

〔論文〕

エンジンの燃焼に及ぼす空気負イオンによる 励起作用の影響

渡邊 孝司*¹・池田 秀*²・梶山項羽市*²・松村 光晃*³Effects of Excitation Phenomenon by Air Negative Ions
on Engine Combustion

Takashi WATANABE

Shigeru IKEDA, Kouichi KAJIYAMA, Mitsuteru MATSUMURA

Abstract

It is known that introducing an electric field, magnetic field, radiation, etc. to the flame improves the combustion characteristics of engines and boilers; such as an increase in the size of the flame, a shortening of combustion period, a rise in combustion efficiency and a reduction of emissions. In this study, the researchers consider the results of previous experiments in which radiation and air negative ions are excited to measure the practical effects of these combustion phenomena toward the reduction of fuel consumption, emissions and environmental load. As a result, the authors have estimated that combustion is improved when a large amount of OH·CH radicals are generated in the field of combustion.

Keywords : excitation phenomenon, combustion, engine, boiler, negative air ions, OH·CH radicals, radiation

1. まえがき

低線量の放射性物質を含む希土類鉱物の「モナズ石(モナザイト)」などは、国内では長野県大町市高瀬川で産出し、微量のラジウムを含むことで有名である。これらのラジウム鉱石、モナズ石等からは低線量の放射線が放射されるが、このような低線量の放射線により、生理機能の刺激効果、すなわち放射線ホルミシス効果が得られることが知られており、ラジウム温泉等に應用されている。また、これらは水質の殺菌や軟水化作用があることも知られており、筆者は1988年にこれらの希土類鉱石を内燃機関の燃料消費率の低減効果があることを期待して供用したところ、5～10%の低減効果⁽¹⁾が確認された。

第一次と第二次の相次ぐオイルショックにより、当時石油系燃料の高騰が段階的に続き自動車用燃料のガソリン、軽油等の燃料消費率の低減が強く要求されていた。当時、久留米工業大学の内燃機関研究室にベンチャー企業から持ち込まれたセラミックをガソリン機関とディーゼル機関に試用したところ、数パーセントの燃費と排気ガス低減、特にディーゼル機関の排気黒煙の大幅な低減が見られ、その原因究明をすることにした。

以来、24年間に亘って実用化支援をする傍ら、燃費低

減の原因について研究⁽¹⁾⁻⁽¹¹⁾を実施してきた。本技術の応用改質器は約10年前から国内外で徐々に認知され、大型トラックはもとより2006年と2007年にNEDO18、19年度第一次エネルギー使用合理化支援事業の補助金申請が承認され12隻の大型フェリーに採択された。さらに、平成20～23年度に国土交通省の「内航運行効率化・高度化調査事業」、「離島航路効率化・利便性調査事業」や「海上交通低炭素化促進事業」にも採択され72隻余の船舶に補助金が給付された。このような技術の発明⁽³⁾⁻⁽⁵⁾に基づく国内外の販売実績と開発技術に対して、平成23年度発明協会関東地方発明表彰、発明奨励賞「セラミックの放射による内燃機関の性能改良」(2011年)を受賞することができた。

したがって、本技術の発明、開発、実用化に至る24年間のまとめとして、内燃機関や外燃機関の燃焼における励起現象として捉え、その理由について過去の実験結果と最新の燃料火炎可視化実験結果を基に考察を試み、さらに、電子式空気負イオン発生器を用いて実車台上試験を実施したので報告する。

*¹ 久留米工業大学名誉教授
平成25年11月15日受理

*² 大学院自動車システム工学専攻

*³ 交通機械工学科

2. 燃焼に及ぼす励起作用

2.1 励起作用

「励起作用」とは原子や分子の再外殻にある電子が外部からのエネルギー（電場、磁場や放射線など）によって、高いエネルギーの軌道へ移行して、その後、安定状態に戻るが、このとき光、電子やイオンなどを出すことを言う。よって、放射性希土類鉱石を用いた空気負イオン発生方式が、励起作用の一つであることは公知の事実である。

火炎が導電性をもっていることは公知の事実であり、シリンダ内の火炎の検出にイオン電流を利用して火炎速度を測定するのに利用されており、本技術の火炎速度の検出⁽⁵⁾にも応用した。燃焼に及ぼす励起作用については、火炎に電場を与えると火炎形状が変化して燃焼速度も変化することは、1924年以降88年間に亘り多くの研究者によって観察、報告されてきたが、原理については未だに完全には明確にされていない。

2.2 励起作用の歴史と研究概要

これらの燃焼に及ぼす励起作用の歴史と研究の概要を表1に示す。これらの研究の中で先駆的な研究者は Malinowski et al.⁽¹²⁾で1924年に同心円管内の燃焼速度が電場の付与により増加することを示している。以来、Guenault et al.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾、Calocate et al.⁽¹⁵⁾、や Kono et al.⁽¹⁶⁾が、電場により予混合火炎の燃焼速度や噴流予混合火炎の安定性を向上させた例を報告している。

