

Title	光コンピュータ
Author(s)	一岡, 芳樹
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1986, 60, p. 85-93
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/65679
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

光コンピュータ

大阪大学工学部 一 岡 芳 樹

1. はじめに

光の物理的特性を生かした大規模の高速情報処理システム—光コンピュータ—を作りたい、これが科学者の長年の夢であった。光コンピュータという術語は20年以上前から知られていたが、まだ、光コンピュータというものは世の中に存在しない。然るに、光コンピュータの研究が最近、俄かに活気をおび、種々の分野から大きな関心が持たれるようになってきた。

情報処理の世界では、いつの時代でも、より多くの情報をより速く、より少ないエネルギーで、より安く処理したいという要請がある。そのため、常にその時代に稼動している最高の能力をもつコンピュータよりも2~3桁能力の高いシステムの出現が望まれている。現在でも、その要望は極めて強い。特に大規模な2次元、3次元データのシミュレーション実験、実時間画像処理、パターン認識、分子構造の決定、計算物理学などの分野では、現在利用しうるコンピュータに比べ、飛躍的に能力の高い計算システムが要望されている。

コンピュータの能力は大体2年毎に倍増してきたが、飛躍的な能力向上は今まで程、簡単に実現できないことが認識されている。^{1,2)} その理由は、コンピュータの基本構成(フォンノイマン型)、演算方式(時系列性)、通信帯域の限界、実装上の問題(配線長、浮遊容量、熱除去)など種々のレベルで生ずる問題が、そう簡単には解決できそうにないからである。現在、これらを克服する方策として、並列性、パイプライン、データフロー等のアーキテクチャーを利用した計算システムの開発や、超高速論理素子の開発が進められている。このようなシステム構成の行きつく先が、並列処理を基本としてきた光情報処理システムの構成に似てくることは当然であろう。光の超高速並列情報処理・伝送能力を用いると、大容量情報の高速演算ができる超並列コンピュータを実現しうる可能性がある。最近、光コンピュータが脚光を浴びているのは、この点に注目しているからである。

ここでは、光の持つ情報処理能力と光コンピュータの機能や方式を示し、目下、我々の研究室で考えている光コンピュータの基本演算システムOPALSについて概説する。

2. 光の情報処理・伝送能力

真空中の光の速度は 3×10^8 m/sで絶対速度である。しかし、この速度は、情報伝送速度としては必ずしも速いとは考えられていない。なぜなら、光による信号の伝達距離は、1 nsで30 cm、1 psで300 μ m、1 fsでたかだか0.3 μ mであるからである。たとえば、1 psのクロックで動作する高速スイッチングゲートができて、それを効率よく作動させるには、ゲート間の配線を最大で300 μ m

以内に押えねばならない。もし、それ以上の長さの配線であると、ゲートに入力する複数の信号は異なる時間に到達し、ゲートの誤動作を引き起こす。この現象はクロックスキューとよばれており、現在、高速コンピュータを実装する上で直面している大きな問題である。¹⁾ これを避けるには、クロックの間隔を長くする、すなわち、演算速度を下げる必要がある。この制約は、将来、開発される光コンピュータでも十分、考慮しておかねばならない。このことから、光コンピュータに利用する光の性質は光速性は勿論であるが、より大切なのは超並列情報伝送・処理能力である。光コンピュータではこの性質を有効に利用して、実効的に大容量データの高速処理を実行することとなる。

