

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21760149

研究課題名（和文）バイオマス由来ガス燃料の超高効率 HCCI 燃焼に関する研究

研究課題名（英文）Study on an HCCI Engine with Gas Fuels from Biomass

研究代表者

山崎 由大（YAMASAKI YUDAI）

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号：60376514

研究成果の概要（和文）：バイオマス資源から生成され熱量が低く組成が時々刻々と変化する燃料を、従来のガスエンジンよりも高い効率が期待できる HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) エンジンに適用することを検討した。燃焼のリアルタイムな把握手法の検討、制御アルゴリズムの開発を行い、分オーダーでの燃料組成変動に対し、安定した高効率運転に成功した。

研究成果の概要（英文）：Gas fuels generated from biomass resources have been applied to an HCCI engine (Homogeneous Charge Compression Ignition) to achieve higher thermal efficiency. The difficulty is that the gas fuels have the variation of its composition and the ignition and combustion of HCCI largely depends on the chemical reaction. Then, in-situ sensing method of ignition and combustion was studied and control algorithms were developed. For the fuel composition change in the order of minutes, the engine control system achieved stable operation and higher thermal efficiency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：エネルギー利用・バイオマス・HCCI・エンジン・超高効率

## 1. 研究開始当初の背景

エネルギー問題の観点から、非石油系燃料の有効利用、動力装置の効率向上が求められている。石油代替燃料の一つとして、バイオマスが挙げられる。バイオマスの利用方法として、比較的変換効率の高いガス化したバイオマス（以下、バイオマスガス）をレシプロエンジンに供給し発電する方法がある。バイオマスガスは、不燃成分である二酸化炭素や窒素を多く含む単位体積あたりの熱量は都市ガス 13A の半分を下回る。さらに、その組成は、バイオマス資源の種類、ガス化方法に

大きく依存し、ガス化装置の状態によっては、エンジン運転中にも変動する。

以上のようなバイオマスガスの性質により、バイオマスガスを従来の火炎伝播燃焼を利用したガスエンジンで使用する場合には、着火、燃焼の不安定性を招くことがある<sup>(1)</sup>。また、発電効率は最高でも 30% 程度に留まり、特に熱分解過程を経て得られたガス燃料は高温であるが、高温のままのエンジンへの供給はノックの原因となるため、その熱は冷却によって捨てられている。

これに対し、副室で形成したジェットで、

確実な着火、火炎伝播燃焼を実現した大型エンジン<sup>②</sup>はある。しかし、バイオマスは希薄分散しており、大型エンジンで使うには、燃料供給量とのバランスで、効率の悪い部分負荷運転を強いられるため、分散型エネルギーシステム内において、複数台の小型エンジンで高負荷で効率良く使用するのが望ましい。

また、ディーゼルエンジンを用い、雰囲気としてバイオマスガス空気予混合気を供給し、着火および不足熱量の補足に軽油を用いている例<sup>③</sup>もある。しかし、軽油使用では石油資源に依存するところとなる。

## 2. 研究の目的

火炎伝播燃焼方式よりも高い効率の実現可能性を持つ燃焼方式である HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) 燃焼方式を採用したエンジンでのバイオマスガスの利用を提案し、その運転制御システムを構築することを目的とする。

## 3. 研究の方法

- (1) 熱分解系のバイオマスガスを想定し、 $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$  で構成され炭化水素含有割合が少ないガス燃料を対象に、HCCI 燃焼方式エンジンにおける着火、燃焼特性を実験と素反応数値計算により明らかにする。
- (2) 燃料組成の変化が着火、燃焼に及ぼす影響をリアルタイムに把握する手法を検討する。
- (3) 発電用途での一定回転の運転条件におけるバイオマスガス利用 HCCI エンジンの燃焼制御手法を提案し、実証運転を行う。