また、1976年に Asakawa⁽¹⁷⁾は「火炎に電場を与えると燃焼が促進する。」と *Nature* に発表し、この効果は “Asakawa Effects” と呼ばれて当時世界中に名をとどろかし有名である。さらに、浅川⁽¹⁸⁾は1987年に“浅川効果”の現象をより解明し燃焼の場に電場をかけると火炎形状が変わり、燃焼速度も変化することを観察し、また、燃焼、熱伝達、蒸発促進や植物の成長促進への応用についても詳述している。最近では1998年に Fujita et al.⁽¹⁹⁾が

燃焼の場に磁場を付与することにより火炎への酸素供給が増大し、全燃焼に要する時間が短縮することを示した。

燃焼に及ぼす励起作用は、ほとんどが電場と磁場の影響であり、ソビエト連邦、欧州と日本における研究の概要は、ほぼ類似の現象である。すなわち、燃焼の場に電場や磁場を付与することにより、燃焼速度の増加、火炎面積の増加、予混合火炎の安定性の向上、燃焼の促進、熱伝達の促進、酸素供給の増大や燃焼時間の短縮などが確認されている。

ただし、燃焼の励起作用に放射線セラミックを用いた例は、著者の知る限り渡邊⁽¹⁾が1992年に発表したのが最初である。渡邊は1992年に放射性元素を含むセラミックを内燃機関の空気または燃料に接触させることにより、燃費率と排気ガスの低減の可能性を実証し、このような作用を「燃焼における励起現象⁽⁶⁾」と名付け吸入空気に供するものを「空気触媒」、および燃料に供するものを「燃料触媒」と名付けた。以来、国内外で24年間に亘り開発、研究を実施して実用化に成功し、NEDOや国土交通省からも補助金の認定を得て社会貢献をするともに省エネ商品として広く認知されている。

3. 励起作用の分類

燃焼に及ぼす励起作用の研究の歴史は電場や磁場についてが、ほとんどであるが可能性のある他を含めた燃焼に及ぼす励起作用の分類を表2に示す。

3.1 遠赤外線

遠赤外線はセラミックス等を燃料タンクに投入して遠赤効果による燃焼の活性化と謳った商品は現在でもあるが、著者の知る限りその効能は期待できないと思われる。その理由として遠赤外線のエネルギーが0.12eV ($\lambda = 10 \mu\text{m}$) と小さいことと、熱そのものを連続的に吸収しない限りエネルギーを放射できないことである。

また、著者は過去に放射性希土類元素を含むセラミッ

表1 燃焼に及ぼす励起作用の歴史と研究の概要

年代	研究者名	研究の概要
1924	Malinowski ⁽¹²⁾	電場により予混合火炎の燃焼速度が増加する。
1931 1932	Guenault et al. ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾	燃焼速度の向上は電場の付与により火炎面積が増加し、これが見掛けの燃焼速度を増加させる。
1951	Calocate et al. ⁽¹⁵⁾	磁場の付与により噴流予混合火炎の安定性を向上できる。
1971	Kono et al. ⁽¹⁶⁾	電場により煤粒子の生成を制御できる可能性がある。
1976	Asakawa ⁽¹⁷⁾	火炎に電場を与えると燃焼が促進する。(Asakawa Effects)
1987	浅川勇吉 ⁽¹⁸⁾	燃焼の場に電場をかけると火炎形状が変わり、燃焼速度も変化することが観察された。燃焼、熱伝達、蒸発促進への応用について詳述。
1998	Fujita et al. ⁽¹⁹⁾	磁場の付与により火炎への酸素供給が増大し、全燃焼に要する時間が短縮される。
2003	渡邊孝司 ⁽⁶⁾	放射性元素を含むセラミックを内燃機関の空気または燃料に接触させることにより、燃費率と排気ガスの低減の可能性を実証し、このような作用を励起現象と名付けた。

表2 励起作用の分類

名称	方式	特色	エネルギー
電場・磁場	電場・電磁石、永久磁石（浅川効果）	火炎に電場・磁場を与えると燃焼速度が増加	
遠赤外線	セラミック、各種鉱石類による電磁波効果	特定の放射体と波長で高効率加熱	0.12eV* ($\lambda = 10\mu\text{m}$)
石英斑岩	トルマリン	圧電（ピエゾ）効果と焦電（パイロ、ピロ）効果によるマイナスイオンの発生	2-10eV（静的） 両効果が作用すると100万 eV
希土類鉱石	トリウム、ウラン含有天然鉱石（セラミック）	放射線 α 、 γ 、 β 線放出に伴うマイナスイオン発生および燃料改質 マイナス空気イオンおよび燃焼時におけるOH ⁻ 基**の発生	4.32eV（C-H結合の切断エネルギー） 5.23eV（OH基のエネルギー）
超音波	超音波発振回路	電氣的に振動子を超音波で振動させて対象物にエネルギーを与えてミクロンサイズの微細粒状化が可能	

* 1 eV = 1.602 $\times 10^{-19}$ J **C（炭素）-H（水素）分子結合を切断するエネルギーは4.32eV、OH基のもつエネルギーは5.23eV

クスとそのバインダーであるセラミックスの両者を燃料タンクに浸漬して実車走行とエンジンベンチ試験を行って、後者のセラミックスのみでは燃費の向上と排気エミッションの低減は得られなかった経験がある。したがって、遠赤効果は全く無いとは言いがたいが、あるとしても微々たるものと解釈できる。