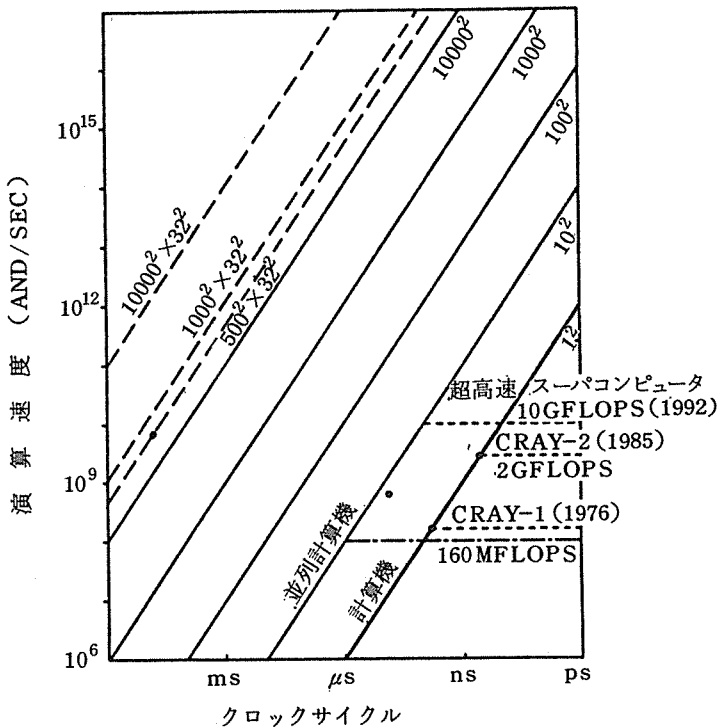


図1 光コンピュータの演算能力

図1は光による演算能力を示したものである。縦軸は毎秒の演算回数（AND演算）を、横軸にクロックパルスのサイクルタイム、パラメータにデータの並列度を用いた。参考のため、図中にスーパーコンピュータの能力を並記した。³⁾（スーパーコンピュータの演算能力の単位はFLOPS：Floating Operation per Secondで示してある）

光を情報処理システムに利用する上での大切な特性を列挙すると、

1. 信号の伝送、処理時における超並列性
2. 並列性を保ったままの2次元情報処理能力

3. 光の物理的特性である、強度、位相、偏光などの利用
4. 並列伝送チャンネル間の信号の非干渉性、アース不要
5. 連続信号 / 離散信号、アナログ信号 / デジタル信号が同一の処理系で処理可能

光コンピュータは光の超並列性を利用した大規模な情報処理システムである。したがって、並列処理を基本とする光情報処理技術を如何に有効に利用するかが、その開発の大きな鍵となる。

3. 光コンピュータの演算方式⁴⁾

光コンピュータの演算方式として、現在、次の4つのものが考えられている。以下各方式について簡単に説明する。

1. 時系列デジタル演算方式

今までのコンピュータと同一のアーキテクチャを用い、電気信号を光信号でおき換えようとする方式である。光 I C や光デバイスの技術の利用を前提としている。主な特徴は、光を信号媒体として用いることにより、システム内の線路を伝播する信号相互間の干渉がさけられること、今までに、コンピュータサイエンスの分野で蓄積してきたソフトウェアが全て利用できることなどが挙げられる。しかし、光の超並列性を利用した大規模情報処理システムというイメージからはほど遠い。

2. 並列アナログ演算方式

主たるシステムは、光情報処理技術を用いた、専用目的の大規模情報処理システムである。

2次元相関演算や2次元フーリエ演算機能がよく用いられる。情報処理の世界の人々が抱く、光コンピュータのイメージからはかなりかけはなれているが、システムの見直しによって有効な利用方法が見つかる就非常に能力の高いシステムとなる可能性がある。大行列演算、ベクトル-大行列積和演算機などの研究が行なわれている。これらを現在のコンピュータの一つの構成要素として組込むとかなり能力の高い計算システムが構築できる可能性がある。並列連想コンピュータとしての可能性をも有しており、この方式の研究も世界的に活発になってきた。

3. 並列デジタル演算方式

光情報処理技術を有効に利用した、離散信号の並列デジタル処理を中心にしたシステムである。コンピュータと同様にプログラムによって汎用並列処理を実行する。プログラマビリティ、反復演算能力、精度保持など、デジタルコンピュータの持つ特長と光の超並列性を利用した並列コンピュータである。現在、最もポテンシャルの高い光コンピュータと目されており、種々の構想が発表されている。⁵⁻⁹⁾ デジタルコンピュータの開発段階で蓄積されてきた、幾多のデジタル演算技術が利用できるため、最も期待されているシステム方式である。

4. 並列デジタル / アナログ演算方式

現在、隆盛をきわめているデジタルコンピュータの中に、光情報処理の利点を生かした専用シス

テムを組込んだ方式のコンピュータ。特に高速画像処理システムとして高い能力を発揮することが期待されている。複合度の度合により、並列アナログ演算方式または並列デジタル演算方式のシステムに近づいてくる。光の基本的な特質である信号のアナログ性を完全に無視した並列デジタル方式よりも、光の特徴であるアナログ性を積極的に利用することを目的としている。現在は散発的なシステム開発の報告はあるが、未だ光コンピュータとしての認識に欠けているきらいがある。