## 4. 研究成果

- (1) バイオマスガスの着火および燃焼特性

HCCI エンジンでより高効率にバイオマスガスを利用するためには、その構成化学種が HCCI 燃焼に及ぼす影響を把握することは重要である。熱分解系のバイオマスガス燃料中の主な可燃成分である  $H_2$  および  $CO$  が着火、燃焼、排気に及ぼす影響を調査するとともに、HCCI エンジンに適応可能なバイオマスガスの燃料組成について整理した。図 1 に実験装置を示す。エンジンは市販の 3 気筒 1.6L 都市ガス用コジェネレーションパッケージに搭載されているガスエンジンのピストンを変更、圧縮比を 9.5 から 24 とし、さらに吸気管内に空気のみを加熱可能なヒーターを設置し、スロットルバルブは全開とした。

まずは、バイオマスガスを HCCI エンジンに適用する利点を確認するために、同じエンジンで、HCCI 運転した場合と S.I.(火花点火、圧縮比 9.5) 運転した場合の図示熱効率を図 2 に示す。燃料は表 1 に示す Base Fuel を用いた。図示熱効率は、HCCI 運転の方が S.I. 運転時よりも 10 ポイント程度高く、バイオマスガスを用いても HCCI 運転の効率における有効性が確認された。

次に燃料組成が着火および燃焼に及ぼす影響を調査した。当量比一定で、表 1 に示す

ように、基準燃料 (表中 Base Fuel) の組成から、燃料中の  $H_2$  および  $CO$  の割合を変化させて実験を行った。なお、 $H_2$  および  $CO$  割合を変化させると共に、その増減分を補うために、不活性成分の  $N_2$  または  $CO_2$  割合も変化させた。 $H_2$  および  $CO$  を変化させた場合の熱発生率履歴を図 3、図 4 に示す。 $H_2$  を変化させた場合は、熱発生率形状が大きく変化する一方で、 $CO$  を変化させた場合はほとんど変化しなかった。不活性成分の違いについて、着火時期には大きな影響は及ぼさないが、 $CO_2$  で置換した方が、 $N_2$  で置換した場合に比べて熱発生速度は遅くなった。この傾向は素反応数値計算でも確認された。

燃料中の  $H_2$  および  $CO_2$  が、燃焼に与える影響が大きいため、燃料中の  $H_2$  と  $CO_2$  の比  $H_2/CO_2$  によって、バイオマスガスの HCCI 燃焼を整理することを試みた。その一

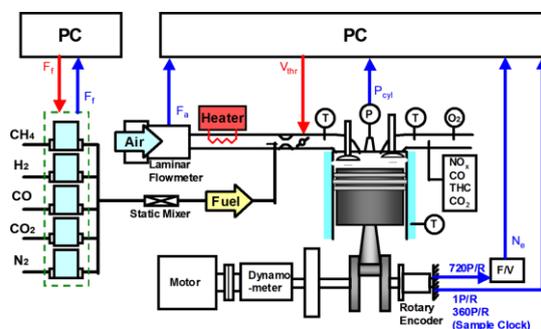


Fig.1 Experimental system

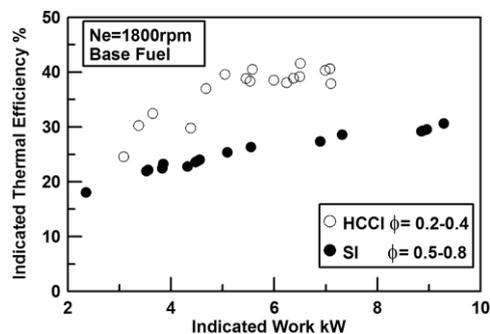


Fig.2 Comparison of indicated thermal efficiency between HCCI operation and SI operation

Table 1 Test fuels

	$H_2$	$CH_4$	$CO$	$N_2$	$CO_2$	LHV MJ/Nm <sup>3</sup>
Base	30	3	17	30	20	6.5
Fuel A	40	3	17	20	20	7.6
Fuel B	20	3	17	40	20	5.4
Fuel C	40	3	17	30	10	7.6
Fuel D	20	3	17	30	30	5.4
Fuel E	30	3	27	20	20	7.7
Fuel F	30	3	7	40	20	5.2
Fuel G	30	3	27	30	10	7.7
Fuel H	30	3	7	30	30	5.2

