

特集 スティックコイルを支える生産技術とその生産システム*

Production Engineering and Production System Supporting Stick Coil

河野 恵介

Keisuke KAWANO

佐藤 真弘

Masahiro SATO

田端 孝志

Takashi TABATA

On recent ignition systems for petroleum (Gasoline) engines, the traditional distributors and high tension cables are being replaced with an S-DLI system where an ignition coil is configured for each cylinder. Concentrating on making effective use of the plug hole where the traditional high tension cable used to be fitted, this technology is intended to achieve this assignment by developing a coil, that is, a stick coil which is seated in the plug hole. Successfully put on the mass production market in 1997 as a world first, our products which incorporate this technology have been adopted by a lot of engines. The stick coil concept is accepted and followed not only by the automobile manufactures, but also by the other ignition coil manufactures. This product is referred to as a de-facto standard product in the ignition coil market.

Key words : Stick coil, S-DLI, Ignition system, Manufacturing system

1. はじめに

点火システムは、信頼性や搭載性がより厳しく求められる中、従来のディストリビュータによる配電システムから、電子配電のDLI (Distributor Less Ignition) システムへと変遷し、90年代後半からはエンジン気筒ごとにイグニッションコイルを配備したS-DLI (DLI with Single ended Coils) システムが主流となっている。

スティックコイルはS-DLIシステムのキーコンポーネントとして開発され、Fig. 1のようにスパークプラグ直上のプラグホール内に収納搭載される棒状のイグニッションコイルである。

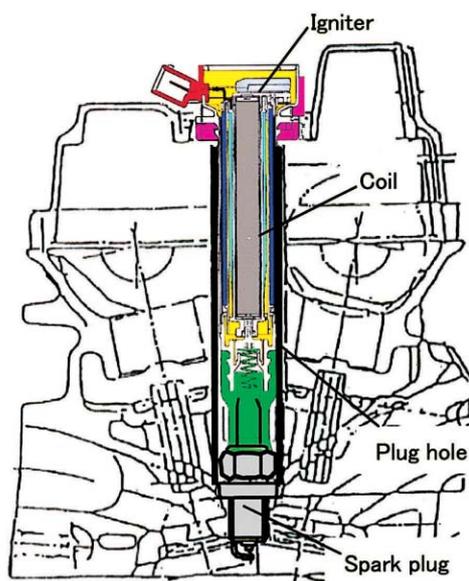


Fig. 1 Stick coil

スパークプラグの取付孔であるプラグホールの内径は、その取付工具の制約から世界的にほぼ標準サイズのφ23となっている。スティックコイルの開発にあたっては、この限られた円筒スペースに収納可能な小型コイルを成立させる技術が必要であり、製品開発と生産技術開発、材料開発をコンカレントに進める「次期型研活動」として取り組んだ。

また、この製品はエンジン気筒ごとに搭載される大量生産製品であるため、製品の標準化とともに、高速のトランスファラインで生産できる加工技術・設備開発にも同時に取り組んだ。

これらの取り組み成果として、当社は世界に先駆けてスティックコイルを商品化し、1997年の生産開始以降、2003年末現在までに累計1億本以上を生産している。

ここでは、製品小型化を成立させたキー生産技術と、その生産システムを紹介する。

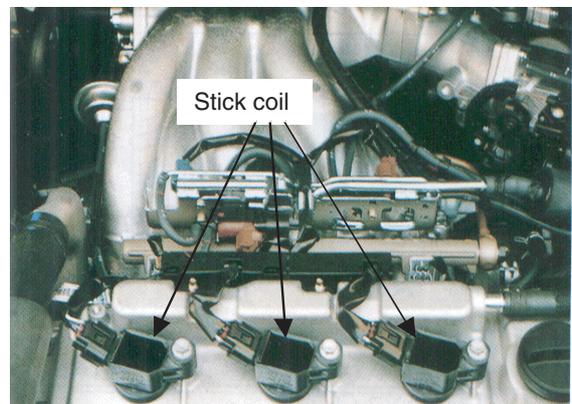


Fig. 2 Stick coil mounting on engine

*2004年1月29日 原稿受理

2. スティックコイルを支える生産技術

スティックコイルの構造は、 $\phi 23$ の丸断面に同心状に磁気回路部品（鉄心、1次コイル、2次コイル等）を配置し、内部絶縁のためのエポキシ樹脂を真空注型したものであり、コイル上部には点火タイミングを電子制御する小型のイグナイタを内蔵している（Fig. 3）。

