

特集 点火装置の革新的技術*

Innovative Ignition Coil Technology

青山雅彦

Masahiko AOYAMA

佐藤真弘

Masahiro SATO

Space in the plug hole can be effectively used for a small diameter cylindrical ignition coil. Consequently, this has allowed the flexibility of engine design to be drastically improved. The main innovative ignition coil technologies are:

- (1) Diagonal winding in the secondary coil
- (2) Dummy winding in the secondary coil
- (3) Cylindrically laminated core
- (4) Small molded igniter (integrated in the top of the ignition coil)

Key words : Gasoline engine, Ignition system, Design, Ignition coil, Stick, Plug hole

1. はじめに

ガソリンエンジンが登場して以来、ガソリン用点火装置は混合気に点火するという重要な役割を担っている。燃焼の開始を決定する点火装置はエンジン性能に大きく影響するので、近年の燃費規制・排出ガス規制の強化にとともに、その役割もますます重要になってきている。

ここではガソリンエンジン用点火装置の役割・基本構成・機能・革新的技術及びその将来の動向について述べる。

2. 点火装置の概要

2.1 点火装置の構成と作動

ガソリンエンジンにおいて点火プラグから電気火花を飛ばしてシリンダ内の混合気に着火をさせる装置を点火装置という。点火装置は主に点火コイル・イグナイタ・点火プラグを指すが、クランク及びカムポジションセンサを含むこともある。

点火装置の概要をFig. 1に示す。高圧縮された混合気中で火花放電を生じさせるために、点火プラグ電極間に高電圧を発生させる必要がある。このために点火コイルで高電圧を発生させている。放電を生じさせるための電圧は通常で10kV~15kV、最大では30kVを超えることもある。電流は数十mA程度である。点火のタイミングによりエンジン出力やエミッションが変化する。従って各エンジン条件において最適のタイミングで点火を行うために点火コイルの高電圧発生タイミングを制御する必要がある。点火コイルで高電圧を発生させるために電流のON-OFFを行うのがイグナイタである。そのタイミングは各種センサの信号に基づきECUで決定した点火信号で行われる。

点火コイルの高電圧発生原理をFig. 2に示す。点火コイルはバッテリーの低電圧を点火プラグで火花が飛ぶように、高電圧に変換する働きを行う。構成は中央に透磁率の大きい鉄板を重ね合わせた鉄芯（コア）があり、そのまわりに一次コイル及び二次コイルが巻かれている。

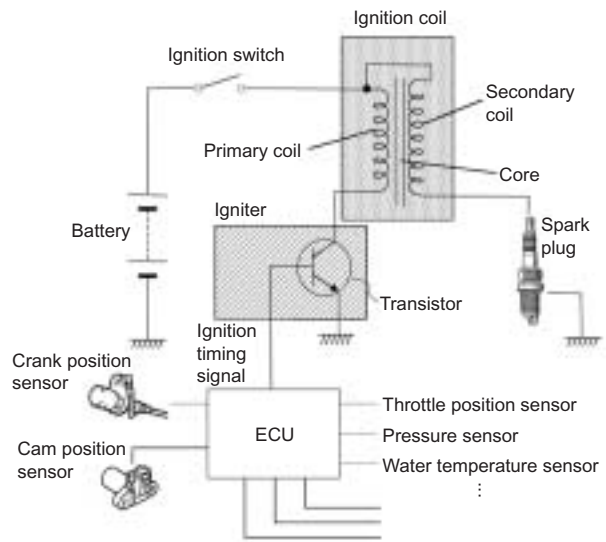


Fig. 1 Outline of ignition system

一次コイルは比較的太い線を約100~200回ほど、二次コイルは細い銅線を約15,000~20,000回ほど層状に巻いたもので、各部品間を樹脂等で絶縁している。

点火コイルの一次コイル側に電流を流すと、鉄芯は磁化し磁気エネルギーが蓄えられ、その周囲に磁界ができる。イグナイタ（トランジスタ）のスイッチングによって一次電流の遮断を行うと、磁界が変化し自己誘導作用が起これ、一次コイルに300V~500Vの電圧が発生する。このとき、磁気回路及び磁束（ ϕ ）を共

