

復活後の Technics ターンテーブル開発のあゆみ

- ダイレクトドライブモータとその制御技術 -

パナソニック（株）スマートライフネットワーク事業部

志波 正之

1. はじめに

2010年に一旦生産を停止した Technics 製ターンテーブルシステムであったが、2014年、Technics ブランド復活後にイスラエルのクラブDJの呼びかけにより、全世界から届いた約2万5千人分の署名が一つのきっかけとなり、同時に会社トップの英断もあったことで再開決定の運びとなる。

しかし、開発当初は数名のOBと、Vol.56でSL-1200GAEの開発に関する記事を投稿した大先輩である三浦、そして私を含めた現役数名という開発体制であった。OBの方々は現役時代のツテを使い、金型やジグ、その他生産設備、当時の協力工場の現況を調査してくれていたわけだが、調べれば調べる程絶望的な状況であり、ほんの数点の金型を除いてはほぼ廃棄されていた状態であった。

しかも、Technicsのターンテーブルにとって、最重要部品であるDD（ダイレクトドライブ）モータについて、金型含む生産設備や、設計情報が殆ど残っていなかったのである。それも無理もない。かろうじて残っていたのは1200シリーズの図面くらいで、部品によっては70年代設計の手書き図面であったり、一部はある時期手書きの図面から起こされた2次元CADの図面であったりという状況であった。最初の設計から既に40年以上が経過する中で、多くの情報が消滅していたのである。

こうしてスタートした開発であったが、オーディオ設計担当になる数年前まで、長年直径12cmのポリカーボネート製のディスク、つまりはCDを始めとした光ディスクを回転させてデータを読み込む装置を設計していた経験（スピンドルモータを設計～内製していた時期もある）と人脈が最終的には役に立つこととなった。

開発当初は、知りうる限りのメーカーに相談をしたが、けんもほろろに断られる様な状況が続いた。そういった状況の中、最終的にモータの共同開発～製造を引き受けて頂いたのは、旧ナショナルマイクロモータで技術部長であった方が興された会社である、米子市の（株）A&Mであった。会社の所在地は以前のナショナルマイクロモータの敷地内である。光ディスク開発初期（15～20年程前）、何度か米子の工場を訪れては新型モータの開発に関する相談等行っていたので、アポイントメントが取れた時点で懐かしい気持ちになった。そして最初の訪問の際、社長に直接商品に関する説明と、是非とも（今ではそれぞれ少し形が異なるけれど）オール松下でこの製品を実現したい、と我々のこの製品にかける思いを伝えたところ、「それではやってみようか」と快く共同開発及び生産を引き受けて頂いた時の感動は今でも忘れることは出来ない。

2. これまで開発した機種について

2016年に発売した、SL-1200GAE（1200台限定版）～G（通常版）、2017年に発売したSL-1200GR、そして満を持して2018年に発売したりファレンスモデルSP-10R/SL-1000R、更

には本年発売した SL-1200MK7/SL-1500C と、4年間で4世代の製品を立て続けに開発～発売したこととなる。それに伴い、モータもそれぞれ4機種開発を行った（ある評論家の方からは正気の沙汰ではないと言われてしまったが）。

そのモータであるが、大まかに2種類に分類される。モータ単体で部品として完成した形で、ローター上に取り付けられた3本のシャフトを介してプラッターをネジ締結する一体型と、プラッター側にマグネットを含むローターを取り付けておいて、そのプラッターをシャーシ側のテーパブッシュに取り付けるとモータとして機能する分離型である（以下、それぞれの写真）。



写真1：一体型（写真は SP-10R/1000R 用） 写真2：分離型（写真は SL-1200MK7/1500C 用）

復活後の Technics の DD モータの特徴の一つは、それまで一部のマニア層で DD モータの課題と考えられていたコギング（コイルを巻くコアと呼ばれる鉄心とその周囲の永久磁石間に発生する磁場の作用によって発生する負荷変動）が原理的に発生しない、コアレス構造を採用していることである。本方式を用いた場合のコギングによる負荷変動に起因する微小振動が発生しないことは、オーディオ用途としてはこの上ない利点となる。具体的には聴感上の S/N が飛躍的に向上する。同時に欠点は磁気効率が低下することで、同じトルクを発生させるためにはどうしてもモータ本体が大型化すること、そして空芯コイルを精度良く位置決め～接着する等、コア付きのモータと比較して工数が増えることから高コストとなってしまうことがある。しかし、音質を最優先とし、今回発売した普及価格帯の入門モデルにも同構造のモータを採用した。

