

クォーツ腕時計開発から C-MOS IC の内作化まで

セイコーエプソン(株) 相談役 草間 三郎



諏訪精工舎（現、セイコーエプソン）は、製糸業に代わる地域産業を求めて地元諏訪の時計商であった山崎久夫氏が1942年に創業した大和工業（時計部品工場）と、第二次世界大戦下の1943年、東京より疎開してきた第二精工舎諏訪工場が、戦後時計工場として事実上一体となって操業を進めるなか、1959年に両者が合体して発足しました。

戦後復興の中、日本における時計のものづくりは、時計先進国スイスに追いつき追い越せを目指して進められました。諏訪精工舎のものづくりにおいても、先陣を行くスイスに倣ったものづくりから、独自のものづくりが目に見えて顕れてきたのは1955年（昭和30年）辺りからでした。1960年、セイコー腕時計の代名詞といわれるグランドセイコーのファーストモデルが世の中に出て、スイス製機械式腕時計と遜色ない水準まで達することができました。

1分、1秒が大事となった戦後社会において、時計は正確な時を刻むために最高の精度が要求されるようになりました。この時代の要求を満たす為、最高の精度を追求していくと、機械式腕時計では自ずと限界があり、時計の電子化は必須になりました。1959年当時、精工舎は最高の精度が要求される放送局向けに、タンス大の大きさのクォーツ時計を納めていました。また、欧米の時計会社でも電子・電波時計の開発が相次いでいました。こうした中、発足間もない諏訪精工舎でも電子時計開発プロジェクトがスタートしました。同じセイコーの時計をつくる精工舎、第二精工舎から比べると、遅れてのスタートでした。時を同じくして、国際的なスポーツ総合競技大会がアジアで初めて東京で開催されることが決まり、セイコーはこの大会での計時担当に立候補することになり、諏訪精工舎の電子時計開発にも拍車がかかりました。当時の開発プロジェクトの第一ターゲットは「卓上型水晶時計」でした。

1959年当時、諏訪精工舎の技術陣は精密工学技術者が中心でしたが、時計の電子化の動きは1950年代前半から水面下で進んでいました。当時の精工舎や

第二精工舎は、諏訪精工舎に5年から7年先行して、電気・電子関係の技術者、金属及び物理・化学関係の技術者を採用し、育成を始めていました。諏訪精工舎もこのときから2社を追いかけて電気・電子関係の技術者、金属及び物理・化学関係の技術者を採用し始めました。私が大学の電子工学科を卒業し、諏訪精工舎に入社したのは1963年でした。電子時計開発プロジェクトおよび計時プロジェクトも佳境に入り、同年9月にはプロジェクトの成果物であるクリスタルクロノメーターQC951が世にデビューし、翌年の国際的なスポーツ総合競技大会に向けて準備作業が忙しい真只中でした。

大会も成功裡に終わると、電子腕時計の商品化は本格化していきました。当時、電子時計開発プロジェクトのリーダーであった中村恒也氏（現、セイコーエプソン名誉相談役）は、「もっと正確に、もっと精度を高く」を目指しており、水晶を使った電子腕時計だけでなく、音叉式腕時計やテンプレ式電子腕時計の開発も同時に進めており、当時の開発部門には3つの開発チームがありました。

音叉式腕時計については、1960年代当時、米国ブローバ社の音叉式腕時計アキュトロン（Accutron）が成功して一世を風靡していました。したがって、その対抗策として諏訪精工舎でも音叉式の電子腕時計の開発が進められていました。また、従来の機械式腕時計にあるテンプレの回転運動を電子的に制御して精度を上げることを目指したテンプレ式電子腕時計の開発も進められていました。そして、もう一つ小型化が困難だといわれていた水晶振動子を使った水晶式腕時計の開発が進められていました。

私が当時見ていたところでは、3つの電子腕時計開発プロジェクトの内、ヒト、モノ、カネの投入量から判断すると、ブローバ社に対抗するためのツメ方式による音叉式腕時計の開発の優先順位が一番高かったと思います。次に優先順位が高かったのが、テンプレ式腕時計の開発であり、私の属していた水晶式腕時計の開発はあくまで三番手でした。この背景には、