\*組成は Vol.%

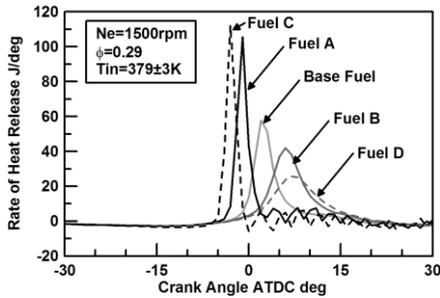


Fig.3 Rate of heat release profile for fuels (H<sub>2</sub> change with N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>)

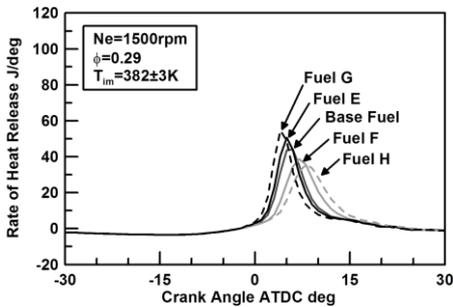


Fig.4 Rate of heat release profile for fuels (CO change with N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>)

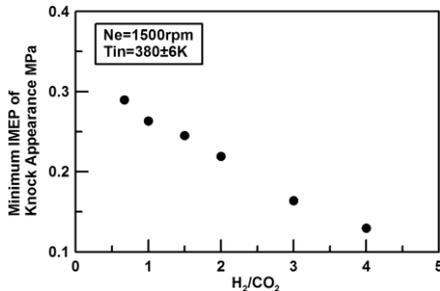


Fig. 5 Minimum IMEP of knock appearance for H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

例を図5に示す。これはノックが生じる最低のIMEPとH<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>の関係を示したもので、ほぼ線形の関係となっていることが分かる。これより、燃料中のH<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>がノックの発生指標として利用できることが示された。他にも着火時期、燃焼期間とも相関が強いことが分かり、ガス化炉の設計などにも利用できる指標と言える。

(2) イオン電流による燃焼状態把握

バイオマスガスの組成の時間変動をエンジン供給前に逐一把握することは現実的には困難である。そのため、エンジン内での燃焼状態をリアルタイムに把握し、その燃料に適した運転条件を決定することが必要となる。エンジン内の燃焼状態を把握する手法として本研究では、低コストで、設置の容易なイオン電流計測を検討した。イオン電流計測は、燃焼反応時に生じる正イオンと電子を電

