

# 将来燃焼研究WG報告

(石油業界の研究)

2020年3月

将来燃焼研究WG



Japan Marine and Auto  
Petroleum Program

## 1. 背景、目的

## 2. 燃焼試験 概要

## 3. 試験結果

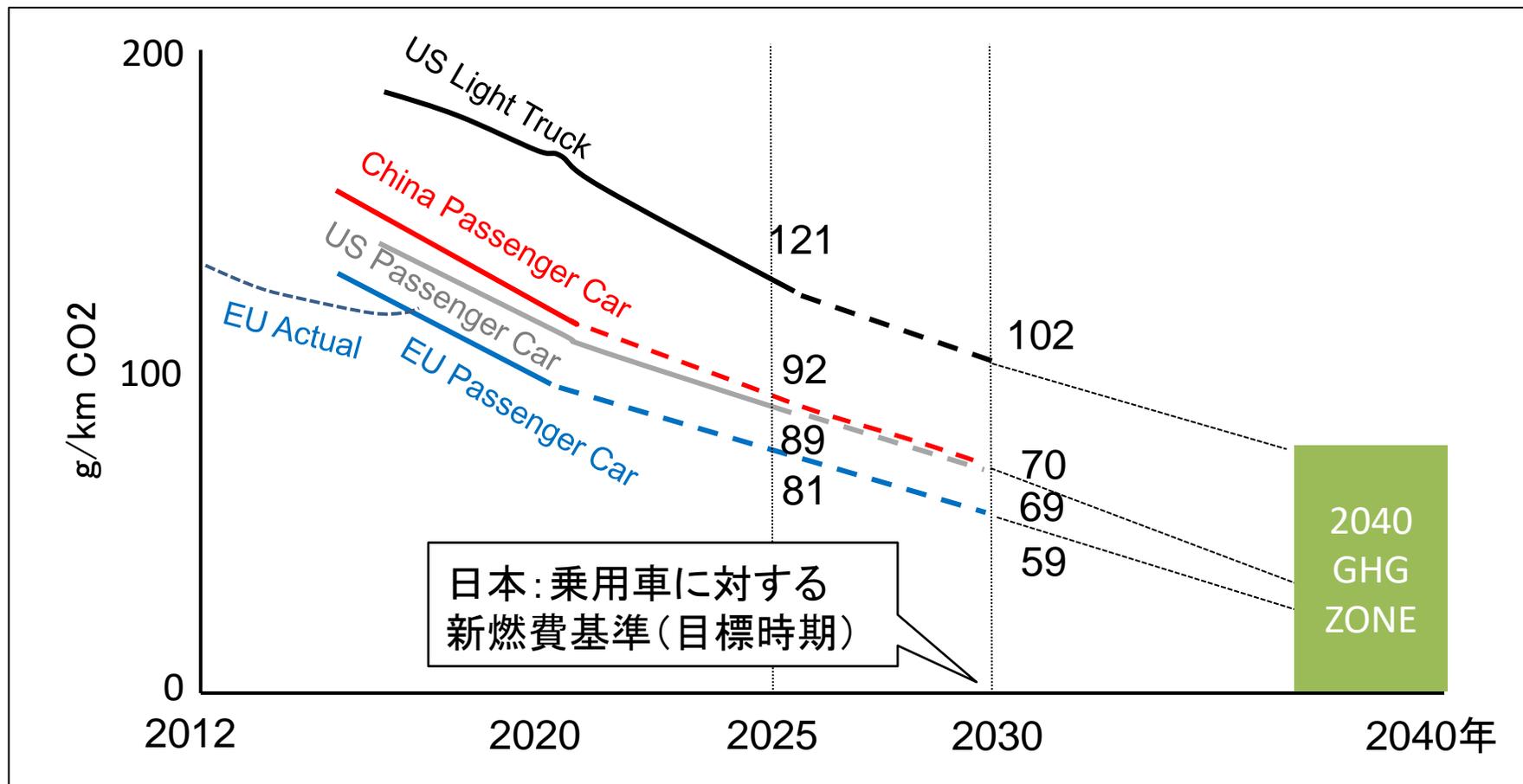
(1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較