3.2 石英斑岩

石英斑岩（トルマリン）はピエゾ・パイロ効果による空気負イオン放出効果で静的な状態では2～10eVと低い分極電圧であるが、衝撃と温度付加により約100万倍の分極電圧が生じて空気負イオンが大量に放出される。このトルマリン粉末を含有する耐熱塗料をエンジンのシリンダ・シリンダヘッドや排気管に塗布することにより、空気負イオンが吸入空気に加付されて燃焼時に励起作用を与える。この技術⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾は最近、船用エンジンで実用化されている。

3.3 希土類鉱石

希土類鉱石はトリウム、ウランの微弱レベル放射能元素を含む天然鉱石をセラミックスとブレンドしたものを吸入空気放射することにより、放射線の α 、 β 、 γ 線が空気に作用して空気負イオン化を促進するものである。この作用は前述の石英斑岩と同じように空気負イオン発生のため混合気形成の促進と燃焼時のOH・CHラジカル（基）形成による燃焼速度を増加させ、燃焼時間を短縮して燃焼の促進化に寄与するものと思われる。空気負イオンの付加により燃焼時間の短縮現象⁽⁶⁾⁽⁷⁾は実証済みである。

3.4 超音波

燃料の微粒化法として超音波があり、燃料の霧化促進やエマルジョン燃料作成等に利用されているが、この方

法は励起作用の範疇に入るので試してみた。超音波は超音波発振回路を用いて電氣的に超音波を発振させ、燃料をミクロンサイズに微粒化させて混合気形成を促進することにより燃焼を改善する方法であるが、5～10%の燃費改善の効果が認められた。しかし、加速時のように一度に多量の混合気を要するときに応答性の遅れと、またガソリンエンジンに用いた場合に、ガソリン粒子同士の衝突時の発熱により自発火する可能性があり、実用性は無いものと判断される。

空気負イオンを用いた石英斑岩や希土類天然鉱石などを用いた燃焼における励起作用は電場、磁場と同様の現象を生じることが明らかであり、燃焼時において共通の化学作用が発生しているものと予想され、今後もこの現象の解明が課題である。

4. イオン化作用

最も単純な原子である水素、燃焼対象物の炭素、燃焼に不可欠な酸素及び酸素とともに空気を組成する窒素について、外部からのエネルギー付加によるイオン化現象の例を図1に示す。イオン化する前の原子は原子核内の陽子とその外殻を回る電子の数が同じで、陽子は正の電荷を、電子は負の電荷を有して通常は中立状態で安定している。この状態で外部から何らかのエネルギーが付加されると陽子の数は変化せず、最外殻の電子数が1～4個増加または減少することによって各々負イオン（negative ion）や正イオン（positive ion）が発生すると学術的には定義されている。そのイオンの増減の個数に対して各々2、3、4個の負あるいは正イオンと呼ばれる。

水素は図1に示すようにイオン化すると正イオンになり易く、窒素と酸素は負イオンになり易く、炭素は負イ

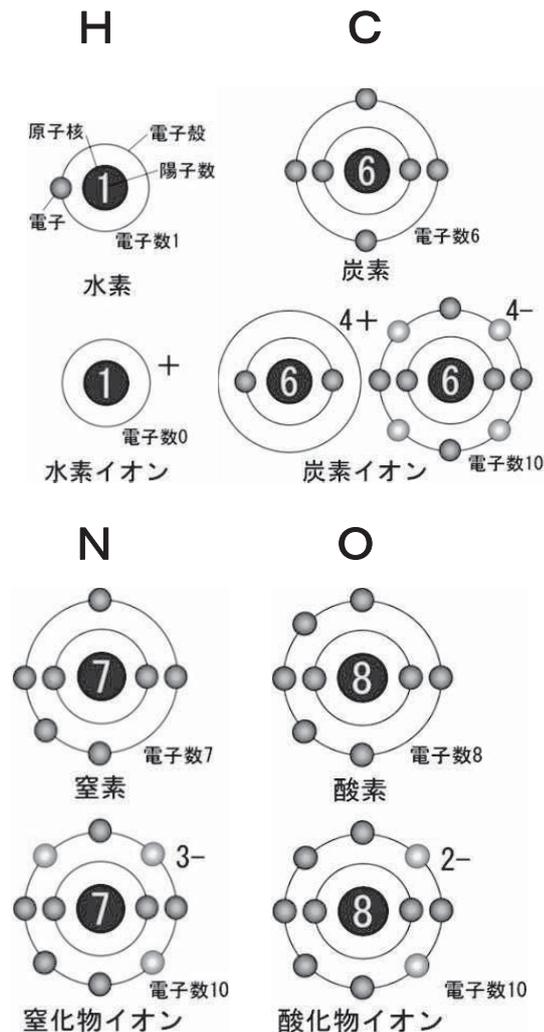


図1 水素、炭素、窒素、酸素のイオン化

オンにも正イオンの両者にもなり易いが、結果としてどちらにもなりにくい特徴を有する。

なお、商業用として用いられている「マイナス・イオン」、「プラズマ・クラスター・イオン」や「ナノイー」は厳密には「負の空気イオン (negative air ion)」で学術用語の「負イオン」とは異なり、空気中の原子や分子がマイナスの電荷をもっている。逆に大気中に何らかのエネルギーが作用すると、気体の分子からマイナスの電荷をもった電子が放出されると「プラス・イオン (正の空気イオン), (positive air ion)」が生じる。