イグニションコイルは、12Vのバッテリー電圧から30kV以上の高電圧を発生する製品であり、その搭載環境温度は $-40\sim 130^{\circ}\text{C}$ の範囲に及ぶ。

従って、スティックコイル開発の課題は、従来のコイルと同等性能（2次発生電圧、エネルギー）と耐久性を確保しながら、外径 $\phi 23$ 以下の小型化を実現することであり、そのためには、製品設計技術、材料技術、生産技術のすべてにおいて極限を狙った開発が必要であった。

今回開発した主要要素技術をFig. 4に示すが、この中でも、2次コイル斜向重ね巻線、円柱型積層コア等の生産技術は、製品小型化に大きく寄与している。

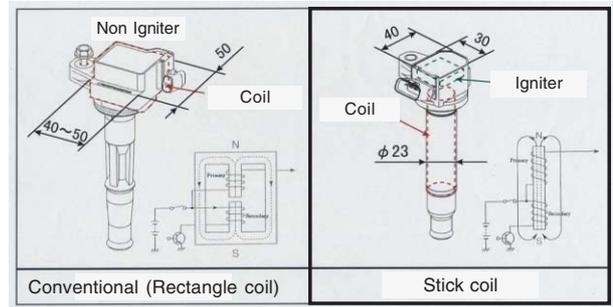


Fig. 3 Comparison stick coil with rectangle coil

2.1 2次コイル斜向重ね巻線

2次コイルには1次コイルとの巻数比に応じた高電圧が発生するため、要求性能（30kV以上）を得るためには、2次コイルには $\phi 45\mu$ の細線を15000ターン以上巻線する必要がある。この2次巻線の巻始め端と巻終り端には30kV以上の電位差が生じるため、従来は巻棒である樹脂スプールを複数のスロットに分割して一層当たりの巻数を減らし、巻線層間の電位を低減して絶縁設計を成り立たせていた。

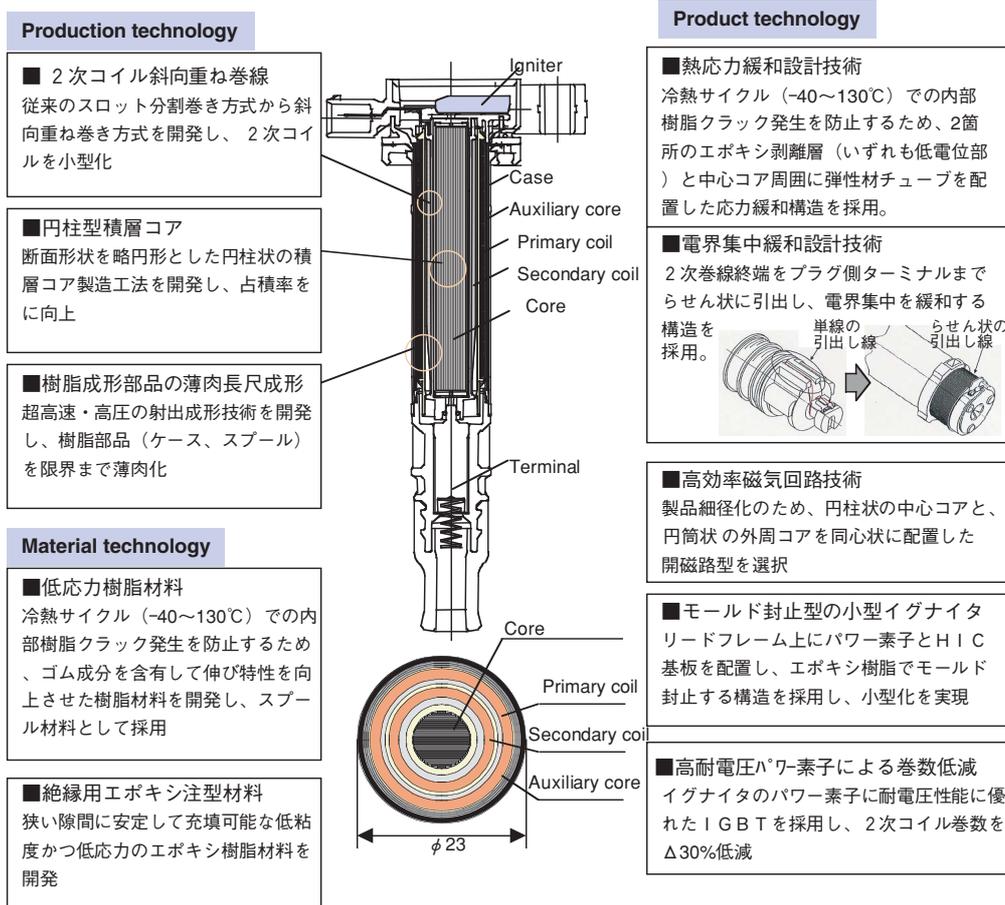
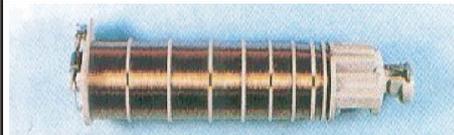
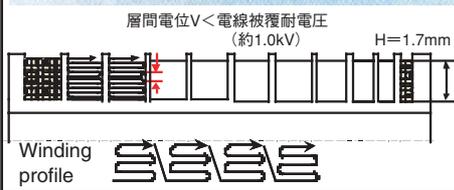
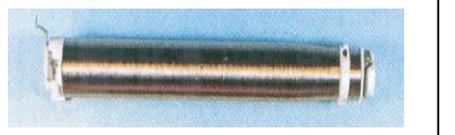
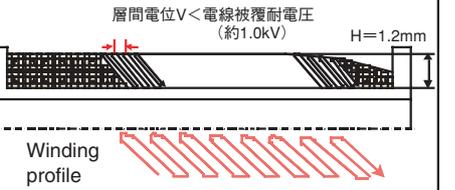
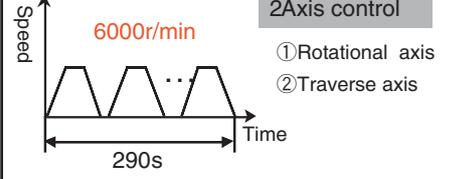
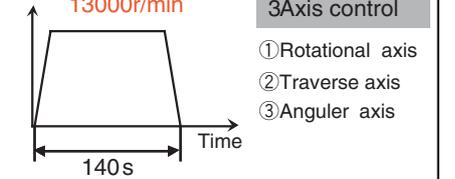