Table 2 Ionic equation used for the numerical simulation

Reaction	A <sub>r</sub>	n <sub>r</sub>	E <sub>r</sub>
CH + O ⇌ CHO <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	2.51 × 10 <sup>01</sup>	0.00	7.12
CHO <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ CO + H	7.40 × 10 <sup>08</sup>	-0.68	0.00
CHO <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CO	1.51 × 10 <sup>05</sup>	0.00	0.00
CHO <sup>+</sup> + C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH ⇌ H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CO + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6.00 × 10 <sup>04</sup>	0.00	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ H <sub>2</sub> O + H	2.29 × 10 <sup>08</sup>	-0.50	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ OH + H <sub>2</sub> + H	7.95 × 10 <sup>01</sup>	-1.37	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ H <sub>2</sub> + OH	1.25 × 10 <sup>09</sup>	-0.50	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ O + H <sub>2</sub> + H	6.00 × 10 <sup>07</sup>	-0.30	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + C ⇌ CHO <sup>+</sup> + H <sub>2</sub>	6.02 × 10 <sup>02</sup>	0.00	0.00
CHO <sup>+</sup> + CH <sub>2</sub> CO ⇌ C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CO	1.26 × 10 <sup>05</sup>	-0.05	0.00
CHO <sup>+</sup> + CH <sub>3</sub> ⇌ C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + H	7.76 × 10 <sup>04</sup>	-0.01	0.00
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ CH <sub>2</sub> CO + H	2.29 × 10 <sup>08</sup>	-0.05	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CH <sub>2</sub> CO ⇌ C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> O	1.20 × 10 <sup>07</sup>	0.00	0.00
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ CO + CH <sub>3</sub>	2.40 × 10 <sup>07</sup>	-0.05	0.00
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + O ⇌ CHO <sup>+</sup> + CH <sub>2</sub> O	2.00 × 10 <sup>04</sup>	0.00	0.00
CHO <sup>+</sup> + CH <sub>3</sub> OH ⇌ CH <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + CO	8.71 × 10 <sup>04</sup>	-0.06	0.00
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CH <sub>3</sub> OH ⇌ CH <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> O	1.51 × 10 <sup>05</sup>	0.00	0.00
CH <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ CH <sub>2</sub> OH + H	2.40 × 10 <sup>07</sup>	-0.05	0.00
CH <sub>2</sub> O <sup>+</sup> + CH <sub>2</sub> CO ⇌ C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> + CH <sub>2</sub> OH	1.49 × 10 <sup>05</sup>	-0.08	-0.35

Table 3 Test fuels for calculations

	CH <sub>4</sub> Vol. %	H <sub>2</sub> Vol. %	CO Vol. %	LHV kJ/mol
Fuel 1	100	0	0	802
Fuel 2	50	50	0	615
Fuel 3	50	0	50	629

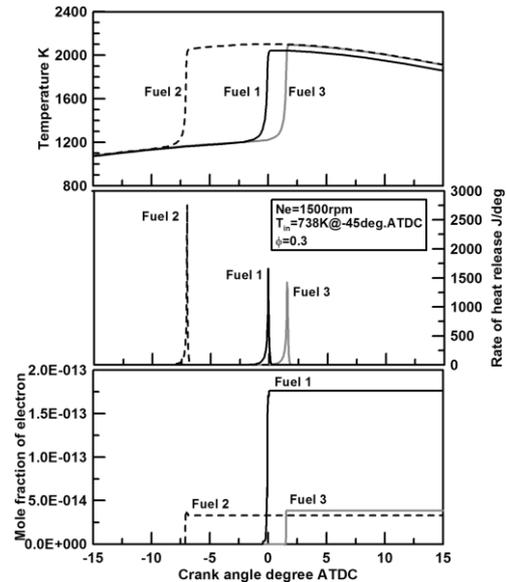


Fig. 6 Temperature profile, heat release profile, and electron profile for the fuels in the calculation

極によって捉える燃焼診断方法であり、古くから火炎面の検出などに使われている。また、HCCI エンジンにおいてイオン電流を用いる取り組みはなされているが<sup>(4)</sup>、いずれも炭化水素系の燃料を用いており、バイオマスガス燃料を対象としたものではなく、イオン電流を検出できるかどうかも定かではない。そこで、バイオマス燃料におけるイオン電流の特性を明らかにし、制御に有用な燃焼状態把握手法としての可能性を明らかにすることを目的に数値計算および実験を行った。

具体的には、素反応数値計算によるイオン電流の発生機構の解析を行うと共に、実機を

用いて、燃料組成を変化させた場合のイオン電流の計測を行い、燃料組成がイオン電流に及ぼす影響を明らかにする。

### ① イオン電流の発生機構

まず素反応数値解析によりイオン電流の発生機構をCHEMKIN-PROを用いた0次元の素反応数値計算により調査した。素反応スキームとしてGRI-Mech3.0の61化学種と325の化学反応式に加え、表2に示す5種のイオンと19のイオン反応式<sup>(6)</sup>を含めて数値計算を行った。計算に用いた燃料の組成は、表3に示すもので、計算時間短縮のために、これまで実験で用いてきた組成よりも単純なものとし、可燃成分の影響を見る設定とした。計算結果を図6に示す。熱発生率のピーク値はFuel 2>Fuel 1>Fuel 3となった一方で、電子のモル濃度のピーク値は、Fuel 1>Fuel 3≒Fuel 2となった。また、熱発生率と電子のモル濃度それぞれのピーク値が確認された時期は一致した。燃料中のメタン濃度の高い燃料は電子の放出が多くイオン電流値のピーク値は高くなり、その発生時期は熱発生率と相関が強いものと考えられる。

