

## 光インターフェクションと光設計

石川正俊

近年、コンピューター間ばかりではなく、コンピューター内のボード間あるいはチップ間の配線を光を情報の媒体とした配線、すなわち光インターフェクションで実現しようとする研究が盛んに行われており、すでに一部で実用化が始まっている<sup>1)</sup>。例えばスーパーコンピューターの市場では、光ファイバーを用いてクロック信号の供給を行っている製品が市販されているし、ファイバーリボンを中心に各社でデータ伝送を目指した実用化が進められている。

これらの光インターフェクションには大別して4つの種類が存在する。世代別に示すと、第1世代といわれるコンピューター間を光ファイバーで接続したもの、第2世代といわれるボード間を専用光学系で接続したもの(一部で光バックプレーンとも呼ばれる)、第3世代のチップ間を光導波路でつなぐもの、第4世代と呼ばれるチップ間を自由空間でつなぐもの等がある。

これらはすべて、電子を情報の媒体とする従来の配線方法よりも高速・高密度のデータの伝送を実現しようとするものであり、それにより現在のコンピューターの性能を上回る性能を引き出そうというものである。

本論文では、このような光インターフェクションにおける設計問題を、近年流れが顕著になってきている光電子融合コンピューターシステムの設計問題としてみた場合の技術を解説する。

### 1. 光インターフェクションにおける設計問題

一般に設計問題は、何らかの評価関数に対する最適化問題として定式化できる。では、光インターフェクションを用いたコンピューターシステムの設計において、評価軸として何を考えればよいのだろうか。もちろん、設計のトップレベルではコンピューターの性能が唯一の評価軸であり、その向上のためにはアプリケーションの動作解析、ソフトウェア・ハードウェア(光部分も含む)

協調設計、可変構造設計、ネットワーク構造の設計等の導入が必須である。

このことを念頭に置き、もう一段ブレークダウンして光インターフェクションの設計における評価軸を考えると、最終的にスキーの問題も含めた伝送速度に帰着することができる。ここでいう速度は、伝送の周波数特性やチャネル数に比例し、伝送距離に反比例する。伝送距離はシステムのコンパクト化の問題に強く依存し、その意味で消費電力等にも関係する。つまり消費電力を抑えられたコンパクトな回路では、実質的な伝送距離が短くなり距離に比例する成分は速くなる。

クロックの分配等も含む第1世代や光バックプレーン等の第2世代では、伝送距離があらかじめ別の要因から与えられている場合が多く、伝送速度の問題は周波数特性やチャネル数の改善の問題となる。この際、光設計の問題としては、光コネクター内部のマイクロ光学系やそのアライメント等に課題が残されている。

これに対して、図1に示すような第4世代の光インターフェクションにおける自由空間伝送を考えると、伝送距離の問題、あるいは言い換えて伝送密度の問題が設計要件に強くかかわってくる。例えば、4096チャネルの伝送を完全並列型光インターフェクションで行うとマルチプレクスして1チャネルの光インターフェクションで行うのでは、原則として後者の方が4096倍高速の伝

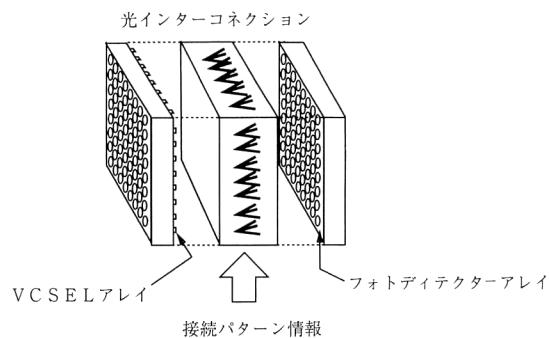


図1 自由空間伝搬型光インターフェクション。

Optical interconnection and optical design (1996年8月27日受理)

Masatoshi ISHIKAWA 東京大学工学系研究科計数工学専攻  
(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