* (社)自動車技術会の了解を得て、「自動車技術」Vol. 59, No. 1, 2005より転載

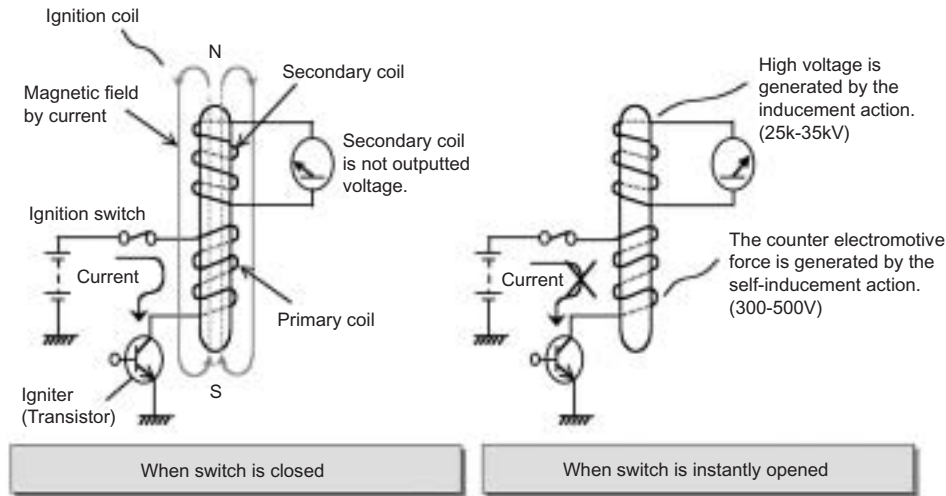


Fig. 2 Principle of ignition coil generated high output voltage

有している二次コイル側にも同時に25~35kVの高電圧が発生する。発生する電圧は $V = n(d\phi/dt)$ より、二つのコイルの巻数 (n) に比例した大きさとなる。

点火装置の動作波形をFig. 3に示す。点火信号がONになると、パワートランジスタが導通し一次コイルに電流が流れ磁気エネルギーが蓄えられる。点火時期で信号をOFFにすると、一次電流が遮断されるため二次コイルに高電圧が発生し、点火プラグで放電（ブレイクダウン）が生じる。その後、磁気エネルギーの放出による放電が0.5~2.5ms持続する。

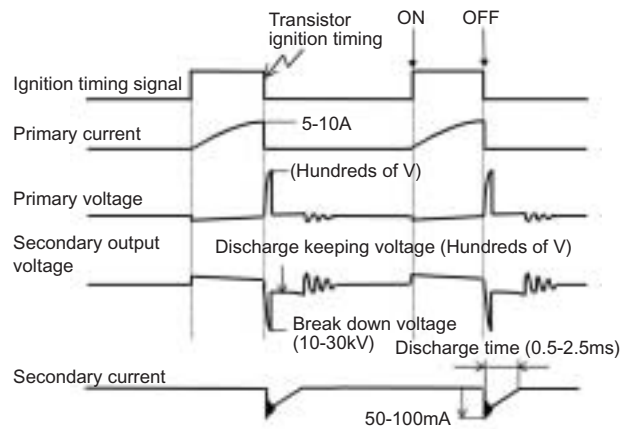


Fig. 3 Ignition coil operated waveform

2.2 点火システムの変遷

社会環境の変化に伴い、エンジンは高性能・高効率化・排出ガス規制対応・燃費向上が求められ、これに伴い点火システムにもますます複雑な制御が要求されている。搭載性向上・信頼性向上・小型軽量化は当然のこと、見映え向上も大きな課題となっている。こうした流れの中で点火システムは、Table 1に示すようにディストリビュータによる配電システムに始まり、ディストリビュータ・点火コイル・イグナイタなどを一体化したIIA (Integrated Ignition Assembly) システムを経て、ディストリビュータを廃止した電子配電システムであるDLI (Distributor Less Ignition) システムへと進化してきた。

ディストリビュータでの配電に伴う点火時期自由度の制約や電波雑音などの課題対策としてDLI化が進んでいる。

DLIシステムもD-DLI (DLI with Double ended coil) システムから、気筒ごとに独立制御できハイテンショ

ンコードが不要で搭載性も向上できるS-DLI (DLI with Single ended coil) システムに変わりつつある。

3. 点火コイルの革新的技術

3.1 プラグホール内への搭載

S-DLIシステムではディストリビュータ・ハイテンションコード等が無くなった代わりに、気筒数分のコイルが必要となる。コイルから直接プラグに高電圧を伝えるためエンジンのヘッド上部に各コイルを配置することになる。反面、エンジンのDOHC化・多バルブ化・直噴化の動きの中で、ヘッド及びヘッドカバー上部ではコイルに割り当てられるスペースを削減することが望まれている。このように相反する状況の中で、従来ハイテンションコードが挿入されていたエンジンのプラグホールを有効活用することに着目したプラグホール内に納まるコイル（スティックコイル：細径円

