

ことはじめ

事始

世界のカーラジオを変えた— DTS:μPD1700 / 17K シリーズ物語

元 NEC DTS グループ 17K システム・デザイナー 河田 和秀



1. はじめに

今ではカーラジオで放送局の周波数がデジタル表示され、放送局の自動サーチなどはあたりまえになっているが、1970年代は機械式のボタンを「ガシャッ」と押して選局する“ミュール同調方式”が主流で、自動サーチなどは夢のまた夢であった。そのラジオのデジタル化に少なからず貢献したのが、4ビット・マイコンとラジオの局部発信用 PLL (Phase Locked Loop) シンセサイザーをシングルチップに搭載した NEC の “DTS (Digital Tuning System)”、“μPD1700 シリーズ” 及び “17K シリーズ” である。

2. 発端—開発は悲劇から始まった

1970年代、NEC はアメリカ向け CB トランシーバー用の PLL IC 市場でかなりのシェアを持っていた。しかし、悲劇は突然訪れた。1978年に米 FCC が CB トランシーバーのチャンネル・プランを突然変更したのである。当然のこととして、国内の米国向け CB トランシーバーの輸出は止まり、メカには在庫の山。倒産するところも出た。このため、NEC の CB トランシーバー用 PLL IC の出荷も止まり、社内の PLL 設計技術者は失業状態となった。

この状況を打開するため上層部が動いた。当時課長だった堺満雄 (敬称略。以下同じ) は、ある展示会で見た PLL 方式のカーラジオにヒントを得て、マイコンに PLL を組み込んだ LSI を思いつき、早速プロジェクトを立ち上げた。その名も “DTS プロジェクト”。社内の PLL、電卓、マイコン、販売技術部門から技術者が集められた。

が、社内ではこのプロジェクトは誰からも注目されなかった。当時 PLL シンセサイザーを使用したカーラジオは皆無といってよく、市場そのものがなかったのである。最も基本的な機能だけを搭載したミュール同調方式の純正カーラジオの自動車メーカーへの卸値が 1500 円程度の時代に、DTS を搭載したカーラジオの原価は倍以上した。しかし、プロジェクトのメンバーは、従来のアナログ・ラジオを全て DTS で置き換えるという途方もない夢に情熱を燃やし、寝食を忘れて邁進した。仕事に熱中するあまり、運転免許を失効させてしまう猛者 (?) まで出るほどであった。

3. PLL 部の設計—音質を追求した Pulse Swallow 方式

一般的なスーパーヘテロダイナ受信機では、同調は局部発振器の周波数を変更させることにより行う。この局部発振周波数を PLL で制御すれば、水晶発振子の精度と安定度の受信性能が得られる。原理は電圧制御発振器 (VCO) の出力を分周し、それと水晶発振を分周した基準周波数を位相比較して、その誤差を電圧に変換したもので VCO の周波数を補正する、という閉ループ制御で周波数を安定 (ロック) させるのである。これにより、ほぼ水晶精度で基準周波数きざみの周波数変更が可能になる。

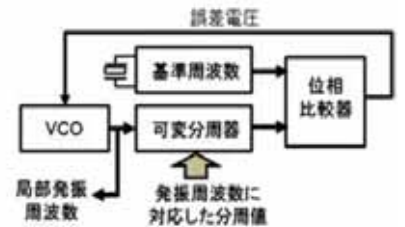


図1 PLLの原理図

CB トランシーバーとカーラジオの違いは大きく 2 つある。周波数帯と要求される音質である。CB トランシーバーは 27MHz 帯だが、欧米の FM ラジオ放送の最高周波数は 108MHz。当初の CMOS LSI で対応できる周波数はせいぜい 10MHz であった。このため、FM 帯の PLL を実現するには、VCO への入力信号の周波数をバイポーラ等の高速なプロセスの分周器 (プリスケアラ) で 1/10 以上分周してから CMOS のデバイスに入力してやる必要がある。(後に CMOS の動作周波数が上がり、150MHz プリスケアラを内蔵した μPD1708 等の製品が出現するが、それには 1981 年まで待たなければならない。)