4. 並列光コンピュータの基本演算システム：OPALS^{7,9)}

現在、我々が考えている並列デジタル演算方式の光コンピュータの基本演算システム：

OPALS (Optical Parallel Array Logic System) を紹介する。

その構成上、機能上の特徴を列挙すると、

1. 2次元相関光学系を用いた、新しい並列光論理演算法を基本として設計しており、並列演算のCPUは2次元相関光学系で構成する。
2. 並列光論理演算法の機能は、アレイロジックの概念と対応が付き、この対応関係を用いると空間アレイロジックの概念が構築できる。OPALSは空間アレイロジックの概念を基にシステム化した基本並列光演算システムである。
3. OPALSで実行する演算の種類はプログラムによって空間並列光接続の方法を変えることにより選択可能である。空間並列光接続とは、光の超並列性を用いた光配線の仕方である。
4. CPUはフィードバック光学系を中心に構成し、並列信号のラッチおよび記憶用には空間光変調素子を利用する。演算はSIMD (Single Instruction Multi Data Flow) 方式で実行する。

4.1 空間並列光論理演算法¹⁰⁾

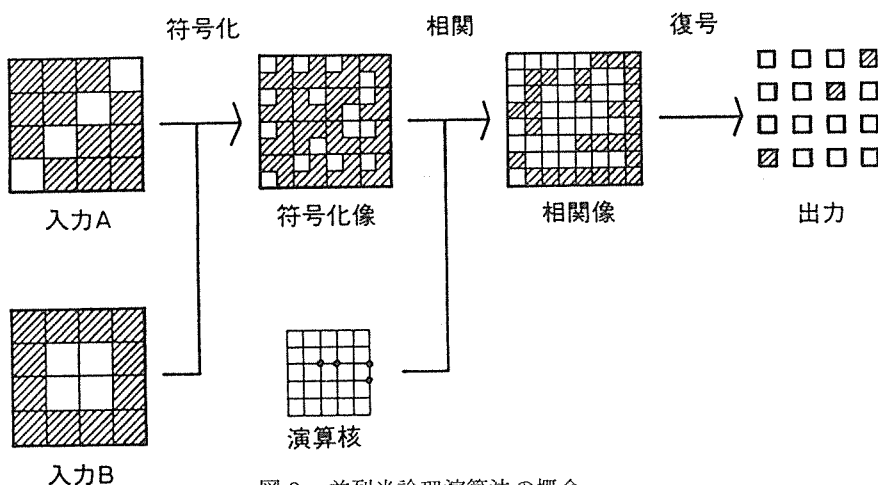


図2 並列光論理演算法の概念

図2はOPALSに用いる並列光論理演算法の概念図である。2つの2値離散入力画像を想定する。2つの画像の対応する画素を考え、それらの値の組合せ、00, 01, 10, 11にしたがって特定の符号に変換して符号化像を得る。符号化には、ホログラム、多重波長、偏光、複屈折などの光学現象が利用できる。次に、相関光学系を用いて、符号化画像と演算核の相関をとる。

相関像の各画素の中央部分のみを復号マスクを用いて出力する。得られる画像は演算核の種類によって変化する。アレイ状に並んだ4つ一組の演算核を考えると、そのスイッチングの組合せは16種類あり、得られる像の各画素値は2変数2値論理関数の結果となっている。このような並列論理をパターン論理という。

