波を防ぐようにした。また周波数変換器に入る実際の入力電力と同じにするために、晴天時のBSチューナで得られるKeyed AGC電圧値になるようにスイープオシレータのRF電力を調整した。三種類の周波数変換器をBS1、BS2、BS3と呼ぶことにする。また外部から局部ローカル信号を入力できるように改良した。RF電力を固定、Lo

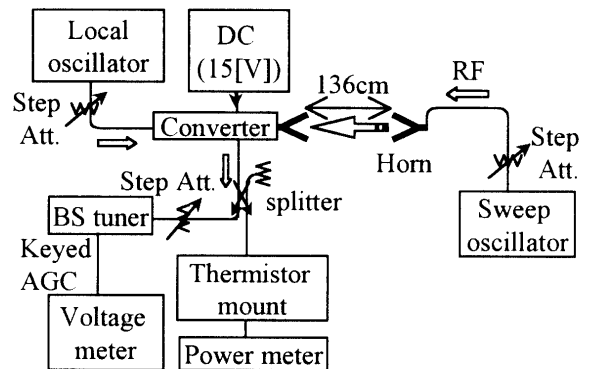


図9 周波数変換器の特性実験システム図

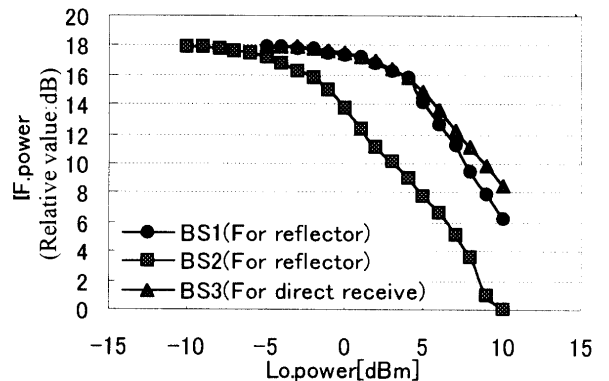


図10 Lo-IF特性

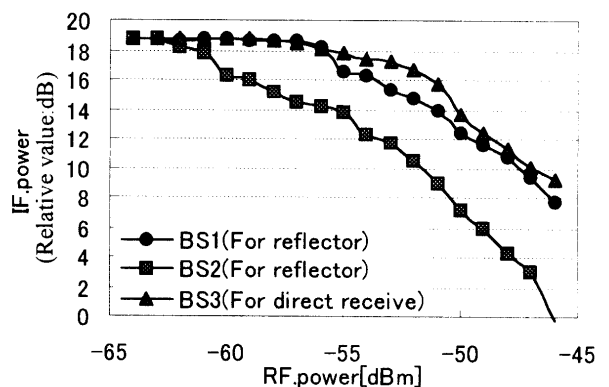


図11 RF-IF特性

電力を1dBずつ変化させ、その時のIF電力を測定するLo-IF特性を図10に、またLo電力を固定、RF電力を1dBずつ変化させ、その時のIF電力を測定するRF-IF特性を図11に示す。図10より、実際に観測時の周波数変換器の標準動作電力8dBm付近での変化率を求めるとBS1=1.5dB、BS2=

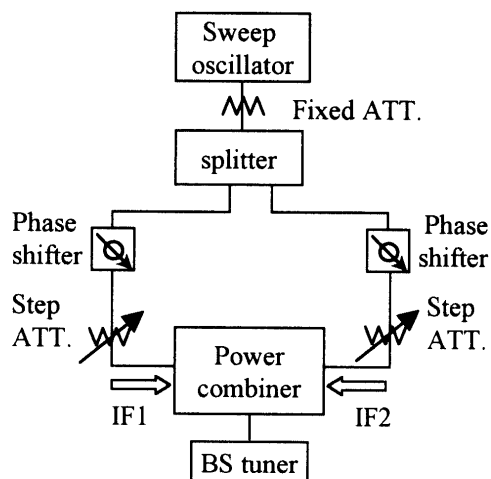


図 12 電力合成器の特性実験図 (1)

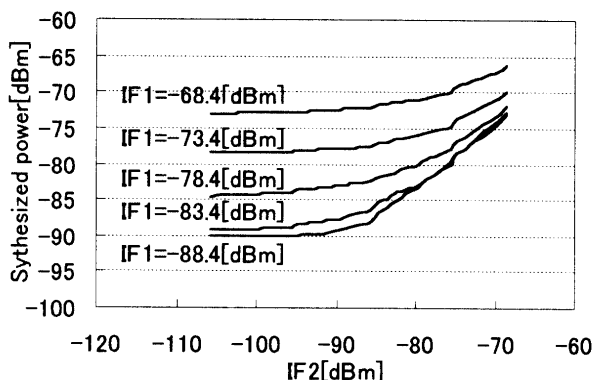


図 13 電力合成器の特性実験 (1)

