

レーザービームプリンタの印刷データ転送技術

Printing Data Transmission Technology of Laser Beam Printer

北原 淳 徳

要 約 電子写真方式のプリンタの性能は、用紙搬送、現像、定着に代表される印刷機構部の動作速度と印刷データを処理する制御部の能力によって決まる。プリンタは、最高動作性能を実現するため、制御部と印刷機構部を種々の方法でバランスよく互いの性能を引き出すように、設計されている。その一つに、制御部でドット生成される大量の印刷データを印刷機構部に正確に転送する高度な信号同期技術と高速データ転送技術がある。これはプリンタの機種特有の技術であり、データ生成方式や印刷方法は機種によって回路構成が異なることから、市販の LSI チップが存在しない。

本稿では、新たに考案した同一構造で低速から超高速のプリンタまで適用可能な印刷データ転送回路について述べる。

Abstract The performance of a electrophotographic printer is determined by the typical operating speed of the printing unit (i. e. printer engine) including the paper feeding, the developing, and the fixing, together with the capability of a control unit processing data to be printed. Generally, a printer is designed so that the interaction between the control unit and the printing unit brings out the balanced operating performance as a whole using various technologies. For an instance, the advanced signal synchronization technique and higher-speed data transmission technique ensure that a large volume of data available for printing generated in the form of dot image by the control unit are transferred correctly to the printing unit. These techniques are ones specific to individual printer types, and the circuit on which the data generation and printing functions are physically implemented differs among printer types, therefore, the LSI chips for printer control has not yet been marketed.

This paper discusses the data transmission circuit for print data which, newly designed and implemented on a single type of circuit board, can be installed in printers ranging from the low to ultra-higher printing speed.

1. はじめに

プリンタの印刷技術は、印刷速度、印刷品質、小型化、低価格化、低騒音化などで目覚ましい進歩を遂げ、用途別にインパクト、熱転写、インクジェット、電子写真等の様々な方式のプリンタが生み出されてきた。なかでも基幹業務用に使われるプリンタでは、大量印刷のニーズに応えるために印刷方式として、高速で高品位な印刷が可能な LED (Light Emitting Diode 発光ダイオード) やレーザーを光源にした電子写真方式を採用している。この分野のプリンタは、大量印刷でヘビーデューティを目的とするため電算室用に限定される少量需要であり、汎用性のある製品が存在しないことからコンピュータメカ各社が、独自の方式で性能を実現し、製品を市場投入している。

電子写真方式のプリンタの性能は、用紙搬送、現像、定着に代表される印刷機構部

(プリンタエンジン)の動作速度と印刷データを処理する制御部の能力によって決まる。プリンタは最高動作性能を実現するため、制御部とプリンタエンジンが、バランスよく互いの性能を引き出す様に設計される必要がある。また、その実現には、制御部で展開・処理されメモリ上にドット生成される大量の印刷データをプリンタエンジンのレーザビームに正確に転送する高度な信号同期技術と高速データ転送技術が必須である。この技術は、プリンタの機種特有のものであり、データ生成方式や印刷方式で回路構成がプリンタによって異なることから、市販のLSI(Large Scale Integration 大規模集積回路)チップが存在しないのが実状である。その為、これまではプリンタを開発するたびに新規に回路設計を行ってきたが、都度の新規設計を解消するために、同一構造で低速から超高速のプリンタにまで利用可能な回路方式を考案した。

本稿では、新たに考案した同一構造で低速から超高速のプリンタまで適用可能な印刷データ転送回路について述べる。

2. プリンタの構造

本章では、実現した回路の説明に先立ち JPP 2550 型日本語印書装置を例に挙げ、プリンタの基本構造について簡単に紹介する。図 1 にプリンタ基本構造の概念図を示す。