次に、この DD モータを使用して回転させているプラッターの重量についてであるが、第1世代開発時、技術陣は SL-1200 の皮を被った SP-10 の実現を目指していたこと、その中でも特に SP-10MK2 (3.2kg) を一つの指標として設計を進めたため、その重量は高比重材料である真鍮を天面に採用した三層構造（防振性向上を目的とした裏面のラバーを含む）、～MK6 比2倍強の 3.5kg となった。第2世代ではコストを抑えるため表面の切削真鍮プレートを廃止したが、その代わりにダイカスト部の肉厚を成形限界まで厚くし、～MK6 比約 50%増の 2.5kg を実現、Hi-Fi ユースにふさわしい仕様とした。そして第3世代の SP-10R/SL-1000R 用では 10mm 厚の真鍮+

アルミダイキャスト+特殊高減衰性ラバーの三層構造に加え、最外周部に非常に高い比重（鉄の約2.5倍）を持つタングステンを埋め込むことで、重量は7.9kg、慣性モーメントは1トン・cm²に及ぶこととなり、リファレンスクラスに相応しい仕様となった。



写真3：SL-1200G プラッター外観



写真4：SL-1200GR プラッター外観



真鍮
アルミダイキャスト
タングステンウェイト
(計12個)

写真5：SL-1000R 外観

更に第4世代については旧SL-1200MKシリーズとDJ使用時の操作感を合わせるため、重量ではなく慣性モーメントを完全に一致させており、重量は2kgとなった（以上、全てターンテーブルシートを含む値）。そしてこれらの機種では全て0.7秒以内に規定スピードに達するように、各モータの仕様及び制御ソフトを最適化している。特に第3世代については写真1の様に基板の両面に空芯コイルを各9個、60°位置をずらした形で接着（SL-1200GAE/G用は片面）し、その上下を強力なフェライトマグネットで挟み込む構成とし、強大なトルクを実現すると共に基板剛性の向上と低振動化、更には各部材の製造におけるばらつきを吸収できる構造となっている。対してSL-1200GR/MK7、SL-1500C用のモータは片面コイル～片面マグネットという構成であり、マグネットを含むローターをプラッター側に取り付けることにより、必要十分なトルクを確保しながら小型化と低コスト化を実現している。ちなみに前述のタングステンは難加工材であり、非常に高価な部品となるが、幸いにもグループ内部にタングステンを原材料から一貫生産できる部門が存在したため、協力を依頼し、採用が実現した。こういったオーディオ機器への本格的な採用はかなり稀であるが、音質向上には確実に貢献したと考えている。

3. DDモータの制御技術

次に、モータの制御に関して解説する。

従来はディスクリット回路、もしくは旧 1200 シリーズのようにカスタム IC によるアナログ制御であったが、SL-1200GAE 開発時にマイコンによる制御に切り替えた。また、回転方向及び速度検出について、DD1(第 1 世代のモータ、以後 DD×と略する)及び DD3 については光学式エンコーダ、そして DD2 及び 4 については基板上に形成した FG パターン及びマグネットの外周側に着磁した磁気パターンにより行っている。以下に簡単に制御概略図を示す。

