エコ・ドライブ時計のムーブメント*

Movement of Eco-Drive Watch

山田 信一**
Shinichi YAMADA

Key words

eco-drive watch, technology-beauty harmony, low-power consumption technology, high-precision processing technology, efficient assembly technology, high grade dial technology, high-value (eco-drive) strategy

1. はじめに

昨今、携帯電話の普及の影響で若年層を中心に、“時間を知るための道具”として腕時計を所有しない人たちが多くなっているものの、腕時計市場はむしろ多様化している。この中で数十年前までに基本技術の開発がなされた機械式時計でスイスをはじめとする欧米高級ブランド時計が存在感を示す一方、当社は電池交換不要の発電式と時刻情報を受信して正確な時刻を表示する電波修正を中心とした新技術による高付加価値化で対抗している。本稿では「光透過タイプで業界一美しい文字板、世界一薄型、世界一小型」といった先進技術を搭載する当社の代表的商品である光発電式腕時計“エコ・ドライブ”を例に取ってその魅力とそれを支える技術内容、今後の展望などについて述べる。

2. CITIZEN のエコ・ドライブ商品

CITIZEN のエコ・ドライブの歴史について具体的商品（世界一の先進技術（開発当時のものも含む）を搭載するもの）を以下に紹介する（図1参照）。エコ・ドライブ時計は、そのサイズ、機能、デザイン等、重要スペックの進化とともに商品化されてきた。

・クリストロンソーラーセル（1976年発売）

1974年にソーラーウォッチとして「プロトタイプ」*1を発表。その後、世界初のアナログクォーツソーラー時計として商品化した。

・電波受信機能付（1996年発売）

エコ・ドライブで初の電波受信機能付き時計でアラーム

機能も付いている

・水深計測機能付（1998年発売）

世界初の水深計測機能付きエコ・ドライブダイバー時計

・フレキシブルソーラー・エクリッセ（2001年発売）

従来の文字板下にソーラーセルを配置したものと異なり、世界初の文字板外周の壁面にソーラーセルを配置した金属製文字板採用のエコ・ドライブ時計

・男性用薄型タイプ・ステレット（2002年発売）

ソーラーセルを断面配置上ムーブメントと重ねずに、ドーナツ形状にして収めた新配置構造の極薄型（世界一薄型）エコ・ドライブ時計

・世界最小型タイプ（2003年発売）

時分表示仕様の世界最小型ムーブメント（平面サイズ：9×13.2mm）

・世界初のアンテナ内蔵フルメタル電波機能付（2003年発売）

・女性用電波受信機能付き世界最小型タイプ（2005年発売）

受信アンテナサイズの小型化技術により実現したフルメタル世界最小型電波時計

・男性用電波受信機能付・世界最薄型タイプ（2006年発売）

モーター・二次電池の小型化、カレンダー専用モーター新設による薄型歯車構造、電波受信アンテナの薄型化技術により世界最薄型を達成

3. CITIZEN のエコ・ドライブ製品を支える各種技術

3.1 エコ・ドライブ低消費電力技術

次にエコ・ドライブを進化させてきた基盤技術について紹介する。1976年に世界初のアナログソーラーウォッチ（腕時計）を開発。その後、充放電機能を改善した商品を発売したが、当時は全く光に当てない状態で動き続ける時間（持続時間）はフル充電状態から約1週間であり、通常の電池交換タイプの時計の持続時間が“数年レベル”であ

*原稿受付 平成18年10月19日

**シチズン時計(株)（東京都西東京市田無町6-1-12）

山田信一

1983年東京都立大学（現：首都大学東京）工学部機械工学科卒。同年シチズン時計(株)入社。腕時計の機械部分（ムーブメント）の設計業務、技術面を切り口とした商品企画業務に従事。