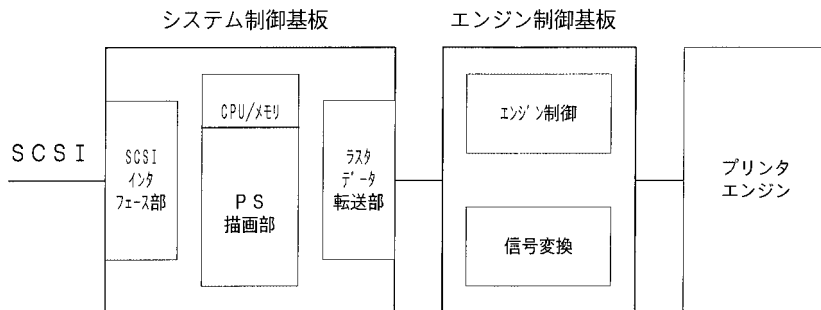


図 1 プリンタ基本構造

プリンタの基本構造は、システム制御基板、エンジン制御基板、プリンタエンジンの3ブロックに大別できる。

- 1) システム制御基板は、上位装置から SCSI (Small Computer System Interface) インタフェースを介して送られてくる PS (PostScript) 言語で記述されたプリントデータを受け取り、ファームウェアで言語を解釈し、PS 描画部で印刷データを展開・処理し、ドットデータをメモリ上に生成する。生成したドットデータは、ラスタデータ転送部でシリアルデータに変換し、エンジン制御基板に送出する。
- 2) エンジン制御基板は、プリンタエンジンからのレーザビーム同期制御信号に同期した印書クロックを生成すると共に、システム制御基板から送られてくるドットデータをクロック同期し、プリンタエンジン用電気信号に変換した後、プリンタエンジンに送出する。

- 3) プリンタエンジンは、エンジン制御基板から送られたデータでレーザービームを変調し印刷動作を実行する。

3. 機能仕様

印刷データ転送回路を表 1 に示すプリンタの各機種に適用するため 構造の拡張性、論理、回路の流用性、将来性を考慮し、次の様に必要機能を定義する。

- 1) 印刷速度に応じた印刷データの送出ができる。
- 2) 解像度と用紙サイズによる 1 ページ当たりのデータ量の変化に対応できる。
- 3) マルチビーム方式に対応できる回路構造とする。
- 4) 将来性 (今後のプリンタ動向) を考慮し、解像度 1,200 ドット/インチに対応できる。
- 5) 1 ページ当たりの印刷データサイズが 50 メガバイト以上扱える。
- 6) ファームウェアによる分割印刷データ生成方式 (バンディング方式) に対応できる。

表 1 低速から超高速機までのエンジン仕様

機種	初号機 出荷日	印刷速度 【行/分】	解像度 【ドット/インチ】	最大印刷領域 横 x 縦【インチ】	ビーム方式
低速機 (JPP1200)	2000.8	1,275	600	17 x 14	シングルビーム
中速機 (JPP2550)	1999.8	2,550	400	17 x 14	シングルビーム
高速機 (JPP5200)	2000.3	5,226	480	17 x 14	LED
超高速機(JPP4100)	2002.7 (予定)	16,560	480	17 x 14	マルチビーム

4. 基本設計

システム制御基板上の印刷データ描画処理に要する CPU の処理占有時間から、回路方式は DMA (Direct Memory Access) 方式を採用する。本章では、低速から超高速プリンタの機能仕様を満たす DMA 回路について述べる。

4.1 DMA の必要能力

プリンタは、PS 言語処理をシステム制御基板上の PS 描画部で実行している。言語処理とは、PS 言語の解釈と印刷データの描画からなり、描画後のドット化されたデータをメモリに貼り付ける動作までを含んでいる。ファームウェアがメモリ上に生成した印刷データは、DMA 回路がバスを經由してメモリから読み出し、プリンタエンジンに送出することで印刷が行われる。バスは、CPU による文字描画処理と DMA 回路によるデータ転送処理で共用することから、DMA の必要能力は、DMA が占有できるバスの空き時間率と連続印刷に要する平均データ転送速度から算出できる。

表 2 に各プリンタにおける印刷データ転送期間と文字描画時間及びバスの空き時間率、表 3 に DMA の必要能力の算出結果を示す。

表 2 機種毎のバスの空き時間率

機種	印刷データ転送期間 [ミ秒/インチ]	文字描画時間 [ミ秒/インチ]	バスの空き時間率 [%]
低速機(JPP1200)	285	50.6	82
中速機(JPP2550)	140	50.6	64
高速機(JPP5200)	69	50.6	27
超高速機(JPP4100)	110	50.6	54

表2の文字描画時間は、17インチ幅×1インチ長に印刷される文字数を、最小文字ピッチと最小行ピッチを考慮し、最大508文字/インチとしたときの値である。この値は、JIS規格のX0208^{*1}及びX0212^{*2}で定義されているJIS第一水準文字、第二水準文字及び補助漢字の1文字当たりの平均描画時間にフォントキャッシュ率を加味し、罫線描画時間を加えたものであり、表中の文字描画時間は、従来機での計測値を使用している。