(2) 各燃料の最適点火時期での比較

## 4. まとめ

# 1. 背景

## CO<sub>2</sub>排出規制の強化と内燃機関への期待



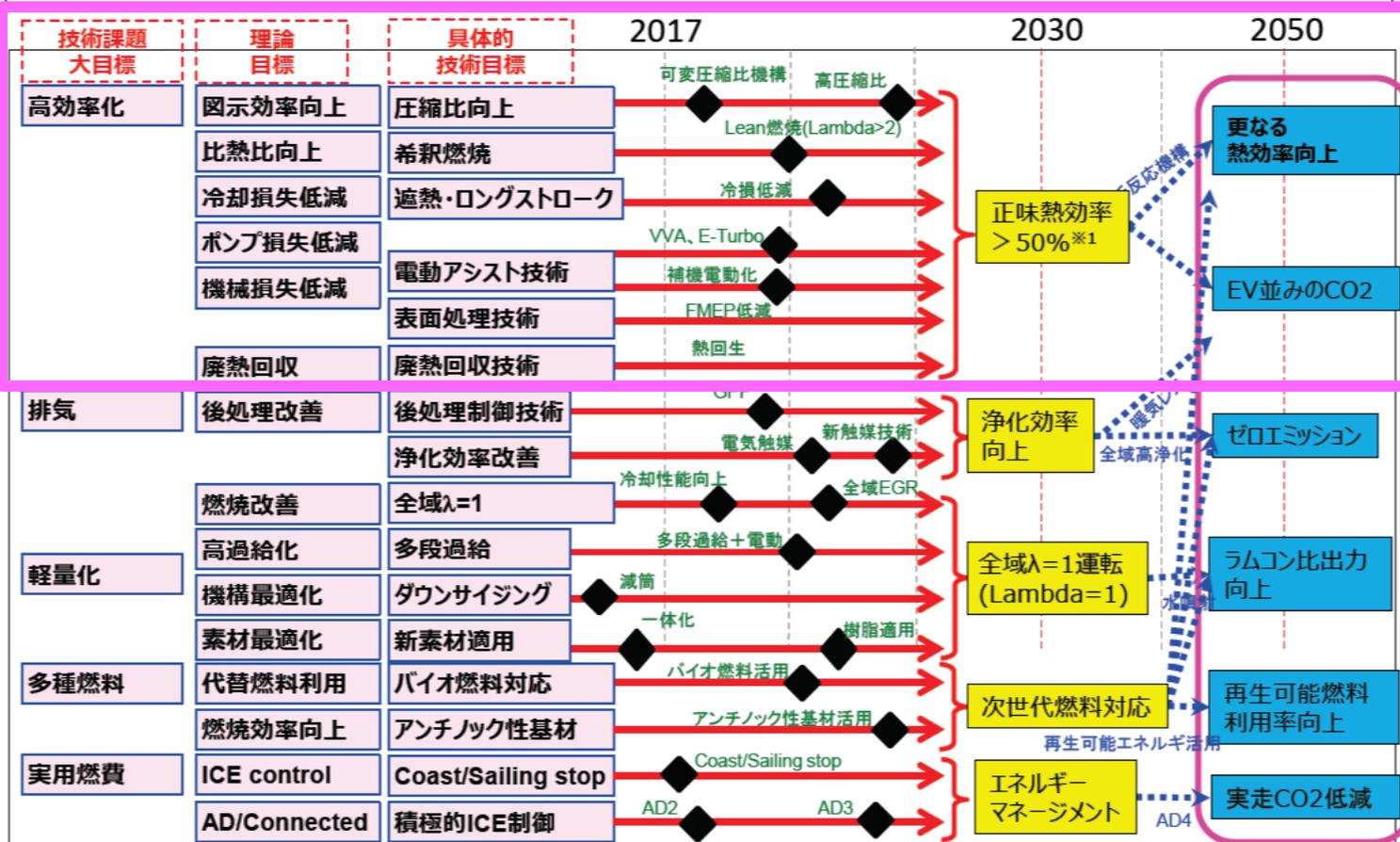
Ricardo社の資料を基にJPECが作図

欧米のCO<sub>2</sub>排出規制や日本の新燃費基準の強化に対応するため、今後、ますます内燃機関の熱効率向上が求められている。

技術ロードマップ

## 1\_ガソリン機関部門委員会 出典：自動車技術会

扱っている技術テーマ：熱機関、振動・騒音・乗り心地、熱流体、環境・エネルギー・資源、エレクトロニクス・制御



※1：SIP(内閣府戦略的イノベーション創造プログラム)：「革新的燃焼技術」研究計画書、(2017.04.01)