したがって、その電子が他の分子に飛び込んだ時に「負イオン」が発生すると言われている。しかしながら、負イオンの正体、即ち、どんな物質から成るのが確定されていない。また、正イオンと負イオンは不安定なので寿命は短く、数秒以内に元の中立状態に戻るものと考えられている。これらのイオン発生励起作用として水破壊 (レナード) 方式、コロナ・パルス放電方式や放射線物質方式等がある。

5. OH 基および CH 基の生成

燃焼火炎の反応帯では電子的に励起された中間生成物が一時的に形成されるが、特に OH 基と CH 基は励起状態で生成され、OH 基は早い状態から生成され燃焼反応の支配的要因を果たして燃焼促進などの重要な役割を負っている⁽²⁰⁾。また、OH 基は寿命が長く、燃焼中に広く分布する特性を有すると言われている⁽²¹⁾。OH 基と CH 基の炭化水素の燃焼中における励起状態を式 (1)⁽²¹⁾と式 (2)⁽²¹⁾に示す。



* : 励起状態を示す

式 (1), (2) の反応速度は各々 CH 基と O₂分子および C₂分子と OH 基の積に比例するから燃焼促進に寄与することになる。本研究においては励起作用により燃焼時に OH 基や CH 基の生成が増加することにより燃焼が促進したものと推測している。

6. 空気触媒と燃料触媒における励起作用

6.1 空気触媒と燃料触媒

本技術の励起作用は希土類鉱石のトリウム (ThO₂)、ウラン (U₃O₈) の微弱レベル放射能元素を含む天然鉱石を SO₂, Al₂O₃などのセラミックスとブレンドしたものをを用いており、その組成と放射レベルを表3, 4に示す。この微粉末をステンレス薄板に糊付けした可撓性シートを空気触媒 (IPS) といい、これをエンジンの吸気管内に円筒形にして設置して用いる。また、微粉末を直径5

表3 希土類鉱石の材料組成

Substance	Content (wt%)	Substance	Content (wt%)	Substance	Content (wt%)
F	0.67	CaO	0.38	Pr ₆ O ₁₁	0.48
Na ₂ O	0.40	Fe ₂ O ₃	0.61	Nd ₂ O ₃	1.3
MgO	0.087	Kr	0.020	Sm ₂ O ₃	0.29
Al ₂ O ₃	16.0	Pb ₂ O ₃	0.019	Cd ₂ O ₃	0.21
SiO ₂	64.0	Y ₂ O ₃	0.22	PbO	0.042
P ₂ O ₅	5.2	ZrO ₂	0.71	ThO ₂	0.77
SO ₃	0.014	La ₂ O ₃	1.6	U ₃ O ₈	0.020
K ₂ O	3.5	GeO ₂	3.4		

表4 希土類鉱石の放射能

Substance	²³² Th (²²⁸ Ra)	²³⁸ U (²²⁶ Ra)
Radioactivity (Bq/g)	38.6 ± 0.4	5.1 ± 0.2



図2 空気触媒 IPS(左上)と燃料触媒 IPT(投入式, 通過式)

mmの粒状成形後に約1600Kで焼成したものを缶体に詰めて燃料パイプ間に挿入, 設置して用いるものを通過式燃料触媒 (IPT, FC-400) という。空気触媒と燃料触媒の外観を図2に示す。

6.2 空気触媒の線量等量と正負イオン数

空気触媒の線量等量と正負イオン数を表5に示すが, 線量等量についてはシンチレーション・サーベメータ (アロカ TCS-161), およびイオン数は空気イオンカウンター (アンデス電気 ITC-201A) を用いた。IPSの取付けは様々な吸気系への設置を考慮して平面および円筒形について計測した。これらの測定値は密閉した無風状態の部屋 (4χ7χ3 mH) で測定し, 線量等量は1分間,

表5 IPSの線量等量と±イオン数
大気圧: 755.2mmHg, 気温26.5℃, 湿度62.2%

Vertical Direction to Flat Center (180χ260)				
Distance	Dose (μSv/h)		Number of Ions (χ 10 ³ /cc)	
	β(γ)	γ	+	-
0 (mm)	5	0.8		
10	4	0.6	192	202
20	4	0.5	249	293
30	3	0.5	217	237
50	3	0.4	125	139
70	2	0.3	85.2	129
100	2	0.3	33.2	39.1
200	0.8	0.3	14.9	12.7
300	0.4	0.3	10.4	8.31
400	0.4	0.3	5.08	4.28
500	0.3-0.4	0.3	4.55	2.99
Room	0.3-0.4	0.3-0.4	2.48	1.54
Cylinder				
Size	Dose (μSv/h)		Number of Ions (χ 10 ³ /cc)	
	β(γ)	γ	+	-
φ65x260	4	0.4	445	428
φ85x180	4	0.3	297	292
Room	0.3-0.4	0.3-0.4	2.48	1.54