表2の超高速機の印刷データ転送期間とバスの空き時間率は、PS描画処理条件からシステム制御基板上のPS描画部を独立した5基板で構成したときの値である。

表 3 機種毎のDMAの必要能力

機種	最大データ量 [キバイト/インチ]	平均データ 転送速度 [メガバイト/秒]	DMAの バス占有率 [%]	DMAの 必要能力 [メガバイト/秒]
低速機(JPP1200)	765.0	2.7	70	3.9
中速機(JPP2550)	340.0	2.4	52	4.6
高速機(JPP5200)	489.6	7.1	15	47.3
超高速機(JPP4100)	489.6	4.5	42	10.7

表3の最大データ量は、プリンタの解像度及び印刷幅から1インチ当たりのデータ量を算出したものであり、平均データ転送速度は、最大データ量を印刷データ転送期間で割った値である。また、DMAのバス占有率は、表2のバスの空き時間率からオーバーヘッド分を差し引いた値である。

DMAの必要性能は、表3から高速機の47.3メガバイト/秒が最大である。

4.2 DMAの組み込み機能

3章で定義した仕様を満たすために以下の機能を備える。

1) バースト転送機能

バースト転送とは、1回のバスアクセスに対して、連続して複数のデータを転送する動作であり、バースト転送を用いることで、より高速にデータの転送を行うことができる。

バーストサイズ(1回のバースト動作で転送できるデータ量)は、2~16ワードが選択できるが、メモリのキャッシュラインサイズ及び転送効率を考慮し、8ワード(8×4バイト)バーストを採用する。

バースト転送は、転送するメモリアドレスがバーストサイズ境界にあるときのみ動作可能であることから、転送の開始と終了時のバーストサイズ境界にない場合の転送も考慮して、1ワード(4バイト)転送機能を用意する。

バースト転送でメモリから連続して印刷データを読み出す際、1 バスクロック毎に 4 バイト (バスのデータ幅分) のデータが転送されることから、確実なデータ受信動作を行うために、パラレル FIFO (First In First Out) を用意し、読み出されたデータの高速受信に対応する。

2) デマンド機能

この機能は、DMA 転送の開始及び終了を制御する機能である。プリンタでは、印刷の開始及び終了タイミングは、プリンタエンジン動作に同期した信号により決定され、印刷中は印書クロックに同期して印刷データを送出しなければならない。従って、システム制御基板は、エンジン制御基板から受信した DMA の開始要求信号によって動作制御することでプリンタエンジン動作との同期をとることとする。これは、プリンタの用紙切れ、用紙ジャムなどのエラー発生後に行う印刷のリカバリ動作に備えたもので、前頁の印刷完了 (プリンタエンジンの光伝導ドラム上への露光完了) を待って、次頁の印刷データの転送動作を開始することで、エラー時の動作を単純化し動作の確実性を図る。

エンジン制御基板から印書クロックに同期したデータ転送用クロックを受信し、これに同期したデータを送出することで、多種のプリンタに対応可能な構造とする。併せて、送出データ長の管理を行い、印刷終了時の転送の正当性をチェックする機能を組み込む。

3) シリアルデータ変換

プリンタエンジン部で発光されるレーザービームに正確に同期させ、さらに、プリンタ毎に異なる解像度で印刷するためには、エンジン制御基板で生成されるデータ転送用クロックに合わせたビームデータ (シリアルデータ) を出力する必要がある。メモリからバスを介して転送した印刷データは、データの高速受信に対応するため一旦パラレル FIFO で受信し、その後シリアルデータ変換用 FIFO でシリアルデータ化する。シリアルデータは、レーザービームに 1 対 1 に対応することから、低速から高速プリンタのシングルレーザービーム方式では、シリアルデータ変換用 FIFO は 1 列で実現する。超高速プリンタのマルチビーム方式では、このシリアルデータ変換用 FIFO をレーザービーム分複数列用意することで対応する。

このパラレルとシリアルの 2 段 FIFO 構成でバスのデータ転送速度とレーザービームデータの転送速度の差を吸収すると共に、DMA による印刷データのメモリからの先読み動作により、レーザービームデータが、転送タイミングに用意されていない事象 (データアンダーラン状態) が起きないように制御する。