1/10 の固定分周プリスケアラで分周した場合は、変更できる周波数のきざみは 10 倍になってしまう。例えば、欧州の FM 放送では 25KHz きざみで周波数を変更する必要があるが、この場合の基準周波数は 1/10 の 2.5KHz にしなければならない。基準周波数は受信した音声に漏れてノイズとなることがあるため、音質の点からは可聴周波数範囲外であることが望ましい。25KHz は可聴周波数以上であるが、2.5KHz は人間の耳が一番感度の良い周波数であり、音質を重視する FM ラジオには採用できない。

この問題を解決するため、プリスケアラには当時としては珍しい Dual-Modulus 方式を採用することになった^[1]。

Dual-Modulus 方式は、2つの分周値を切り替えながら分周するもので、この方式のプリスケアラでは基準周波数を下げる必要が全くない。スプリアスとCMOSの動作周波数を考慮して、1/16、1/17の2つの分周値を持つ Pulse Swallow 方式 Dual-Modulus プリスケアラが採用された。

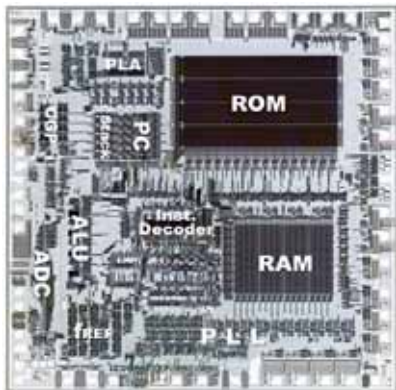


図1 HiFi オーディオ用
μPD1707のチップ写真

音質で最も頭を悩ませたのはマイコンが発生するノイズがPLL部に乗らない様にする対策である。マイコンはデジタル回路で構成され、幅広い周波数でノイズを発生する。これがPLL部に伝わると商品価値は全くな

くなってしまふ。

詳しい話(実はこれがDTS成功の鍵なのだが)は省略するが、試行錯誤の末、HiFiオーディオチューナーの要求レベルをもクリアすることができた。このおかげで当初考えていたカーラジオ市場だけでなく、HiFiオーディオ市場でも広く採用されることになった。

4. 28ピン・パッケージ—1ピン足りない!

カーラジオでは基板占有面積をなるべく小さくする必要があるので、最初の製品は28ピンで作られることになった。以前のPLL製品用に作られた、標準から外れた400mil幅の“Slim DIP”というパッケージの組み立てラインが、他の製品で使用される当てもなく遊んでいた。パッケージは28ピン Slim DIPと決まった¹⁴⁾。

カーラジオ用の端子構成を色々考えたが、どうしても29ピン必要だった。当時は28ピンの上は40ピン・パッケージしかなかったため、何かのピンを削る必要に迫られた。電源投入時にチップにリセットをかける“Power-ON Clear (POC) 回路”が内蔵されるので「リセット端子は不要では?」という意見も出たが、全てのマイコンにあるリセット端子を外すのには、誰もが自信を持てなかった。

5. CE方式—一石二鳥のアイデア

カーラジオを搭載した車は、ガード下など電磁ノイズの大きな場所も走る。当時はまだマイコンが車載用機器に大量に使用された例はなく、最悪の場合は外来ノイズによりマイコンが暴走する可能性も考えられた。暴走した場合はリセットをかければ回復するが、カーラジオにはリセット・ボタンはない。一度デバイスの電源を切断すれば次回の電

源投入でPOC回路が作動してリセットがかかるが、残念ながらDTSは放送局の周波数を記憶したプリセット・メモリを保持する必要性から、ラジオの電源OFF時にもデバイスへは電源が供給され続ける。つまり、一度暴走したら車のバッテリーを外すまで回復しない、という難問が浮上した。

人間窮地に追い込まれると、良いアイデアが浮かぶものである。DTSには“CE (Chip Enable)”というラジオの動作状態をセンスする端子が設けられることになっていた。この端子はラジオの電源スイッチに連動するよう接続され、ラジオの電源OFF(CE端子がLow)時にクロック停止命令が実行されると、クロックを停止しメモリ保持モードに入る。この端子にリセット機能も兼用させようというアイデアである。つまり、ラジオの電源スイッチが投入されCE端子がHiになると、単にクロック停止を解除させるだけではなく、内部にリセットをかけプログラムを0番地から再スタートさせるというものである¹⁴⁾。