*1 プロトタイプ 実験的に作られたモデルのこと

図1 エコ・ドライブ商品

ることと比較して大きな格差があった。電池交換不要のエコ・ドライブ時計において、光に当てない場合にすぐ止まってしまう仕様は大きな支障となり、この持続時間の長期化が最大の課題となった。そこで考えられたのが時計の消費エネルギーの節約だった。アナログ（針）表示式腕時計の消費エネルギー（消費電力）は針の取り付けられる歯車部品を駆動させるためのモーター駆動電力と時間精度等をつかさどるいわば「頭脳部分」ともいえるべき電子回路の駆動電力で占められるため、これらをいかに小さく抑制できるかで時計の持続時間が決まってくる。図2はその消費電力の低減化の時代的推移を示すものである。1997年を1とした場合の昨今の数値は0.4強といったレベルまで低減化されており、これによって図3に示すように時代とともに持続時間も延びてきている。そして、この消費電力の削減とともに充放電タイプで継続的に使用可能な「二次電池」の容量（電気エネルギー蓄電可能量）アップ及び二次電池に充電する電力を受光により発電する「ソーラーセル」の発電性能向上も併せて技術推進させ、時計の持続時間を標準で6ヶ月、さらに進化した技術として、光を受光していない時間が一定時間以上になると時計として使用されていないと判断し針の駆動を止めて消費電力を節約する機能（パワーセーブ機能・再使用時には正確な時間表示に復活可能）を搭載した製品にいたっては最長で10年まで長期化することができた。

図2 時計システムの消費電力推移

図3 持続時間の推移

3.2 時計部品精密加工技術

前節の低消費電力技術に加えて当社の時計事業創業以来磨いてきた各種部品加工技術もエコ・ドライブ商品に搭載されている。当社の製品としてはバンド、外装の付いた「完成時計」は勿論のこと、ムーブメント（機械部分）もあり、この製品分野において求められる高精度の品質要望に応えるため開発、適用されている各種技術がある。例えば、

- ・薄型小型歯車（*2モジュール値 0.04 mm/厚み 0.1 mm 前後～）を製造する技術。
- ・直径 0.5 mm 前後のネジ加工技術。
- ・高速帯材切削ライン*3（サイクルタイム 0.4 秒程度～）

そして前節 3.1 で触れた

・超低消費電力（1 μ W 以下）モーター制御技術
などがある。また、このムーブメント製品においては時代の進展に伴い市場からの薄型化要求に応えるべく開発競争がなされてきた経緯があり、数多く市場に浸透している普及版ムーブメントの商品領域において厚さ 3.15 mm の型式番号 20 系（80 年代前半開発）から厚さ 2.55 mm の型式番号 60 系（80 年代後半開発）へ、そしてさらに厚さ 2.28 mm の型式番号 10 系（90 年代開発）へと時代推移とともにその薄型化が図られてきたが、この薄型化推進に当たっては随時新しい技術を導入してきた経緯がある。単純に時計ムーブメントの薄型化を行おうとした場合、構成部品の薄型化が考えられるが、部品強度の低下が生じて時計ムーブメントとしての必要な品質を維持できない。そこで品質を維持しつつ薄型化を可能とする技術が必要となり、代表的な技術として「輪列受」の薄型化技術が必要となる。この「輪列受」とは各種歯車部品の軸受け機能を有し、かつムーブメントを構成する各種部品をサンドイッチ状に挟持する 2 つの板部品のうちの一方であり、文字板側の同様のもう一方の板部品とで各種部品を挟持してムーブメントとしての機械的剛性を保つ板状の部品であり、従来から銅合金である真鍮材質の厚さ 0.4 mm レベルの板部材にフライス加工を施し、必要な部分のみ各種部品の収納スペースを創出する構成となっている。そして単純にこの母材を薄くしたのは前述のとおり強度低下を招いてしまうため「薄型化しても剛性強度を維持できる母材材質」を選定し、さらにこの材質への変更に伴う新たな加工性の問題について解決を行った。この母材材質は従来のものと同様に銅合金材質ながらもニッケル成分を含んだ硬い材質のため加工法も従来のフライス加工（切削加工）ではなく、プレス加工や鍛造加工を採用することで従来材質の部品形状に代替える構成とすることができ、機能を維持することができる。しかし、新たな問題点もある。具体的な例として、各種歯車部品の軸を受けている「軸受部」がある。回転する歯車の軸を収容し、その回転動作に際して発生する摩擦力

を極力小さくする必要性から軸穴の大きさも小さくしなくてはならず（通常直径 0.15～0.18 mm レベル）、またその穴内面の表面粗さの品質も一定のレベル以上のものでなくてはならない。しかし前述の母材材質が硬いものへ変更されれば当然このような小さなサイズの穴を形成するための加工は難しくなり、品質確保やその生産効率の維持に新たな技術開発を行い、適用、対応したのである。そして、このような技術開発により「歯車軸受板部材」の厚さを従来の約半分にまで削減できることになった。