4) DMA 転送パラメータのキューイング機能

プリンタを 1 頁毎に停止させないために、システム制御基板の CPU による印刷データの生成は、可能な限り先の頁に進ませて処理させることとする。ただし、頁の切り替わり部分では、印刷データが生成されているメモリ領域が切り替わるため、次頁のデータ転送準備に DMA の再セットアップが必要である。連続紙プリンタの場合、前頁最終行の次の行が次頁の先頭行となるため、実回路では、前頁の最終行を印刷不可領域として、頁の切り替え処理に割り当てる。プリンタの

制御信号は、1/6 インチ単位の信号であり、約 23 ミリ秒の周期を持つ制御信号であることから、頁の切り替え処理を 23 ミリ秒以内に行う必要があるが、この期間にファームウェアで DMA の再セットアップ処理を行った場合、多重タスクへの多重イベントによるタスク切り替え時間の保証がとれなくなり、その結果制御ファームウェアの実行タイミングが保証できなくなる。そこで、予め指定（キュー）した転送アドレスと転送長（DMA 転送パラメータ）で DMA を再セットする機能をハードウェアに用意し、ファームウェアに要求されるリアルタイム性を緩和することで、CPU によるデータ処理時間のロス分を極小化する。実回路では、DMA 転送パラメータ用 FIFO を実装することで、DMA 転送パラメータキューを実現する。

5) 転送動作の自動再開機能

プリンタの解像度が高くなると 1 頁当たりの印刷データ量が増えるため、エンジン制御基板からの開始信号を待たずに DMA が、次のパラメータを読み込み、転送動作を再開できる機能を用意する。この機能を組み込むことにより、印刷データ量が大きくなった場合、ファームウェアが 1 頁分の印刷パラメータを複数のパラメータに分割し、予め DMA のパラメータ FIFO に書き込んでおくことにより連続した DMA 転送動作が可能である。1 頁当たりの印刷データ量が 50 メガバイトを超える様な場合でも対応が可能である。併せて、分割したデータを生成する毎に転送情報をパラメータ FIFO に書き込むことで、ファームウェアによる分割印刷データ生成にも対応可能である。

4.3 DMA 動作概要

DMA の基本構造を図 2 に示す。また、この DMA の動作概要を以下に述べる。

システム制御基板のファームウェアは、上位機から送られた PS 言語を解釈・実行し、メモリ上に印刷データを生成する。生成完了に伴い、生成したデータのメモリ先頭アドレスとサイズを DMA に通知すると同時に、エンジン制御基板に印刷要求を発