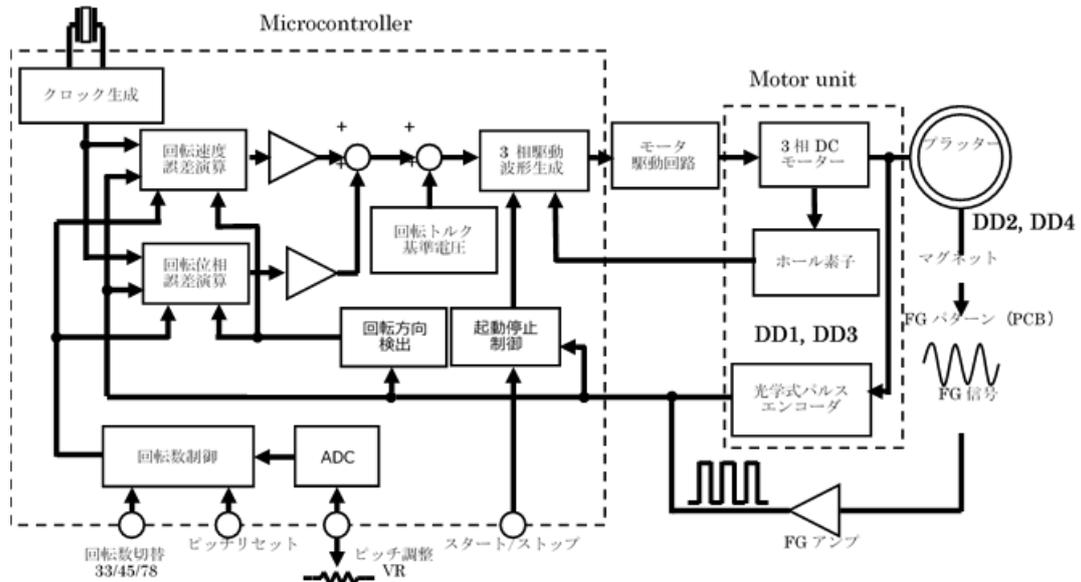


図 1. モータ制御概略図

基本的なアルゴリズムは前述となるわけだが、それまでのターンテーブルと大きく異なる点として、工業製品として避けられない、ものづくりを行う上で発生する部品や回路等で発生するばらつきを、1 台ごとに工程で学習（測定）を行い、そのばらつきをキャンセルするテーブルをマイコン上の ROM に書き込むことで、従来の物量依存型の回転安定化と比較してその回転精度を飛躍的に高めることが出来た。

その一つがまずは回路の DC オフセット調整である。

3-1. DC オフセット補正

図 2 はモータの駆動波形とその回路のイメージである。

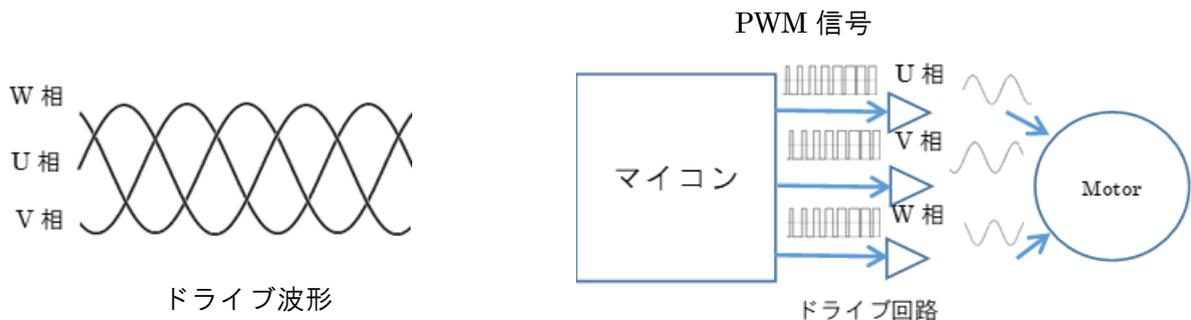


図 2. モータ駆動波形と回路イメージ

基板には9個のコイルが実装されており（SP-10R/SL-1000Rは両面実装で $9 \times 2 = 18$ 個）、U相、V相、W相各3つのコイル $\times 3$ 組で構成されている。回転時はそれぞれに流す電流を制御することで合成磁束を作り、滑らかな回転を作り出すが、電気回路中の抵抗値やコンデンサの容量のばらつきで各相毎にDCオフセットが発生し、その結果、制御電圧にずれが発生し、結果としてワウ・フラッターが悪化する要因となる。

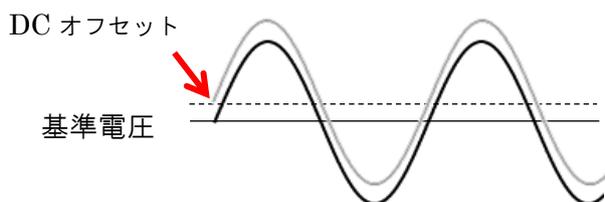


図 3.DC オフセットイメージ図

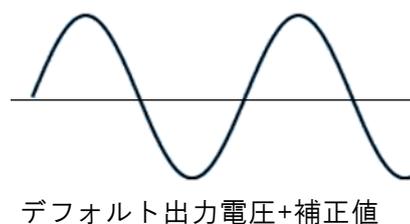


図 4.実際の駆動波形（補正後）

そこで、基板もしくは完成品の状態で（機種によって異なる）ドライブ回路に発生しているオフセット電圧を測定、補正テーブルを生成し、実際のレコード再生時にはデフォルトの出力波形に補正値を加えて出力することで理想的な制御電圧でモータを駆動することを実現している。