当時の水晶式腕時計開発には大変な困難が予想され、“そんなに簡単には水晶式腕時計は開発できない”という経営判断があったのではないかと思います。しかし、最終的な想いは精度に優れた水晶式腕時計の開発にあったことは、開発メンバーの一人として理解していました。

一番手の音叉式腕時計はメカが基本であり、既存の精密機械の技術を活かすことができると考えられていました。精密なツメで歯車を送っていくことが技術の核であり、機械式腕時計用に開発した自動巻きのマジックレーバーのノウハウを活かせるのではと思われていました。この開発があるところで頓挫した理由は、プロバ社が特許を全部押さえてしまい、他社に一切その特許の使用許諾をしなかったからです。

二番手のテンブ式電子腕時計は、テンブの面の上に2ヶ所小さいコイルを搭載し、下にもコイルを置き、そこに信号を入れることにより、コイルとコイルで牽引したり反撥したりするのを利用して、そのタイミングを巧く合わせることで精度を上げることを狙ったものです。この開発は、開発部門というよりも当時の技術部門が中心になって進められていました。テンブ式電子腕時計は、その商品化の最終段階である量産準備をほぼ終えていました。しかし、精度があがっていなかったため、「中途半端な製品は出さない。時間がかかっても精度の高い水晶式腕時計の開発を早めて対応する。」というリーダーの判断のもと、量産がストップされ発売が中止になりました。

そして、最終的に最後までしぶとく残ったのが、その開発が非常に困難だといわれていた水晶式腕時計でした。

クォーツ腕時計開発への挑戦

水晶式腕時計の構成を大きく分けると、(1)水晶振動子・発信回路、(2)ICユニット、分周回路、(3)ステップモータの3つになります。

(1) 水晶振動子・発信回路

水晶振動子(水晶発振器)の開発で一番大きな課題は、バッテリー駆動ができるように全体の消費電力を下げることでした。そのためには、発振周波数をできる限り下げなければなりません。発振周波数が高ければ高いほど、1秒1回の信号に分周するのに電力がかかることから、この発振周波数を下げようと考えました。そして、この時点で時計の運

針を連続運針から1秒毎のステップ運針にすることが決められました。

最初、水晶振動子はATカットでスタートしたのですが、その発振周波数がまだ高いので、これをなんとか下げようと、開発者は中学・高校の理科で習った音叉式の振動子がこの低発振周波数の要求にかなうのではないかと考えて具体的に検討し、最終的に8192ヘルツ(8KHz)の音叉型振動子を開発しました。この周波数は男性用の腕時計のサイズに水晶振動子が収まればよいということから決まりました。

次に課題となったのが耐衝撃性です。腕時計の使い方からすると、時計を落とす人も、時計を腕に身に付けたままバトミントンやバレーボールなどの運動をする人もいることから、耐衝撃性に強い水晶振動子が要求されました。具体的には水晶振動子の吊りの構造が大きな課題になりました。そこで、開発担当者はいろいろな吊りの構造を考えては試し、“これでいける”と確信できる吊りの構造を見出しました。それは、水晶振動子の吊りの構造を2本の吊りバネを表裏若干ずらして固定する構造でした。しかし、この構造を採用した振動子の量産化にあたって、吊りの部分のはんだ付けが大変むずかしく、手先の器用な作業者でなければできず、当時の最高級腕時計の組立を行っていた手先の器用な2人の女性に転籍してもらい、そのむずかしいはんだ付けを担当してもらいました。

(2) ICユニット、分周回路(図1)

毎秒8,192Hzの振動(電気信号)を13段の分周により1秒1回の信号に分周する回路設計が私の責任分野でした。当時は、まだC-MOS ICがありませんでしたので、同期式の分周回路を、13段のフリップ・フロップ回路により6個のトランジスタ、6個の抵抗、3個のコンデンサーで分周1段×13倍を使って厚膜混成回路を採用してつくろうと進めました。当時宇宙通信用に使われていた超高周波用のトランジスタを、日本電気の武蔵小杉の事業所まで出向いて、その研究所長に直接交渉して譲ってもらいました。抵抗は厚膜印刷技術によりメタルスクリーンのマスクを使って印刷し、それをレーザービームでカットして抵抗を調整しました。コンデンサーはチタン酸バリウムのコンデンサーで、板材を使いました。いうならば名人芸的に13段のフリップ・フロップ回路を作りました。これはセラミックの基板に印刷して焼成したものでした。当時、諏訪精工舎にはワイヤーボンディングの技術はまだなく、自分でワイヤーボン