および正負イオン数は3分間の平均値とした。

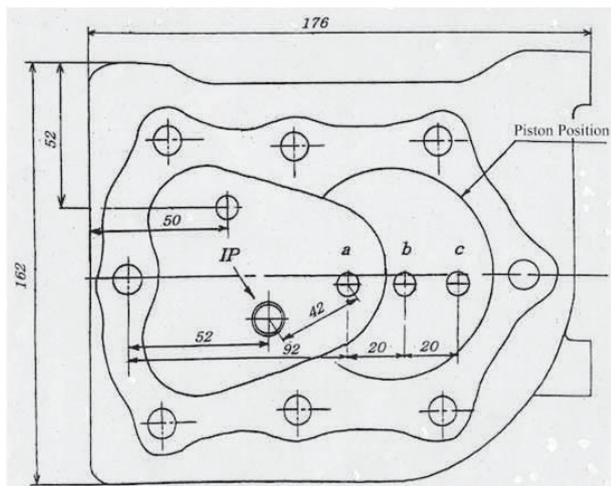
その結果, IPS平面中央の垂直方向における線量等量は距離0mmでβ線, γ線とも最も大きく, 各々5, 0.8 μSv/hで平面上から離れるにしたがって両者とも減少するが, 70mmでγ線は室内レベルと同一の0.3μSv/hで, このときβ線は2μSv/hであった。β線の線量等量はIPS表面からの距離にかかわらず, γ線の約7倍の線量を示した。正負イオン数は距離20mmのとき最大で, 正イオン数の249χ10³/ccは室内の100倍で, また負イオン数は293χ10³/ccで室内の190倍を示し, 距離が30mm以上になると正負イオン数は急激に減少した。これは正負イオンともある距離以上になると急に拡散するためである。また, 負イオン数は正イオン数に対して距離に関係なく1.05から1.52倍となり負イオン数がやや多かった。室内のイオン数を見てみると正イオンは2.48χ10³/ccで負イオン数より1.61倍と多かった。

IPSを円筒状にした場合の線量等量と正負イオン数の測定は, 円筒の端面に検出器を設置して測定した。円筒状にしたときのβ線は円筒径φ65およびφ85とも4μSv/hでγ線の0.4, 0.3μSv/hの約10倍以上を示した。なお, このときγ線は室内と同じ値であった。正負イオン数は円筒径φ65がφ85より1.5倍多く, 正イオンは445χ10³/ccおよび負イオン数は428χ10³/ccを示した。この事実は上記の平面状の測定結果より, 円筒状の半径が20mmに近くなるほど正負イオン数増えることを実証している。したがって, IPSは平面使用よりも円筒状で使用したほうが, イオン数は多く得られることが理解できる。

以上の結果より, β線の線量はIPSからの距離に比例して減少するが, 正負イオン数は距離20mmが最大値を示し30mm以上になると減少する傾向であり, β線量と正負イオン数はほぼ比例関係にある。ただし, 放射性物質によるイオン化作用はα線が最も強く逆に透過力は最も弱いことは周知であり, 今回はα線の測定は行っていないが, イオン発生にはα線が最も寄与したものと考えられる。

6.3 空気触媒の安全性

IPSは希土類鉱石を主成分としており, 表5に示したように放射線の最大線量等量はIPSの表面上でβ線が5μSv/hであり, 仮にIPSを皮膚に1年間密着したとすると0.005mSv/h×24h×365=43.8mSv/yの吸収線量となり, 国際放射線保護委員会 (ICRP) の定める職業人年間許容線量基準レベルの50mSv/y以下となる。現実にはIPSから500mm離れると室内と同一レベルの0.3~0.4μSv/hとなり, 実用上は問題ない。一般的にμSv/h線量レベルの放射線を被曝しても健康に異常をきたす恐れは, ほとんどないと言われている。



エンジン諸元 名称：ホンダ G80 ガソリンエンジン
 形式：汎用縦型 4 サイクル側弁式，シリンダ数：1
 内径 x 行程：80x59mm，排気量：296cc，圧縮比：6.3
 最大出力：6.0PS/3600rpm，最大トルク：1.6kgm/2500rpm

図3 エンジン諸元とシリンダヘッド下面のイオンプラグ取付け位置 (a, b, c)

6.4 空気触媒と燃料触媒の燃焼への影響

空気触媒と燃料触媒の燃焼への影響については、これまでに ASTM 蒸留試験，ガスクロマトグラフィー，火炎伝播速度測定，ベンチ試験及び実車走行試験など数多くの実証試験を実施してその効果の確認を試みた。燃料触媒については，単室定容燃焼装置を用いた火炎の可視化分析を実施して，燃料改質による励起作用の決定的な解明⁽²⁾をすることができた。

空気触媒と燃料触媒は，両者とも燃焼時間を短縮する効果が燃焼改善に寄与しているものと推測されるので，両触媒を用いて図3に示す側弁式ガソリン機関（ホンダ G80）に用いて火炎ギャップ法により燃焼火炎伝播速度を基礎燃料と比較計測した。その結果を図4に示すが，このグラフから明らかに負イオン発生により初期，中期と後期とも火炎速度が通常運転時より約9～20%上昇していることが理解できる。