### ② 燃料組成とイオン電流の関係

次に、図7に示すように実機を用いてイオン電流の計測を行った。正電極にスパークプラグの中心電極を、また負電極はシリンダーブロックの表面とし、シリンダーライナ全体が負に帯電するようにした。閉回路には、直流電源を供給し、途中に設けた1MΩの抵抗での電圧降下値でイオン電流を検出した。

まず木質系バイオマスに含まれるCH<sub>4</sub>がイオン電流に与える影響について調査した。表4に示すように、基準組成の燃料(Base)、燃料中にCH<sub>4</sub>を全く含まない燃料(Fuel a)、基準組成よりもCH<sub>4</sub>を増加させた燃料(Fuel b)の3通りの組成条件を設定し実験を行った。その際、CH<sub>4</sub>以外の各気体の流量は一定、電極間電圧は500Vで一定とした。

熱発生率とイオン電流値の変化を図8に示す。着火時期や熱発生率のピーク値をとるタイミングについては3種類の燃料に違いが見られ、熱発生率の最大値はCH<sub>4</sub>割合が高い燃料ほど大きくなった。一方、CH<sub>4</sub>割合の高いFuel bのイオン電流は、基準組成の燃料よりも大幅に上昇している。さらに、CH<sub>4</sub>を含まないFuel aでは、イオン電流は計測されなかった。図9には、CH<sub>4</sub>の燃料流量のみを変化させた場合のイオン電流の最大値を示す。CH<sub>4</sub>の流量増加につれてイオン電流最大値は単調増加し、CH<sub>4</sub>を含まない燃料ではイオン電流の最大値は0となることが分かった。このことから、イオン電流はCH<sub>4</sub>に起因して発生するものと考えられる。

CH<sub>4</sub>が存在しないとイオン電流は検知できないが、CH<sub>4</sub>が少量でもあれば、他成分の影響も生じえる。そこで、CH<sub>4</sub>の流量一定で、

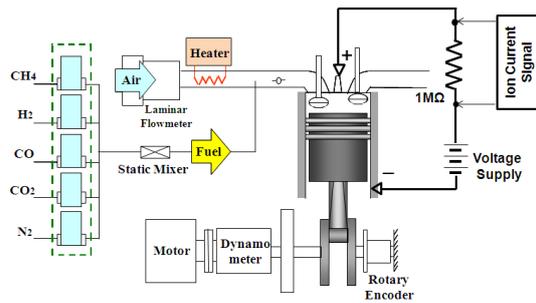


Fig.7 Ion current measurement system

Table4 Test fuels for ion current

Fuel	Flow [l/min]					Eq. ratio
	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
Base	1.65	16.5	9.35	11	16.5	55
a	0	16.5	9.35	11	16.5	60
b	3.3	16.5	9.35	11	16.5	56
c	1.65	13.75	9.35	11	16.5	57.75
d	1.65	19.25	9.35	11	16.5	52.25
e	1.65	16.5	6.6	11	16.5	57.75
f	1.65	16.5	12.1	11	16.5	52.25

