

## 米国におけるフォトレフラクティブ効果を用いた光演算の研究動向

A trend of the research in optical computing using photo refractive effect in U.S.A.

伊藤 雅英\*

Masahide ITOH

### 光演算の研究動向

平成元年度の三好研究助成金を受け「フォトレフラクティブ効果を用いた光演算に関する調査」を目的に、1989年10月2日から10月23日にかけてアメリカ合衆国においてカリフォルニア工科大学 (CALTECH, カリフォルニア), 南カリフォルニア大学 (USC, カリフォルニア) を訪問し、また、フロリダ州オーランドのコンベンションセンターで10月15日から20日まで開催されたアメリカ光学会年次大会 (OSA'89) に参加し、『チタン酸バリウム位相共役鏡を用いたファブリ・ペロ型フォトレフラクティブフィードバック系』という題で研究発表を行った。

### フォトレフラクティブ結晶

近年フォトレフラクティブ結晶としてのBaTiO<sub>3</sub>, LiNiO<sub>3</sub>, BSOなどが開発され、こうした新しいデバイスを用いた応用の研究が盛んである。フォトレフラクティブ効果は光誘起屈折率変化と訳すことができるが、実際光によって引き起こされる屈折率変化は数多くあり、その中でも次のような現象をさしている。浅い不純物準位をもつ誘電体、半絶縁体などに光 (干渉縞) が照射されると、光のあたった箇所にある電子、ホールが励起される。励起された電荷は拡散、光起電力、外部電界により移動する。その結果、照射光のパターンに応じた電荷分布が生じ結晶内部に電界が生じる。結晶の電気光学効果により屈折率分布が生じる。拡散の場合、この屈折率分布とその原因となった干渉縞の位相が $\pi/2$ ずれているため、光のコヒーレントな増幅などの性質が生じる。特にBaTiO<sub>3</sub>は時定数は長いがその増幅利得は高く実用性が高い。

### 大学研究室訪問

訪問先のカリフォルニア工科大学のPsaltis教授の研究室では、ニューラルネットワークの研究を主に行っているが、その記憶素子としてコンパクトディスクなどの光ディスクをホログラムとして用いる研究を行っている。

\*東京大学生産技術研究所 第1部

ホログラムは画像情報の多重記録が可能であり、ひとつの画像情報が画面全体に分散しているのでノイズに強いという特長がある。また、一部分からも全体の情報を読み出せるので高速検索と時間をかけた詳しい情報の抽出の使い分けが出来る。装置はソニーが開発し、日本から小林氏が留学して研究を行っている。またフォトレフラクティブ効果の応用についてはBrady博士が中心になり、LiNiO<sub>3</sub>結晶の基礎特性の測定、ホログラム記録材料としての評価を行っている。多重情報記録材料としてフォトレフラクティブ結晶を用いる場合、通常の銀塩写真乾板を用いたホログラムと異なる点は、ほかの書き込み光が以前記録した情報の消去光として働く点であり、それを考慮した解析がなされ、記録の多重度に応じて記録光強度が決められる。LiNiO<sub>3</sub>とBaTiO<sub>3</sub>を用いた光連想メモリも試作している。

南カリフォルニア大学のFeinberg教授はフォトレフラクティブ効果の研究の先駆者であり、そこでの議論と助言は得るところが多かった。BaTiO<sub>3</sub>において、通常は3本の入射光が必要な位相共役波発生を単一の光線で生じさせることができることを見だし、BaTiO<sub>3</sub>をいちやく有名にした。自己励起型4光波混合による位相共役波発生というこの現象をCATと名付けた。BaTiO<sub>3</sub>結晶の基礎的測定を行っていて、不純物の準位の浅いものと深いものがあることを検証したり、増幅の過渡応答について深い変調がかかった厚いホログラムモデルを提案している。