Fig. 4 Technologies for stick coil

Table 1 Comparison of winding

	Conventional	Developed (Diagonally overlapped)
Product	 <p>層間電位V<電線被覆耐電圧 (約1.0kV) H=1.7mm</p>  <p>Winding profile</p>	 <p>層間電位V<電線被覆耐電圧 (約1.0kV) H=1.2mm</p>  <p>Winding profile</p>
Window machine	<p>Speed</p> <p>6000r/min</p> <p>2Axis control</p> <ul style="list-style-type: none"> ①Rotational axis ②Traverse axis <p>Time</p> <p>290s</p> 	<p>Speed</p> <p>13000r/min</p> <p>3Axis control</p> <ul style="list-style-type: none"> ①Rotational axis ②Traverse axis ③Anguler axis <p>Time</p> <p>140s</p> 

スティックコイルでは、スロットを廃止した斜向重ね巻きと呼ぶ巻線手法を開発した。斜向重ね巻きは、巻線を斜めに積み重ねることにより、巻線1層当りの巻数を少なくして層間電位差を低く抑える巻線方式である。この方式により、スロット壁を用いずに耐電圧品質を満足し、2次コイルの小型化を達成することができる。また、従来のようにスロット毎に巻線回転を止める必要がなく、連続巻線が可能となるために、生産性向上も期待できる方式である。

反面、この巻線は、斜めに巻線を積み重ねる過程で巻き崩れを伴いやすいので、安定した巻線品質を確保する製造技術および品質保証技術の開発が必要となる (Table 1)。

2.1.1 巻線傾斜角度の設定

Fig. 5のように、斜向重ね巻線の傾斜角度が小さいと、1層当りの巻数が大きくなり、耐電圧設計上の余裕度が厳しくなる。逆に傾斜角度が大きいと、巻き崩れやすく製造安定性が低下するというトレードオフの関係にあり、傾斜角度設定は重要な設計ファクターである。出力性能30kVの場合、電線被覆厚さを大幅に上げることなく、耐電圧設計上の余裕度を確保するための必要最小傾斜角度は、理論上13°となるため、13°以上の傾斜角度でも巻き崩れが発生しない安定した斜向重ね巻線が可能となる製造技術の開発を行なった。