将来、さらなるCO2排出量の削減や燃料消費率の低減に向けて、  
現行とは異なる燃焼方式が採用される可能性がある。

# 1. 目的

## (1) 目的

将来、エンジンの燃焼技術が現状から変化すると、燃料性状の影響が異なる可能性が考えられる。

そこで、分解ガソリンの将来に渡っての利用可能性の把握に資するため、将来エンジン燃焼技術の一つである「超希薄燃焼」に対する燃料性状影響に関する技術的知見を得る。

## (2) 概要

分解ガソリンの利用拡大によって変化するオレフィン、アロマといった燃料組成が、「超希薄燃焼」の各種性能に及ぼす影響を評価する。

なお、本研究ではエンジン側の開発要素は考えておらず、固定されたエンジン諸元で燃料の比較を行う。試験は希薄燃焼運転が可能なエンジンを有する外部機関で実施する。

## 1. 背景、目的

## 2. 燃焼試験 概要

## 3. 試験結果

(1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較

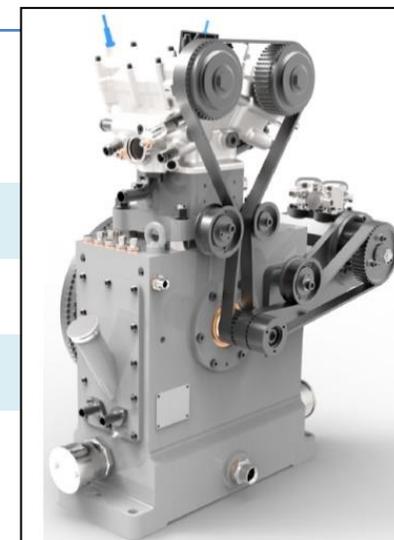
(2) 各燃料の最適点火時期での比較

## 4. まとめ

# (1) 試験エンジン

高圧縮比、過給装置、高タンブル流および強力点火を適用し、超希薄燃焼での運転が可能な単気筒エンジンを使用

エンジン外観



エンジンタイプ		単気筒、4ストローク
排気量(ストローク×ボア)	L (mm × mm)	0.5 (109 × 76.5)
ストローク／ボア比		1.3
定格回転／正味平均有効圧	rpm／bar	4000／14
圧縮比		17:1
燃料噴射システム		DI(直噴)
噴射圧	bar	200
点火システム		プラズマ点火システム*1
タンブル比		2
その他		外部過給あり、EGRなし 正味熱効率 BTE=45%max



ACIS 点火システム\*1

\*1 出典：<http://www.federalmogul.com/en-US/OE/Products/Pages/Product-Details.aspx?CategoryId=15&SubCategoryId=21&ProductId=224>

## (2) 試験燃料(5種類)

- ・分解ガソリン留分混合時に大きく変化するオレフィン、アロマを基準燃料に添加する。
- ・基準燃料JMF01はSIP共通ガソリンのS5H\*1と同一成分、配合比とする。  
(国内市販ハイオクガソリンのRON/MON、組成割合を加味した5成分サロゲート燃料)
- ・燃料JMF02~05にはオレフィン、アロマとパラフィンをそれぞれ15vol%混合した。  
(オレフィンのみ30vol%混合も試験)  
なお、オレフィン、パラフィンは燃焼速度が速い物質を選定した。

物質名	炭素数	組成	vol%
isooctane	8	i-Paraffin	31
n-heptane	7	n-Paraffin	10
methylcyclohexane	7	Naphthene	5
diisobuthylene	8	Olefin	14
toluene	7	Aromatics	40
1-hexene	6	Olefin	15,30
n-hexane	6	n-Paraffin	15
toluene	7	Aromatics	15

JMF01	[Blank]		
JMF02	JMF01	Olefin 15%	
JMF03	JMF01	Olefin 30%	
JMF04	JMF01	Paraffin 15%	
JMF05	JMF01	Aroma 15%	

\*1 <http://sip.st.keio.ac.jp/topics/sip共通ガソリンサロゲート燃料の組成と性状/>

# <参考>炭化水素の組成と燃焼速度の関係の例

燃焼速度 m/s	Paraffins	Olefins	Aromatics	Oxygenates
速 (0.8~)	ethane <b><u>n-heptane(0.810)</u></b>	1-pentene propene 1-heptene <b>1-hexene(0.840)</b> 1-octene	benzene	ethanol
中 (0.7~0.8)	cyclohexane cyclopentane <b>n-hexane(0.775)</b> n-butane n-pentane <b><u>methylcyclopentane (0.705)</u></b>	3-heptene 2-butene 2-pentene cyclopentene  2-methyl-2-butene 2-methyl-1-butene	ethylbenzene  n-propylbenzene	
遅 (~0.7)	<b><u>isooctane(0.665)</u></b> isopentane isobutane  methane	<b><u>isooctene(0.680)</u></b>	<b><u>toluene(0.675)</u></b>  o,p-xylene 1,2,4-trimethylbenzen m-xylene 1,3,5-trimethylbenzen	MTBE