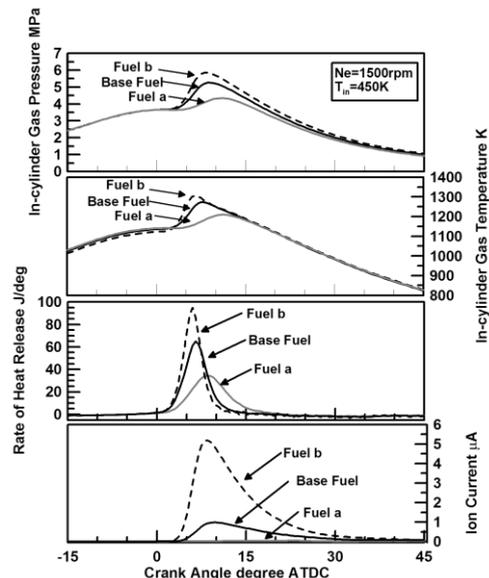


Fig. 8 In-cylinder gas pressure profiles, temperature profiles, rate of heat release profiles and ion current profiles for various CH<sub>4</sub> contents

他成分の流量を変化させた結果を図10に示す。CH<sub>4</sub>の流量が一定であっても、他の燃料組成の変化に伴い、イオン電流の最大値およびその時期は異なっているが、イオン電流の履歴と熱発生率履歴は、燃料組成に対する変化の傾向が同じで相関が強いと考えられる。

図11には、燃料組成、当量比、初期温度が異なる条件で熱発生率が最大値を示す時期とイオン電流が最大値を示す時期の関係を示す。両者は線形関係を示しており、予混合気条件が変わってもイオン電流によって熱発生の位相を把握することができる。また、ここまでは燃焼室内の予混合気は均質を仮定して議論してきた。しかし、HCCIの燃焼

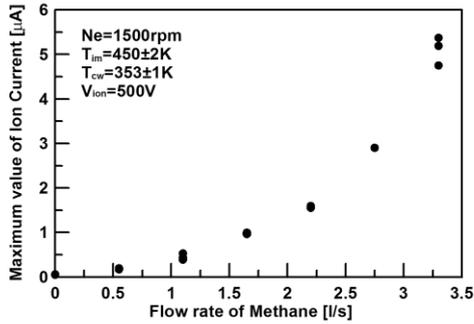


Fig.9 Maximum value of ion current for CH<sub>4</sub> flow rate

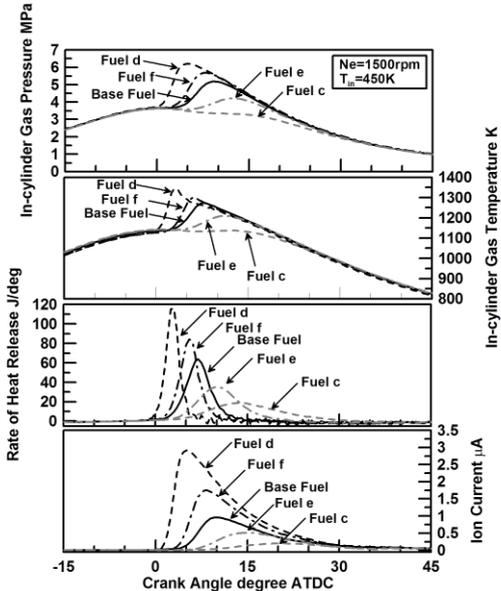


Fig. 10 In-cylinder gas pressure profiles, temperature profiles, rate of heat release profiles and ion current profiles for fuels

制御においては、空間的に燃焼位相をずらして急峻すぎる燃焼を緩和するために、予混合気の不均質性を利用することも考えられる。一方、イオン電流は電極付近の燃焼状態を捉えることになるため、予混合気の不均質性を制御に利用した際に、イオン電流が燃焼把握の信号に適切かどうかを確認する必要がある。そこで、図 12 に示すように、燃料の投入位置を吸気バルブから距離の異なる位置に 2 つ配置し、予混合気内の局所燃料濃度および温度を変化させて実験を行った。不均質性を変化させた場合、熱発生率履歴の形状は変化した。イオン電流履歴の形状も変化した。均質の場合と同様にイオン電流によって燃焼位相を把握することが可能であった。これより、リアルタイムなクローズドループでのエンジン制御にイオン電流を利用することが有効であることが示された。