空気イオンの負イオン化による燃料微粒子との吸着作用は，混合気燃焼過程において微小粒子（数 μm 以下）である燃料粒子を吸着しやすくして，かつ，正イオンよりも負イオンの吸着速度が速くなることは周知の事実である。したがって，燃料粒子の拡散速度と移動が大きくなるために点火，または自発火後の初期，中期火炎速度が速くなり，急激な燃焼へ移行する。さらに，燃料の熱分解時の OH ラジカル類（負イオン）生成が，より燃焼を活性化させているものと考えられる。

即ち，最大燃焼圧力がより上死点近くに移行する（等容度が高くなる）ため，ピストン行程による仕事量が相対的に上昇して燃焼を改善するものと考察される。また，燃焼火炎伝播速度と最大燃焼圧力の上昇によって燃焼効

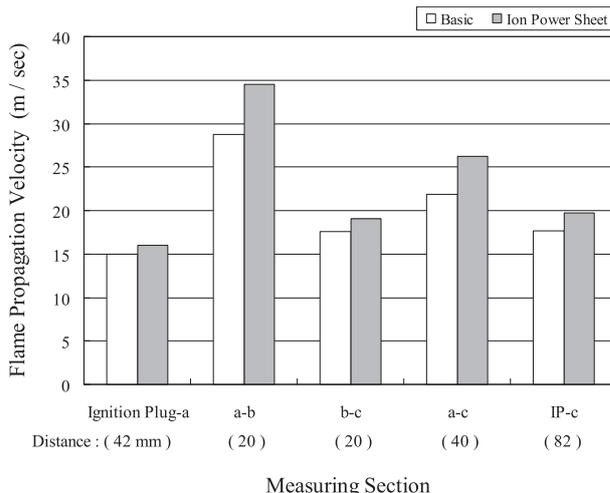


図4 イオンパワーシートによる火炎伝播速度

率は高くなり，不完全燃焼や未燃焼ガスの発生が抑制され，これらに起因する CO, HC および黒煙などのエミッションが20～50%程度急減し，当然ながら燃料消費率も10～15%低減することを確認⁽²⁾している。なお，燃料触媒についても同様の計測を実施したが，ほぼ近似の結果が得られた。

7. 負空気イオンを用いたエンジンの省エネと環境負荷低減

7.1 空気触媒 (IPS) を用いた事例

単気筒側弁式ガソリン (SI) エンジン性能に及ぼす IPS の影響を基礎と比較したデータを図5に示す。IPS 仕様

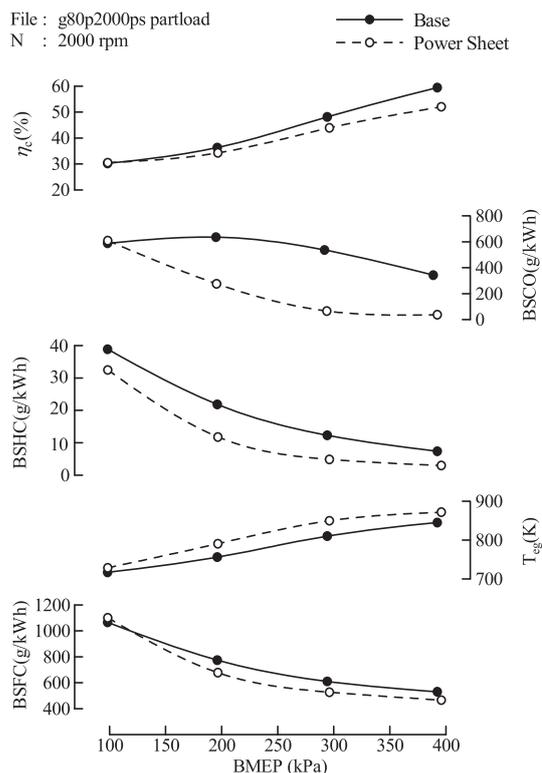


図5 SI エンジン性能に及ぼす IPS の影響

表6 電子式空気イオン発生器の仕様とエンジン燃費比較

種別	発生方式	イオン数 (10^4 /cc)	温度環境 ($^{\circ}$ C)	燃費向上率 (%)			消費電力 (W)(電圧)
				2000rpm	3000rpm	4000rpm	
A	電子回路	50	0~40	-1.25	-0.88	1.32	0.4(12V)
B	電子回路	200	-10~60	1.17	2.55	0.03	2(12V)
C	電子回路	1470	-15~60	1.41	3.96	-1.32	4(12V)

の正味 (BS) 燃料消費率 (SFC) は11~15%, エミッションの BSHC は50~56% および BSCO は54~90% の低減が得られた。IPS 仕様の充填効率 (η_c) は基礎と比べて0~7.5% 下降したが、これは吸気管 ($\phi 32 \times 1060$) 先端の内側に IPS を円筒状 ($\phi 28 \times 260$) にして挿入したため、吸気の有効面積が約76.6% に縮小したためと思われる。このように IPS による燃焼改善は、6.4に記述したように負空気イオンによる火炎速度の向上と燃焼時の OH・CH ラジカル類の生成が、燃焼時間の短縮に寄与しているものと考えられる。

