

低騒音のSIDMプリンタ

佐川 康正 半沢 聡

SIDM（シリアル・インパクト・ドット・マトリクス）プリンタは、印字ヘッド内にある直径0.2mm～0.3mm程度のワイヤでインクリボンを介し、用紙をインパクトすることによってドットを生成し、文字を形成するプリンタである。現在のプリンタ市場では、インクジェットプリンタ、ページプリンタが主流となっているが、SIDMプリンタは複写紙に印字できるという特長から、物流など伝票を使用する業界などで安定した需要がある。

SIDMプリンタのコア技術は、これが主流であった十数年前に確立されたものがほとんどであるが、昨今、顧客の満足度を追及した付加価値技術が求められており、新しい技術開発が必要となってきている。その1つに低騒音化技術が挙げられる。

騒音は聴覚に影響を与えるだけでなく、人を不快にさせ、気分を害するなど、人体にさまざまな悪影響を与えるものである。このため、SIDMプリンタにおいても低騒音化技術は重要視されている。

SIDMプリンタの騒音は図1のように、主に印字音とフレーム振動音に分けられるが、本稿では、印字音とスペース動作時のフレーム振動音の2項目についての低騒音化手法を紹介する。

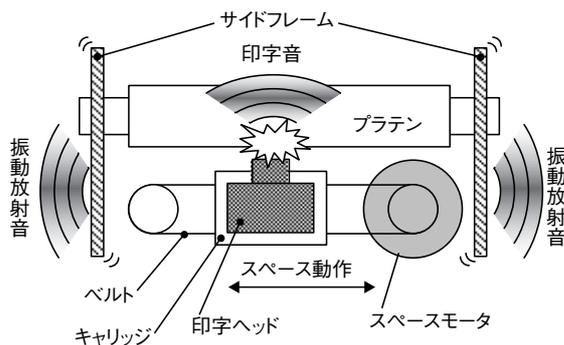


図1 SIDMプリンタの主騒音源

印字音の低騒音化

SIDMプリンタはワイヤで用紙に印字するため、

印字時に大きな騒音を発生させる。印字ヘッドは文字の仕様（解像度）により任意の複数本のワイヤで構成されており、アルファベット圏仕様の印字ヘッドは一般的に9本のワイヤで構成され、その配列はスペーシング方向に対して垂直となっている。そのため、“I”や“H”などの縦ラインが入っている文字を印字する際には、同時タイミングによる印字により、印字音が増大する。

(1) 分散インパクトによる低騒音効果

同時インパクト頻度と、騒音の関係について、テストパターンを作成し検証を行った。図2はそのテストパターンのインパクトタイミングを示すものである。分散インパクトパターンは8本のワイヤを1本ずつ等間隔にインパクトさせ、これを繰り返すテストパターンであり、同時インパクトパターンは8本同時インパクトを行った後に、7回のインパクトタイミングを休止させ、これを繰り返すテストパターンとなっている。この両者テストパターンの単位時間当たりのドット密度は同一となっている。

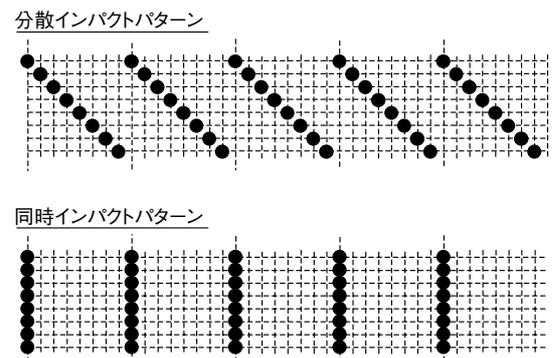


図2 テストパターンのインパクトタイミング

図3のグラフは各テストパターンでの音圧時間波形を示すものであるが、同時インパクトパターンの音圧時間波形の振幅ピーク値は、分散インパクトパターンの2倍程度あり、その減衰は印字休止時間の約半分まで続いていることが分かる。

