



SCUDERI ENGINE

革 新 技 術
進 化 す る 設 計



SCUDERI GROUP

1111 Elm Street, Suite 33, West Springfield, MA 01089, USA (p) 413.439.0343 (f) 413.439.0266 www.ScuderiEngine.com ©2009 Scuderi Group, LLC, All Rights Reserved

内燃機関の
新しい時代が到来しました。

（SCUDERI POWERED™）

スプリットサイクル エンジンとは？

スプリットサイクルエンジンでは、2つのシリンダーをペアにして、吸気、圧縮、燃焼、排気の4工程を分担させています。第1シリンダーは 吸気、圧縮用です。ここで圧縮された空気は、連結管(クロスオーバー管)を通して第2シリンダーに送られ、そこで燃焼、排気されます。このように、スプリットサイクルエンジンは、片側が 圧縮室、他方が燃焼室になっています。



これまでのスプリットサイクル エンジン

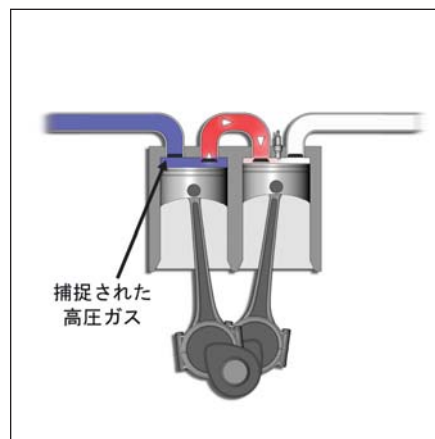
スプリットサイクル エンジンは、早くも1914年に登場しています。それ以降、多くの異なる型式のスプリットサイクル エンジンが開発されましたが、通常のエンジンほどの効率や出力は得られませんでした。

これまでのスプリットサイクル エンジンの問題点

これまでのスプリットサイクルエンジンには、**ブリージング(容積効率)が劣り、熱効率が低くなる**という、2つの問題がありました。

ブリージング(容積効率)

圧縮シリンダーに高圧ガスが閉じ込められることによって、ブリージングの問題が発生しました。新鮮な空気をシリンダーに取り込む前に、この圧縮シリンダー内の高圧ガスが再膨張するため、エンジンが取り込める空気容量が減り、容積効率が悪くなってしまいます。

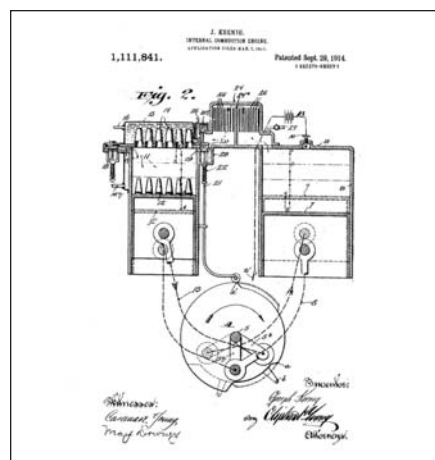


低い熱効率

スプリットサイクルエンジンの熱効率は、通常のオットーサイクルエンジンよりも常に劣っていました。その主な理由は、通常のエンジンと同様に、上死点前(BTDC)で点火しようとしていたためです。

スプリットサイクルエンジンで BTDC点火するためには、連結管に閉じ込められている圧縮空気を、燃焼ピストンがまだ上昇している間に、燃焼シリンダー内に膨張させる必要があります。このため、圧縮シリンダーで圧縮したことが無駄になってしまいます。その後さらに、燃焼側で空気を再圧縮しなければなりません。

このように連結管内の圧縮空気を燃焼シリンダーに膨張にさせるため、圧縮が2回必要になります。従来のエンジンは1回ですむので、その結果、より高い熱効率が得られるのです。