Table 1 History of ignition system

	Distributor	D-DLI	S-DLI
Component			
Installing	×	△	○
Radio noise	×	○	○
Energy loss	×	×	○
Control on cylinders	×	×	○

柱状のコイル) が開発された。

スティックコイルのエンジンへの搭載について、Fig. 4に示す。以降、このS-DLIシステム用のコイルでありエンジンへの搭載性を飛躍的に向上したスティックコイルの革新的技術について述べる。

3.2 従来コイルとスティックコイルの構造

従来採用されてきた矩形型の気筒ごとに搭載するコイルと今回説明するスティックコイルとの形状の違いをFig. 5に示す。矩形型コイルの場合、外観形状から分かるように□40~50mmのコイルのスペースをヘッドカバー上に確保しなければならなかった。そこで、

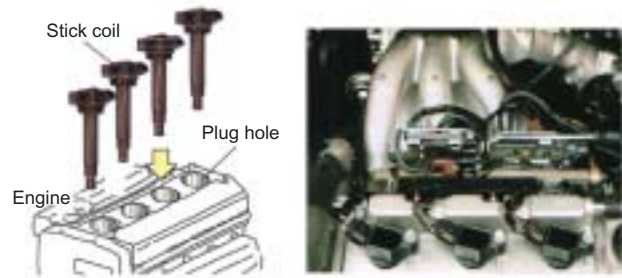


Fig. 4 Location of stick coils

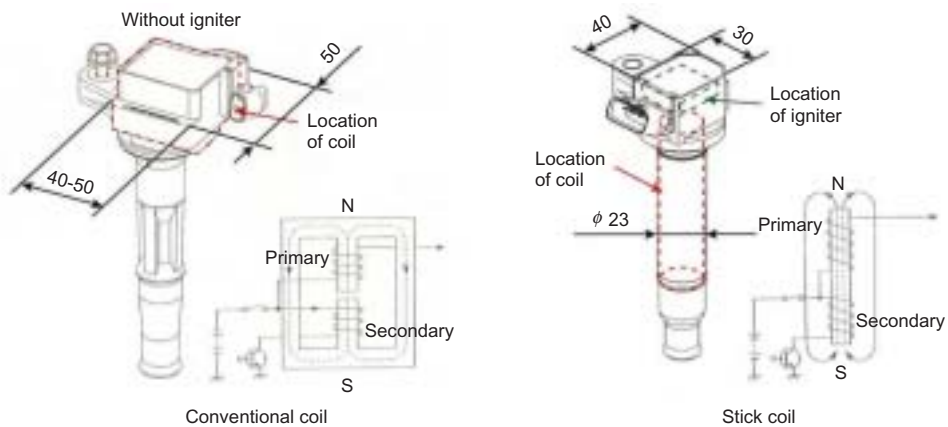


Fig. 5 Structural comparison between conventional coil and stick coil

スティックコイルではコイル部を円柱型に仕上げることにより、プラグホール内に納めることを可能とした。更に、従来の矩形型コイルのコイル部であったヘッドカバー上部には、スイッチング回路である小型イグナイタを配置する構成としている。

3.3 スティックコイルの革新的技術

スティックコイルの課題は従来コイルと同等の性能（発生電圧・点火エネルギー）・機能・信頼性を維持し、いかに細い円筒形状のプラグホールに収納するかである。このための革新的技術をTable 2に示し以下説明する。

3.3.1 斜向重ね巻き

点火コイルの二次巻線は、一端がほぼ0kV、もう一端は例えば35kVと大きな差があり、巻線1ターンごとに電位差が生じることになる。二次巻線は約20,000ターン巻いているため、1ターンごとに考えれば導線被膜で絶縁は十分であるが、数百～数千ターン分の電位が線間にかかれば（これを層間電圧と呼ぶ）とても絶縁はできない。そこでFig. 6に示すように、従来は巻き枠である樹脂製の二次スプールにつばをたて、スロットに仕切り一層当たりのターン数を減らすことで絶縁設計をしていた。スティックコイルでは、つば・スロットを廃止する巻線技術を開発しスペースの削減を行っている。

巻枠いっぱいには巻いては、前述のとおり層間電圧が上がり過ぎてしまう。巻線1往復のターン数を少なくするためにFig. 6に示すように巻線を斜めに積み重ねる斜向重ね巻きの巻線技法を採用している。