図4は、これら騒音レベルを至近距離から測定した1/3オクターブバンド周波数分析であるが、分散インパクトパターンは2500Hz帯域のピーク値低減をはじめ、各周波数域で騒音レベルの低下が見られる。そして、AP（オールパス）では、同時インパクトパターンの61.7dBに対し、分散インパクトパターンは59.9dBと1.8dBの低騒音効果が確認できた。この両者は両極端なインパクトパターンではあるが、各ワイヤのインパクトタイミングを分散させることで、低騒音効果を得られることが、数値的に確認された。

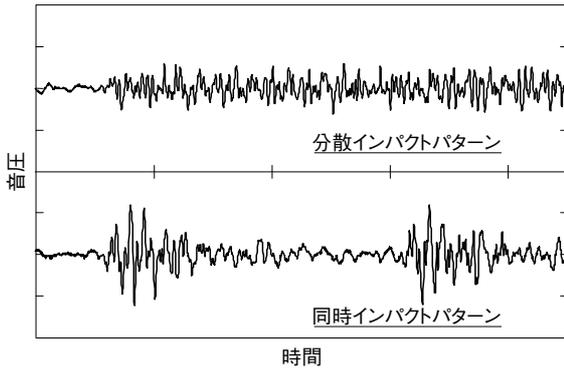


図3 音圧波形

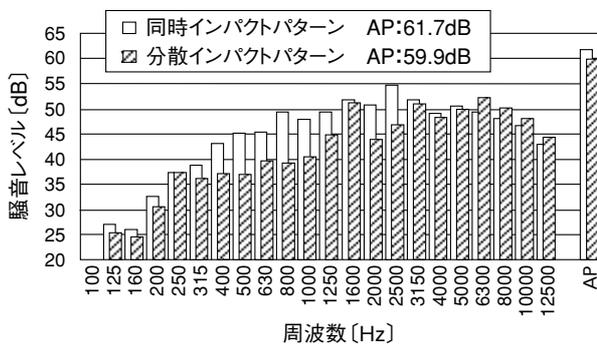


図4 各パターン騒音レベル

(2) ワイヤ配列シミュレーション

同時インパクト頻度を低減させることで、低騒音化効果が得られることは前述した通りだが、ワイヤ配列と同時インパクト頻度の関係についてシミュレーションを行った。

図5は検証を行ったワイヤ配列を説明するもので、傾斜角を $\theta = \tan^{-1}(a \cdot \Delta X / \Delta Y)$ と定義するスラント配列となっている。 ΔX 、 ΔY はドットマトリクスの横ドットピッチと縦ドットピッチを示すもので、たとえば文字“A”は図中に示すようなドット構成となる。aは横ドット

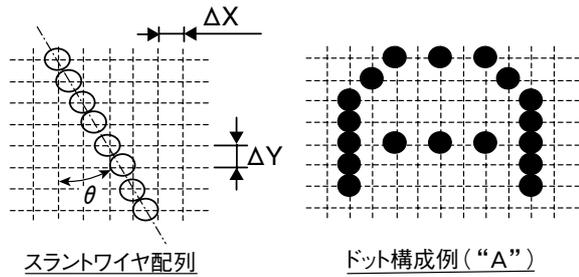


図5 シミュレーションワイヤ配列図

表1 各ワイヤ配列での同時インパクト頻度と等価音圧レベル

		分割数a						
		0	1/6	1/3	1/2	2/3	5/6	1
同時インパクト本数	1本	42.7%	97.9%	86.9%	82.1%	88.1%	99.2%	64.9%
	2本	31.5%	2.1%	12.3%	17.4%	10.9%	0.8%	28.2%
	3本	10.2%	—	0.8%	0.5%	1.0%	—	4.9%
	4本	4.7%	—	—	—	—	—	1.2%
	5本	3.6%	—	—	—	—	—	0.4%
	6本	1.9%	—	—	—	—	—	0.1%
	7本	5.4%	—	—	—	—	—	0.3%
等価騒音レベル		75.6dB	67.7dB	70.7dB	71.7dB	70.7dB	67.7dB	75.6dB