なお、イグニッションの特徴として、2次コイル内にはスパークプラグ側に偏った電位分布が発生するた

め、スパークプラグ側の層間電位差を軽減するために、低電圧側から巻き始めて高電圧側 (スパークプラグ側) に巻線が進行するに従って徐々に縮径する構造を取り入れた。

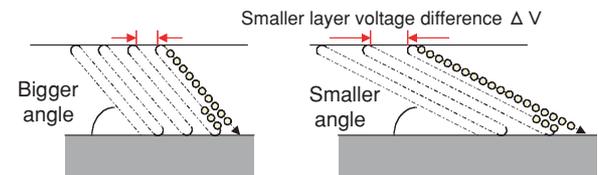


Fig. 5 Diagonally overlapped winding angle

2.1.2 巻線品質の安定化 (巻き崩れの防止)

斜向重ね巻線は、回転するポビンに対して、巻線ノズルを往復運動させながら一定ピッチで前進させながら、所望の形状に被覆電線を巻き取っていく方式である。巻き取り外径は、斜面上端近傍で大きく、下端近傍で小さくなるために、一つの巻線層を巻き取る過程で線速度が大きく変動するという特徴があり、線張力が変動するために巻線の整列性を確保しにくい。

また、斜めに巻線を積み重ねる過程で、巻線が斜面を崩れ落ちやすく、特に、斜面上に顕著な巻線凹凸部があると、後続巻線により巻線凸部が斜面下側に押し崩される現象が発生しやすくなる (Fig. 6)。

さらに、従来方式のように巻線が折り返す起点となるスロット壁がないので、特に斜面下端側の折り返し時に、巻線がポビン表面を滑って整列性を阻害しやすい。

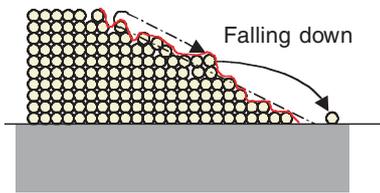


Fig. 6 Loose alignment of winding

よって、安定した巻線品質を確保するためには、①張力変動の抑制 ②巻線凹凸部の平坦化 ③ボビン表面での線滑り防止が製造技術上のポイントとなる。

まず、①の張力変動の抑制に対しては、張力を設定するドラムブレーキの他に2段階の張力ダンパーを設置した。一つは、大きな張力変動を吸収する釣り竿状のダンパーであり、もう一方は微小な張力変動を巻線部近傍で吸収する3点ローラー式ダンパーである。これら組み合わせにより、張力変動幅を従来の約1/3に低減できた。

次に、②の巻線凹凸部の平坦化に対しては、巻線間ピッチを広げ、らせん状に巻線することで、巻線が随所にダンゴ状に重なり合うのを防止した。巻線間ピッチは線径の2倍以上に設定することで巻線凹凸を十分に平坦化することができる。

さらに、③のボビン表面での線滑り防止に対しては、ボビン周上にわずかな角部を設けて巻き締め性を向上させること、およびボビン表面に巻線皮膜を傷付けない程度の軽微な凹凸を設けることで解決した。

上記により、13000r/min以上の高速巻線においても、巻き乱れのない安定した斜向重ね巻線が可能となった (Fig. 7)。

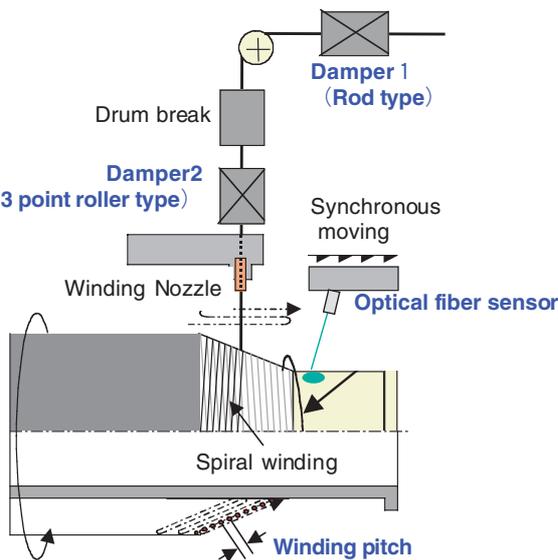


Fig. 7 Winding mechanism

2.1.3 斜向重ね巻線の製造品質保証

巻き乱れは、2次コイル巻線間の絶縁不良を誘発し、イグニッションコイルの機能不良に至る危険性があるため、1ヶの製造不良も流出させない品質保証技術が必要である。

そこで、巻き崩れ線の有無を検出するために、光電式ファイバーセンサを巻線の進行と同期して動かせる機構を設置し、巻線過程で許容巻き崩れ範囲から巻線が逸脱していないかを常時モニタリングできる巻線装置とした (Fig. 8)。

