



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	実時間マイクロ波ホログラムの作製について
Author(s)	永井, 啓之亮; 青木, 由直; 鈴木, 道雄
Citation	北海道大學工学部研究報告, 66, 43-50
Issue Date	1973-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41117
Type	departmental bulletin paper
File Information	66_43-50.pdf



実時間マイクロ波ホログラムの作製について

永井 啓之亮* 青木 由直* 鈴木 道雄*

(昭和47年9月30日受理)

On the Construction of the Microwave Hologram in Real Time

Keinosuke NAGAI, Yoshinao AOKI, and Michio SUZUKI

Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering,
Hokkaido University, Sapporo, Japan

(Received September 30, 1972)

Abstract

In this paper the construction of an experimental apparatus for recording microwave holograms in real time by an antenna array is reported.

A one-dimensional array with 20 receiver elements of electromagnetic horns was constructed. The output signals from each antenna element are amplified and they are applied to the input of CRT through a switching circuit, which selects the hologram signals from each antenna element to synchronize the beam deflection of the CRT with the position of antennas. An experiment to construct a one-dimensional hologram of a simple object was conducted using this apparatus. A discussion was made concerning the numerical reconstruction of images with the sampled data by this antenna array.

1. ま え が き

筆者らは、先に実時間マイクロ波ホログラム作製のための受波器の一次元アレイの出力切換装置、および、簡単な物体のホログラム作製に必要な受波器の総数について発表したがい^{1,2)}、今度、20素子の受波器による一次元アレイのホログラム作製装置を完成したので、それについて報告する。又、一次元アレイとしても、20素子では、サンプル点としての数が少ない。それゆえ、像再生は計算機を用いて行うとして、少いサンプルを効率良く利用するためのアルゴリズムを考案したので、それについて、その次に簡単に説明する。

2. 一次元アレイによるマイクロ波ホログラムの作製について

一般的に言えば、物体にマイクロ波を照射し、その物体によって回折、干渉を受けたマイクロ波の波動場を記録することが、すなわち、ホログラムを作製したことになる。このとき、記録すべき波動場は、大体2m×2m程度とかなり大きいこと、マイクロ波に感應するフィルムに相当する液晶等の素子は感度が悪いこと、等の理由により、直接波動場を記録する方法には多くの欠点がある。一般には、受波器を波動場で走査させることが広く行われているようである³⁾。この

* 電子工学科

ような、走査型ホログラム作製法は、送波器の出力が数十mW 程度の小さなものでよいこと、等種々の利点があるが、ホログラム作製に非常に時間を費さなければならないことが欠点とされている。走査型ホログラム作製法の利点をそのまま残して、作製時間を極めて短かくし、実用上「実時間」でホログラムを作製しようと試みた場合、先ず考えられるのは、波動場の検出しようとする平面（ホログラム面）に受波器のアレイを配置し、その出力をつぎつぎに電子的にスイッチングすることによって波動場を記録することである。しかしながら、このように、受波器を二次元的に配置するためには用いる受波器および、スイッチングに至るまでの増巾器の総数が、尨大になり、物理的にも、経済的にも、実用化は困難と思われる。ここで、走査は、波源、物体、受波器の相対的な運動であるので、水平方向（ x 方向）に受波器のアレイを配置し、垂直方向（ y 方向）に送波器のアレイを配置して、それぞれを適当にスイッチングすることにより、ホログラムを得る方法や、水平方向の受波器アレイに対して、垂直方向に物体を運動させて、ホログラムを得る方法、等が提案されている。このような方法では、受波器（又は送波器）は、一次元的な配置でよいから、二次元的な配置に比して、その総数は非常に節約される。