### OSA'89

アメリカ光学会では、主にニューラルネットワークとフォトレフラクティブ効果の2テーマを聴いた。ニューラルネットワークの発表は主にデジタル計算機の中の話が多かったが、光を用いた提案もいくつかあった。フォトレフラクティブ効果は現象としてはわかりやすいが、そのメカニズムやモデルの研究は始まったばかりである。今回の調査の目的である光演算に関連したものは、いずれも多くの聴衆を集めていた。基礎的な材料の開発、その特性の測定、それを用いた素子やシステムの開発、光

演算のアーキテクチャーの提案など多岐にわたった。

### 光演算の今後の展望

光は自由空間では特定の領域に閉じ込めておくことが難しく、回折によって広がってしまう。したがって電子的コンピュータと同じアーキテクチャーでは集積度の点で及ばず、電子的コンピュータの代替としての光コンピュータの実現は望めない。

光を用いた演算の特徴として、まず並列性があげられる。多くの光学系は並進対称性 (shift invariant) をもっていて、同一の演算をすべての場所について同時に行ったり、同じ情報を同時に送ったりできる。また光線は空間的に交差してもクロストークは全くないので、多くの配線を最短距離に行うことができる。こうした特性を利用してホログラムは電子的コンピュータのLSIチップ内やチップ間の配線を行うインターコネクションデバイスとして注目されている。

光演算はデジタルよりアナログの方に価値があると

思われる。画素という明確な仕切りや演算のクロックがなく、レベルも連続的である。したがって論理機械より連想メモリーや学習機械としての応用が期待される。また人間とのインターフェースもとやすく、知能的な入出力のデバイスとしても用いられていくであろう。したがって光だけを用いた計算機ではなく電子的コンピュータの補助、画像の入出力インターフェース、特殊用途専用計算機として発展していくという印象であった。

これまではもっぱら光の強度情報を用いてデジタル信号を送っていたが、光にはほかに位相、偏光、波長といったコヒーレントな自由度がある。これらの物理量を制御するデバイスが開発されつつあり、それにより今後の光演算は飛躍的に発展していくであろう。

最後にアメリカでの研究の現状を直接見聞し、また研究発表の機会を与えてくださった生産技術研究奨励会の皆様に感謝いたします。

(三好研究助成報告書 1990年8月29日受理)

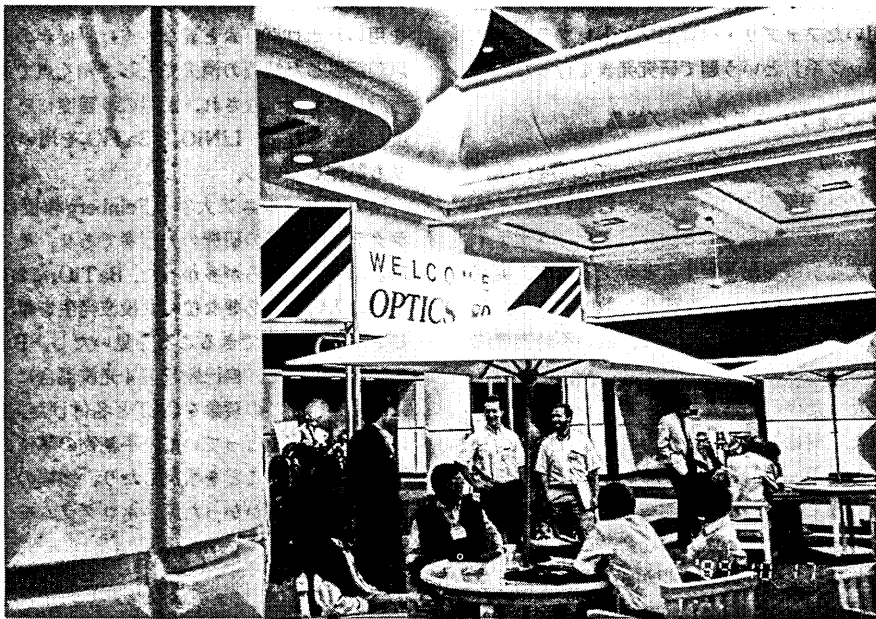


写真1.アメリカ光学会