しかし、これではラジオの電源が投入される度にメモリが初期化されてしまう。そこで、デバイスの電源が停電状態から投入された(即ちPOC回路が作動した)時のみセットされる“停電フラグ”が発案された。つまり、0番地からの実行時にソフトでそのフラグをチェックすることにより、POCによるリセットかCE端子による再スタートかが判定できる。この機構のおかげで、マイコンが暴走した場合には、ラジオの電源を一度切って再度入れるというごく自然な操作により復帰でき、しかもリセット端子も不要という一石二鳥の効果が得られた。

6. ビジネスモデル—電卓方式かマイコン方式か

DTSはアプリケーションが明確であることから電卓のビジネスモデルが採用された。このモデルとはソフトは社内で開発し、デバイス(ハード)が同じでもソフトが変われば品名を変更して販売するというものである。ソフトにより価格を変更できる利点はあるが、ソフトの種類が増えればその数だけの品名を用意しなければならない。当初は、カーラジオにそれほどのソフト(ROMコード)のバリエーションが必要だとは思われていなかったのである。

DTSの品名には今までPLL製品につけられていた2800番台が割り当てられることになり、私が設計したDTS最初のソフトをROMに焼いた製品は、μPD2851という品名で発売された。が、すぐに市場からの要求が多岐にわたることがわかり、ビジネスモデルはマイコン方式にあまり変更された。即ち品名は[デバイスの品名]-[ROMコード]というハードとソフトを明確に分離する方式になったのである。

DTSの品名には今まで使われていなかった1700番台が新たに割り当てられ、μPD2851のハードのデバイス品名は“μPD1701”に変更になった。また、社内製ソフト

(標準コード)に対する ROM コードは 011 から始めることに決まった。社内ではそのころには既に2つの標準コードが開発されていたため、DTS 最初の製品 μ PD2851 は、 μ PD1701-013 という3番目の ROM コードが付いた品名に変更になってしまった。

7. μ PD1700 シリーズのエミュレータ

当初は社内主体のソフト開発を考えていたため、ソフトのデバッグに使用するエミュレータは、ディスクリートの TTL 等で作られたブレッドボード(NEC 社内では“モックアップ”と呼ばれていた)を使用することになっていた。しかし、市場からのさまざまな要求のソフトを社内の開発工数だけで作成するには無理がある。このため、当時のシングルチップ・マイコンと同じように“EVACHIP”というエミュレーション専用チップを製造し、それを使用したエミュレータ・ボード“EVAKIT”を製品化して^[3]ソフトハウスや顧客でのソフト開発を推進することになった。

8. 様々な周辺回路—市場要求の取り込み

DTS は市場の要求を周辺回路としてハードに反映させる典型的な ASSP 製品であるため、製品毎に特徴のある周辺回路が組み込まれている。アナログ的な周辺回路も多い。例えば AD コンバータ (ADC) は、一見中途半端と思われる 6 ビットのもが使われている。この仕様は要求精度と市場価格を考慮して決められた。内蔵プリスケラは、150 MHz まで動作し、その入力レベルは 0.5V_{pp} (正弦波)である。後に開発された 8 ビット DTS の μ PD178F098 などは、NEC が提唱し^[2]業界標準になった IEBus (Inter Equipment Bus) の様な複雑な周辺回路も内蔵された。

表 1 に主な製品で新規に採用された周辺回路を示す。

品名	その製品で新規に導入された内蔵周辺回路
μ PD1701	Pulse-Swallow 方式 PLL シンセサイザ
μ PD1703	高耐圧 FIP (蛍光表示管)用ドライバ
μ PD1704	VDP (Variable Duty Port) (PWM ポート)
μ PD1706	VDD=3V 用 1/3 Duty LCD ドライバ
μ PD1707	6 ビット ADC、CGP (Clock Generator Port)
μ PD1708	150MHz プリスケラ、1/2 Duty LCD ドライバ
μ PD1713	オートスキャン用 IF (中間周波数) カウンタ
μ PD1714	キー入力機能付き LCD ドライバ

表1 μ PD1700 シリーズの主な周辺回路

アプリケーションに対応した周辺回路が内蔵されるのは、そのデバイスを組み込んだ最終製品としては、基板面積が節約でき、また原価を低減できるという利点があるが、ソフトのデバッグに使用するエミュレータにとっては大きな負担になる。特にアナログ的な回路は、エミュレータ上にディスクリート部品等で実現するが、その特性をデバイスに内蔵したものに合わせるのは至難の業であった。