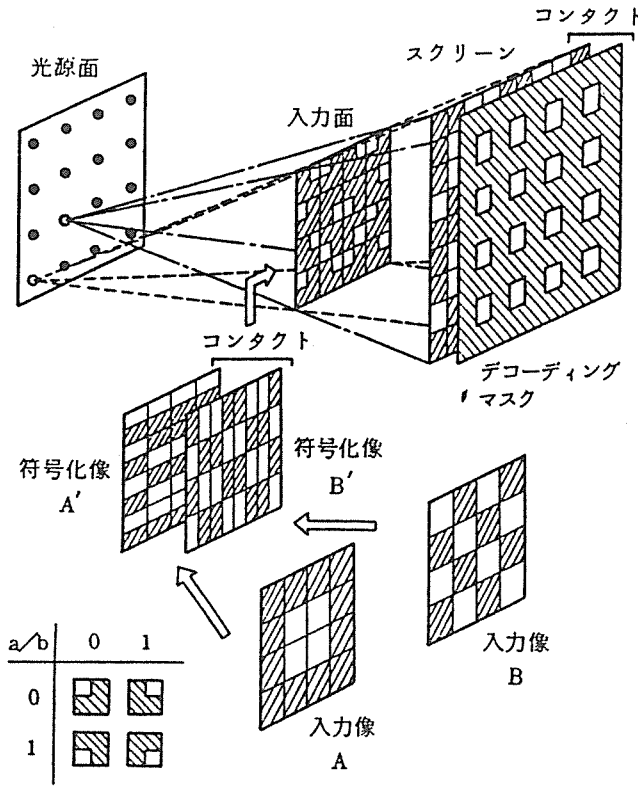


図3 投影光学系による並列論理演算

図3に最も簡単な相関光学系である投影系を用いた並列光論理演算を実行する系を示す。演算核は4つ一組の点光源である。注目すべきことは、演算核の位置を上下、左右にシフトすれば、得られる結果も2次元的に下上、右左にシフトすることである。この操作により、デジタル演算に不可欠なシフト演算が並列に実行できる。このように、2次元相関光学系を用いると、コンピュータの基本演算機能である、2変数2値論理演算、シフト演算が並列に実行可能であることから、これ

らを用いて並列デジタル方式の並列コンピュータの構築が可能となってくる。

図4は投影光学系を用いた、パターン論理演算の実行例である。

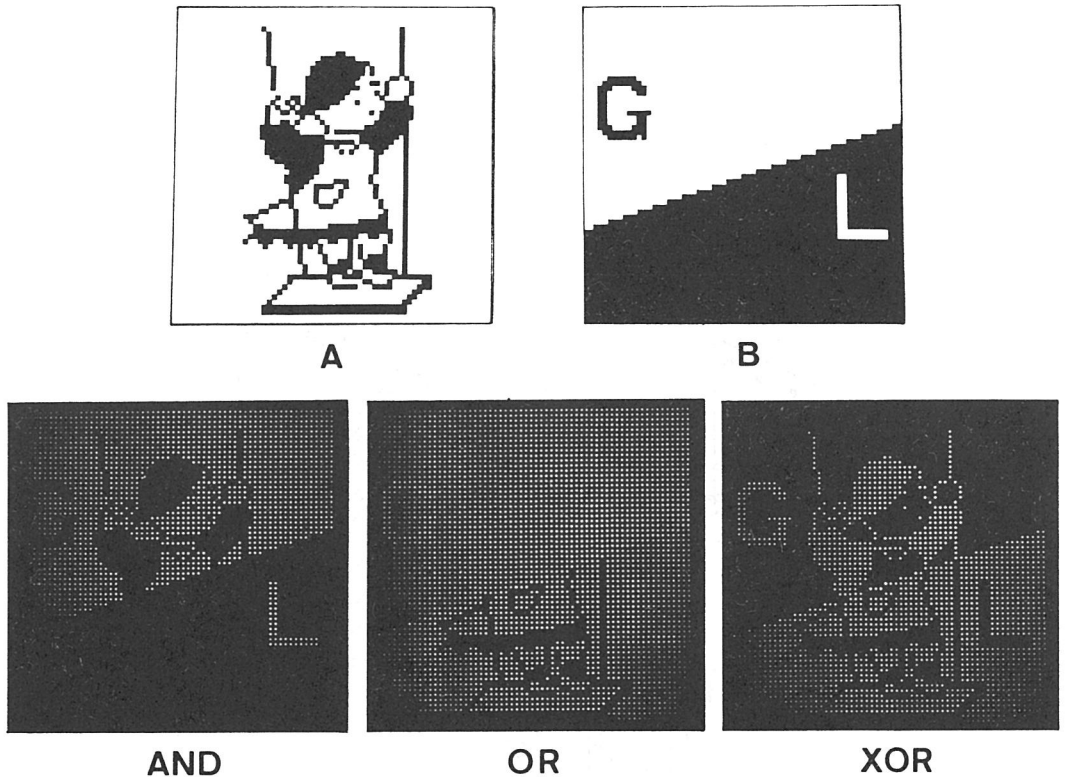
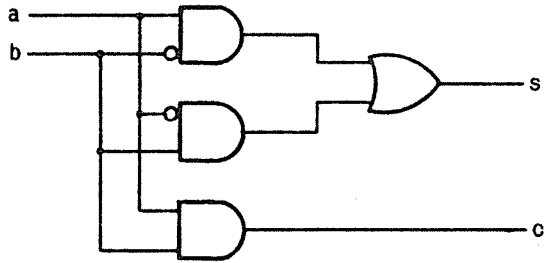