斜向重ね巻線により二次スプールのつばを廃止でき、スティックコイルとして従来のつば付きの巻線（スロット巻線）に対し、直径で10%の縮小を可能にした。

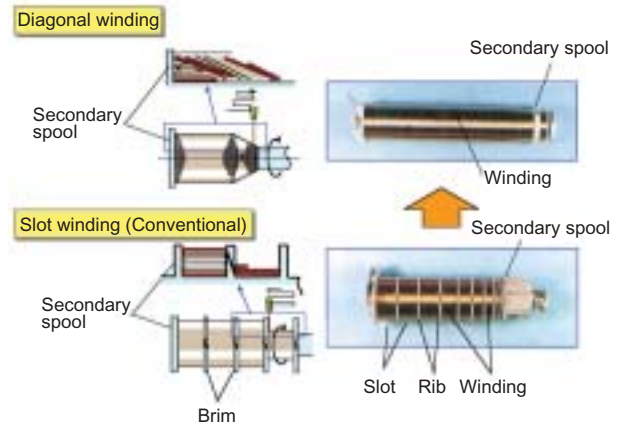


Fig. 6 Comparison between diagonal winding and slot winding

3.3.2 ダミー巻線による電界強度低減

ここでは前項同様、高電圧の絶縁に関するもう一つの技術を報告する。前述のとおり、コイルの二次巻線の高電圧側には数十kVと高い電圧がかかる。この高電圧をプラグに誘導するための最終端は、メインの巻線部を出て、コイル内で単線を引き出すことになる。その単線配置として低電圧部である一次巻線等との距離が近接していると、電界が集中し電界強度が極端に大きくなり絶縁破壊による不具合を生じる恐れがある。

従来のコイルではこの距離を離すことで対応がとれたが、スティックコイルでは細い円柱状内にすべての部品を納めなくてはならないため、この距離拡大という策がとれない。そこで、電界強度を低減するための別の方法としてFig. 7に示すダミー巻線方式を採用した。Fig. 7従来品のように、単線をそのまま引き出した不平等電界の状態と比較して、Fig. 7開発品のダミー巻線では、低電圧部と対向する部分の引き出し部に整列巻線を並べ、極力平等電界に近づけることで、最大電界強度を低くしている。

Table 2 Innovative technologies on the stick coil

	Innovative technology	Aim
1	Diagonal winding in the secondary coil	Miniaturize the coil body by the total length shortening and the outside diameter reducing and abolishing rib of the secondary spool.
2	Dummy winding in the secondary coil	Miniaturize the coil body with the alignment winding which decreases the electric field strength.
3	Cylindrically laminated core	Miniaturize that the coil body by improving lamination factor by modification the center core section from rectangle to circle.
4	Small molded igniter	Miniaturize the igniter by molding all semiconductor parts. Miniaturize the coil body by the secondary winding decrease with high withstanding voltage powered element.

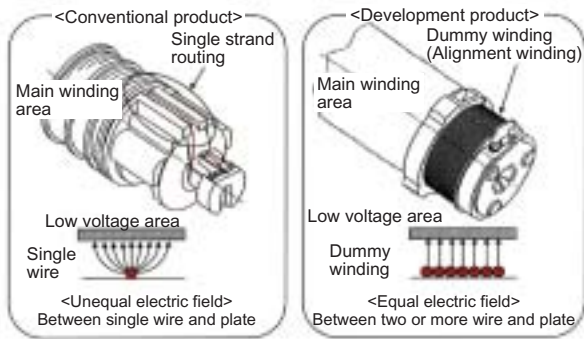


Fig. 7 Comparison between single strand routing winding and dummy winding

3.3.3 円筒型積層コア

スティックコイルの断面形状は細く円形にすることが理想であり、配置する磁気回路部品も同心上に配置することが望ましい。磁気回路である中心コアは通常珪素鋼板を同一サイズにカットし、目的の枚数を積層する。

これでは必然的に四角い断面形状となり、目的に合わない。そこで、いかに丸く積層コアをつくるかが重要になる。Fig. 8に示すように、幅の異なる短冊状の板を束ねるという方法をとることにより、円形状のコアを形成している。この円柱状コアを採用することにより、前述した四角い断面形状の積層では、占積率（円形の中にコアの断面積が占める割合）が50~70%であるのに対し、円柱型コアでは95%以上に行うことができる。