7.2 電子式負空気イオン発生器を用いた事例

電氣的に負空気イオンを発生する方法としてコロナ放電やパルス放電方式があり、エアコン、空気清浄器、ヘアードライヤや室内小型イオン発生器などの実用例があるが、これらの高圧放電方式は負空気イオン発生に対して電気エネルギーが必要であるが、当然エンジンの燃費改善に期待できる。しかし、高圧放電方式は省エネ分に対しての供給電力を考慮すると放射性希土類鉱石料と比較してコストパフォーマンスはかなり劣るものと思われる。また、高圧放電のためにオゾンや窒素酸化物の有害ガス生成についても配慮が必要である。ただし、両者と比較して負空気イオン数の制御が電氣的に可能なことは、エンジンの回転速度と負荷に応じた最適の負空気イオン数の供給が可能であり、利用方法によってはかなりメリットがある。ただし、エンジンルーム内の車載回路ユニットであるため、信頼性と耐久性の確保が必要となる。

今回、中国の大手物流企業から国内の自動車の燃費と排気ガスの低減のため、簡易で安価な燃費改善グッズの照会依頼に基づいて電子式負空気イオン発生器の実用性を検討した。この要求項目として-20 $^{\circ}$ Cでも使用可能な付帯条件がある。そこで図6に示す有名な A, B, C の3メーカーの製品を選択して空気触媒として電子式負空気イオン発生器を実車の吸気系に設置し、車軸直結型シャシーダイナモメーター (Dynapack, 2WD) を用いて燃費比較測定を実施した。なお供試車は日産 E-CS 14 (シルビア), エンジン SR20DET, 1988cc, 最大出力220PS/6000rpm, 最大トルク28kgfm/4800rpm で回転速度は2000, 3000, 4000rpm でスロットル開度1/2一定で実施した。これらの仕様と燃費測定結果を表6

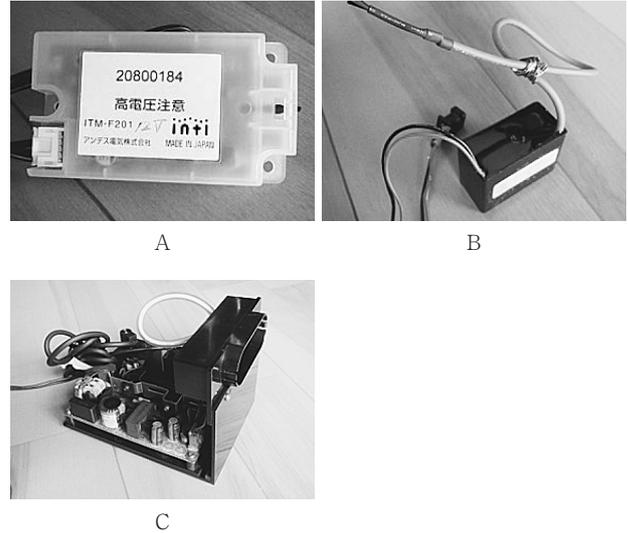


図6 電子式空気イオン発生器

に示す。なお、排気ガスの CO, HC, CO₂は無負荷時のみの対応であり、有意差はほとんどなかったので省略する。

その結果、燃費低減に最も効果があったのは負空気イオン発生量が最も大きいCで、2000と3000rpmでは1.41と3.96%の低減が得られた。次いで負空気イオン発生量が大きかったBは同様に1.17と2.55%の低減で、最も低い発生量のAは同様に-1.25と-0.88と低減は得られなかった。なお、4000rpmについてはAのみが1.32%の低減が得られたが、B, Cについてはそれぞれ0.03と-1.32%と低減効果は見られなかった。この原因は本エンジンがターボ過給で高速回転領域では、空気過剰率が小さくなるため濃混合気となり、さらに点火時期の遅延により負空気イオン効果が及ばなかったものとみられる。

以上の結果から、電子式イオン発生器のエンジンの燃費低減に対する効果は、負空気イオン発生量に比例し、高速回転速度域では効果がなく、空気触媒のIPSよりも効果は低いことが明らかとなった。なお、電子式負空気イオン発生器はエンジンの回転速度と負荷に応じて電氣的に発生量の制御可能なシステムを構築すれば、より効果的・省エネ的に利用することが可能と思われる。

8. 燃焼における励起現象の考察

石油系燃料の主要な成分は飽和炭化水素 (アルカン) であるため「放射線照射による燃料の改質」は下述の「ア

ルカン放射線化学⁽²³⁾」をモデルとして捉えることができる。

- (1) 物質に放射線を放射すると多段階で原子・分子へのエネルギー付与やエネルギー移動が生じる。
- (2) 水溶液や有機物に放射線を当てた場合、物質は吸収したエネルギーにより励起作用やイオン化を起こす。このように付与されたエネルギーは、2次電子、数ナノ秒の寿命を持つラジカル（基）などの活性種、あるいはイオンを介して放射線化学反応を起こす。
- (3) 最初のイオン化・励起作用により高い励起作用の活性種が生成されるが、これらは内部転換や緩和過程により速やかに最低励起状態のラジカルカチオン（正イオン）や最低励起状態により安定した状態へ移る。