次にムーブメントを薄型化するための技術として「スパーサー部品」の薄型化技術が挙げられる。通常、この「スパーサー部品」はプラスチック材質から成り、「歯車」や、リ्यूズを操作して時計の時刻表示変更動作の場合に作動する「切換え機構部品」、「電池」、歯車を動かす動力を発生させる「モーター部品」、「電子回路」などの各種部品を平面的、断面的に位置規制し、組立の際や組立後に部品位置安定品質を保証する部品である。プラスチック材質であることより各種部品それぞれに特有の 3 次元占有スペースに対応して複雑な凹凸形状を形成して前述の機能を果たすことができるわけだが、反面プラスチック材質であるために強度上、一定量の厚さが必要となる。薄型化のために単に断面方向の厚さ寸法を縮小させれば各所に厚さの薄い部分ができしまい応力集中現象によって部品全体としての強度の低下および薄い部分の存在による局所変形が発生し、部品としての機能を果たさなくなってしまう。そこで新たな技術が必要となるわけであるが、この問題に対しては薄い形状部分と厚い形状部分の差を意図的に少なくする「平均化設計技術」とさらにはこれを製造する時の射出成形時の材料流れをシミュレーションした上での最適条件を考慮した金型設計技術を新たに採用することで対応し、局所変形が無く、部品強度を維持したスパーサー部品で、かつ部品としての薄型化が達成できた。

3.3 ムーブメント生産技術

エコ・ドライブ商品の生産にも反映されている忘れてはならない技術として「ムーブメントの生産技術」が挙げられる。前述の 3.2 節の精密加工技術のように製品を構成する各種部品そのものの製作に関する技術ではないが、各種部品を安価にムーブメントの形にまでするには高度な効率的組立技術を必要とするのである。前述の普及版ムーブメントである型式番号 20 系は金属部品を多数採用している累計生産数世界一を誇る当社の超ロングラン製品だが、このムーブメントを組み立てるための生産ラインは組立てスピードが業界最速である 1.0 秒という高度に効率化された省力化生産ラインとなっている。この技術がエコ・ドライブ商品をはじめとする各種ムーブメント組立技術を下支えしている。

3.4 エコ・ドライブの文字板技術等

2 章にて紹介したクリストロンソーラーセル（1976 年発売）の時代には受光して発電するソーラーセルが文字板の開口部から露出した配置になっており、デザイン面での制

*2 モジュール値＝歯車ビッチ円直径/歯車歯数

*3 帯材切削…部品原材料が長尺状につながったままで順に材料送りをして所定の加工を行っていく切削加工のこと

図4 エコ・ドライブの構造

約となっていた。その後デザイン性を考慮して、開口部の無い文字板の下に配置する構造に移行した。この構造は図4に示すように文字板の下に配置したソーラーセル（太陽電池）に光が当たることにより発電し、充電したエネルギーで時計を動かしているため、文字板についてはなるべく多くの光を透過することが要求される。一方、光を多く透過する文字板であればその下に配置されたソーラーセルの素材色が見え易くなり、装飾品としての腕時計の価値を下げてしまう。初期の頃は光透過率が80%のプラスチック文字板で時計の「顔」ともいえるべき文字板に高級感が出せず、素材と表面処理の開発を進めていった。硬くて割れないセラミック素材や、光を透過させながらもソーラーセル側からの光が反対に見る側に透過しないことでソーラーセ

図5 エコ・ドライブ用文字板の高級化を実現したURF技術（美しい金属感を表現）

ルの色が見えにくい「ハーフ蒸着文字板」,「多層膜蒸着文字板」を開発、またエコ・ドライブ文字板の高級化のために「URF」という反射層と反射板を使って光の透過と反射をコントロールする技術（図5参照）などを開発して採用。前述の低消費電力化による成果も併せて光の透過率が15%まで低減可能となった。また、ソーラーセルそのものについても初期の頃はガラス基材からなる厚さの厚い(0.7mm)ものであったが、フィルム状の基材からなる薄い(0.15mm)ものへ移行、さまざまな平面形状における加工性も向上し、全体的な薄型化、デザインの多様化を図ることができるようになり、これらの技術によって文字板の美しい腕時計を商品化することができた。

4. まとめと今後の展望

以上、紹介してきた「エコ・ドライブ」は“技術と美の融合”のコンセプトのもと、長期間にわたるたゆまぬ技術革新により実現したもので、“人や環境にやさしい商品”である。そして、この「エコ・ドライブ」を武器に今後も高付加価値化を進め、2008年度「エコ・ドライブ」比率80%を目標とした商品企画、マーケティング活動を推進し、顧客のニーズに応える“進化した腕時計商品”を世の中に送り出していく所存である。