

腕時計の歴史を変えた世界初のクォーツウォッチ

——世界初、水晶腕時計「アストロン 35SQ」が完成——

セイコーエプソン株式会社 2004年2月発行

『腕時計の歴史を変えた世界初のクォーツウォッチ』

より抜粋・転載

聖夜の出来事

「間に合った。これで約束を果たせる」

1969年12月24日、ただでさえ慌しさを増すこの時期、急遽、上京の途についた技術部次長の安川英昭は、車中、1年間の重圧からようやく解放された安堵感に浸っていた。

10個の水晶腕時計「アストロン」は送品した。残りの10個は明朝までに届く手筈になっている。今頃は、最終の調整に取り組んでいることだろう。もう心配はなかった。

約束とは、去年の12月、常務の中村から1年以内のクォーツウォッチ商品化を命じられたことである。「やればできる」を身上とする彼が引き受けたということは、即、約束を意味しているからだ。

安川をリーダーとするクォーツウォッチ商品化計画の成果が明日、初めて世に出る。開発・設計・製造に関わる技術者や技能者、陰で働いてくれた作業員、補助職員に至るまで、持てる力を総合的に結集した賜物だった。

リーダーとして責任を果たせた満足感と、それこそ寝食を忘れてやりとげたスタッフへの感謝の念でいっぱいだった。

クリスマスに合わせて開発を進めていたわけではなかった。やっとの思いで、この日に数がそろそろ見通しがついたというのが真相だ。偶然とはいえ、いい日に遭遇したものである。この日のために苦楽をともにした人達への、大きなクリスマスプレゼントになった。自分自身にも、会社にも、そしてクォーツウォッチ出現を心待ちにしてくれている世界の時計愛好家のためにも。

聖夜の華やいだ空気が漂う東京・銀座四丁目の街角。巷の喧騒をよそに服部時計府内の一角は、ある種の緊張感に満ちていた。明日ここで、世界で初めて商品となった水晶腕時計が発売される。記者発表の準備も整った。

18K金側でゴージャスにデザインされた「アストロン」は、まばゆいばかりに黄金の光を放ち、正確無比の時を刻んでいた。価格は38万円だった。

当初、服部時計店では45万円と決めていた。大衆車が1台買えるほどの価格は、いかにも高過ぎると、ウォッチ販売の責任者が38万円に直した。もともと手作りのアストロンに、コストはないも同然。すべては勘に頼っての値決めであった。

夕方、服部正次会長が和光を訪ねた。準備万端整った発表会会場を満足げに一巡するや、アスト

ロンの前で足を止め、突然“怒った”。「安すぎる」。グループ総帥の鶴の一声である。その場で45万円に戻された。

値札の張り替えやら印刷物の手配で、スタッフは深夜まで頑張ったが間に合わない。25日午前10時に予定されていた記者会見は、午後2時に持ち越された。

高価なアストロンは、その日のうちに売り切れた。20個のうち3個は、皇室、日本時計学会会長、最高裁判所に寄贈され、実販売は17個だった。

「クォーツウオッチの商品化なる」。翌日の各紙が大々的に報道した。内外の通信社によって世界中に発信され、国際的な反響を巻き起こした。

“ア・レボリューション”、一つの革命に違いない。ついにスイスの機先を制し、時計産業史に残る快挙を成し遂げた瞬間であった。

諏訪精工舎とトップ争いを演ずるとみられていたスイス勢では、1970年4月のバーゼルフェアに、オメガ社がCEH社からムーブメントの供給を受けて作ったクォーツウオッチを出品してきた。わずか4カ月の差しかない、薄氷の思いで勝ち取った「世界初」だった。

商品化に成功したとはいえ、手放しで喜びに浸っていただける状況ではない。より薄く、より小さく、高精度に作り上げ、量産技術の確立で大幅なコストダウンを実現しなければ普及は望めない。

課題が山積するなか、この夜から諏訪精工舎の新たな挑戦が始まった。

量産技術確立へ

クォーツアストロン 35SQ 量産に際してのネックは、水晶振動子とハイブリッド回路の生産性の低さであった。

水晶振動子の生産で最後まで悩まされたのは、クラック（ひび割れ）対策だった。歩留まり向上を図るには、この問題を解決しなければならない。切削や研削工程を経ると、水晶片にどうしても細かいひびが残る。エッチングで表面を一度剥いてひびを消しても、残るひびの程度は目でみても分からない。