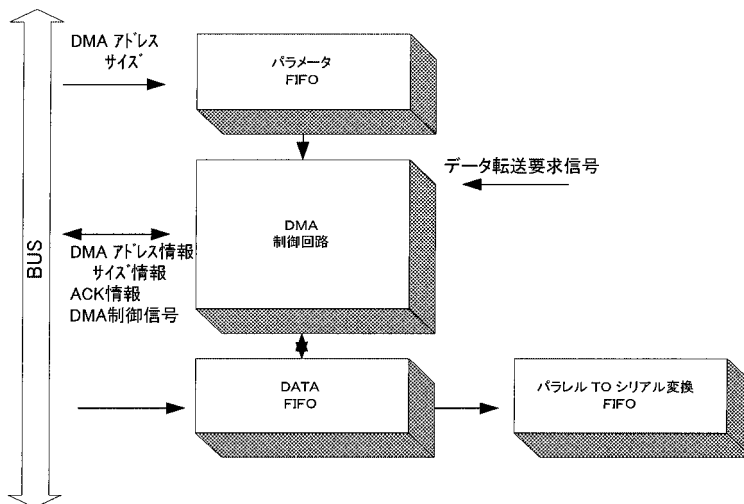


図 2 DMA 基本構造

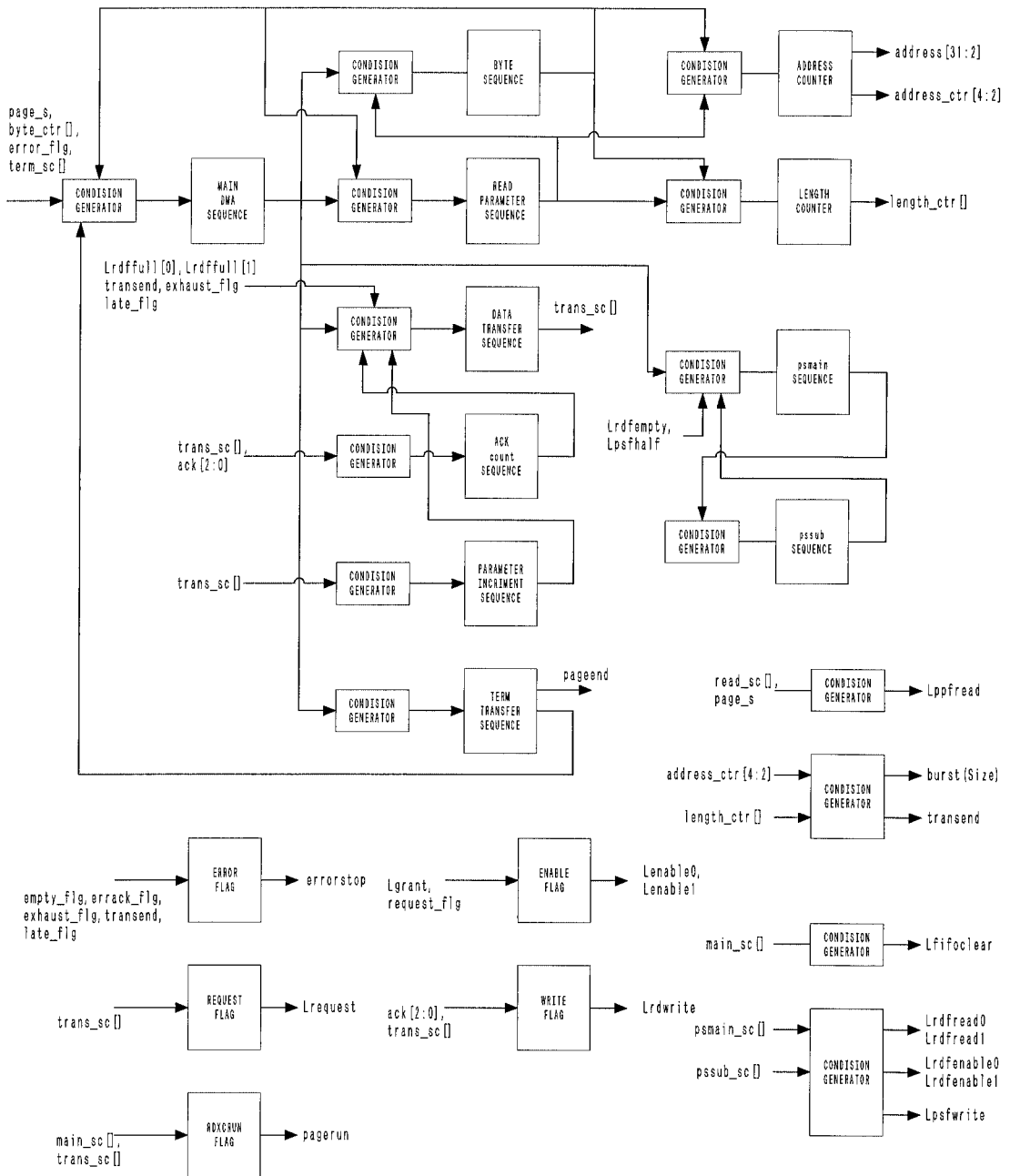


図 3 PLD 内部ブロック図

行する。DMA への情報通知は、DMA 内のパラメータ FIFO を介して行う。パラメータ FIFO は、メモリ上に先ん生成される印刷データの最大個数（頁数）分のパラメータを格納するのに十分な大きさ（実装では 256 パラメータ分に相当する 2 キロバイト）を用意することで、ファームウェアは、印刷データの印刷完了を待つことなく次の頁の生成作業に入ることが可能である。一方、印刷要求を受けたエンジン制御基板は、プリンタエンジンを起動し、印刷準備が整うと DMA に対して印刷開始信号を出