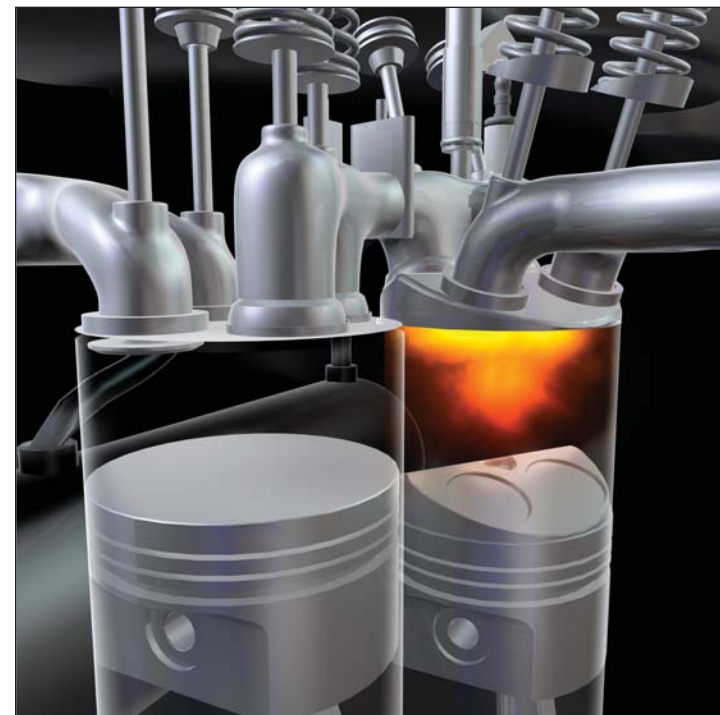
1914年のスプリットサイクルエンジンの特許図面

ではなぜスプリットサイクル エンジンが優れているのでしょうか？

Scuderiスプリットサイクルエンジンは、ブリージングと熱効率両方の問題を、**2件のユニークでかつ特許取得済みのコンセプト**で解決しました。

ユニークなバルブ設計

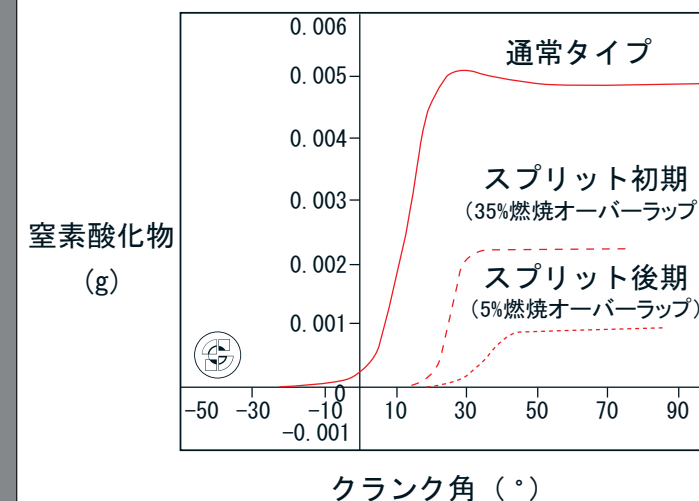
Scuderiエンジンの圧縮側の、ピストンとシリンダーヘッド間を隙間を1mm以下にすることで、ブリージングの問題を解決しました。外開きの弁を用いる事によって、ピストンをシリンダーヘッドすれすれまで動かせるようにし、圧縮空気をほぼ100%連結管に押し出すことが可能となりました。この設計によって、これまでのスプリットサイクルエンジンで発生していたブリージングの問題を取り除くことができました。



熱効率問題の解決—上死点后(ATDC)点火

ATDC点火は、エンジン設計上悪いやり方と考えられていますが、スプリットサイクルエンジンにおいては、ガス再圧縮に伴うロスを防いでくれます。スプリットサイクルエンジンでは、熱効率問題の解決自体は問題でなく、いかにATDC点火させるかが大きな課題でした。事実、**ATDC点火方法を見極める事が、Scuderiエンジン設計上の最大の突破口**になりえるのです。

予想窒素酸化物放出量



高圧と攪流

Scuderiエンジンでは、連結管内の高圧空気と燃焼シリンダー内の攪流を利用してATDC点火を達成しています。

Scuderiスプリットサイクルエンジンでは、各シリンダーが独立しているため、圧縮シリンダー内の圧縮比は爆発プロセスによって制限されません。圧縮シリンダー内圧力が、通常のエンジンの爆発時と同程度の場合、圧縮比は100:1程度になります。我が社の自然給気(NA)エンジンでは、圧縮シリンダーおよび連結管内の圧力は50バール(735psi)以上、ターボチャージ搭載(TC)エンジンでは130バール(1900psi)以上に達します。