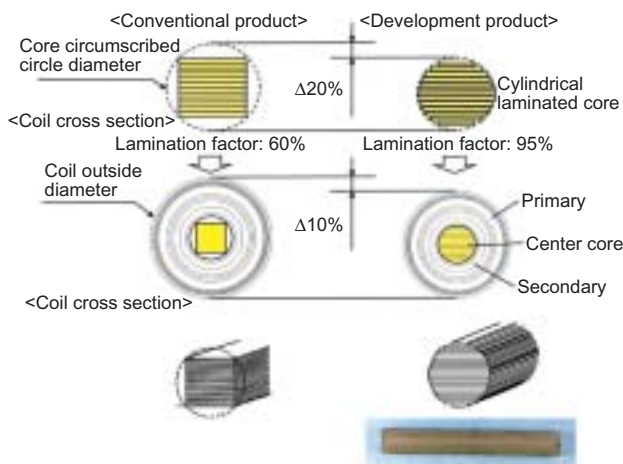


Fig. 8 Comparison between conventionally laminated core and cylindrical laminated core

3.3.4 モールドイグナイタ

スティックコイルのモールドイグナイタをFig. 9に示す。イグナイタは一次コイルの通電を遮断した際、点火コイルに発生する一次電圧に耐えられる設計が必要で、このため電圧が上がりすぎないように、一次電圧をクランプする機能（その電圧を V_2 と呼ぶ）が付いている。コイルを小型化するには、この V_2 を大きくし二次巻線数を減らすことで可能だが、イグナイタパワー素子の耐圧確保のために体格が大きくなる。そこで高耐電圧のパワー素子を開発することで、二次巻線を約30%低減することができ、スティックコイルとして従来のパワー素子使用に対し、直径で5%の縮小を可能にした。

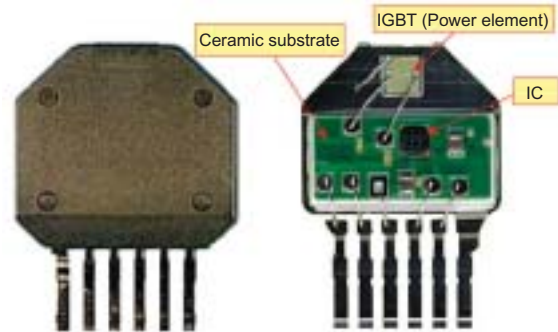


Fig. 9 Small molded igniter

二次巻線を削減できる原理をFig. 10に示す。プラグに火花を飛ばすための二次発生電圧 (V_2) は、一次発生電圧 (V_1) に、二次・一次巻線の巻数比 (N_2/N_1) を乗じた数字になるため、 V_1 を高くできれば N_2/N_1 を減らせることになる。 N_1 が変わらなければ、二次巻線である N_2 を減らせることになる。

具体的な例を挙げる。パワー素子として、バイポーラパワートランジスタ (Tr.) を使った従来のイグナイタでは、 V_2 は350V程度であるが、今回開発したIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を使ったイグナイタでは、 V_2 は500Vにできる。 V_2 を35kV出そうとすれば、 N_2/N_1 は前者では約100、後者では70となり、二次巻線が削減可能になる。

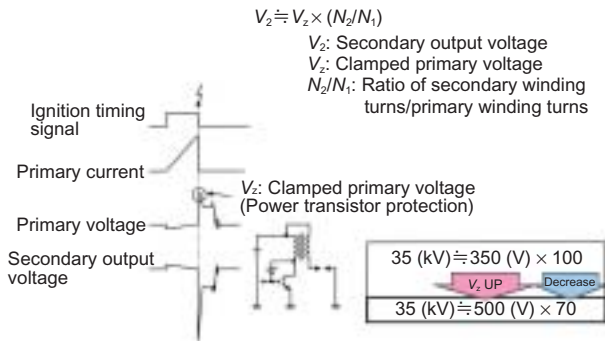


Fig. 10 Principle of the secondary winding turns decrease using with the high withstanding voltage powered element

4. 点火系の今後の動向

エンジンからみた点火系への要求項目をFig. 11にまとめた。今後エンジンは大幅な燃費改善と低エミッション化の要求に応えるために、ますますリーンバーン化や高圧縮比化へ進むと考えられる。リーンバーン化に対して点火系は、着火性・燃焼安定性・耐くすぶり性向上のために大電流や長放電が要求されてくる。高圧縮比化に対しては要求電圧低減等が要求される。更に、多点点火・可変動弁系搭載・バルブ径拡大・冷却性能向上などにより、ますます小型化が要求されてくると考えられる。