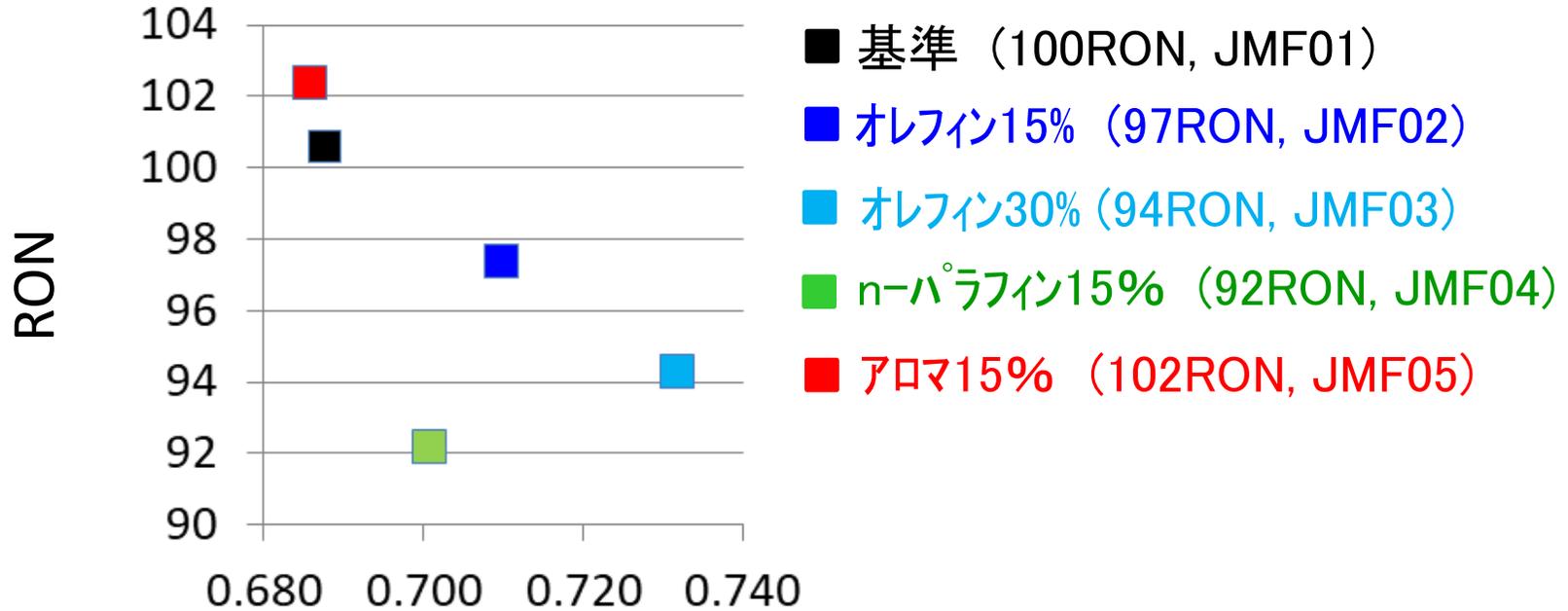
下線を引いた物質はJMF01(基準燃料)に混合、色付きの物質はJMF02~05に混合

## (2) 試験燃料性状

		JMF01	JMF02	JMF03	JMF04	JMF05
成分	vol.%		1-hexene 14.5%	1-hexene 28.3%	n-hexane 14.3%	toluene 14.3%
		JMF01	JMF01	JMF01	JMF01	JMF01
密度 @15°C	g/cm3	0.772	0.759	0.746	0.757	0.786
蒸留性状	10% °C	100.5	91.5	84.0	93.0	101.5
	50% °C	101.5	98.5	93.5	98.5	102.0
	90% °C	104.0	103.5	103.0	103.0	105.0
RON		100.6	97.4	94.3	92.2	102.4
MON		88.3	84.8	82.0	83.7	89.2
C/H	mass%	87.6/12.4	87.4/12.6	87.1/12.9	87.1/13.9	88.2/11.8
真発熱量*1	MJ/kg	42.58	42.82	43.05	42.85	42.26
各物質の燃焼速度の 加重平均値(燃焼速度)*2, m/s		0.687	0.711	0.735	0.700	0.685