この高圧空気が燃焼シリンダーに入ると激しい攪流が生じます。爆発時に弁をできるだけ長く開けておく事によって、この攪流がさらに激しくなり、その結果、混合気が非常に速い速度で噴霧化し、今までにない高い火炎速度または燃焼比が得られます。開始圧力が高く、火炎速度が速いので、点火後ATDC11〜15度で爆発が起こり、23度で終わります。**この結果が、従来のエンジンに比べて、効率のよい、パフォーマンスのすぐれたスプリットサイクルエンジンになるのです。**

スプリットサイクル エンジンの上死点後点火(ATDC)

Scuderiエンジンの革新的な特徴は、スプリットサイクル設計とATDC点火燃焼プロセスにあります。この組み合わせによって、真の意味でユニークな熱力学プロセスが生まれ、効率、パワー両面で新たなレベルに到達できるのです。エレガントでシンプルな設計は、さらなる機能追加、エンジン性能アップにつながります。

現在のNAプロトタイプエンジンが示すように、この設計の実現可能性、サイクル行程をわけるやり方、ATDC点火は現実のコンセプトであることが証明されています。ここを起点として、これから多くの設計改善が行われます。

自然給気プロトタイプの開発、考察および特徴

エンジン負荷制御用吸気・排気弁: 吸気・排気弁は空圧式、開口度とタイミングはどちらも可変です。弁の開閉は、内部的にエンジンの圧縮側からのエアを使って行います。部分的に負荷のかかった状態での運転時には、これらはスロットル弁の代わりとして使われます。

連結(クロスオーバー)弁: 連結管の出入端にはカム駆動の弁が付いていて、外側に開くようになっています。連結弁を閉じるために空気バネが使われ、バネ駆動用のメークアップエアは内部的にエンジンの圧縮側から供給されます。

連結(クロスオーバー)管: 連結管はエンジンの主要な制御ポイントです。圧縮後、ここで冷却されるため、ノッキングが制御できます。これは従来のエンジンでは不可能な、スプリットサイクルエンジンのみならでの特徴です。

さらに、連結管を燃焼シリンダーにどのようにつなぐかによって、空気と燃料の混合に大きな影響が出ます。また連結管の設計は、部分負荷のがかかった時にエンジンをどのように制御するかに対しても、重要な役割を果たします。

燃料供給システム: Scuderi NAエンジンには、ユニークな噴射パターンを持った、最高200バールの高圧直噴タイプのBosch製インジェクターが使われています。噴射パターン、圧力、インジェクションタイミングを調整することで、空気と燃料が適切に混合され、燃料が連結管内に閉じ込めるのを防ぐ事ができます。

燃焼ピストンヘッドのユニーク設計: 空気と燃料をよりよく混合させるため、ピストンヘッドに腎臓形のくぼみをつけました。これは、Scuderi社の特許の1つで、ユニークな設計です。

弁・点火タイミング: 弁の開閉と点火タイミングをいかに組み合わせるかが、うまく燃焼させるための1つの重要な要素になります。Scuderiエンジンは、特許を取得した弁駆動メカニズムを使用して、燃焼シリンダーに対して高速で空気を送り込み、その後、点火タイミングを制御して、ATDC燃焼行程を最適化しています。

弁のラッシュ制御: 開きを小さく、速いタイミングで外開きの弁を制御するには、ユニークなラッシュ制御装置が必要です。Scuderiチームは、連結管の様々な作動状況に対応できるラッシュ制御装置を開発し、特許を取得しました。



- 1 シリンダーヘッド
- 2 吸気口
- 3 圧縮シリンダー／ピストン
- 4 オイル ポンプ
- 5 アッパー クランクケース
- 6 ベッド プレート
- 7 オイル サンプ
- 8 フライホイール
- 9 燃焼シリンダー／ピストン
- 10 連結(クロスオーバー)管
- 11 排気口
- 12 Bosch 燃料ポンプ



ATDCのScuderiスプリットサイクルエンジンが革新であれば、このユニークなエンジンコンセプトから流れ出た設計が進化と言えるでしょう。

ターボチャージ搭載型スプリットサイクルエンジン
(高トルク、高速、超パワー、小型エンジン)