9. 17K シリーズの開発—アーキテクチャの限界

問題はエミュレータでの周辺回路の特性だけではなく、1980 年代初頭には、もう μ PD1700 シリーズの CPU アーキテクチャ上の限界が目につくようになってきた。特に顕著なのは、ROM サイズの 2K steps (4K bytes) という上限と高機能化に伴う周辺回路制御方式の限界であった。当初計画したよりもセットの高機能化が早く進み、多くのハードウェア品種展開が必要になったのが原因であった。

DTS 用 CPU の上位版の開発は急務と思われたが、上の許可が出ない。というのは、DTS の設計部隊はマイコン部隊も所属する第 1LSI 事業部に所属していたからである。そのとき既にマイコンには多くの CPU アーキテクチャが存在し、事業部ではアーキテクチャ統合の議論が行われていた。4 ビット・マイコンでは、当時汎用の 7500 と DTS の 1700 という 2 つの CPU アーキテクチャで製品展開を行っていたが、汎用部隊は次期 4 ビット・マイコンである 75x のアーキテクチャ設計に既に着手していた。

75xCPU を DTS にも使用することに対して、今までユーザーがアセンブラで設計したソフトウェア資産が使えなくなることで、CPU が発生するノイズが PLL に与える影響が懸念された。1700 のアーキテクチャは 7500 とは根本的に異なった。7500 は伝統的なアキュムレータ中心のアーキテクチャであるが、1700 にはアキュムレータは存在せず、RAM 上に配置された 16 個の汎用レジスタで演算する。命令も 7500 は可変長、1700 は 16 ビット固定長という違いがあった^[4]。このため、1700 の CPU クロック周波数は 7500 の 1/3 であったにもかかわらず、処理能力には大差なかった。その当時 DTS は月産 200 万個を突破しており、ユーザーが今まで開発してきたソフト資産が流用できなくなることはどうしても避けたかった。

1984 年に DTS はグループごと第 2LSI 事業部に異動することになった。その翌年、DTS の上位版の開発に GO サインが出た。もはや事業部内に他のマイコン製品はない。

上位版 DTS は“ADTS (Advanced DTS)”というコードネームで呼ばれたが、後に“17K シリーズ”という正式名称が与えられた。上からの指示は、DTS 以外のリモコンなどの安価な製品にも使える柔軟性の高い CPU コア

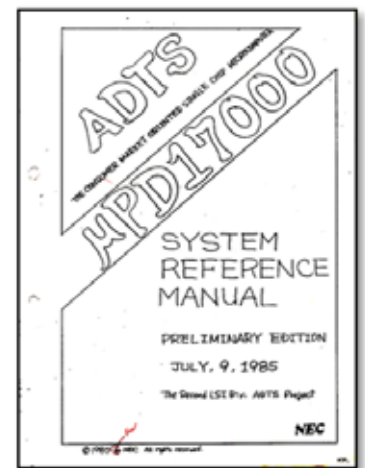


図2 17K システム仕様書(初版)の表紙(当時は手書き)

の開発であった。

17Kシリーズの特徴は、“小さなCPUに豊富な周辺”、“大きな拡張性”、“Mam'Chip方式のエミュレーション”である。従来の μ PD1714などでは94あった命令を使用頻度が低く他の命令の組み合わせで置きかえられるものを削除し、17Kでは50命令にした。その代わりに1命令でアクセスできるアドレス空間を増やし、大きなソフトを組みやすくした。プログラム・メモリは最大64K steps (128K bytes)まで拡張可能で、32/16/8ビットのデータを1命令で周辺に転送できる機構やDMAも装備した^[4]。

17KCPUは当初期待された通り、 μ PD172xxシリーズのリモコンから32K bytesの大規模ROMを内蔵した μ PD1770xまで幅広い展開に耐えた。また、 μ PD18000番台のカスタム製品のCPUとしても使用された。

10. Mam'Chip方式—17Kのエミュレータ

Mam'Chip方式とは、簡単にいうと従来のEVACHIPは使用せず、実チップを2個使用することにより1つのデバイスをエミュレーションする方式である^{[4][5][6]}。