\*1 燃料に混合した純物質の真発熱量と配合比からの計算値、\*2 混合した物質の燃焼速度(VG-9の値)とモル濃度からの加重平均により算出

## (2) 試験燃料の燃焼速度とRONの関係



今回の試験燃料は、燃焼速度の速い燃料は、オクタン価が低い傾向がみられた。  
また、n-パラフィン15%は試験燃料の中でオクタン価が低かった。

# (3) 試験手順、評価項目、運転条件

・試験手順 空気過剰率 $\lambda$ を希薄(リーン)に変化させた際のエンジン性能を計測

## ・主な評価項目

希薄燃焼限界 $\lambda$ (燃焼安定性)、燃料消費率

燃焼特性 初期燃焼期間(CA0-10)、主燃焼期間(CA10-90)等

・点火時期 ①全燃料同じ点火時期\*1

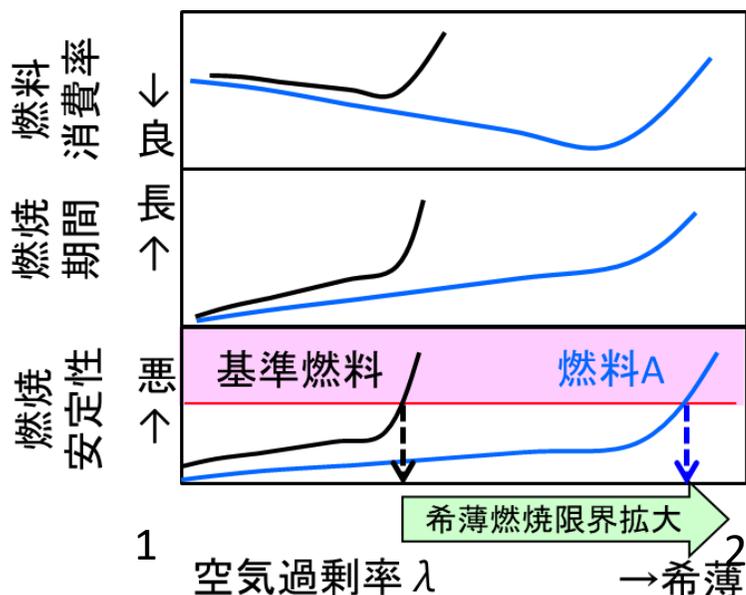
⇒燃焼速度の比較

②各燃料の最適点火時期\*2

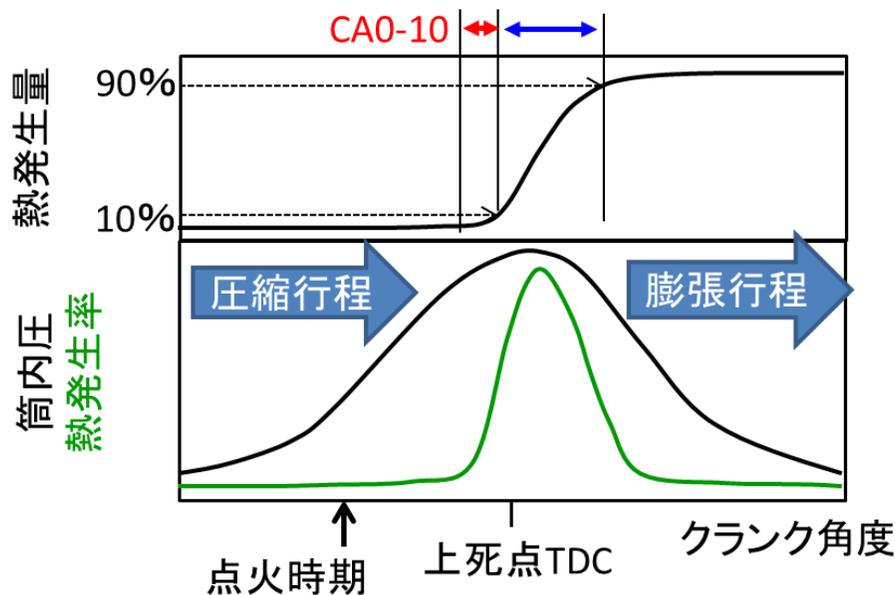
⇒燃料消費率の比較

\*1 最低RONのJMF04の点火時期

\*2 不可の場合はノック限界点



短い方が燃焼速度が速い → CA10-90



・運転条件 回転数(rpm), 負荷NIMEP(bar)

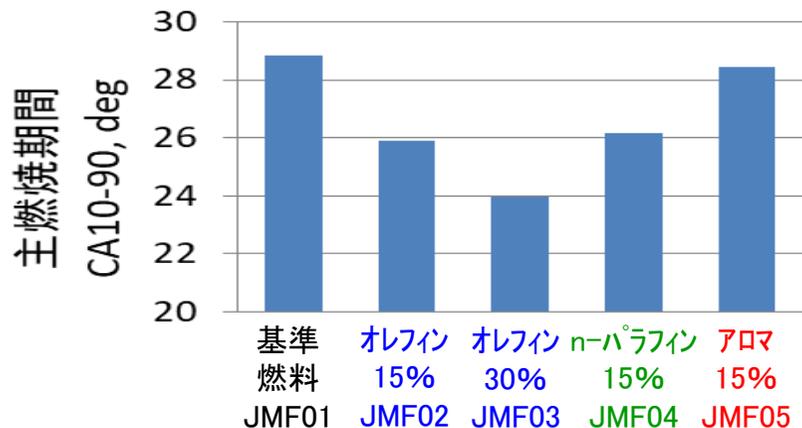
2000/5、2000/8、3000/11、3500/8

1. 将来燃焼研究の背景、目的
2. 燃焼試験 概要
3. 試験結果
  - (1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較
  - (2) 各燃料の最適点火時期での比較
4. まとめ