Scuderiスプリットサイクルエンジン開発の次ステップは、ターボチャージ搭載型です。連結管によって圧縮後の冷却が可能になり、ノッキングが制御できるようになったため、Scuderiスプリットサイクルエンジンを絶対圧力2.5バール以上までターボチャージで引き上げる可能性が出てきました。従来のガソリンエンジンでは、たった絶対圧1.5バールまであげただけでノッキングがおきます。

その結果、高い正味平均有効圧(BMEP)と高トルクが得られます。事実、Scuderiスプリットサイクルエンジンのトルクは他のほとんどのターボチャージ搭載型ディーゼルエンジンと同等、またはそれ以上ですが、定格速度は6000 rpmまで出す事が可能です。このように、ディーゼル並のトルクとガソリン並みのスピードを併せ持っている事で、どの従来型エンジンよりも高いパワー密度が出るのです。**Scuderiスプリットサイクル・ターボチャージ搭載エンジンは6000 rpmで135 hp/Lの定格パワーを出す事も可能です。**

Scuderiエンジンによって、性能を妥協する事なしに、エンジンを大幅に小型化(燃料消費量とCO2排出量を低減)する事が可能となりました。

Scuderiスプリットサイクル・ディーゼルエンジン
(排ガスの低減)

Scuderiスプリットサイクルエンジンをディーゼルに応用する一番大きなメリットとして、排ガスの低減があげられます。2010年から適用される厳しい排ガス規制によって、ディーゼルエンジンの性能が下がると同時に、コストが劇的に上がります。

ScuderiエンジンのATDC点火による燃焼行程には、煤とNOxを共に減らすという、まれな効果があります。これは、Scuderiエンジンの燃焼シリンダーの平均温度は高いのに、ピーク温度は従来のエンジンよりも低いからです。高い平均温度と攪流によって煤が減ると考えられています。また一方で、ATDCで点火された際、燃焼ガスが急速に膨張するため、ピーク温度が低くなり、その結果NOx排出量が85%も減ります。

Scuderiスプリットサイクルエンジンは、コストが高い後処理システムなしに排ガスを新たなレベルまで低減させる、ユニークな機会を提供します。

Scuderi スプリットサイクルエンジンの約束

革新的なScuderiスプリットサイクルATDC点火エンジンと、それを自然給気、ターボチャージ、エアーハイブリッド、ディーゼルに進化させる事によって、Scuderiスプリットサイクルエンジン技術は、今日のみでならず将来においても、エンジンに要求される、効率・パワーアップ、コンパクト化、排気ガス低減等に対して、シンプルでエレガントなソリューションを提供します。

エア ハイブリッド設計

Scuderiエンジンは片側がコンプレッサー専用で、もう片側がエンジンなので、単純に別の空気タンクと制御機能を加えるだけで、通常運転時のエネルギーロスを利用するハイブリッドシステムに変換する事ができます。

ターボチャージ搭載エンジンは130バールで運転するので、相当量のエネルギーを空気タンクに蓄える事ができます。燃焼消費を節約するためには、アイドル時のエンジン・オフ、空気のための運転、圧縮シリンダーのオフロード、回生ブレーキなど、様々なエンジン制御方法があります。

Scuderiエア ハイブリッドは、性能を犠牲にすることなく、コスト効果の高いハイブリッド ソリューションを提供します。

P-V曲線

圧縮空気をもつエネルギーがどうシステムの効率を増加させるのでしょうか？

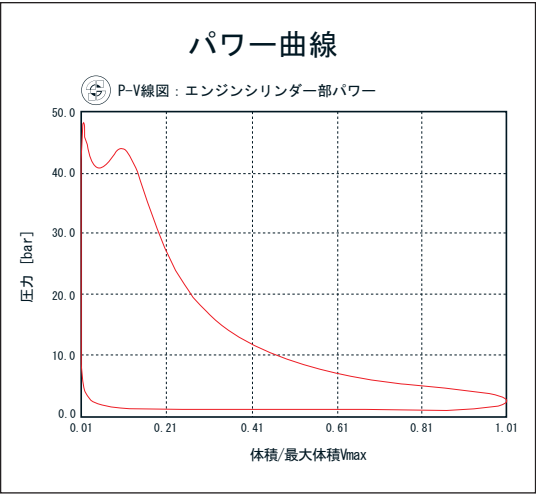
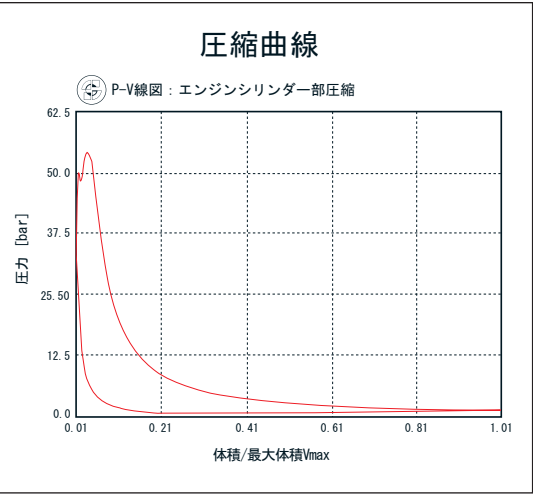
そのカギは熱力学的な圧力と体積の変化であり、それによりエンジンが機械的な仕事をします。