3. 受波器アレイによるホログラム作製装置

3.1 全体の構成

ホログラム面にホーンアンテナの一次元アレイを作り、その出力を次々に電子的にスイッチングし、時系列の信号に変換する装置を作製した。そのブロックダイアグラムを図1に示す。アレイ状に配置されたホーンアンテナの各出力は、各々、プリアンプ部により、スイッチング可能なレベルまで増巾される。一方、パルス発生部より、持続時間（パルス巾）0.02 秒で、それぞれ、パルス巾だけ遅れた 20 個のパルスが発生され、（それゆえ、繰返し周期 0.4 秒）これがスイッチングパルスとして使用される。スイッチング部において、20 個のアンテナ出力に、このような 20 個のスイッチングパルスが働らくことによってアンテナアレイの出力は、時系列信号に変換される。以上の装置で、繰返し周期が 0.4 秒ということは、走査時間が 0.4 秒ということであり、機械的な走査（約数十秒）に比して、かなり時間が短縮されたことになるが、パルス巾（0.02 秒）は、発振器として用いたクライストロンの変調周波数（ 1 KHz ）から割り出された値であって、この変調周波数をもっと高くすることにより、パルス巾（従って走査時間）はそれだけさらに短かくすることができる。本報告では、得られた時系列信号を、シンクロスコープに描かせる。シンクロスコープ上の位置は、ホーンアンテナの位置に対応するので、一次元のホログラムが得られたことになる。

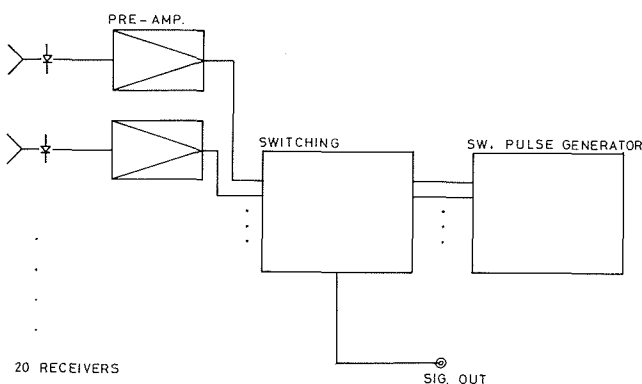


図1 実時間ホログラム作製装置ブロックダイアグラム

秒）に比して、かなり時間が短縮されたことになるが、パルス巾（0.02 秒）は、発振器として用いたクライストロンの変調周波数（ 1 KHz ）から割り出された値であって、この変調周波数をもっと高くすることにより、パルス巾（従って走査時間）はそれだけさらに短かくすることができる。本報告では、得られた時系列信号を、シンクロスコープに描かせる。シンクロスコープ上の位置は、ホーンアンテナの位置に対応するので、一次元のホログラムが得られたことになる。

3.2 受波器アレイ

当初、アンテナとして、ダイポールアンテナを使用したのが、指向性が広く、側壁、床、天井等からの反射波を受け、又、出力も小さいので、S/N が悪という難点があった。そこで、標準ホーンにクリスタルマウントを接続したアンテナを使用したのが、物理的な形状が大きく、図2のよう

に、2段に並べざるを得なかった。しかしながら、一次元物体（垂直方向に充分長く、変化しない）のホログラム作製には、このままで良いし、又、二次元物体のホログラム作製の場合には、ホーンの上段と下段間の距離を考慮して、データ処理を行えば、このようなアレイでもホログラム作製は可能である。

3.3 プリアンプ部

クリスタルマウントでのダイオードの検波出力は約 5 mV_{p-p} であり、又、スイッチングを適切に行うためのレベルは 1 V_{p-p} 程度なので、増巾する必要がある。又、同一入力に対してダイオードの出力は、20個のダイオードで約 10 dB 程度のバラツキがあるので、その補正をプリアンプで行った。プリアンプ部の回路は図3に示し、装置を図4に示した。