水晶には、時間の経過によって周波数が変わる特性があるので、この変化をあらかじめ取り除く作業が不可欠だ。エージング（熟成）といわれる工程である。所定の振動数になるよう振動子の先端を調整した後、実際に通電して振動させると、ひびの具合が変化して周波数が変わってしまう。

すぐに安定するものもあれば、なかなか安定しないものもある。1本1本の水晶振動子が「どこまで、どのくらい変わるか」が分からないから厄介だ。数日間、電気をかけ続けて振動子を「枯らす」この工程では、経験値の積み重ねしか方法がないことが分かった。

歩留まりは、当初20%しかなかった。

「出来上がった振動子を特性ごとに分類したり、選別するよりも、ひびが絶対に起こらない作り方を考えればよかったと思うが、その余裕がなかった」。

主要パーツの中で、最もクレームが多かったのが水晶だった。まだ確立していない技術であったから、トラブル発生は日常茶飯事。すべて走りながら解決していった。

「水晶が間に合わねえ、どうするだい」。寡黙の小口も時には信州弁で大声を出す。若い巳継や降幡が製造現場に飛んでいく。

ベーキング温度の設定を 50℃間違えてしまった事件があった。

水晶片は、内部に含むガスを除去しなければ振動数が変わって誤差が出る。このため一定の温度をかけて真空炉で焼く工程がある。この加熱温度を誤って低く設定していたことに誰も気付かなかったのだ。管理者が現場に出向いて実際の作業を点検することで見つけた。初歩的なミスは責められて当然だが、それ以上に、設定温度をデータとして記録していなかったことの方が、より大きな問題だった。

この事件は、現場をよく見ること、記録を残すこと、作業の手順を明示することの重要性が、教訓として職場に浸透する契機となった。

低コスト化と能力アップを目指した生産技術の開発は日常的に追求され、水晶ユニットの安定供給態勢は徐々に整えられていった。墨入れに代わるレーザー光による電極分割などは、現在でも水晶振動子の主要加工技術として生きている。

腕時計の小型・薄型化、低価格化が進む中で、水晶振動子の役割はますます重くなっていく。これに対応して 1971 年（昭和 46 年）には、小型・フル機能キャリバー系列 38SQ 用として、周波数 16384Hz、外径 4.2×14.7mm の発振器を開発した。周波数を 35SQ 系の 2 倍とし、長さを 3.8mm 短くしたものだ。

1973 年には、周波数 3 万 2768Hz、外径 3.9×10.9mm まで小型・高振動化され、液晶表示デジタルウォッチ「06LC」に搭載された。これらの新しい時計は、時計用 CMOS IC の開発と相俟って商品化されたものだが、振動数 3 万 2768Hz は、水晶腕時計の標準として現在でも主流となっている。

フォトエッチングで水晶片を加工

シリンダータイプの水晶振動子は、当時の加工技術では直径 3mm がほぼ限界であった。しかし、このサイズでは、「より薄く、より小さい時計」を求める期待に応えられない。2.5mm 以下に抑える必要があった。

このため、シリンダー型に代わる方式として、冷間圧接封止によるフラットパッケージタイプを開発した。幅 4.4×長さ 10.9×厚さ 2.4mm の振動子で、通称、弁当箱タイプ。1974 年、量産型デジタルウォッチ「06LCA」に組み込まれた。

音叉型水晶振動子の生産技術に大きな影響を及ぼしたのは、フォトリソグラフィ技術の導入である。この製造技術はステイテック社のスタウトが、ロックウェル社在籍時代に開発したものといわれ、1970 年代の初め、日本やスイスの時計メーカーが振動子の超小型化とコストダウンの切り札として相次いで導入した。スタウトは当然のことのように諏訪精工舎にも特許料を要求してきたが、

自社技術を盾に拒否した（後述）。

リソグラフィによる製造プロセスは、基本的に半導体素子の製法と変わらない。薄い水晶板の上に、酸に溶けない音叉上のパターンと電極パターンを多数個貼り付け、周囲をフッ酸で溶かす。一度に数百個の音叉片を成形し、その表面に金とクロムを蒸着させて電極を作り、一つずつ切り離す。この後、プラグにマウントリード線を接着、音叉型の先端の電極膜をレーザー光で削って周波数を調整し、カプセルに真空封入する段取りで進む。従来製法のブリックタイプでは、板厚 0.60mm であるのに対し、新製法は 0.01mm まで薄くできる。