3-2. 基準電圧補正

次に、モータそのもののばらつきについて考えると、例えばマグネットが発生する磁束密度のばらつき（着磁ばらつき）や、DD1及び3ではマグネット間の距離、マグネットとコイル間の距離、更にはコイル自体の抵抗値のバラツキが、そしてDD2及び4ではそれに加えてプラッターとモータが嵌合する部分の寸法ばらつきにより、マグネットとバックヨーク、コイル間の距離がばらつき、目標の回転速度を得るために必要となる駆動電圧がモータごとに異なることになる。そこで、DC オフセット補正の際と同様に、工程でプラッターを基準電圧で駆動した際の、目標とする回転速度と実際の回転速度の差分を測定し、目標とする回転速度に達するために必要となる電圧との差分を補正するテーブルを作成し、レコード再生時にはマイコンの出力電圧に補正値を加えて出力することで最適な駆動電圧を得ることを実現している

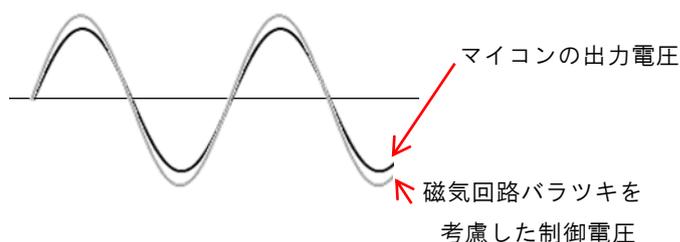


図 5.電圧バラツキイメージ図

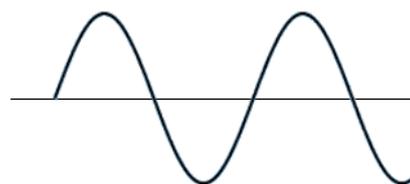


図 6.実際の駆動波形（補正後）

3-3. エンコーダ補正

これはDD1とDD3に使用される、光学式のエンコーダによる回転方向及びスピードに関する補正技術である。エンコーダに用いるスケールは、高い精度を確保するため、主に産業用に用い

られるニッケルクラッド (Ni-Cu-Ni) 材と呼ばれる特殊材料をエッチングで加工して 1 回転あたり 500 個以上スリットを設けている。これらの加工は非常に高い精度を誇るものの、そのスリットの加工幅に対して一定の加工公差があり、また、偏心に関するバラツキも発生する。それらのバラツキの累積がワウ・フラッターに与える影響は無視できないレベルに達した。そこで前述の工程学習時にこのバラツキを計測～補正テーブルを作成することで高い回転精度を実現した。



写真 6: エンコーダ部外観

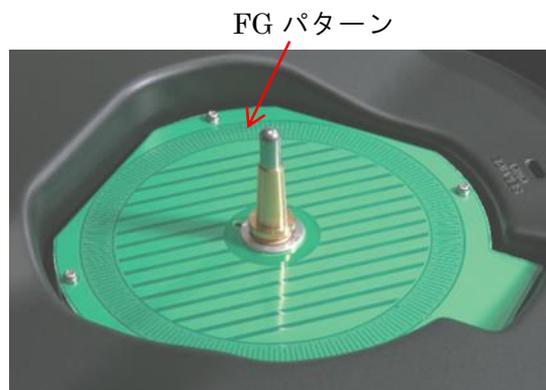


写真 7: 全周積分型 FG 基板(画像は SL-1200MK7)

これに対し、SL-1200GR、SL-1200MK7/SL-1500C では全周積分型 FG を採用しており、エンコーダや検出器が不要となりコストの低減となること、且つ組み立てが容易となるというメリットを得ている。また、旧 MK シリーズ比で FG パターン及びマグネット着磁の分割数を上げることで、更に高い回転精度を実現している。具体的な数値としては SP-10R/SL-1000R で 0.015% W.R.M.S.以下、その他の機種で 0.025% W.R.M.S.以下を実現している。