3.4 パルス発生部

これは、20個の検波出力を切換えるためのスイッチングパルスを発生させる部分である。スイッチングパルスは、前述のように、繰返し周期 0.4 秒、パルス巾 0.02 秒でつぎつぎにパルス巾だけ遅れた20個のパルスよりなる(図5参照)。パルス発生部のブロックダイアグラムを図6に示す。その一周期がスイッチングパルスの巾になるような無安定マルチを発振させる。スイッチングパルスの繰返し周期は、この無安定マルチの出力の20倍なので、この出力を $1/20$ に分周して、クロックパルスを作る。この分周を行うのに、動作の安定を期して、5段の双安定マルチを使用した。すなわち、4段目の出力をわずかに遅らせて、2段目と3段目に帰還する

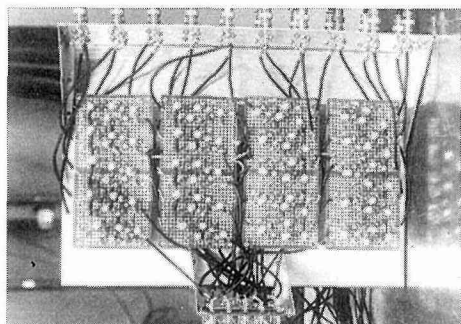


図4 プリアンプ部

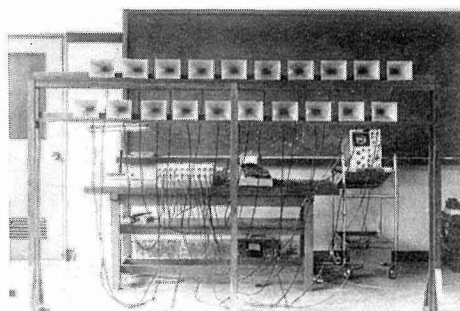


図2 受波器アレイ

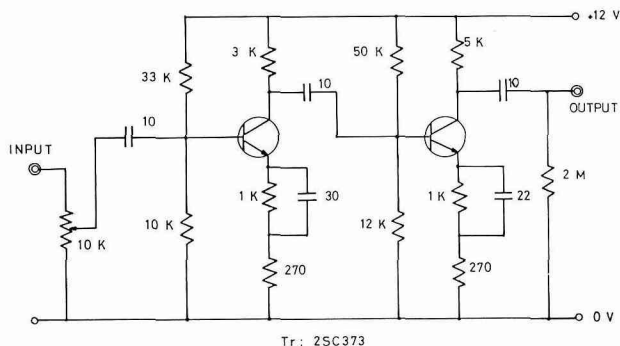


図3 プリアンプ回路図

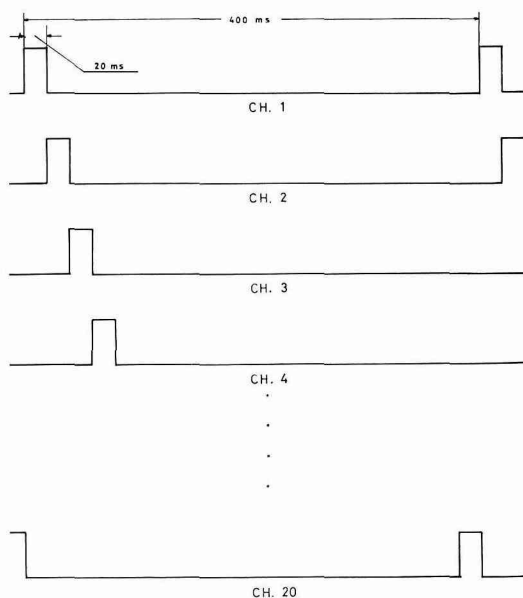


図5 スイッチングパルス波形

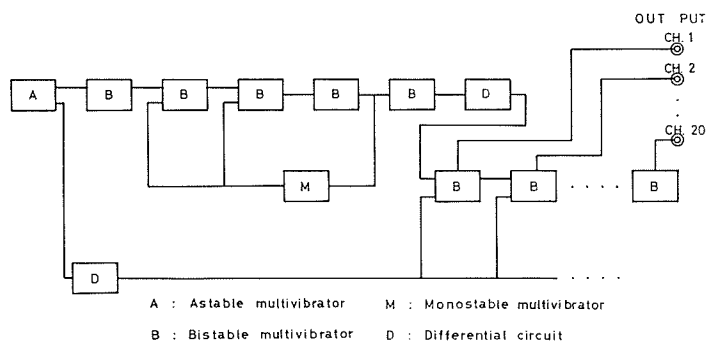
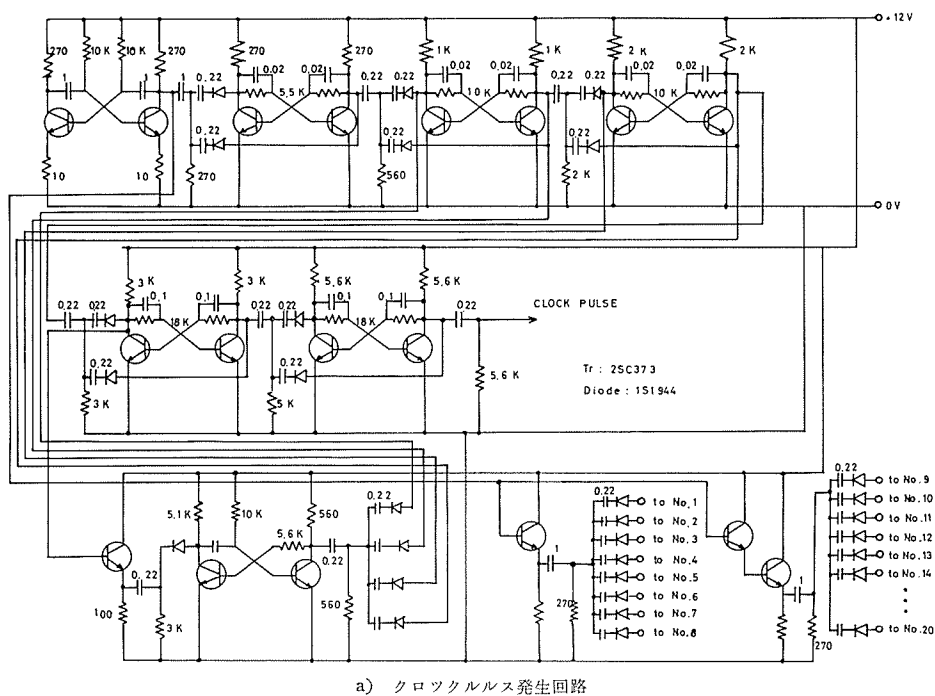
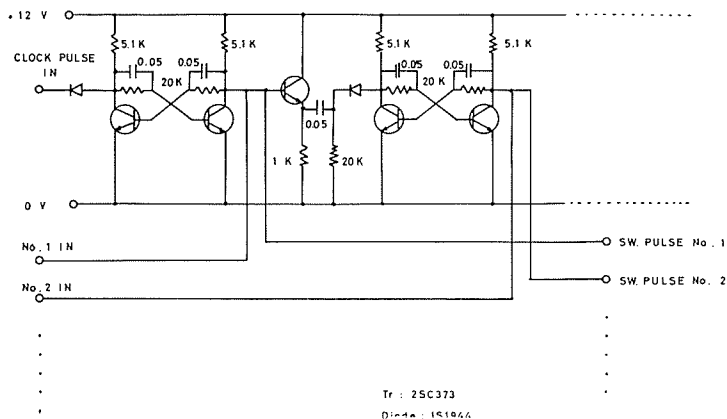