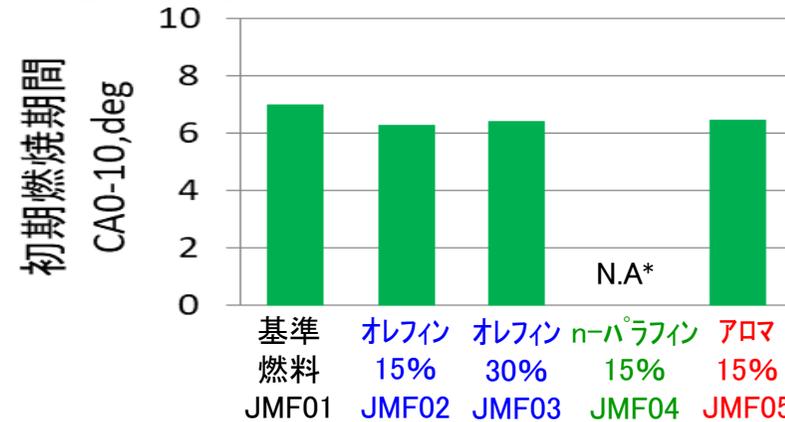
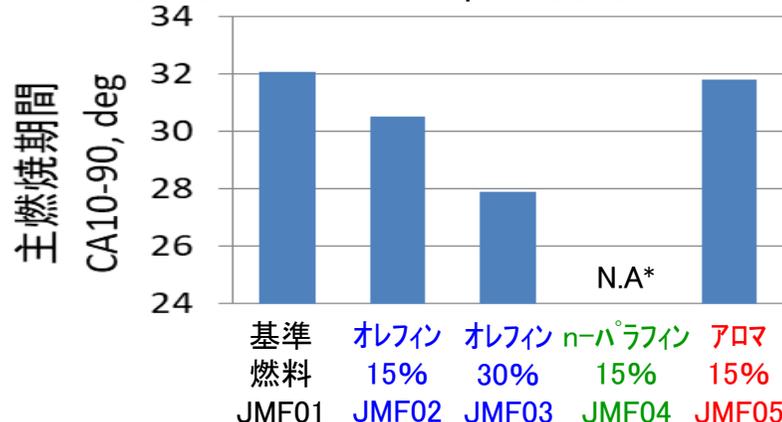
# (1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較

(i) 低回転・低負荷 (回転数2000rpm、負荷NIMEP 5bar、点火時期16° BTDC)

いずれの条件も  
空気過剰率  $\lambda = 1.7$



(ii) 高回転・高負荷 (回転数3000rpm、負荷NIMEP 11bar、点火時期19° BTDC)



\*ノッキングが強く  
燃焼が不安定

- 主燃焼期間 (CA10-90) に関して、オレフィンを混合した JMF02, 03 および n-パラフィンを混合した JMF04 は基準燃料 JMF01 よりも短かった。また、オレフィンは濃度が高い方が短かった。
- 一方で、アロマを混合した燃料 JMF05 は、JMF01 と比較して顕著な差はみられなかった。
- 初期燃焼期間 (CA0-10) に関しては、燃料間に顕著な差はみられなかった。