### (3) 自動運転制御システムの構築

最後に、イオン電流をフィードバック信号として、燃料組成が変化する場合でも安定し

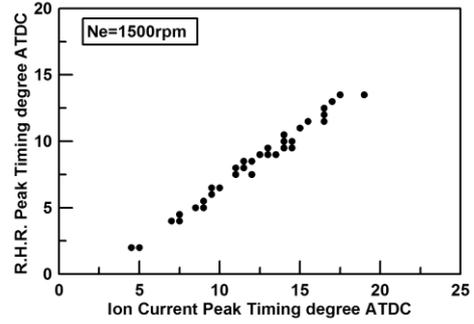


Fig.11 Relationship between the peak timing of the rate of heat release and the peak timing of the ion current

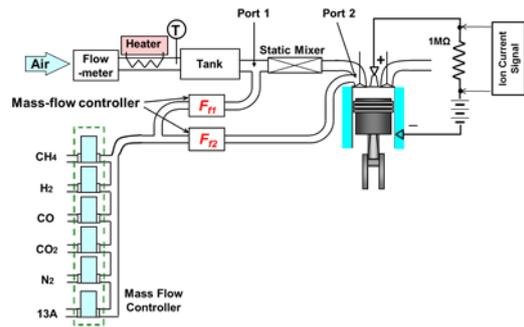


Fig.12 Experimental setup

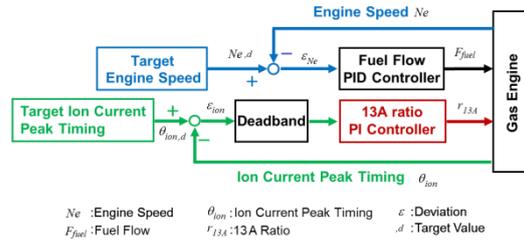


Fig.13 Control block diagram by city gas 13A

て運転する自動運転制御システムを構築し、運転試験を行った。構築したシステムは 2 種類で、1 つは燃料組成の変動に応じて、予混合気の不均質性を制御する手法。もう 1 つは都市ガス 13A との混焼割合を制御する手法である。いずれの手法においても、事前実験より、燃料の組成が変化した場合でもイオン電流のピーク時期の目標値を 13deg.ATDC とすることで、高効率運転を維持できることを確認しており、これを目標値としてフィードバック制御を行った。図 13 に混焼を用いた場合の制御ブロック線図を示す。制御項目は回転数とイオン電流最大時期とし、コントローラ 2 つを設計した。このシステムによって、バイオマスガスの燃料組成を強制的に変化させて運転した場合の結果を図 14 に示す。なお、用いた燃料は表 5 の通りである。図 14 中にはイオン電流最大時期の制御を行った場合(黒色)と行わなかった場合(灰色)

Table 5 Test fuels

	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Base	5	20	20	15	40
Fuel A	5	25	15	15	40
Fuel B	5	15	25	15	40

\*Vol. %

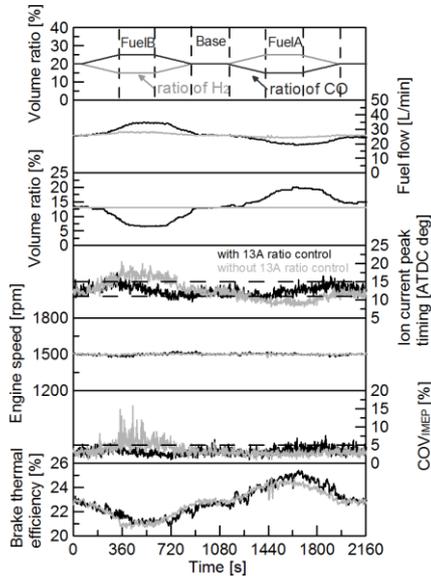


Fig.14 Automatic operation test

を示すが、制御を行った場合の方が高い効率を維持できた。不均質性を利用した場合も、安定した運転を実現したが、混焼の方が適応できる組成変動範囲は広く、変動条件に応じて使い分けることが望ましい。