毎秒 8,192 Hz の振動
(電気信号) を 13 段の
分周により 1 秒 1 回
の信号に分周する

- IC ユニット: トランジスタ、厚膜抵抗、薄膜コンデンサを集積した Hybrid IC
- 分周回路: + 波形整形・電力増幅回路

* Binary 分周方式: 幅 3.5 × 長さ 5.50 - 厚み 0.25mm のセラミック基板上に Binary 1 Stage ずつ集積、21 枚構成

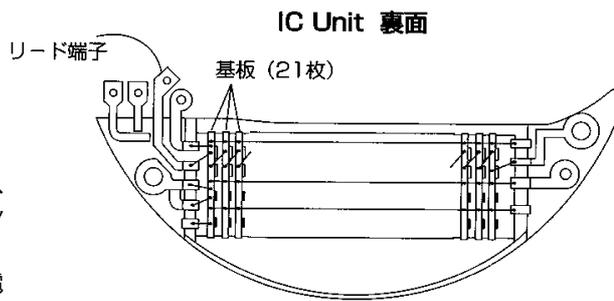


図1 ICユニット、分周回路

ダーの機械を探しました。最初に導入した機械は米国の Kulicke & Soffa (K&S) 社製の手動のワイヤーボンダーで、25ミクロンの金線を使った配線をしました。これも先ほど出てきた高級腕時計組立職場から転籍してきた手先の器用な2人の女性に金属配線をしてもらいました。当時の金型技術は一体型金型で、円筒状の金属をベースとして中心を原点として切削して削りだす方式でした。電子モールド金型は国内にはなく、一人でシカゴにあるスミス社を訪れ、時計用モールド金型を作ってもらいました。これが諏訪精工舎におけるブロック組立式モールド金型の第一号となりました。

金属配線の作業は本当に名人芸であり、数を多くつくれませんでした。とにかく、世界初のクォーツ腕時計クォーツアストロン35SQ (写真1) の発売日に間に合わせて50個を揃えるのが精一杯という状態で、大変苦労しました。しかしこの時期に35SQを発売できたのは、この回路ブロックが出来たことが決め手となりました。



写真1 クォーツアストロン35SQ

(3) ステップモータ

当時、諏訪精工舎にはステップモータの経験がなく、どうやったら着磁ができるのか、その方法がわからず苦労しました。当初は、電線をグルグルと捲いて真中にモータの磁石を置いて、そこに大電流を流して非常に大きな電磁波を発生させて着磁することが考えられました。しかしながら、この方法ではなかなか巧く着磁することができずに試行錯誤の苦労が続きました。最終的には、巻き線を1/2回転させて

そこに大電流を流して、磁石を真中に置いて着磁するのが最適な方法であることが判明し、ステップモータの課題も解決することができました。これで男性用の腕時計に3つの全ての構成部品が入るようになりました。本当に1969年12月25日の発売日に間に合うように滑り込みセーフで、クォーツアストロン35SQを50個つくることができました。発売時のクォーツアストロン35SQの値段は45万円で、すぐ売売となりました。

この発売を境に、生産量を増やすための改善が行われたのですが、やはり一番のネックになったのは電子回路部分でした。コストを考慮していかに量産タイプの電子回路に変えていくかが最大の課題になりました。水晶式腕時計の開発を進める中、早くから私は上司とともにトランジスタ(集積回路)を扱っている日本の総合電機メーカーをくまなく回りました。その当時、集積回路といえばNチャンネルのトランジスタが主流で、C-MOS ICはむずかしくてほとんどありませんでした。どのメーカーもC-MOS ICはできないと、我々の要請ははじから断われました。そうこうしているうちに、米国のシリコンバレーのインターシル社(フェアチャイルド社からスパインアウトした会社)でC-MOS ICができるという話が伝わってきました。そこで、私と上司の二人でインターシル社に乗り込み交渉を行いました。当時のシリコンバレーはブドウ畑に囲まれており、何もなかったところであったと記憶しています。インターシル社とは、経営トップの決断により、諏訪精工舎と第二精工舎の共同で50万個の購入契約をしました。