図6 パルス発生部ブロックタイヤグラム



a) クロックパルス発生回路

図7 パルス発生部回路図



b) スイッチングパルス発生回路

いわゆる 10 進回路を作り、これをもう一段の双安定マルチで、 $1/2$ に分周し、合せて $1/20$ にする。この波形を微分した出力（クロックパルス）と、さきの無安定マルチの出力とで双安定マルチをトリガーさせ、20 個のスイッチングパルスの最初のパルスを作り、それと無安定マルチの出力とで 2 番目のパルス……と次々に 20 個の双安定マルチをトリガーさせて、図 5 のような 20 個のスイッチングパルスが得られる。実際の回路は図 7, (a), (b) に示し、装置は図 8 に示した。

3.5 スイッチング部

この部分のブロックダイアグラムを図 9 に示す。プリアンプ出力をもう一段増巾し、スイッチングする。スイッチングに際しては、スイッチングノイズを小さくし、ハム雑音を載せないようにするために、リング変調器の原理を採用した。そのため、前節のスイッチングパルスをここで、位相が反転した 2 個のパルスに変換して、スイッチング回路（変調回路）に入る。回路図を図 10 に、装置を図 11 に示す。

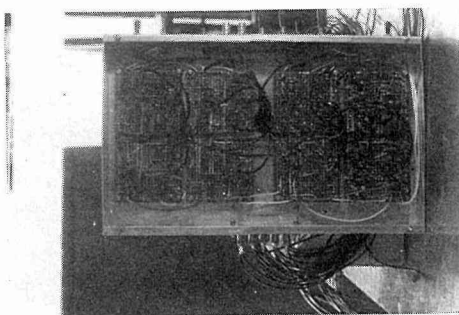


図 8 パルス発生部

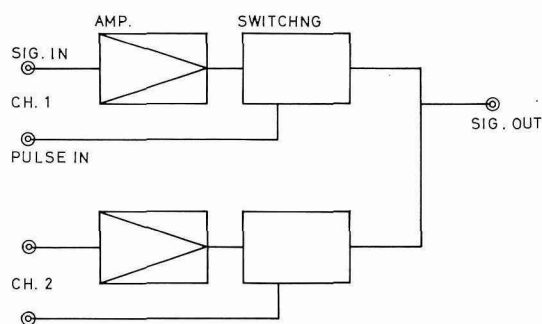
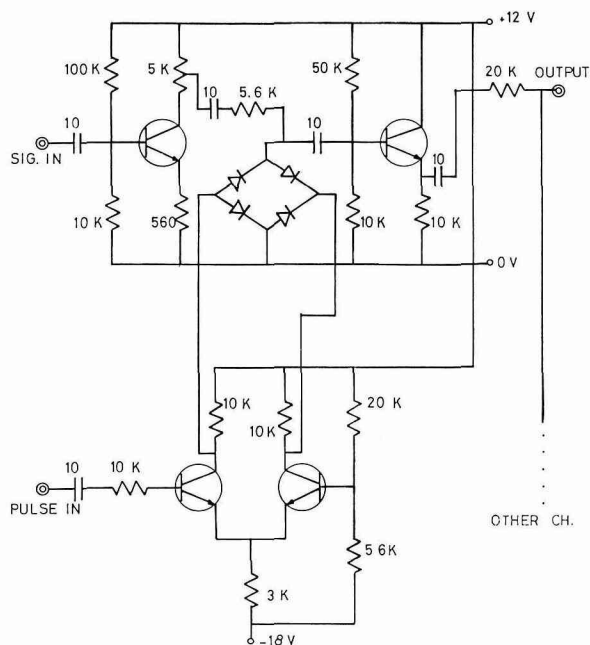