以上により、燃料に放射線が照射されるとイオン化や励起状態が発生し、これらは活性化されているために活性基ができ、燃料の燃焼が促進し易くなるものと考えられる。

9. まとめ

エンジンやボイラーの燃焼の場に微弱放射線を照射した燃料や負空気イオンを与えると、励起作用により火炎速度が速くなり、燃焼や排気ガスを改善できることを確認し、これらの励起作用を過去の研究や今回の実験結果に基づいて考察した結果、下記の結論を得た。

- (1) 励起作用は負空気イオン発生と深い関わりを持ち、これらを内燃機関の吸気系に導入して空気を負空気イオン化させることにより、燃料粒子と空気との吸着速度を高めて混合気の拡散速度と移動を大きくし、かつ励起作用により燃焼時に水酸化(OH)・炭化水素(CH)ラジカルを多量に発生させるものと考察される。
- (2) このようなラジカル発生が燃焼を促進して燃焼時間を短縮(実証済み)させることにより熱効率を上昇させているものと推察される。
- (3) この燃焼促進作用は従来の複数の実証実験に加えて、今回、A重油の定容燃焼装置で火炎の可視化により確定的に実証することができた。
- (4) 負空気イオン発生から燃焼活性化までのプロセスは未解明であるが、これらの励起作用を与えることにより火炎速度増加による燃焼時間の短縮が、ピストン行程による仕事量が相対的に増大させて、出力向上、排気ガスと燃費低減に寄与することを実験で立証することができた。

最後に本研究の解析実験等に惜しまないご協力を賜った、(株)フェニックス、東洋ゴム工業(株)材料研究室、(株)商船三井技術部技術研究所および(財)日本自動車研究所ほか、関係各位に深甚の謝意を表す。

参考文献

- (1) 渡邊孝司：自動車技術会、日本機械学会共催第10回内燃機関シンポジウム講演論文集、PP295-300(1992)
- (2) T. Watanabe: Improving the performance of International Combustion Engines Using Radiated Fuel with Ceramic Containing Radium and Thorium, 久留米工業大学知能工学研究所報告, 第7号, PP61-75(1994)
- (3) 渡邊孝司：燃料改質シート及びその製造方法, 日本国特許, 第3089582号(2000)
- (4) 渡邊孝司ほか：セラミックの放射による内燃機関の性能改良, 日本国特許, 第4016289号(2007)
- (5) T. Watanabe: Fuel-Reforming Sheet and Method of Manufacture Thereof, US Patent 6,200,537 B 1(2001)
- (6) 渡邊孝司：マイナスイオンによる内燃機関の燃焼改善, 日本機能性イオン協会記念講演 p15-24(2003)
- (7) 渡邊孝司ほか：マイナスイオンシートによる内燃機関の省エネと環境負荷低減, 日本機能性イオン協会第2回研究発表会, pp7-11(2003)
- (8) 渡邊孝司ほか：マイナスイオンシート, セラミックペレットを用いたボイラー等の省エネ効果, 日本機能性イオン協会第4回研究発表会, pp21-26(2005)
- (9) 渡邊孝司ほか：マイナスイオンシートによる内燃機関の省エネと環境負荷低減, 日本機能性イオン協会懸賞論文, pp1-23(2008)
- (10) 渡邊孝司ほか共著：内燃機関の燃焼改善におけるマイナスイオンの応用「空気マイナスイオンの科学と応用」, イオン情報センター(丸善), pp505-521(2004)
- (11) 渡邊孝司：マイナスイオンによる自動車などの燃費向上研究, 第9回韓・日遠赤外線シンポジウム講演集, (社)韓国遠赤外線協会・日本遠赤外線応用研究会, pp131-150(2003)
- (12) A. E. Malinowski: *J. Chimie. Physique* (U.S.S.R), 21, p469(1924)
- (13) E. M. Guenault & R. V. Wheeler: *J. Chem. Soc.* 2, p195(1931)
- (14) E. M. Guenault & R. V. Wheeler: *J. Chem. Soc.* 2, p2788(1932)
- (15) H. F. Calocate & R. N. Pease: *Ind. Engng Chem. Ind. Edn.* 43, 1, p2726(1951)
- (16) M. Kono, K. Imamura, & S. Kumagai: *18th Symp. (Int.) on Combustion*, pp.1167-1174(1971)
- (17) Yuukichi Asakawa: *Nature*, vol.361, No.1557, pp220-221, May 20(1976)
- (18) 浅川勇吉：*伝熱研究*, 26, 101, p134(1987)
- (19) O. Fujita et al.: *27th Symp. (Int.) on Combustion*, (in print)(1998)
- (20) 小林清志, 荒木信幸, 牧野 敦共著：「燃焼工学」, 理工学社, p52(1995)

-
- (21) 水谷幸夫：「燃焼工学」，森北出版，pp197-198(2002)
 - (22) 渡邊孝司：エンジンやボイラーの燃焼における励起現象の一考察，日本機能性イオン協会会報誌，*i-PRESS*，Vol. 21，pp 8 -15 (2013)
 - (23) 日本放射線化学会編「放射線化学のすすめ」，学会出版センター，pp29-33，pp72-73，pp105-108 (2006)