力する。信号を受信した DMA は、パラメータ FIFO から最初のパラメータを読み出し、指示されているアドレスにメモリ読み出しのための DMA サイクルを起動する。その後、パラメータで指定されたサイズ分のデータをバースト転送機能でメモリから読み続け、パラレル FIFO にデータを一旦蓄えた後、シリアル変換用 FIFO に転送し、エンジン制御基板に送出する。当該頁の印刷が完了すると、エンジン制御基板から完了信号が DMA に送出され、エンジン制御基板及び DMA 共に次頁の印刷準備に入る。準備が完了するとエンジン制御ボードは、再度 DMA に対して印刷開始信号を出力する。信号を受信した DMA は、パラメータ FIFO から次のパラメータを読み出し、最初と同様の転送動作を実行する。

5. 実現ロジックと性能

市販の DMA チップは汎用的な機能を用意しており、データ転送速度を向上し、データ転送によるバスの占有時間を短くするためのバースト機能、入出力制御用 LSI からの要求によりデータ転送の開始/終了を制御するデマンド機能、低速のデバイスを接続したときのバスとデバイス間のデータ転送速度差を吸収するためのデータバッファを用意しているチップが多い。更に、仮想メモリを対象としたデータ転送に対応するため、メモリブロック単位に転送アドレスや転送長を予め複数指定できるものも存在する。しかしながら、今回、求められる DMA の機能は、プリンタ特有の連続印刷動作を確保するために DMA 転送パラメータをキューイングする機能が必要であると共に、高解像度化に伴うデータ転送量の増大に対応するために転送パラメータで指定された分のパラメータを自動再開する機能が必要である。更に、これらパラメータの DMA への取り込み動作をファームウェアにより指定できることが必要である。これらの機能を実現できる市販の DMA チップは存在しないことから、図 3 のブロック図に示す独自 DMA コントローラを実現した 図 3 に、DMA の内部ブロック図を示す。

性能は、図 4 に示すシミュレーション結果から DMA の必要性能の最大値である、高速機における 47.3 メガバイト/秒を満たしている。

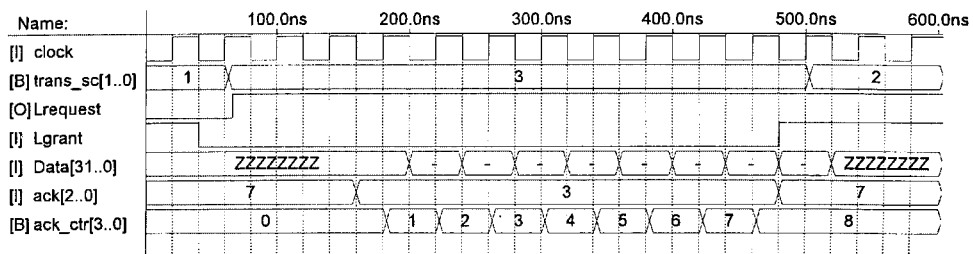


図 4 シミュレーション結果

図 4 の Lgrant 信号は、DMA がバスを占有している時に出力される信号であり、信号の出力期間のクロック数 (11 クロック) から DMA の占有時間は 440 ナノ秒である。440 ナノ秒のバス占有期間に転送するデータ量は、32 バイト (8 × 4 バイト) であることから、この回路が持つ転送能力は、72.7 メガバイト/秒である。

表 4 に実現した DMA の仕様を示す。

表 4 DMA 仕様

	項 目	内 容
性能	データ転送速度 (最大速度)	転送速度 : 100 メガバイト/秒 連続転送速度: 72.7 メガバイト/秒
	バーストサイズ	32 バイト
機能	バーストサイズ境界外転送	可
	デマンド転送	可
	ブロックキューイング	可 (最大256 キュー)
	ブロック分割指定	可
	最大転送ブロック長	8 メガバイト
	データバッファ	2560 バイト
	制御レジスタ	5 レジスタ
	割り込み機能	有
	テスト機能	データ折り返し方式
	入出力信号	TTL 互換
その他	電源電圧	+5 V
	消費電力	5 W
	動作温度	0 ~ 70 °C
	製造プロセス	CMOS

6. 超高速プリンタへの展開

この DMA 回路は、レーザビーム及び LED 方式の低速、中速、高速プリンタで採用している。超高速プリンタの場合も、システム制御基板の PS 描画部を複数構成としたことで、DMA の必要能力が高速プリンタより低く抑えられるため、この回路を採用できる。しかしながら、この DMA 回路を用いて超高速プリンタを実現する場合、データ転送速度以外にマルチビーム方式への対応と複数描画部での印刷データの先行転送方式を考慮する必要がある。本章は、これらを DMA 制御の周辺回路で対応することで、DMA の基本機能に影響を与えないことについて述べる。