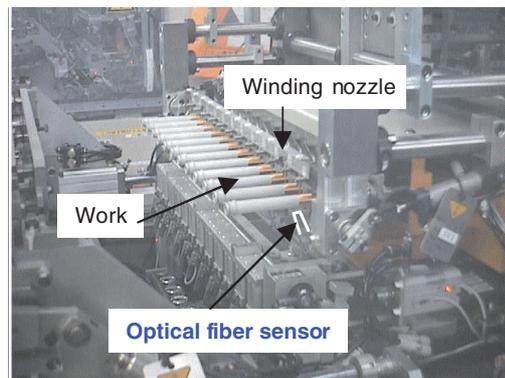


Fig. 8 Winding machine

2.2 円柱型積層コア

磁気回路部品を無駄な空間がなく同心円状に配置するために、珪素鋼板を円柱型に積層して鉄心を製造する技術を導入した。

従来の積層コアでは、同一サイズに打ち抜いた薄板鋼板を金型内で目的の枚数だけ積層して製造するのが一般的であるが、これでは必然的に四角断面形状となり、円形の搭載空間に対して有効な断面積比率（占積率）をせいぜい60%程度にししか高めることができない。今回、一枚ずつ幅の異なる鋼板を積層する工法を考案し、円柱型鉄心の製造技術を確認した。これにより前述の占積率を95%以上まで高めることができ、製品を大幅に小型化することができた (Fig. 9)。

Conventional	Developed
<p>Space factor 60%</p>	<p>Space factor >95%</p>

Fig. 9 Comparison cylindrically laminated core with conventional core

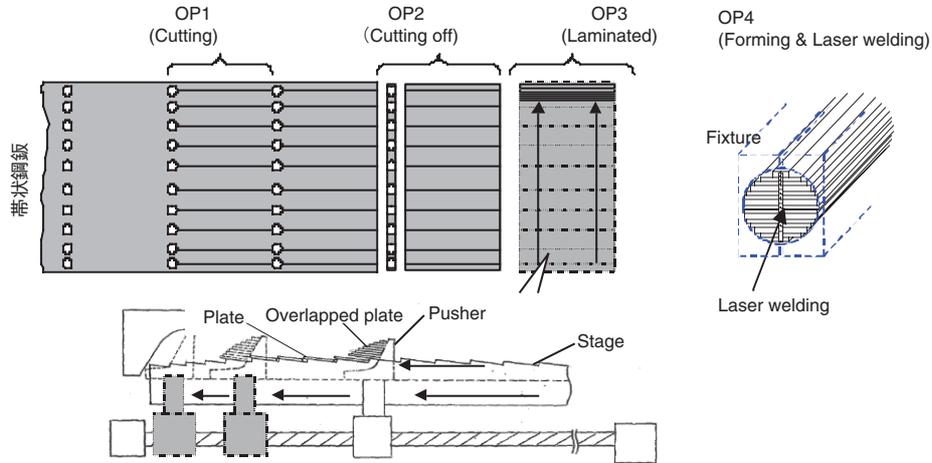


Fig. 10 Cylindrically laminated core process

製造工程の概要をFig. 10に示す。

まず、第1工程で、帯状鋼板から幅の異なる複数のリボン状鋼板に裁断し、第2工程でこれらを所定の長さに切断して1セットの短冊鋼板を作る。第3工程で、これら短冊鋼板を階段型の保持台上に並べ、第4工程では、押し出し治具を保持台に対して移動させることで、短冊鋼板を隣合う短冊鋼板上に落下するように順次積み重ねていく。積み重ね時の積層崩れを防止するために、前記階段型の保持台には上り勾配を持たせ、かつ押し出し治具には適正な受け面角度を持たせている。最後に第5工程で、積み重ねられた短冊鋼板を略円柱形になるように整形した状態で、両端面をYAGレーザー溶接して固定して完了する。

この一連の工程は、自動化システムとして実現し、高い生産性を確保している。

以上、斜向重ね巻線、円柱型鉄心の他にも、樹脂製ボビンの薄肉長尺成形、小スペースでのイグナイタとコイルの抵抗溶接、等の多数の製造技術を導入することにより、プラグホールに収納可能な小型イグニションコイルが実現した。

