光制御フェーズドアレーアンテナの位相・振幅制御に関する研究

竹内　大樹　（指導教員：中條　渉）
名城大学　理工学部

1．はじめに

マイクロ波アレーアンテナの給電系を光化した光制御アレーアンテナは、小型・軽量化、低損失化、広帯域化、高周波化などが期待できる。本研究では、半導体レーザ(LD)の温度・電流制御を用いて、各アンテナ素子の位相・振幅を独立に制御することを目的に研究を行った。

2．位相・振幅制御の原理

光制御フェーズドアレーアンテナの構成を図 1 に示す。各アンテナ素子のマイクロ波位相制御は、光ファイバの波長分散を利用する。このとき、アンテナ素子間の位相差 $\Delta\phi$ は、光ファイバの分散値を D、光ファイバ長を L、隣接する LD 間の波長間隔を $\Delta\lambda_{opt}$、マイクロ波周波数を f_{RF} とすると次式で表わされる。

$$\Delta\phi = 2\pi DL\Delta\lambda_{opt} f_{RF} \qquad (1)$$

式(1)において、各アンテナに対応した LD の波長 λ_n は、LD の温度を個別制御することで独立に制御できる。そのため、マイクロ波位相は温度 T で制御することができる。

一方、各素子のマイクロ波振幅 A_n は、LD の光強度を P_n、マイクロ波の電界を E_n とすれば K を定数として次式で与えられる。

$$A_n = \mathrm{K}E_n\sqrt{P_n} \qquad (2)$$

このとき、LD の光強度 P_n は LD の入力電流で決まるため、マイクロ波振幅は LD の入力電流 I で制御できる。

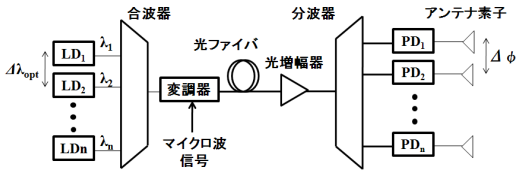

図 1　光制御フェーズドアレーアンテナの構成

3．LD 温度による位相制御

LD の温度 T を変えて位相制御したときの位相・振幅精度測定を行った。実験構成を図 2 に示す。温度を 20℃⇔30℃と 4 秒間隔で制御したときの位相・振幅特性を図 3 に示す。位相の標準偏差は 0.5 度と一定に制御できた。

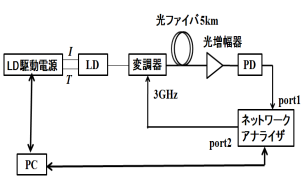

図 2　実験構成

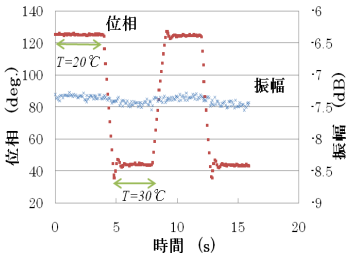

図 3　位相・振幅特性(20℃⇔30℃)

次に、2 素子光制御アレーの位相制御実験を行った。実験構成を図 4 に示す。光ファイバ長は L＝0.5 、1 、2 km とする。LD_1 を波長 λ_1 と固定し、LD_2 を波長 λ_2～λ_4 と変えたとき、位相差を $\Delta\phi$ とする。3GHz での位相特性を図 5 に示す。実験値と計算値は 4.3 度以内でほぼ一致した。

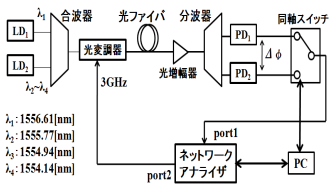

図 4　実験構成

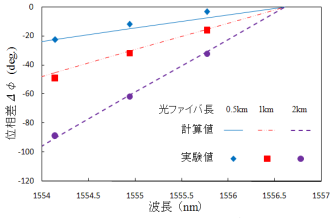

図 5　3GHz での位相特性

4．LD 電流による振幅制御

LD の電流 I を変えて振幅制御したときの位相・振幅精度測定を行った。実験構成を図 6 に示す。電流を 0.115⇔0.035mA と制御したときの位相・振幅特性を図 7(a)に示す。振幅の標準偏差は 0.11dB と一定に制御できたが、電流を変えることで位相変化が 2.1 度発生した。位相変化を抑えるために、温度を 25.0⇔25.2℃と微調整したときの位相・振幅特性を図 7(b)に示す。温度の微調整により、位相変化を 0.3 度に改善できた。

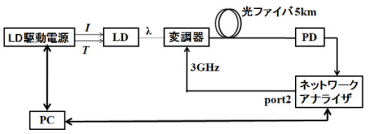

図 6　実験構成

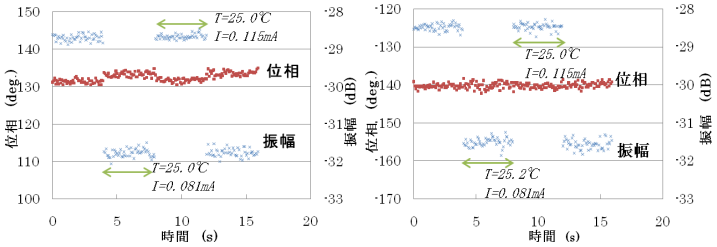

図 7　(a) 位相・振幅特性　　(b) 位相・振幅特性(25.0⇔25.2℃)

次に、光増幅器を入れたときの位相・振幅測定を行った。実験構成は図 2 を用いた。LD 電流が 0.115⇔0.035mA と変化したときの位相・振幅特性を図 8(a)に示す。電流を変えても振幅は一定であるが、位相変化が 4.2 度発生した。位相変化を抑えるために、温度を 25.0⇔25.5℃と微調整したときの位相・振幅特性を図 8(b)に示す。温度の微調整により、位相変化を 0.1 度に改善できた。

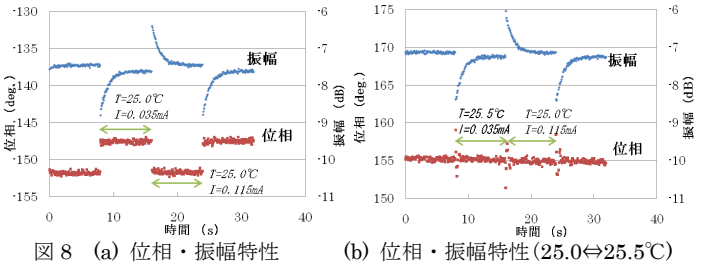

図 8　(a) 位相・振幅特性　　(b) 位相・振幅特性(25.0⇔25.5℃)

5．まとめ

LD の温度・電流制御により 3GHz のマイクロ波信号の位相・振幅を独立に制御できた。位相は 0.5 度の精度で制御でき、振幅は 0.11dB の精度で制御できた。また、LD 電流が 0.115⇔0.035mA と大きく変化させた場合でも、LD 温度を微調整することでマイクロ波の位相変化を 0.1 度に抑えることができた。