図4 パターン論理演算例

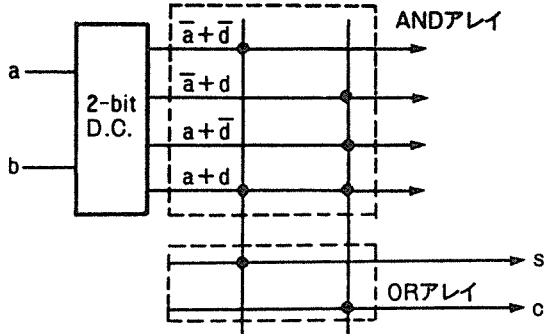
4.2 空間アレイロジック^{7,9)}

よく知られているように、アレイロジックは規則正しい構造を持つ回路素子を用いて、種々の機能を有する回路を作成する技術であり、カスタムICの作成に利用されている。図5に半加算器のランダムロジックによる表現と、アレイロジックによる表現を示す。図に示すように、アレイロジックを用いると任意の論理演算がANDアレイとORアレイの交点パターンで定義できる。

4.1でのべた並列光論理演算法の機能は、図5(b)に示す2ビットデコーダを用いたロジックアレイの機能と一対一の対応がつく。2つの2値入力画像の符号化画像への変換は2ビットデコーダの機能に、演算核の種類はANDアレイの一つの積項線(図の縦線)の交点パターンに対応する。しかもこの対応関係は、画像を構成する全ての画素に対して並列かつ独立に成立つ。このような操作機能を空間アレイロジックと呼んでいる。