トピッチ ΔX の分割数で、 θ を決定するものである。a=0 のときは $\theta=0$ となり、これは従来の直線ワイヤ配列を意味する。a=1 のときは、 $\theta = \tan^{-1}(\Delta X / \Delta Y)$ となり、縦横ドットピッチ交点を通るスラントワイヤ配列となる。

表1はSIDMプリンタで印字する主要文字（アルファベット、数字、各種記号）を、aを変数とした各ワイヤ配列で印字させた際の同時インパクト頻度と等価騒音レベルをシミュレーションしたものである。ここで、同時インパクト頻度とは、総インパクト回数に対する1本～7本同時インパクト回数の割合を示すものである。等価騒音レベルのシミュレーションは、測定した1ドット印字の音圧波形 $P_1(t)$ を基に、同時インパクト頻度と分割パターンより求めた各インパクトタイミングでの重み W_i 、インパクトタイミング Δt_i から $P_a(t) = \sum (W_i \cdot P_1(t + \Delta t_i))$ として音圧波形を加工し、その音圧波形より等価音圧レベルをシミュレーションした。分割パターンは、 $a = n/6$ ($n=0 \sim 6$, nは整数) の7種としている。

表1より、a=0の従来のワイヤ配列では42.7%であった1本インパクト頻度を、各分割数aにおいて向上させていることがわかる。a=1ではワイヤ配列がドットピッチと一致してしまうため、多本数での同時インパクトが存在しているが、 $a = n/6$ ($n=1 \sim 5$, n:整数) では、1本インパクト頻度が80%以上であり、4本以上の同時インパクト

が発生しない。

一方、等価音圧レベルを見ると、 $a=0$ の従来のワイヤ配列の75.6dBに対し、分割数が最も細かい $a=1/6$ において67.7dBと最大の7.9dBという効果があることが分かった。もっとも効果の小さい $a=1/2$ においても3.9dBの効果があった。このシミュレーションでは印字音の固有値とインパクトタイミングが一致した際に発生する音の共振を考慮していないが、インパクトタイミングが細かくなる分割数を選択するほど低騒音効果が得られた。

後述する装置レベルでの低騒音効果検証では、ワイヤ動作を不安定にさせる磁気干渉を抑えるため、十分なインパクトタイミングが確保できる $a=1/2$ のワイヤ配列を適用している。

フレーム振動音の低騒音化について

印字ヘッドを水平方向に走査するためのモータとして、ステッピングモータを採用している。ステッピングモータ制御において注意すべき点は、低速回転における振動の発生と、高速回転におけるトルク不足である¹⁾。特に低速回転で発生する振動はフレーム振動音の大きな要素である。

ステッピングモータ制御において、基本ステップ角で励磁を行う2相励磁方式が一般的であるが、ロータの回転と停止を繰り返すためにロータの振動が大きくなる。対策としては、励磁方式を2W1-2相励磁方式（マイクロステップ方式）にすることが挙げられる。マイクロステップ方式では、モータの基本ステップ回転角を分割して励磁することによって急激な速度変動とロータの振動を低減できる。

しかしマイクロステップ方式では、高速回転においてトルク不足が発生する。これは、モータのコイルに電圧を印加しても、その電流は一次遅れの立ち上がり特性を示すため、すぐに定常状態の電流が流れないことから必要とするトルクが発生しないことが原因である。

この高速回転でのトルク不足対策としては、励磁方式を2相励磁方式にすることが挙げられる。基本ステップ角を分割しないことで、各相での励磁時間を定常状態の電流が流れる時間まで確保すれば、十分なトルクを発生させることができる。