内燃機関は、圧縮と膨張の2段階の高圧のストローク工程で、燃料を消費してエネルギーを得ます。圧縮工程は負の仕事を行います。つまりエンジンがガスに仕事をしてエネルギーを消費します。膨張工程は正の仕事を行います。つまり燃焼により膨張するガスがエンジンに仕事をし、エンジンがエネルギーを得ます。

エンジンから得られる正味のエネルギー（エンジン効率）は、燃焼工程から取り出せるエネルギーから圧縮工程で消費されるエネルギーを差し引いたものです。P-V曲線下の面積が各工程で消費されるまたは得られるエネルギーに相当します。

Scuderiスプリットサイクルエンジンから得られる正味エネルギーは、これら2本のP-V（圧力・体積）曲線の面積の差になります。

エンジンが空気タンクに貯蔵されている圧縮空気で作動している間は、圧縮によるロスほぼゼロです。その結果、この方式で作動するエンジンの効率は、本質的に膨張曲線下の面積に等しくなります。



Scuderi スプリットサイクル設計の利点

- A Scuderiスプリットサイクル技術の最大の利点の1つは、設計の柔軟性です。通常のエンジン設計であれば、追加の機器が必要であるか、導入が非常に困難な多くの機能が、Scuderiスプリットサイクルであれば簡単に実現できます。例えば、単に圧縮側のシリンダーの直径を大きくするだけで、スーパーチャージャーを追加することができます。
- B 圧縮側と膨張側のシリンダーをオフセットすることで、ピストンの摩擦抵抗を減らすことができます。
- C 単に膨張側のシリンダーの長さを長くするだけで、ミラー サイクル機能を得ることができます。
- D Scuderiスプリットサイクル エンジンでは、エンジンの排気からエネルギーを回収するためにターボチャージャーを使うことができます。ターボチャージャーからの加圧空気を圧縮側のコンプレッサーに導入することで、圧縮に必要なエネルギー量を低減することができます。過給エンジンの運転モードでの正味のエネルギー収支は、Scuderiスプリットサイクル エンジン特有のもので、通常のエンジン技術では得られないものです。

Scuderi エア ハイブリッド エンジン
現実的な最初のハイブリッドシステム

- E ノーマル運転モード: Scuderiスプリットサイクル エンジンは、専用コンプレッサーであり、エンジンでもあるので、単純に空気貯蔵タンクと制御装置を追加することによって、エンジンの運転時に通常失われるエネルギーを取り込んで貯蔵できるハイブリッドシステムに転換することができます。
- F 回生ブレーキモード: 車とエンジンが連結されている状態で膨張側のシリンダーを切り離し、圧縮された空気が空気貯蔵タンクに導かれるようにすると、車の運動量がエンジンを回し続け、従って空気を圧縮し、後で使用できるように圧縮空気をタンクに貯蔵します。
- G 高効率モード: 圧縮側のシリンダーを切り離し、タンクに貯蔵された圧縮空気を膨張側のシリンダーに導入すると、圧縮によるロスがほぼゼロに近くなり、高効率モードとなります。
- H クルージングモード: 高効率のクルージングモードでは、圧縮側のシリンダーで圧縮された空気の一部だけを膨張側のシリンダーに供給します。残りの圧縮空気は、空気タンクに送られ、後で使用できるように貯蔵されます。空気貯蔵タンクが満タンである限り、圧縮側のシリンダーは切り離され、車は高効率モードで運転されます。