3-4. まとめ

これらの補正技術は第一世代～第四世代の製品まで継続して数々の細かいブラッシュアップを重ねている。特に SP-10R/SL-1000R ではモータドライバのマイコンが 32bit であり、その他機種の 16bit のマイコンを使用した場合と比較して、各数値の測定～補正について数桁精度を上げていることもあり、その改善効果は著しく、結果として圧倒的な S/N 比とかつてのアナログレコードプレーヤーシステムでは体感することが出来なかったピッチの安定性、体験したことが無い程の解像度や情報量を得ることが出来たことは、開発を行った我々も試聴するたびに驚くほどであった。そしてその思想を受け継いだ SL-1200MK7/SL-1500C については、物量という点では過去のモデルに後塵を拝する部分もあるものの、音質については明確な改善が確認できており、DJ そして Hi-Fi オーディオユーザどちらにも好評で、我々も予想を超える評価を頂いて驚いているところである。

4. 最後に

Hi-Fi オーディオを愛好する方々の間で、特にアナログターンテーブル及びトーンアームを含むシステムについては、とかく物量に頼った製品（中には総重量数百 kg のものも！）が持ち上げられがちで、更にここ数十年は DD モータ方式と言えとかくコギングやノイズが～、というネガティブキャンペーンが世界中で広く行われ、更には DJ 用途をメインとした製品以外で DD

モータを採用した新製品が事実上消滅していたこともあり、プッタの回転方式としてはベルトドライブで、プッタの慣性質量をできるだけ上げて回転時にできるだけモータは仕事をしない、すなわち余計な制御はしないことがとにかく美德とされていた時代が長かったように思う。そこに我々が“ダイレクトドライブ・アナログプレーヤーのリファレンスを再定義する”ことを目標に、2015年ころから新世代ターンテーブルの開発を進め、160万円のリファレンスクラスモデルから、カートリッジ、フォノイコライザー回路込みで10万円という入門機までラインナップを揃えることが出来たことは、業界に一定のインパクトを与えると共に、オーディオ業界を盛り上げることに貢献できたのではないかと考える。

私も幼い頃からオーディオファン、そして楽器を演奏するプレーヤーとして、音楽を聴くことはこの上ない喜びであるが、特にその音源が音質の良いレコードであればそれは更に大きなものとなる。個人的には普段JAZZ～FUSIONやAOR、古いロックを特に愛聴しているが、これらの音源については不思議にまだデジタルで高音質というか、聴いて心が震えるような、豊かな音だと感じるものが少ないように思う。

プチプチと発生するノイズについても、余程のものでなければ、一つのスパイスとして感じられるくらいの心の余裕を持って、片面20分程度の短い時間ではあるが正面から音楽と向き合う時間をとってみては如何だろうか？

再生までにそれなりの手間はかかってしまうけれども、それも楽しみの一つと考えて。

最後に、これまでの開発でお世話になったOBの方々、部品メーカー様、その他各方面で協力頂いた全ての方に感謝の意を表して、本記事の締めとしたい。

著者プロフィール

志波 正之（しわ まさゆき）

1992年：九州松下電器（現パナソニック 福岡地区）株式会社 入社
CD～DVD～Blu-Ray とパソコン用光ディスクドライブの開発に従事、
2013年：Technics 開発部門へ異動～現職

現職：パナソニック株式会社 アプライアンス社 スマートライフネットワーク事業部
ビジュアル・サウンドビジネスユニット 技術センター
オーディオ技術部 外装設計課

- タイトル：The course of the development of Turntable system by Technics after revival
- サブタイトル：Control technology for Direct Drive Motor of Turntable
- 筆者所属：Panasonic Corporation Smart Life Network Business Div. Chief Engineer
- 筆者氏名：Masayuki Shiwa
- 概略 (Abstract)：A control technology and a learning system for reducing the variation in performance of products and components are provided. Model Name are

SL-1200GAE/G, SL-1200GR, SP-10R/SL-1000R, SL-1200MK7 and SL-1500C. Main purpose is to reduce variation of product and components.