

## 報 文 1

# 車両試験におけるエンジン燃焼室内圧力計測を用いたノッキング判定法の検討

中央技術研究所 燃料研究所  
燃料技術グループ  
ないき たけとら  
内木 武虎



中央技術研究所 燃料研究所  
燃料技術グループ  
ほそがい だいじろう  
細貝 大二郎



## 1. はじめに

エンジン内の異常燃焼によって発生するノッキング(以下「ノック」)は、現在においてもガソリン自動車の運転性および耐久性における大きな問題の1つである。これまでノック発生の有無は、図1に示すような測定者による官能評価や車両制御・性能の変化を基に判定してきた。代表的な測定法として、公益社団法人石油学会にて規定されたオクタン価要求値(ONR: Octane Number Requirement)測定法がある。ここでいうオクタン価要求値とは、ガソリン自動車の耐ノック性を示す指標であり、ONRが低い場合は耐ノック性が高い(ノックが発生しにくい)ことを示している。

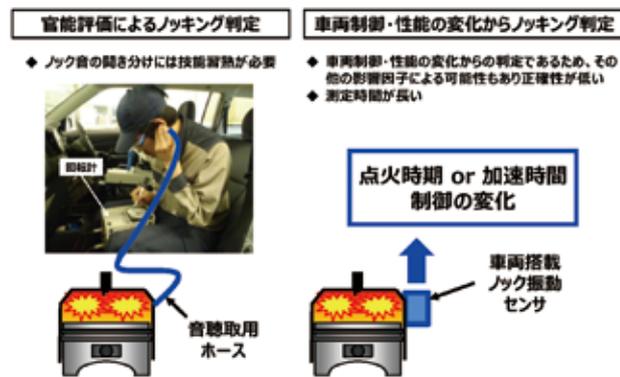


図1 既存のノッキング判定における課題

ONR測定法(石油学会規格: JPI-6S-6-94)<sup>1)</sup>は官能評価法であり、測定者の耳でノック発生有無を判断するため、ノック音の聞き分けには熟練した技術が必要であるとともに、ノック判定に個人差が生じやすいという課題がある。このため、2010年度に同学会は熟練の評価技術を要しないONR測定方法として、エンジンがノックを発生した際に生じる車両制御(点火時期)や車両性能(加速時間)の変化を基にノック有無を判定する新ONR測定法を確立した<sup>2)</sup>。しかし、点火時期や加速時間のような二次的な車両制御・性能変化からノック有無を判定する手法は測定時の誤差が大きいため、統計処理(T検定)に必要な加速回数(10回)が必要となり、測定に長時間を要するという課題がある。

これらの課題を解決するために、車両試験条件下でも直接エンジン燃焼室内の圧力計測を実施し、燃焼圧力状況を比較、観察することでノックを判定する計測法のシステム構築とその検証を行った。

## 2. エンジン燃焼室内の圧力計測を用いたノック判定法の特徴およびその検証条件

### 2.1 エンジン燃焼室内の圧力計測

図2に計測システムの概要を示す。試験車両をシャシダイナモ上で走行させ、エンジンの点火プラグに挿入した圧力センサによって、加速中の筒内圧力データをクランク角度(1deg)毎に燃焼解析装置(AVL製: IndiMicro)で収録した。クランク角度信号は、エンジンに組み込まれているクランク角度センサを利用した。収録された筒内圧力は、燃焼解析装置内で図3のようにノックが生じた際に発生する高周波数領域(4kHz以上)の圧力成分を取り出し、整流した後、エンジンサイクル毎の最大値を抽出した。