振動子用の水晶片は、母材に対しある一定の角度で切られている。これをフッ酸でエッチングすると、結晶方向には溶けやすい方向と、溶けにくい方向があるので、どうしても板に対して斜めにエッチングされてしまう。したがって、棒状の振動子を考えていた時代には、エッチングだけで音叉型水晶振動子は作れなかった。0.01mm の板厚なら縦・横比が小さいから、斜めに切れてもほとんど問題がなくなった。

エッチング技法によって諏訪精工舎は、1976 年、外径 2.0×6.0mm の振動子を開発、これをマイクロ水晶振動子の標準型とした。さらに 78 年には超小型水晶振動子として外径 1.5×5.0mm（金属ケース）を、81 年には 1.2×4.5mm（水晶ケース）を開発した。

水晶ウオッチの精度を月差レベルから年差レベルに引き上げるため、水晶振動子を 2 本使い、1 本に温度センサ機能を持たせて温度補正させる「ツインクォーツ」を、78 年に商品化した。

三現主義を提唱

「35SQ」の量産が緒についた頃、電子回路組立工場で、体調不全を訴える作業者が続出した。強い臭気が漂い作業中にめまいを起こしたり、頭が痛くなる。手がかゆくなる、赤くはれる。若い女性工員はパニック状態に陥った。

工場で何か有毒な薬品を使っているのではないか——。疑惑が広がった。

ひたすら経済拡大路線を邁進してきた日本社会のいたるところで、急成長の歪みが表面化し、公害訴訟が相次いだ頃である。とかく産業界寄りと批判される政府も事態を重く見て、大気汚染防止法（昭和 37 年）に続き、排水規制の全国一律基準の制定（昭和 40 年）、水質環境基準制定（昭和 46 年）、PCB の製造中止（昭和 47 年）など、具体的な環境保全対策を打ち出してきた時期と重なった。

諏訪精工舎の労働組合がさっそくこの問題を取り上げ、会社側への調査申し入れを行なった。だが、会社側には思い当たる節がない。責任者が現場に出向いて徹底調査したところ、たちまち原因が判明した。大量に使うエポキシ樹脂など二液性接着剤が皮膚に浸み込み汗腺をふさぐ、硬化剤がアレルギーを引き起こす、無理な作業姿勢——などによるものだった、

「35SQ」の部品総数は 309 個。このうち電子部品が 231 個ある。これらの微細な部品を、顕微鏡下で基板にハンダ付けするのに、低い作業台にかがみ込むような姿勢でやっていた。これでは肩や目に悪い。台を高くし、姿勢を正し、目に近いところで作業するように変えることで一気に解決し

た。接着剤や硬化剤の問題は、換気をよくし作業マニュアルの見直しで改善できた。

単純なことが原因と分かったが、騒ぎが大きくなるまで監督者が手を打っていなかったことが問題だった。現場に足を運び、実際の姿を見ることが重要であるということが、これらの事例を通じて改めて示された。水晶加工工程での炉温度設定の誤りも、現場を知らないことが原因だった。

現場をよく見る、現物をよく観察する、現実の在り様を的確に捉えることの中から、自ずと対応策を見出だすことができる。現場・現物・現実。諏訪精工舎のいう「三現主義」の行動規範が、こうして生まれ定着していった。

「開発、製造、販売までの現場をよく知っている目で、目前に提出された書類を決済していかなければならない。そうでないと判断を間違ってしまう。技術への見識はメーカーとして当然だが、どこまでやるのかの見通しを持っていることが大事だ」