(a) 半加算器のランダムロジックによる回路構成



(b) アレイロジックによる構成

図5 アレイロジック

4.3 OPALS⁹⁾

並列光論理演算法と空間アレイロジックの概念を用いて構成した並列デジタル演算方式の光コ

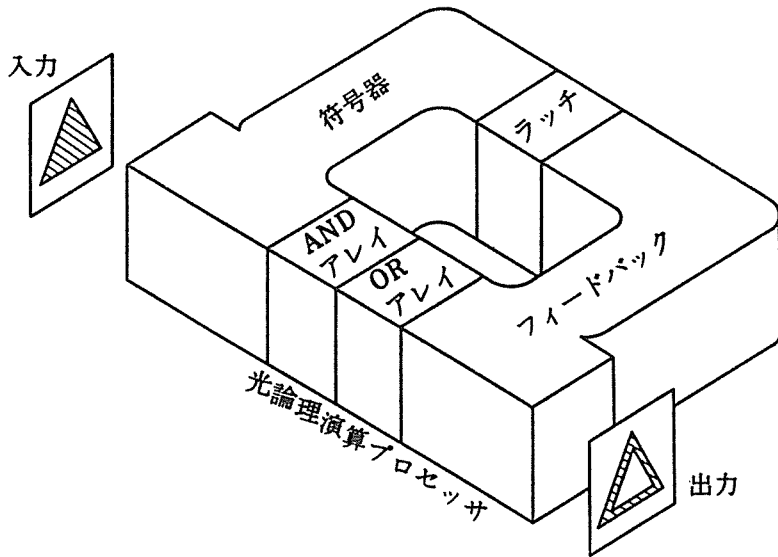


図6 並列光演算システム：OPALSの構成概念図

コンピュータの基本演算システムがOPALSである。図6はその構成概念図である。OPALSの

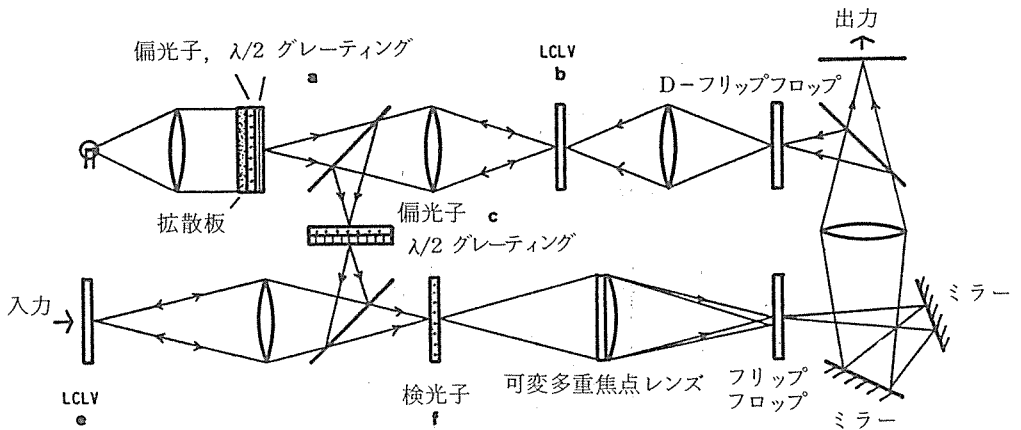


図7 純光学型のOPALS

具体的な構成法には種々の方式のものが考えられる。図7は純光学型構成のOPALSである。系はフィードバック光学系で構成されており、中間処理像の記憶には液晶空間光変調素子(LCLV)が利用される。CPUは、可変多重焦点レンズを利用した結像系である。入力像とLCLVに記憶された中間処理像は符号化光学系(左側上下2つのレンズを含む系)で符号化され、CPU光学系で多重投影される。結果はS-Rフリップフロップにラッチされ、LCLVに記憶される。この系で演算核に相当するのは、可変多重焦点レンズの前においたアレイシャッタのスイッチングモードである。OPALS駆動用のプログラムとは並列光論理演算の実行手順(演算核列)を記載したものであり、その実行とは演算核に従って順次、空間並列光接続を変えていくことである。

5. おわりに

光コンピュータの研究の背景と意義、光の情報処理能力、光コンピュータの方式を示し、並列デジタル演算方式の光コンピュータの基本演算システム:OPALSについてのべた。OPALSは光の超並列性とデジタル演算方式の特徴とを兼ね備えた並列光演算システムである。このシステムはCPUに相関光学系を用いていること、コンピュータの配線に相当する部分に空間並列光接続を利用すること、全てのデジタル演算を純並列に実行するなどの点で、従来のコンピュータとその構成法が全く異なる。空間並列光接続は光コンピュータ構成に利用しうる、光独自の並列配線法である。おそらく、光コンピュータは、論理素子、記憶素子、入出力装置とそれらの間の結線の集合体として構成されている従来のコンピュータに比べて、その形態、構成、機能、役割が異なる

る大容量情報処理システムとして、近い将来、実現してくるものと予想される。

参考文献

- 1) R. D. レビン：サイエンス 日本版 12, No. 3, 54 (1982).
- 2) 一岡芳樹：応用物理 54, 1019 (1985).
- 3) 一岡芳樹：昭和60年度 電子・情報関連連合大会講演論文集 3, pp. 3-88.
- 4) 一岡芳樹：オプトロニクス No. 46, 45 (1985).
- 5) A. Huang：Proc. Soc. Photo-Opt. Instrun. Eng. 232, 119 (1980).
- 6) B. K. Jenkins et al：Appl. Opt. 23, 3455 (1984).
- 7) Y. Ichioka and J. Tanida：Proc. IEEE 72, 787 (1984).
- 8) A. A. Sawchuk and T. C. Strand：Proc. IEEE 72, 758 (1984).
- 9) J. Tanida and Y. Ichioka：Appl. Opt. (in the press).
- 10) J. Tanida and Y. Ichioka：J. Opt. Soc. Am. 73, 800 (1983).