# (1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較

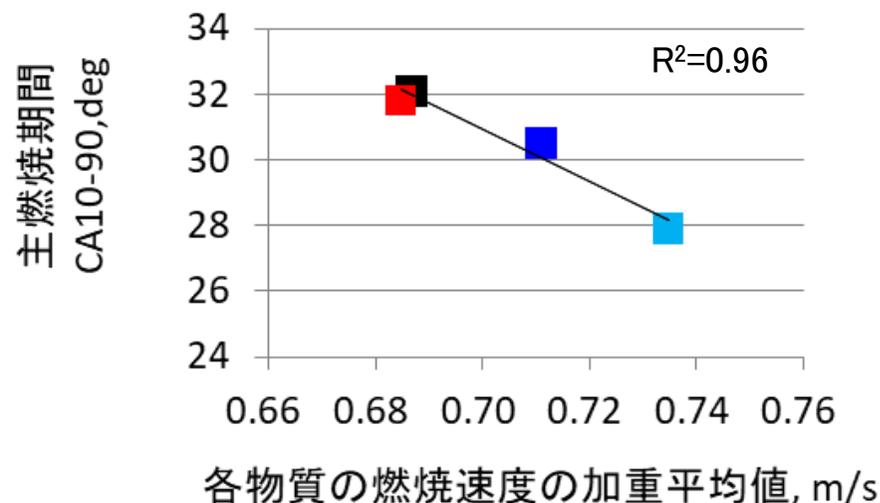
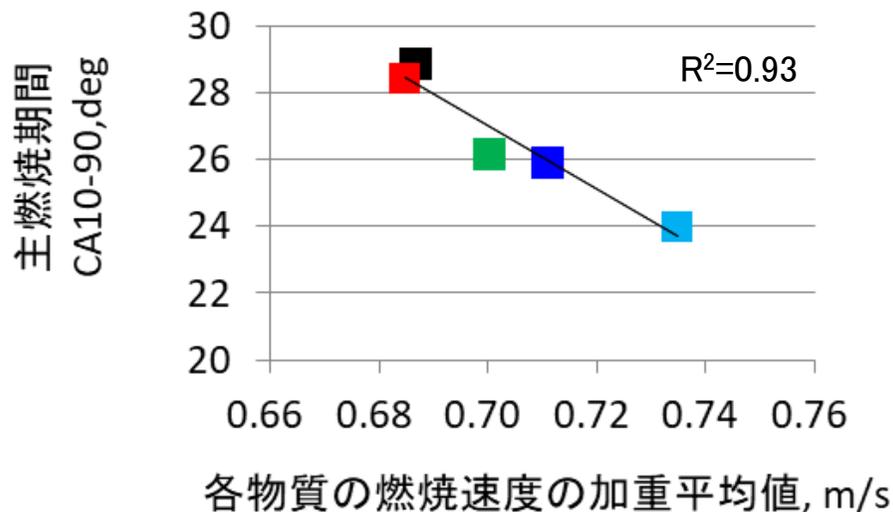
いずれの条件も  
空気過剰率  $\lambda = 1.7$

(i) 低回転・低負荷

(回転数2000rpm、負荷NIMEP 5bar、点火時期16° BTDC)

(ii) 高回転・高負荷

(回転数3000rpm、負荷NIMEP 11bar、点火時期19° BTDC)



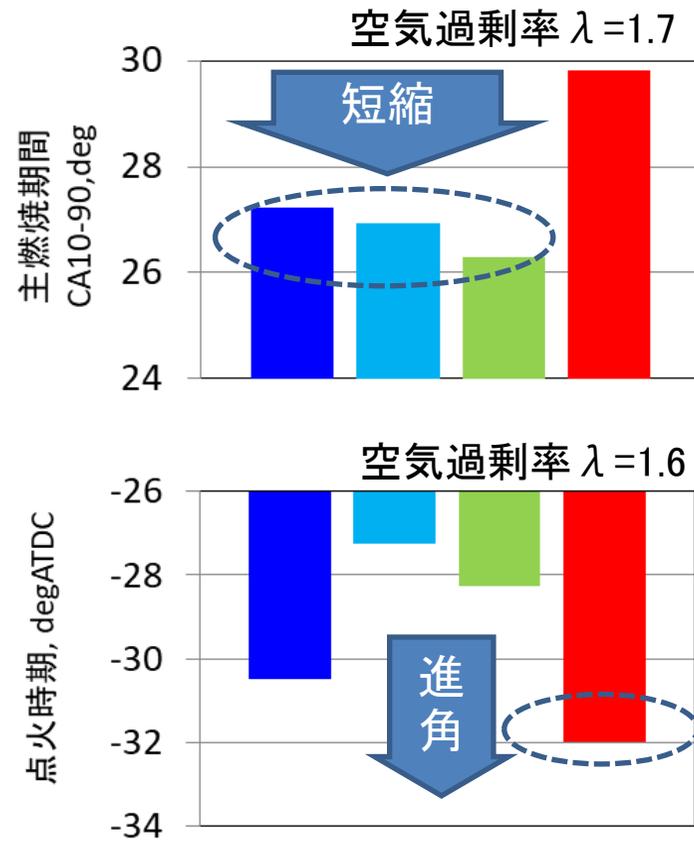
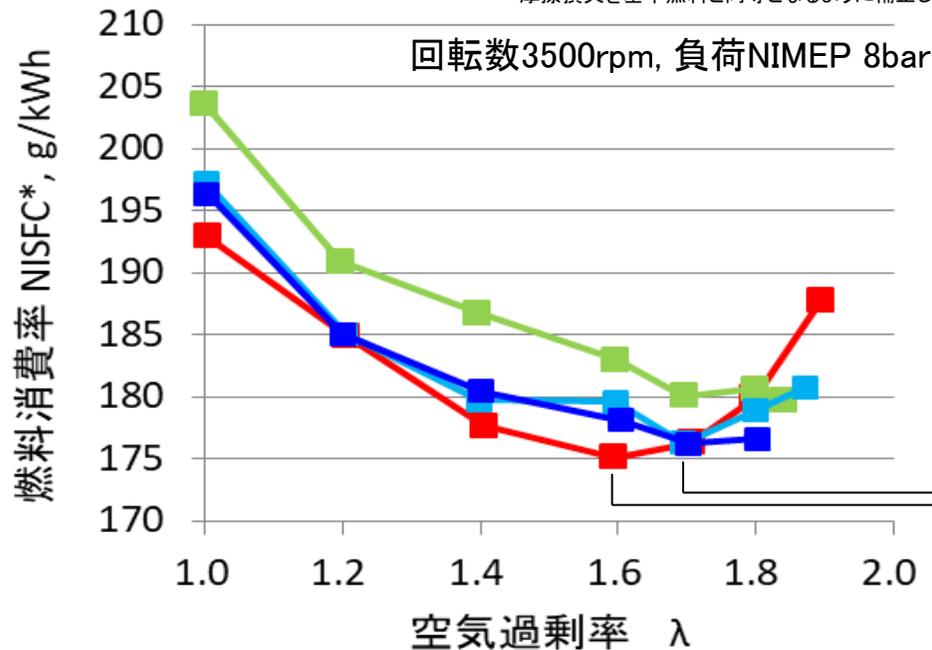
基準燃料 (JMFO1)
  オレフィン15% (JMFO2)
  オレフィン30% (JMFO3)
  n-パラフィン15% (JMFO4)
  アロマ15% (JMFO5)