図 9 スイッチング部ブロックダイアグラム



Tr : 2SC373
Diode : 1S1944

図 10 スイッチング回路

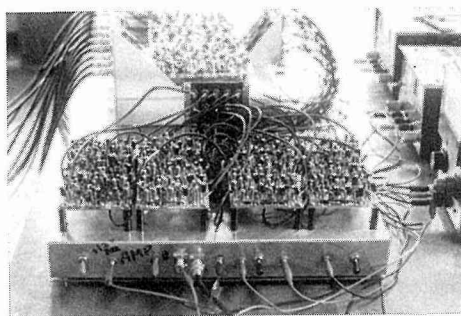


図 11 スイッチング部

3.6 ゾーンプレートの作製

水平方向 2 m に渡って、等間隔に並んだ受波アンテナアレイの中央前方 1.8 m に物体、同 6.7 m に送波器をおき、Gabor 型のマイクロ波ホログラムを作製した。物体としては、巾 20 cm 高さ 2 m のアルミ板であり、その中央がアンテナアレイの高さになるように配置し、送波器の高さは、アンテナアレイに一致させる。又、発振周波数は約 10 GHz である。このような場合のホログラムは、周知のように一次元のゾーンプレートである。ホログラム作製装置の出力をシンクロスコープで観測し、撮影したものを図 12 に示す。これによれば、中央部付近では、明らかにゾーンプレートが形成されていることが解る。しかしながら、開口端付近では、ゾーンプレートかどうか判別できない。これは、ゾーンプレートの縞間隔が開口端に行くに従って狭くなり、20 個のアンテナ間隔では追従できないこと、開口端付近では、ホーンアンテナの指向性の影響で信号の振巾が小さく、又、側壁からの反射波が大きくなり、S/N が悪化するなどがその理由として考えられる。それゆえ、これらの障害を取り除くようなデータ処理の方法を見出すことが必要である。前者の縞間隔が狭くなって、受波ホーンが追従できなくなる問題では、筆者らの提案する「折れ線近似によるサンプリング」が有効な手段の一つと考えられるので次章ではこれについて簡単な説明を行う。

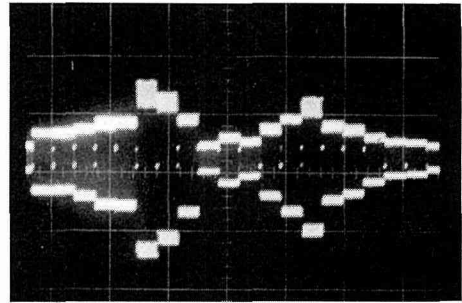


図 12 一次元物体のホログラム
(ゾーンプレート)

4. 折れ線近似によるサンプリング

4.1 ホログラム面での波動場のサンプリング

ホログラム面での波動場の変化は一様ではない。送波器からの照明波に比して、物体からの物体波は、極めて小さいので、ホログラム面で自乗検波を行って得られた波動場の情報は、各々の物体波と照明波の干渉縞の線型結合となる。言い換えれば、ゾーンプレートの重ね合せである。ゾーンプレートの縞間隔は中心からの距離に反比例して小さくなる。それゆえ、一般の物体の場合には、波動場の変化は、幾何光学的な影の部分では比較的ゆるやかに変化し、影から離れるに従って細かく変化するようになる。それゆえ、このような波動場をサンプルするときに、ゆるやかに変化する部分（影およびその周辺）では疎間隔にサンプルし、細かく変化する部分（開口端付近）では密にサンプルし、結果を折れ線近似すれば、サンプル点の総数が少くても、比較的誤差の少ないホログラムが得られることになる。ここで問題になるのは、ホログラムの像再生を計算機によって行うときに起る以下のことである。再生像をホログラムから得るのは、ホログラムと Propagation function とのコンボリューションを計算することであり⁴⁾、計算時間の関係から高速フーリエ変換 (FFT) を使わざるを得ない。しかしながら、FFT の基になる、離散的フーリエ変換 (DFT) は等間隔なサンプル点からのデータ (Nyquist samples) を使用しなければならない。そこで、ここで述べたようなサンプルの取り方をした場合でも FFT が適用できるようなアルゴリズムを次節で述べる。