以上のことから、低速回転ではマイクロステップ方式を行い、高速回転では2相励磁方式を行うことができれば、それぞれの速度帯に適した励磁方式にて制御することができるので低騒音化には大変有効な手段となる。

制御回路として必要な機能は、図6のように2相励磁方式からマイクロステップまでの励磁方式をモータ回転中でも任意に切り替えができることである。これは、相励

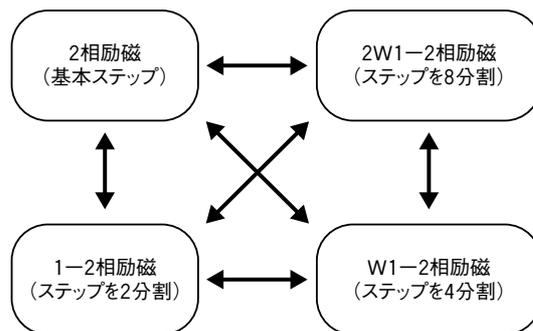


図6 モータ回転中での励磁方式切替

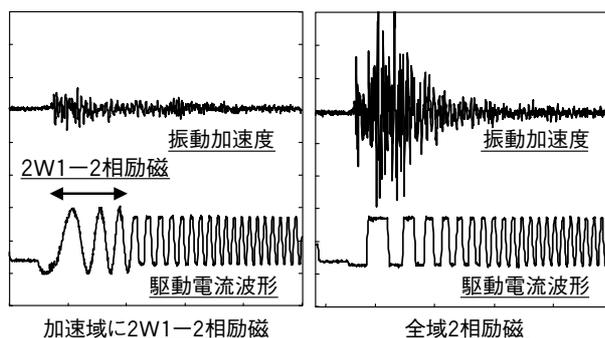


図7 スペース動作時のフレーム振動加速度時間波形

磁方式切り替え時に、ロータの回転がスムーズになるように、励磁相と励磁時間をハードウェアにて補正することで機能を実現することができる。

図7のグラフはスペース動作において、本機能を使用してステッピングモータを駆動した場合、従来の方式で駆動した場合を示したものである。左のグラフは低速回転域（加速域）では2W1-2相励磁方式を適用して、高速回転域では2相励磁方式を適用した時のサイドフレームの振動加速度波形である。右のグラフは全域において2相励磁方式を適用した時のサイドフレームの振動加速度波形である。

両者を比べると、左のグラフではマイクロステップ方式を適用したことでフレーム振動を低減できていることがわかる。また高速回転域でも、2相励磁方式に切り替えることにより、トルク不足を対策して且つ低振動化を実現したステッピングモータ駆動が実現できたのである。

装置レベルでの低騒音効果検証

ここまで、SIDMプリンタの印字制御、モータ制御により騒音を低減する手法について述べてきたが、これら低騒音化技術を装置レベルで検証した結果を紹介する。

検証には、スペース動作時の振動の影響を受けやすい

低剛性フレームの装置を用いた。

まず、マイクロステップ制御によるスペース動作時の低騒音効果について述べる。図8のグラフはスペーシング動作のみを行った際の騒音レベルを示すものだが、マイクロステップ制御により全周波数域での騒音レベルを低減させている。そして、APでは、2相励磁制御の47.1dBに対しマイクロステップ制御では43.0dBと4.1dBの低騒音効果が得られた。

次に、このマイクロステップ制御に加え、印字制御をスラントワイヤ配列制御とした際の騒音レベルを図9に示す。図8と比べ1250Hz帯域より高い周波域で増加している騒音レベルが印字音成分である。印字音はスペース動作音と比較し非常に大きいため、この周波数域でのマイクロステップ制御の効果はかき消されてしまっているが、3150Hz帯域ではスラントワイヤ配列制御の効果により、騒音ピーク値を約6dB低減させている。