- ・試験燃料の燃焼速度と主燃焼期間に相関がみられた
- ・燃焼速度の速いオレフィンやn-パラフィンの混合により、主燃焼期間が短縮したことから、エンジンでの希薄燃焼条件において、より高速で燃焼することを把握した。

1. 将来燃焼研究の背景、目的
2. 燃焼試験 概要
3. 試験結果
  - (1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較
  - (2) 各燃料の最適点火時期での比較
4. まとめ

## (2) 各燃料の最適点火時期での比較

\*摩擦損失を基準燃料と同等となるように補正した



燃料組成の燃焼速度や耐ノック性能の違いにより燃料消費率への影響が異なった。

- ・オレフィン(JMF02,03)やn-パラフィン(JMF04)混合時は燃焼速度の向上により希薄燃焼域が拡大し、燃料消費率が向上した。ただし、JMF04は本エンジンにはRONが低く、耐ノック性の悪化の影響が燃料消費率に大きく現れた。
- ・アロマ混合(JMF05)時は、RONが高く、大きな点火進角が可能であったため燃料消費率が向上した。一方でより希薄燃焼条件(λ=1.7以上)では燃焼速度悪化の影響が現れ、燃料消費率が悪化した。

## (2) 各燃料の最適点火時期での比較

燃料因子	燃料消費率 向上	1(良い) ⇔ 4(悪い)			
		オレフィン 15vol%	1-hexene 30vol%	n-パラフィン n-hexane 15vol%	アロマ toluene 15vol%
燃焼速度 向上	希薄燃焼域 拡大	2	1	3	4
高RON	点火進角	2	3	4	1
燃料消費率(総合評価)		1	3	4	1

- ・オレフィン混合時は燃焼速度の向上により希薄燃焼域が拡大できたこと、アロマ混合時は高RON化により点火進角が可能となったことで、それぞれ燃料消費率が向上した。
- ・燃料組成の燃料消費率への影響は、これら両者のバランスにより変化し、本試験エンジンでは圧縮比が17と非常に高いことから点火進角の効果の方が大きく現れたと考えられる。

1. 将来燃焼研究の背景、目的

2. 燃焼試験 概要

3. 試験結果

(1) 同一点火時期、同一空気過剰率での比較

(2) 各燃料の最適点火時期での比較

4. まとめ

## 4. まとめ

分解ガソリンの利用拡大時に変化するオレフィン、アロマおよびパラフィンが超希薄燃焼の燃焼速度や燃料消費率に及ぼす影響を評価した。

1. オレフィン(1-hexene)混合: 燃料JMF02,03

- ・燃焼速度の向上により希薄燃焼域が拡大し、燃料消費率が向上した。

2. n-パラフィン( n-Hexane )混合: 燃料JMF04

- ・燃焼速度の向上により希薄燃焼域が拡大し、燃料消費率が向上した。
- ・一方、圧縮比が高い本試験エンジンではRON低下による点火時期遅角の影響が大きく現れ、その効果が小さくなった。

3. アロマ(Toluene)混合: 燃料JMF05

- ・RON向上により点火時期の進角が可能となり、燃料消費率が向上した。

燃料組成は希薄燃焼域の拡大と点火時期の進角の両方に影響を及ぼし、そのバランスにより燃料消費率も変化した。

これらのバランスを考慮することにより、オレフィン分を多く含む分解ガソリンは、将来の燃焼技術の一つである超希薄燃焼においても有効的に利用できる可能性があることを把握した。