4.2 折れ線近似関数の FFT

ホログラムの関数 $g(x)$ をサンプルするのに、最も細かく変化する干渉縞の縞間隔（これは、物体を含めて、ホログラム作製時の構成と、ホログラム開口の大きさで決定する。）の $1/2$ 巾を

サンプルの最小間隔として、この最小間隔でホログラム開口を等分割する。この等分割点を仮のサンプル点として、物体の幾何光学的な影および、その周辺では、実際にデータを採る点を一点おき、又は二点おき位にして、適当に省略する。仮のサンプル点 $x_k(k=0, 1 \dots N-1)$ で実際に採ったデータの値 g_k により、 $g(x)$ を折れ線近似し、それを $g_p(x)$ とする。今、データを採らなかった点での $g_p(x)$ の値は、データを結ぶ折れ線上の値になるので、仮のサンプル点上にあって、実際にデータを採らなかった点でのデータ g_k をも決定することができる。今、 $g_p(x)$ は DFT の場合と同様に、ホログラムの開口 L を周期とする周期関数とした上で、 $g_p(x)$ の二次微分を考えると、

$$\frac{d^2}{dx^2} g_p(x) = \sum_{k=0}^{N-1} g'_k \delta(x - x_k) \quad (1)$$

ここで、

$$g'_k = g'_k - g'_{k-1} \quad (2)$$

$$g'_k = \frac{g_{k+1} - g_k}{x_{k+1} - x_k} \quad (3)$$

また、仮のサンプル点上で、実際にデータをサンプルしない点では、直線の二次微分は常に零であるので、

$$g'_k = 0 \quad (4)$$

である。実際にデータをとらなかった点での g'_k が常に零ということは、今後の計算がそれだけ省略できて、この方法の有利な点である。今、 $\frac{d^2}{dx^2} g_p(x)$ のフーリエ変換を $G(f)$ とすれば、式 (1) より、

$$G(r) = \sum_{k=0}^{N-1} g'_k e^{-j2\pi rk/N} (r=0, 1 \dots N-1) \quad (5)$$

となる。この式は、DFT と形式的には全く同じ形をしているので、逆変換、コンボリューションの計算、FFT の適用が可能である。又、逆変換によって得られた g'_k から、式 (2), (3) を通して g_k が求まるので、2 次微分ということは、この場合本質的な問題にはならない。それゆえ、ここで述べた方法は、DFT と同様に、ホログラムの像再生のアルゴリズムに使用することができる。

5. む す び

実時間で、一次元のマイクロ波ホログラムの作製できる装置を完成したので、それについて説明し、又、簡単な物体のホログラム（ゾンプレート）を作製した。素子数が少数であることを補うためのデータ処理方法の一例を合わせて説明した。今後はさらに実験を重ね、ホーこの指向性の影響を軽減するような処理方法又、ここで述べたものとは全く別な方法で、受波アンテナが少いことを補う方法（これは、送波器を複数にすることで実現可能と思われる。）を検討するつもりである。最後に、この研究は、文部省の科学研究費によって行ったものである。

【謝辞】

日頃、有益な御助言を下さる電気工学科、深井一郎助教授に深く感謝いたします。スイッチング回路について、日立中研の塚本信夫氏の御助言を受けたことを感謝し、又、御討論、御助力下さった電子工学科電波応用講座の諸兄に感謝いたします。

文 献

- 1) 永井啓之亮, 鈴木道雄: 昭 45 道支部連大 p. 119.
- 2) 永井啓之亮, 青木由直, 鈴木道雄: 昭 46 道支部連大 p. 138.
- 3) マイクロ波プログラムの作製については多数の論文があるが, それらを概説した下記の論文をあげて, この章では, 個々の文献の引用は省略する。
青木由直: 信学会, マイクロ波研資料 (1972-06).
- 4) Y. Aoki: IEEE. Trans. Audio Electroacoust. Vol. AU-18 p.p. 258-267.