1.4dB、BS3=1.2dBである。また図 11 より RF-IF 特性の結果より同様に変化率は BS1=1.3dB、BS2=1.4dB、BS3=1.2dBであった。ほぼ同じ特性であるが、それぞれの周波数変換器からの IF 電力に差が生じることが観測データの波形に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

### 3.3 電力合成器の特性実験

次に電力合成器の特性実験図(1)を図 12 に示す。スイープオシレータから信号を供給し、2つの IF 信号を電力合成器により合成し出力を得る。IF1 の電力を 1dB ずつ変化させ固定し、その時の IF2 の電力を固定減衰器で 1 ~ 40dB まで変化(減衰)させ、合成電力器からの出力レベルを測定した結果を図 13 に示す。一つの入力小さくなるともう一つの入力電力より若干落ちて電力合成器から出力された。IF1 と IF2 の電力が-68.4dBm のとき、電力合成器からの出力は理想的には-65.4dBm となる。

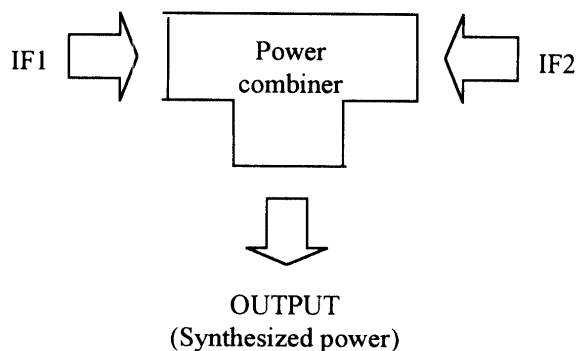


図 14 電力合成器の特性実験図 (2)

結果よりその出力は-66.2dBm で、0.8dB(-65.4dBm(-66.2dBm))の挿入損失が見込まれる。実験方法を逆にしたときも同様なことが得られると考えられる。

次に図 14 の電力合成器の特性実験図(2)において、電力合成器の IF1 側の入力端子に電力を入れたときに IF2 側での出力電力を測定、またその逆について測定したときの結果について述べる。IF1 に 8dBm 入力し、出力端子に無反射終端器を付けたとき IF2 の出力電力は-14dBm、IF2 に 8dBm 入力し、出力端子に無反射終端器を付けたとき IF1 の出力電力は-14dBm となった。電力合成器のアイソレーションは最大 6dB である。IF1 と IF2 の入力電力が同じでなければ大きい電力のほうから小さい電力に流れ、定在波が発生し観測データに影響を与えるので IF1 と IF2 の入力電力を同じにする必要がある。

## 4. おわりに

本論文ではビーム伝送による多地点共通ローカル方式におけるシステム特性の基礎実験を行った。これより、周波数変換器からのばらつきによるそれぞれの IF 電力の差、または電力合成器に入力するそれぞれの IF 電力に差が生じると観測データに影響を与えることが確認できた。よって、電力合成器の IF 電力入力端子に固定減衰器を挿入し、同じ入力になるように調整して解決させた。実際に観測を行った結果、1つの合成出力が従来の変動幅最大 15dB であった現象が改善された。今回検討したビーム伝送系、周波数変換器、電力合成器の特性自体には問題ないことが確認できた。今後の課題として、MB-CLM 方式システムの安定化、基礎実験を踏まえて観測を行い、データ解析を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究室の方々に心から感謝致します。

## 参考文献

- 1) 林 理三雄、木原 芳一、安田 茂、オフセットビーム方式および共通ローカル方式による高精度大気環境測定システム、信学論(B-II)、vol.J81-B-II、no.1,pp.54-62(Jan.1998)
- 2) 木原 芳一、石原 秀泰、安田 茂、林 理三雄、共通ローカル (CLM 方式) による大気環境測定に関する研究、鹿児島大学工学部研究報告 第39号(平成9年)
- 3) 張 宰赫、石原 秀泰、安田 茂、林 理三雄、ビーム伝送による共通ローカル高精度大気環境測定システム、鹿児島大学工学部研究報告 第40号(平成10年)
- 4) 張 宰赫、林 理三雄、安田 茂、榎本 美香、尾長谷 正和、松元 良寿、ビーム伝送による多点 CLM 方式の解析、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集、952(平成10年)
- 5) 林 理三雄、安田 茂、尾長谷 正和、張 宰赫、榎本 美香、松元 良寿、CLM 方式の用いるマイクロ波高出力発振器の開発、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集、954(平成10年)
- 6) 尾長谷 正和、林 理三雄、安田 茂、張 宰赫、松元 良寿、柳瀬 三司、アスリナ・アミン、MB-CLM 方式におけるシステム特性の基礎実験、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集、959(平成11年)
- 7) 宮 憲一、衛星通信技術、電子情報通信学会(1985)
- 8) 森屋 俣昌、関 和雄、高周波計測—マイクロ波通信からデバイスまで—、東京電機大学出版局(1998)