その後の具体的な交渉は第二精工舎と共同であったのですが、当社側の窓口を当時の技術部長であった安川英昭氏(現、セイコーエプソン相談役)と

ともに私が担当しました。この交渉にしたがい、インターシル社からC-MOS ICが出てきたのですが、このC-MOS ICがまだ表面の安定した酸化膜のつくり方が解決されておらず、非常に静電気に弱く、ちょっとした静電気が入ると壊れしまうという状態でした。これに対して、諏訪精工舎では何とか静電対策を行い、25万個を使い切ってしまいました。

このC-MOS ICができたことにより、クォーツアストロン35SQに続く35SQCをスイスに先駆けて大量に世の中に出すことができました。その後も水晶式腕時計を大量に世の中に出すことによって、1970年代から80年代にかけて大きな創業者利益を上げることができました。そして、この利益を原資にして、エプソンは世界初、世界最小といった新商品を次々と開発して、プリンタを始めとしたエプソンの事業領域を拡大してきました。

C-MOS ICの内作化

35SQのICは、当時宇宙通信用に使われていた超高周波用のトランジスタなど、既にあるものを巧く活用して何とかつくりあげました。35SQの商品化後、当社では必要な性能を持つC-MOS ICを求めて国内のICメーカーをくまなく回りましたが、どこも否定的な返事ばかりで協力してくれるところはありませんでした。経営層は、今後クォーツ腕時計の量産を拡大・安定化するにはC-MOS ICの安定供給が欠かせなくなるとすでに判断していました。「自分達で水晶振動子をつくるのができたのだから、ICメーカーができないと言うのなら、C-MOS ICも自分たちでつくってしまおう」と考えて、開発部門において二つのチームによって内作化に向けたC-MOS ICの研究開発が進められました。一方、技術部門では一日でも早くC-MOS ICを調達するためにサプライヤーの開拓活動が行われており、米国でもS-MOS SYSTEMSの前身会社においてC-MOS ICの開発が試みられていました。こうした状況の中、研究開発は続いていましたが、開発部門では2チームの内の1チームがその困難さから脱落し、また米国での開発も巧く行かず、結局内部開発は開発部門の1チームに絞られることになりました。

この開発チームでは、金属屋さんがプロセスまわ

りを、電気屋さんが回路まわりを担当しました。大学や研究機関の指導を受けましたが、ほぼ独力でC-MOS ICのプロトタイプを作り、何とか動くまでにこぎつけました。この段階で、実際にC-MOS ICを部品として使う技術部門の意見を組み入れることが必要になり、技術部門の一員だった私もこの開発チームと密接に関わるようになりました。

こうした中、C-MOS ICが初めて当社製の腕時計に使われたのは、1971年1月に発売した35SQCでした。このC-MOS ICは、前述したように、諏訪精工舎と第二精工舎が共同で米国のインターシル社に開発・製造を委託したC-MOS ICであり、技術部門で私が推進したものでした。そして、自社独自の内作ICが初めて使われたのは、それから11ヶ月が経った1971年12月に発売した38SQWでした。

確か、本社敷地内にある建物の3、4階に4インチのラインをつくって、割合と早い時期に動くサンプルが出来てきたことを記憶しています。ただ、私は上記の38SQWに使うために、技術の立場からそのサンプルを評価したのですが、そのサンプルC-MOS ICはインターシル社のものと同様に静電気に弱く、また歩留も悪く、製造サイドが必要とする数量は出てきませんでした。そこで、1個でも多くの内作ICを製品に使うためには、静電気対策など後工程を巧く行い、とにかく使いこなすことが必要になり、私は1年間、回路技術のリーダーと開発（設計）のリーダーを兼ねることになりました。様々な試行錯誤と試練を経験する中、徐々に歩留が上がっていき、3年位経ったところでようやく商業ベースに乗るようになりました。こうして、富士見町に土地を確保して1979年末には4インチラインの半導体工場を完成させ、1980年の頭から操業を開始して半導体事業を本格化させることができたのです。

2002年6月、クォーツアストロン35SQを始めとした長年のクォーツウオッチの開発が電子デバイス産業全体の省電力技術の発展に寄与したとして、米国電気電子技術者協会（IEEE）から革新企業賞を受賞しました。そして2004年11月、クォーツアストロン35SQそのものがIEEEマイルストーン賞を受賞できたことは、セイコーエプソンにとって大変栄誉あることでした。