安川が言うとおり、「三現主義」は製造現場に限られたものではない。まして、管理者に限られたものでもない。

CMOS IC を自社開発

バイポーラトランジスタによるハイブリッド回路では、スケールメリットが出ない。商業ベースにのせることは難しい。消費電力が大きすぎることも我慢できなかった。

「アストロンの発売で世界初の栄誉はいただいたが、このままの状態で行くやうなところで、非常にコスト高の時計になってしまう」

山村が指摘するように、いずれは迫いついてくるスイス勢に対抗するには、回路部分に不安が残った。CMOS IC の出現が待たれる所以だが、諏訪精工舎は、当面はアメリカのインターシル社に開発委託し、同時に自社開発を進める両面作戦で対応することとした。インターシル社は、フェアチャイルド社を飛び出したドクター・ハーニーが創設したベンチャー企業である。ほとんど無名の存在だが、トランジスタの発明者の一員として知られるショックレー博士の愛弟子である彼は、低電力 CMOS IC 開発に強い意欲を持っていた。だが、資金がない。つてを頼って日本にやってきた。

1967 年末、人を介して服部正次会長を訪ねた彼は、CMOS IC を使った時計用分周回路の開発支援を要請した。これを受けて諏訪精工舎と第二精工舎は、69 年 1 月、周波数 16384Hz、動作電圧 1.3V 以下、消費電力 7.5mW 以下、チップサイズ 4×4×1.3mm、期間 15 カ月の条件で開発委託契約を結んだ。水晶腕時計商品化プロジェクトの始動と軌を一にする。

翌年 5 月、契約どおり品物は届いたが、品質、性能にばらつきが多すぎた。歩留まりが悪く、10% しか使いものにならなかった。選別した良品だけを 35SQ に組み込んだものの、これでは量産効果はまったく期待できない。自社開発を急ぐしかなかった。

12 月 21 日付け組織改正にともない、開発部が新設された。常務の中村が部長を兼務、開発一課長に相澤進（後専務）、同二課長に山村が部付き兼務で起用された。この両課に所属するメンバーを中心とした、十数人の若手技術者を対象に、電子工学の基礎学習から CMOS IC 基本開発計画が始動した。具体的な技術知識も実験設備もない、白紙に近い状態からのスタートであった。

IC、LSI はエレクトロニクスの最先端技術である。経験の薄い異業種からの参入は極めて困難だ。それにもかかわらず諏訪精工舎が自社開発を目指すには、それなりの理由があつてのことだ。

機械時計では、基本的な部品はすべて自社生産でまかない、そのための設備も人材も充実している。ところが、水晶時計では自社で作らない限り、水晶、IC、電池など主要部品のほとんどを外部から調達することになり、最終的には単なるアッセンブラーになってしまう恐れが多分にあるからだ。その代表的なものが半導体だった。

もっとも、主務官庁の通産省（現経済産業省）は、専業・大手半導体メーカーへの生産集約化による基盤整備で、国際競争力強化を図る産業政策上、異業種である諏訪精工舎の進出には否定的だった。

若手技術者の研修は、「59A プロジェクト」発足時と同様に、川上東工大教授から電子工学全般について集中講義を受けた。これと並行して菅野卓雄東大教授、垂井康夫工業技術院電子技術総合研究所研究室長ら、電子工学の権威者を招いて講義を受けたり、研修生を送り込んだりしながら、絶縁膜の特性など半導体の基礎から学んだ。

「なんで時計屋に IC が必要なんだ。もうやめてしまえ」

厳しいことで知られる垂井室長からは、叱られることもしばしばあつた。

ある日、山村は恐る恐る試作品を差し出した。「ここまでできているんです。ハンダ付けのお化けのようなもので、とても時計には入らないが、このレベルから脱却したいと言ったら、すぐ了解してくれた」。意気に感ずる人だった。

研修生の意欲は旺盛だった。CMOS IC 構成要素のほとんど全てを開発対象とし、時計に相応しい技術、条件を選択して検討を加えながら、実験を繰り返すなど研鑽を重ねていった。この生真面目な努力が認められてか「思ったより早く帰ってきた」。

これを待って、1969 年（昭和 44 年）2 月、「CMOS IC プロジェクト」がスタートした。クオーツ「アストロン 35SQ」の発売を翌月に控え、安川をリーダーとする商品化グループが最終段階での追い込みに狂奔していた頃である。

CMOS IC プロジェクトは、基礎実験と並行して、実際に IC を開発・製造するため、まず、実験室をクリーンルームに改装した。翌年 7 月には小規模生産ができる本格的な半導体製造装置を導入した。しかし、製造ノウハウの蓄積がないから、上手いかなかった。しかも、当時のトランジスタの常識からすると、諏訪精工舎の要求スペックは、かけ離れて高い水準のものだったから、なおさらだった。