6.1 並列処理

超高速プリンタの仕様は、表 1 で示す通り、解像度 480 ドット/インチで印刷速度 16,560 行/分の単色レーザビームプリンタである。このプリンタの用紙走行速度は 46 インチ/秒であることから、印刷データ転送期間は 22 ミリ秒/インチである。一方、文字描画時間は表 2 より 50.6 ミリ秒/インチであり、PS 言語の展開処理が印刷処理に間に合わないため、超高速プリンタの場合、低、中、高速機のようなシステム制御基板内に描画部が単一の構成では、実現は不可能である。これを解決するために、描画部は複数基板による並列処理構造を採用している。

高速機と超高速機の能力比から並列処理を行なう描画基板構成は 4 枚以上必要となるが、動作マージンを確保するため 5 枚構成とし、各基板は各用紙頁毎に並列同時描画を行っている。また、パラレル FIFO の容量を増やし、描画完了した 1 頁分のデータを予め FIFO へ転送することで、実質的にデータ転送期間を伸ばし、DMA の平均データ転送速度を下げている。

6.2 マルチビーム方式への対応

超高速プリンタでは、印刷データ用伝送線の周波数帯域を下げ、回路の安定性と信

頼性を向上するためにマルチビーム方式を採用している。これは印刷時にレーザビームを複数本同時に出力し、光伝導ドラムへの露光を複数ドットライン分同時に行う方式で、このプリンタの場合、5本のレーザビームを同時出力している。

この方式では、メモリ上に連続的に生成されている印刷データをドットライン毎に5ライン分切り出し、各レーザビームに対応する5本の伝送線に送出している。このため、DMAのメモリからの読み出し動作は、連続アドレスに対して実行し、エンジン制御基板に送出するときのシリアルデータ化の際に5系列のレーザビームに分割する必要がある。

この動作を実現するため、印刷データ転送緩衝用FIFOは、パラレルFIFOとシリアル変換FIFOの2段構成としている。メモリの連続領域から読み出した印刷データは、一旦パラレルFIFOに蓄えられ、その後シリアル変換FIFOに転送される際、DMAのマルチビーム対応機能により5系列のシリアル変換FIFOに振り分ける。この振り分け動作には1ドットラインのデータ長情報が必要となるが、印刷データ生成時にファームウェアが用いる印字幅情報をDMAセットアップパラメータに付加することで対応する。従って、超高速プリンタへ適用するためには、本回路構成のシリアルFIFOを5系列とし、パラレル・シリアルFIFO間制御を変更するだけで、方式の変更を行わずに超高速プリンタの回路として利用できる。

7. お わ り に

昨今、プリンタ技術の進歩は目覚ましく、特にパーソナルユース向けでは、美しい印刷が求められている。これを解決する方法として、プリンタの高解像度化が図られ、2,400ドット/インチの解像度を持つプリンタが市場に投入されている。一方、基幹業務用は、これまで高解像度化に比べ高速で耐久性に比重を置いたプリンタを提供してきた。しかしながら、ユーザが美しい印刷に慣れるに従い、基幹業務用プリンタでも高解像度化を進める必要性が生じてきた。同時に、480ドット/インチ以上の解像度を備えたプリンタでしか表現できないバーコードが規格化され、高解像度化に拍車がかかることが予測できる。

現在、低速機から高速機プリンタまでは、シングルレーザビームのプリンタを商品化しているが、先に述べた通り、高解像度化に応える方式として、レーザ技術の向上によるコストダウンの課題があるものの、超高速プリンタと同様のマルチビーム方式が採用されていくものと考える。

これら状況から、このデータ転送回路と構造は、超高速プリンタでの使用が可能であることに加えて今後予測されるプリンタにも広く利用できていく。

* 1 JIS X 0208 : Japanese Industry Standard X 0208 情報交換用漢字符号

* 2 JIS X 0212 : Japanese Industry Standard X 0212 情報交換用漢字符号 補助漢字

執筆者紹介 北原 淳 徳 (Atsunori Kitahara)

1992年3月日本工業大学大学院修士課程電気工学専攻修了。同年4月日本ユニシス(株)入社。ASICの設計/開発, 高周波回路/アナログ回路設計, プリンタコントローラのハードウェア開発に従事。現在, ハードウェアプロダクト部ペリフェラル開発室に所属。