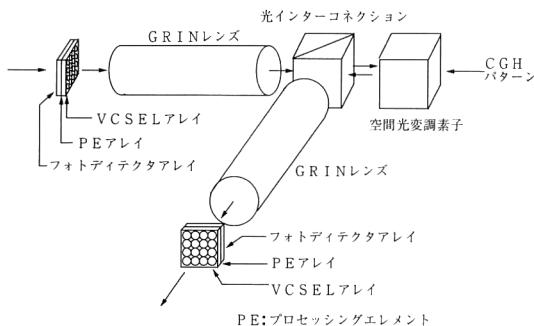


図2 書換え可能なホログラムとGRINレンズを用いたコンパクトな光インターネクション。

送が要求され、加えて電気系の配線が長くなることから速度やスキューレーの問題の解決も難しくなる。

この場合の光学系の設計条件をまとめると、「LSIチップ上の二次元面発光レーザーダイオードアレイ（ピッチ  $125\text{ }\mu\text{m}$  程度）からの光を同数の同じ配置のフォトディテクタアレイに伝送する光学系であり、できれば接続パターンは再構成可能であることが望ましい」ということになる。1対1完全並行接続以外では再構成可能な構造、すなわち接続パターンを変化させる光学系の設計が必要になる。このような構造を実現するためには、計算ホログラムを用いる例が多く、最近はマイクロミラーの利用も提案されている。

計算機ホログラムを利用する場合には、シミュレーションなどの最適化アルゴリズムを利用したホログラムの設計とフーリエ光学系のコンパクト化が重要な設計要件になる。

## 2. 実例

ホログラムの最適化の問題はほぼ技術が確立してきており、計算時間が多少かかるもののきれいなホログラムが得られるようになってきた<sup>2)</sup>。筆者らは、このようなホログラムと面発光レーザーダイオードを用いた光インターネクションを有する並列処理システムを開発し、実際に稼働させていている<sup>3,4)</sup>。McArdleらは、このシステムのコンパクト化を目指して、GRINレンズを用いたシステムの試作を行っている<sup>5)</sup>。その概念図を図2に示す。ここでは、 $5\text{ mm } \phi$  のGRINレンズ ( $8\text{ mm } \phi$  まで製作可能) を用いて  $8 \times 8$  のレーザーダイオードアレイ（ピッチ  $125\text{ }\mu\text{m}$ 、波長  $980\text{ nm}$ ）に対する光インターネクションシステムを  $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$  程度以内（光

路長として  $100\text{ mm}$  以内）に収めることが可能となっている。

このレンズ系の設計に際しては、光学系のCADを用いて実装時の性能予測と配置問題を解いている。このCADによりこの光学系によるレーザーダイオードのスポット径は最悪でも  $5\text{ }\mu\text{m}$  程度となり、 $20\text{ }\mu\text{m}$  径のフォトディテクターがあれば、エネルギーの90%を伝送できることが設計上示されている。

光インターネクションでは、エネルギーの伝搬が重要であって結像性能はさほど重要でない。したがって、チャネル間のクロストークやミスマライメントの影響の把握といった評価が重要になる。現状の光学系CADはこのような要請に対してある程度応えているが、例えば電気系との協調設計というような点では、改良すべき点は多い。

一方、再構成可能な構造は、位相変調タイプの空間光変調素子を用いてホログラムパターンを書き換えることによって、シフトインバリアントな接続パターンを変えることが可能である。

自由空間伝搬型の光インターネクションにおける設計問題の考え方とその設計例を示した。今後半導体集積化技術の進歩と光デバイスの進歩に伴い、このような光設計技術が実装技術として重要な役割を果たすと考えられる。コンピューターへの利用を考えると光に適したアーキテクチャーの開発とそれを実現する光技術の開発が次世代のコンピューターの基礎を担うものであり、そのための技術の開発が強く望まれる。

## 文 献

- 1) 特集「光インターネクション技術」、光学、25 (1996) 125-151.
- 2) A. Kirk, T. Tabata, M. Ishikawa and H. Toyoda : "Reconfigurable computer generated holograms," Opt. Commun., 105 (1994) 302-308.
- 3) 石川正俊、石田隆行：「ホログラムを用いた光インターネクション」、光学、24 (1995) 341-342.
- 4) M. Ishikawa: "System architecture for optoelectronic parallel computing," Technical Digest of International Topical Meeting on Optical Computing (1996) pp. 8-9.
- 5) N. McArdle, T. Komuro, N. Naruse, H. Yamamoto, H. Sakaida and M. Ishikawa: "A smart-pixel free-space interconnected parallel processing system," Digest of Summer Topical Meeting on Smart Pixels (1996) pp. 59-60.