ともあれ、1971 年 4 月、腕時計用として所期の動作をする半導体チップが出来上がった。分周機能およびステップモータ駆動用信号波出力機能が、面積 5 平方ミリに満たない基板に搭載され、CMOS IC 開発作戦は成功した。

A タイプ IC と呼ばれるこの小片は、1.5V 駆動で消費電力は 2mW。従来のハイブリッドに比べ、電力を 1/3～1/4 にまで減らすことができた。これを使えば電池寿命は 4 倍も延びることが分かった。このことは、同じ電池を使っても時計は 4 年間動き、電池寿命を 1 年に据え置けば、サイズの

小さな電池が使える、薄い時計が作れることを意味する。同年12月発売の38系アナログクォーツに使われた。

とはいえ、CMOS IC 開発計画も始めから順調だったわけではない。歩留まり10%の壁をなかなか抜け出せなかった。

「金は掛かるは、できないわ」で、頭を抱えていた頃、中村と山村の間に交わされた話が、示唆に富んで味わい深い。

「よそはどうなんだ」

「いいところで30から40%です」

「そうか。90%にでもなっていれば、後から出ていっても駄目だが、10%なら追いつける」

現在、エプソンの歩留まりは九十数%に達している。

その後、38系用のモータ駆動回路を内蔵したBタイプを開発、1973年（昭和48年）1月から量産を開さらに06LC用分周回路として開発したCタイプにおいて、水晶発振回路用トリマコンデンサを除くアナログクォーツ用の全回路ワンチップ化に成功した。この回路は1974年から09系に使われた。この間、06LC、0634用LSIも開発された。

時計用ICは、アナログクォーツ用回路のワンチップ化の実現で、機能面では一応の水準に達した。しかし、その消費電流はまだ大きい。このためIC製造プロセスと設備の両面から徹底した改善を行ない、1974年に商品化された41系用CMOS ICでは、ついに2mAを実現した。以後も、消費電流低減への取り組みは継続されている。

クォーツウオッチ量産へ

1970年（昭和45年）8月、服部首脳は水晶腕時計の量産開始を決定した。

この年4月のバーゼルフェアに、CEHやオメガなど数社がアナログ水晶腕時計を出品してきた。いよいよ国際市場でスイス勢との対決の時が迫ってきた。諏訪精工舎にとって懸案のCMOS ICもインターシル社との提携で外部調達の見通しがつき、自社開発計画も最終段階を迎えていたし、音叉型水晶振動子、ステップモータなど重要部品の生産技術も確立しつつあったこの時期、満を持しての決断であった。

時計の信頼性を決定するのは、各要素の連鎖の信頼性である。機械式には無い電子的要素が主要な役割を果たすクォーツでは、多数の電子部品の信頼性の評価と、回路への作り込み技術の水準が問われる。

諏訪精工舎は精密機械メーカーであり、エレクトロニクスに関連する生産技術の蓄積に乏しい。テンプレ式電子時計生産で得た狭い範囲の経験を持つ程度であった。このため開発・設計部門、部品製造および組立生産部門、工機部門など関連部署の連携の基に、必要事項を短期間で方向付けし、製造立ち上げ体制を整え、評価技術を研修・習得しながら生産技術を積み上げてきた。主要3要素の技術開発系譜は、既に述べたとおりである。

クォーツ「アストロン 35SQ」の初期モデルは、約 100 個の生産にとどまった。人手に頼るハイブリッド回路の生産性の低さが、クォーツ量産上のネックになっていた。初期トラブルとしては、水晶振動子のエージングに起因する精度の不安定性もあり、販売した時計の多くが再調整で戻ってきた。電子回路は、途中からインターシル社の CMOS IC に置き換えられていった。

この CMOS IC は、分周回路専用のため、その他の回路は引き続きハイブリッド構成だが、最も複雑な分周回路が CMOS になったことで、全電子回路の実装工程削減と、低電力化が進んだ。

1971 年（昭和 46 年）1 月、35SQ の派生機種として、日付・カレンダー付きの「35SQC」が発売され、両機種合わせて 35SQ 系は、延べ 800 個製造された。

完