また、燃焼制御の観点からイオン電流検出、燃焼圧

センサなどでの燃焼検出が要求されている。必要ときのみ大エネルギーを供給するといった点火エネルギーのフィードバック制御も必要になってくると考えられる。

以上の点から点火系の進むであろうロードマップを示したのがFig. 12である。点火・燃焼総合制御へ向かった点火系の開発が必要になると考えている。

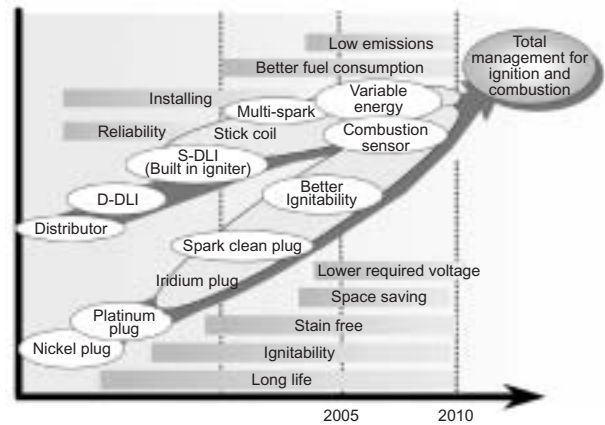


Fig. 12 Ignition system road map

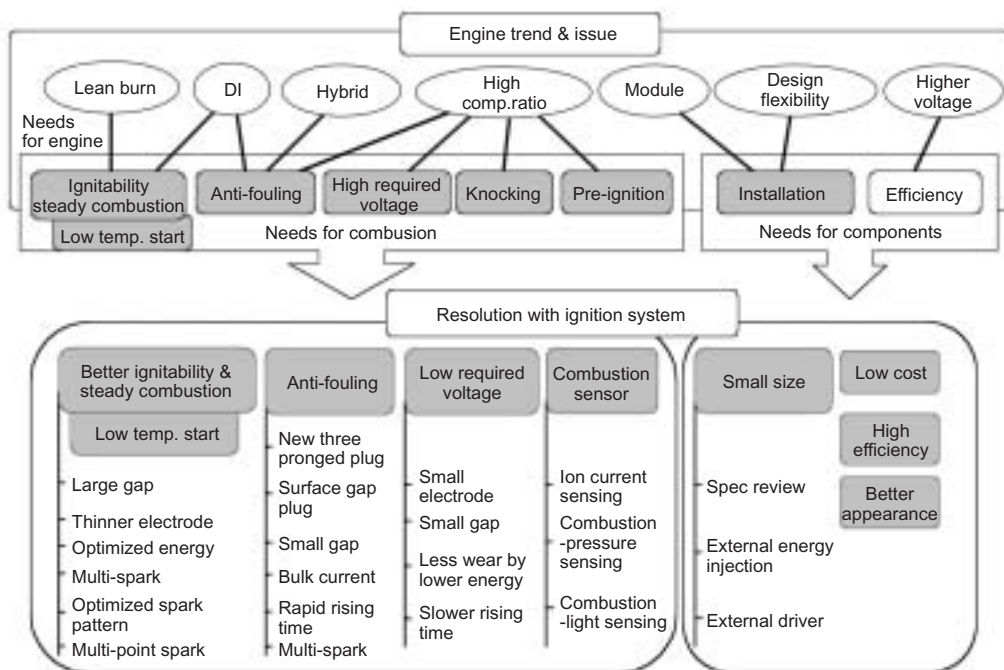


Fig. 11 Needs and countermeasure to ignition system for future engines

5. おわりに

ガソリンエンジンができて以来、点火装置は年代とともに技術革新が求められてきた。今後も高性能・高機能・高信頼性・小型化そして低コストの要求は高まると考えられ、エンジン用部品はエンジンの進化とともに進化していく必要があると考えている。

<参考文献>

- 1) 吉永，他：エンジンテクノロジー，第22号，Vol.4，No.5（2002），pp.96-101.
- 2) 大須賀，他：日本機会学会誌，2003年5月号，p.342.



<著 者>



青山 雅彦
(あおやま まさひこ)
エンジン機器技術部
四輪用点火製品（イグニッションコイル，クランクセンサなど）の
開発，設計に従事



佐藤 真弘
(さとう まさひろ)
エンジン機器技術部
四輪・二輪用点火製品全般の
開発，設計に従事