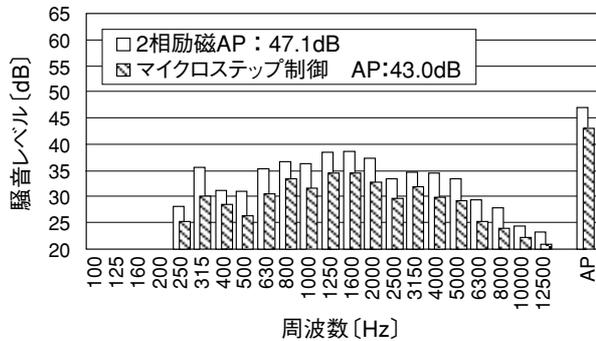


図8 スペース動作のみ駆動の騒音レベル

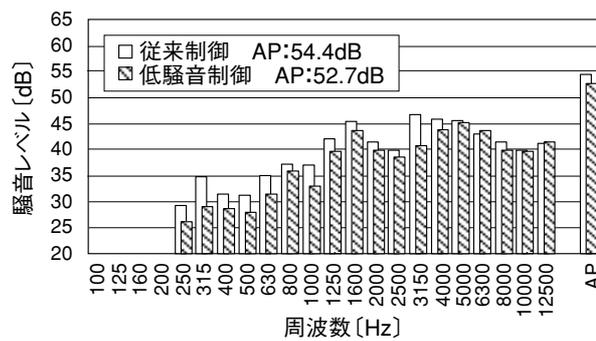


図9 全駆動時の騒音レベル

複数の騒音源がある場合、一般的に大きな騒音源から対策する必要があり²⁾が、本検証では印字音のピーク値を下げ、スペース動作音を全周波数域にわたり低下させることができ、APとしては、従来の制御方式では54.4dBであったものを52.7dBと1.7dBの低騒音効果をあげるこ

とができた。

印字音とスペース動作加減速域での振動音は発生タイミングが異なるものであり、それぞれの効果を聴感的にも実感することができた。印字音は高音の軽い音色となり、スペース動作音は、加減速時に“コツコツ”と発生していたフレーム振動音が気にならなくなった。

あ と が き

本稿では、メカトロ制御によるSIDMプリンタの低騒音化手法について述べてきた。本手法は騒音対策部材を追加することなく、低騒音化が可能なため、低騒音化と併せ、低コスト化にも大きく貢献することができる。

今後としては、低騒音技術 (Low Acoustic Noise)、低コスト技術 (Low Cost) の他に、低電力技術 (Low Power Consumption)、低ランニングコスト技術 (Low Running Cost) をつけ加えた「4L技術の深耕」というものを目標にあげ、人に優しい製品の開発を目指していく。

参考文献

- 1) 谷腰欣司：ステッピングモータの実用技術，1版，電波新聞社，p.68-83，2006年
- 2) 中野有朋：低騒音化技術，1版，技術書院，pp.21-23，1993年

筆者紹介

佐川康正：Yasumasa Sagawa. 株式会社沖データシステムズ SIDM技術センタ 要素開発技術部
半沢聡：Satoshi Hanzawa. 株式会社沖データシステムズ SIDM技術センタ ハードウェア技術部 設計6課 アシスタントマネージャ

【プリンタの騒音規格】

SIDM プリンタを含めた情報技術装置の騒音値に関しては、国際規格 ISO で標準化されており、JIS でもそれに準拠する形で規格化されている。その主なものとしては JIS X 7778 (ISO 9296)「音響—情報技術装置の表示騒音放射」や JIS X 7779 (ISO 7779, ISO 9295)「情報技術装置から放射される空気伝搬音の測定」が挙げられる。その中では、プリンタなどの情報技術装置から発生される騒音に関するデータ形式、検証方法、測定方法が規定されている。本文中の装置レベルでの騒音測定は、JIS X 7779 で規定されているテストパターンを使用した。