参考文献

- (1) 山崎由大, 他, 日本機械学会論文集(B編), 073巻, 729号, pp.1256-1262, (2007)
- (2) 後藤悟, 他, 石川島播磨技報, Vol.43, No.6, pp.216-219, (2003)
- (3) Mohammadi A, etc., JSAE Annual Congress Proceedings, No.13-04, pp.17-20, (2004)
- (4) Strandh P. etc, SAE paper SAE2003-01-3216, (2003)
- (5) J.Prager, Proc. of the Combustion Institute, Volume 31, Issue 1, pp.1129-1137, (2007)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 山崎由大, 篠田治人, 金子成彦, “HCCIエンジンによる木質系バイオマスガスと都市ガスの混焼利用(燃料組成の影響)” 日本機械学会論文集 B編(Web) Vol.78, No.787, pp. 410-414 (2012)
- ② 山崎由大, 菅野雅信, 田浦康弘, 金子成彦, “バイオマスガス中の H<sub>2</sub> および CO が HCCI エンジンの着火および燃焼に及ぼす影響” 日本機械学会論文集 (B編) 76巻 761号 pp.135-141 (2010)

- ③ 山崎由大, 菅野雅信, 西澤幸紘, 永田裕樹, 金子成彦 “HCCIエンジンにおけるバイオマスガスの着火燃焼特性” 日本機械学会論文集 (B編) 075巻 751号 pp.482-484 (2009)

[学会発表] (計8件)

- ① 新井太一, 山崎由大, 田浦康弘, 金子成彦, “バイオマスガスを用いた HCCI エンジンにおけるイオン電流計測”, 第22回内燃機関シンポジウム講演論文集, Vol.22 pp.559-564 (2011)
- ② 新井太一, 山崎由大, 金子成彦, “バイオマスガスの組成がバーナー火炎のイオン電流に及ぼす影響” 日本機械学会年次大会, Vol.2011 (CD-ROM)
- ③ 山崎由大, 篠田治人, 金子成彦, “HCCIエンジンによる木質系バイオマスガスと都市ガスの混焼利用(燃料組成の影響)” 第16回動力エネルギー技術シンポジウム講演論文集, pp.121-123, (2011)
- ④ 篠田治人, 山崎由大, 水野沙織, 金子成彦”バイオマスガスと都市ガス 13A を用いた予混合圧縮着火エンジンに関する研究(不均質性の影響)” 第21回内燃機関シンポジウム(自動車技術会, 岡山, 2010), pp. 611-616, (2010)
- ⑤ 篠田治人, 水野沙織, 山崎由大, 金子成彦, “都市ガス 13A-バイオマスガス混合燃料による HCCI エンジンの運転” 日本機械学会年次大会講演論文集 vol.7, No.10-1, pp. 177-178, (2010)
- ⑥ 水野沙織, 山崎由大, 金子成彦, ” HCCI エンジンにおけるバイオマス-都市ガス混合燃料の着火と燃焼” 日本機械学会関東支部講演会, pp.89-90, (2010)
- ⑦ Yudai YAMASAKI, Masanobu KANNO, Yasuhiro TAURA and Shigehiko KANEKO, "Study on Biomass Gas HCCI Engine", SETC2009, SAE2009-32-0066 / JSAE20097066
- ⑧ 田浦康弘, 山崎由大, 金子成彦, ” バイオマスガスの燃料組成が HCCI エンジンの燃焼特性に与える影響” 日本機械学会年次大会講演論文集 vol.7, pp. 151-152, (2009)

[その他]

<http://knock.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 由大 (YAMASAKI YUDAI)  
 東京大学・大学院工学系研究科・講師  
 研究者番号: 60376514

(2) 研究分担者

なし ( )

(3) 連携研究者

なし ( )