これら製造技術を導入したスティックコイルの工程概要をFig. 11に示す。

3. 生産システム

生産ラインは、Fig. 12に示すように、部品加工から組立、注入、検査まで一貫した高速の全自動生産システムとして実現し、高い生産性と品質を確保することができている。本自動化システムは1998年より本格的な量産体制に入り、2003年末現在で世界3極（日本国内、欧州、北米）にて約3500万本/年を生産している。

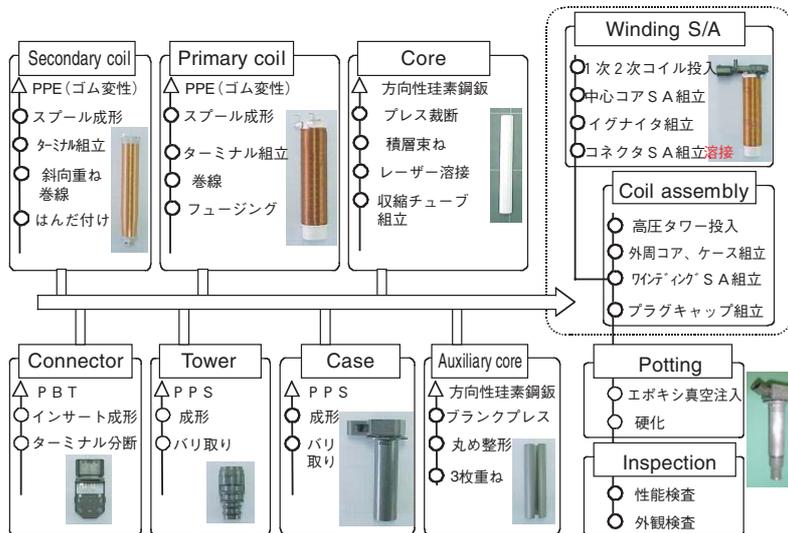


Fig. 11 Process diagram

生産ライン仕様

項目	仕様
生産能力	45万本/月
サイクルタイム	3.1秒
作業者	10人工/直
引当機種	5機種

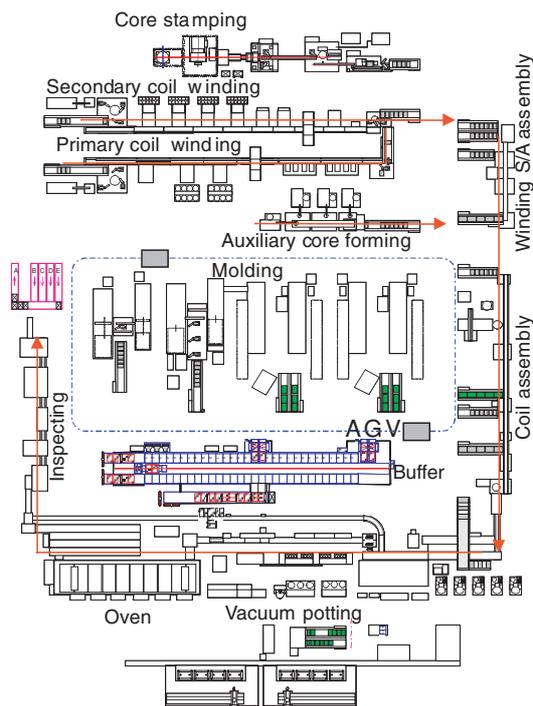


Fig. 12 Automated manufacturing system

4. おわりに

当社が1997年にスティックコイルを商品化して7年が経過した。その間、競合メーカーも追従する形でスティックコイルを市場投入してきており、現在ではこの方式が世界のデファクトスタンダードとなっている。

将来エンジン動向に対応するための点火系の開発ニーズはますます高度化かつ多様化しており、今後の製品開発においても、設計・生技のコンカレント開発はより重要になっていくと考える。

<参考文献>

- 1) 2002年度 日本機械学会賞（技術）論文
- 2) 自動車技術会学術講演前刷集（1999）No25-99, p.5.

<著者>



河野 恵介
(かわの けいすけ)
生産技術部
生産システムの開発に従事



佐藤真弘
(さとう まさひろ)
点火技術部
スティックコイルの開発に従事



田端 孝志
(たばた たかし)
点火製造部
生産システムの開発に従事