デバイスの命令実行や周辺回路は実チップのものをそのまま使い、デバッグに必要な機能は当時最大であった2万ゲートのG/Aに実装した。そのG/Aは、2つの実チップを同期させデバッグの母体となること

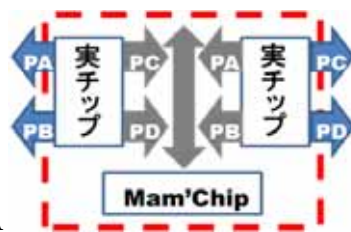


図3 Mam'Chip方式概念図

から、“Mam'Chip (Mother Architecture Module Chip)”と命名したが、このネーミングの仲間内からの評判は悪く、「まむしチップ」と揶揄された。

エミュレーションには実チップが使用されるので、数の出ないデバッグのためだけに作るデバイスメーカーにとっては不経済なEVACHIPが不要になり、実チップとエミュレータで周辺回路の特性が異なる問題も解決され、また、エミュレータの設計期間も大幅に短縮された。製品開発の初期にはハードに不具合が付きものだが、Mam'Chip方式ではソフトのデバッグ時にその不具合が「正しく」再現される。このため、ハードの不具合をソフトで確実に避けられるという、実用的な「おまけ」まで付いた。

11. SimpleHOST—17KのGUIデバッグ

ある日、NECアイシーマイコンシステム(株)でDTSのソフト開発を担当していたMacフリークの山田義信が、Mac上で走るPascalのGUIデバッグのデモを見せてくれた。これからのデバッグは、GUIでオブジェクト指向でなければならない、と熱く語った。その直感的な操作性には痛く感銘を受けたが、実現できるプラットフォームは

Macだけであった。当時、我々が使えるプラットフォームは、PC-9800かIBM-PCに限られていたため、デバッグにGUIを採用するのは到底無理だと思われた。

それからしばらくして、山田君がPC-9800上でGUIの操作ができるMS-WindowsのPreliminaryバージョンを引っ提げてやってきた。マイクロソフトがMS-DOS上で走るこのGUIシステムを今後販売する計画だという。

1986年、我々はMS-Windowsが主流となることに賭け、その上で走るGUIデバッグの開発を開始した。今までより簡単に操作できることから“SimpleHOST (Simple & High-level Operation Support Tool)”と命名した^[4]。おそらく、これがWindowsを利用した世界で最初の組み込みシステム用GUIデバッグではなかったかと思う。

12. 終わりはいつか来る—結びの言葉に代えて

世界に冠たる大企業でさえ時代の変化に対応できず姿を消していく様に、一時はカーステレオ市場で世界シェアの80%以上を謳歌し、月400万個以上を出荷して車載用マイコンの先駆けとなったDTSにも終焉は訪れる。セットの高機能化に伴い、市場の要求する周辺機器がカセットだけからCD、DVD、MP3…と目まぐるしく進化していった。カーステレオはカーナビに吸収され、カーナビ自身も今やスマートフォンに置き換えられそうな状況である。

環境に適応できないものは淘汰される。生き残りに最も大切なものは、計画や管理ではなく、柔軟な姿勢と情熱である、と今でも思っている。

参考文献

1. 有泉真男、河田和秀「デジタルチューニング用1チップマイコン」、電子材料、1980年3月号、pp.38-43
2. K.Kawata et al, "Digital LSI: The Key to Refining the Automotive Audio System", DOI: 10.4271/ 861041, Convergence'86 Proceedings. 1986
3. 有泉真男、飯田則彦、他「OTPデジタルチューニングシステム」、NEC技報 Vol.39 No.10 (昭和61年10月20日発行)、pp.171-176
4. 有泉真男、河田和秀、他「 μ PD17000シリーズ4ビット専用コントローラ」、NEC技報 Vol.40 No.10 (昭和62年10月23日)、pp.180-186
5. Kazuhide Kawata, "Single chip microcomputer capable of debugging an external program without an increase of the number of terminals/ports", US Patent No. 4,670,838
6. Takaharu Koba, Kazuhide Kawata, et al, "In-Circuit Emulator for Application-specific Microcomputer", the NEC RESEARCH & DEVELOPMENT, No.88, pp. 26-29, Jan. 1988