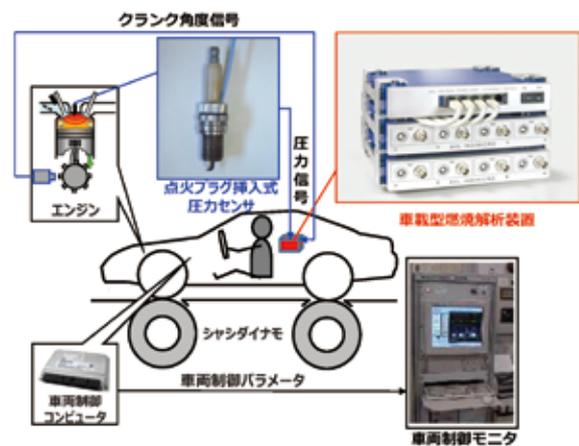


図2 計測システムの概要



図3 高周波数成分の最大圧力値抽出方法

### 2.2 検証条件

本検討では、試験車両は自然吸気で排気量 1.5L のエンジンを搭載する AT 車を用いた。運転条件は図 4 に示す既存法で実施されているディテント加速法<sup>1)</sup>である。ディテント加速法は、任意の AT 車において、キックダウンしない最大吸入圧力で加速させる加速法である。このため、運転者のアクセル操作を繰り返し一定の角度に合わせないと、ノック発生の再現性が低下する。したがって、アクセル操作は、運転用ロボット (堀場製作所製: ADS-7000) により実施した。

試験燃料は ONR 試験で定められている正標準燃料 (ノルマルヘプタンとイソオクタンとの混合燃料) を用いた。

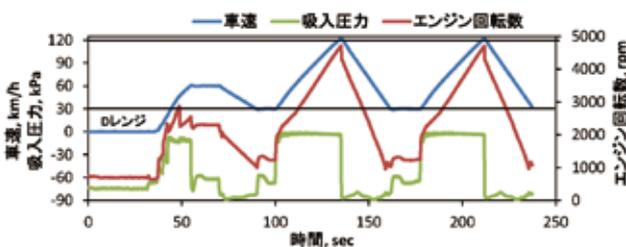


図 4 運転条件 (ディテント加速法)

### 2.3 ノック判定方法

ノック判定には、ノックが生じない高オクタン価燃料の加速時における高周波数成分の最大圧力値を基準値とした。そして、オクタン価を変えて加速運転を行い、その時の高周波数成分の最大圧力が基準値を超えた場合、ノック発生と判定した。例として、図 5 に 92 オクタン (以下「ON」) とノックが生じていない 100 ON の波形の比較結果を示す。92 ON は 2300 ~ 3000rpm、3500rpm 付近で 100 ON の波形を超えるため、ノックが生じたと判定した。このように、ノックが生じた最大オクタン価を ONR と定めた。また、

既存法の ONR 測定法および新 ONR 測定法も同時に実施した。

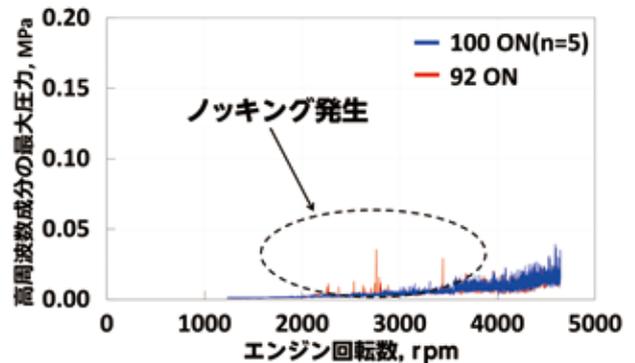


図 5 ノッキングの判定方法

### 3. 検証結果

#### 3.1 エンジン燃焼室内圧力計測法の検証結果

図 6 に ONR 測定結果を示す。高いオクタン価の正標準燃料から順に測定していくと、93 ON でノックが生じ始めたことを確認した。さらにオクタン価の低下に伴い、ノック強度が高まり、またノックが生じたエンジン回転数の領域も拡大した。これより、ノックの発生時期およびその強度を定量的に記録することが可能であることを確認した。

ノックの再現性を確認するために、93 ON の加速 20 回における高周波数成分の最大圧力波形を比較した。結果を図 7 に示す。ノックが生じた領域および強度はほぼ同等であることから、ノックの再現性が高いことを確認した。また、加速 1 回目の測定でノック有無の判定が可能であることから、測定時間の短縮が可能になる。

今回の検証したエンジン燃焼室内圧力計測法を用いた場合、ノックが生じた最大オクタン価は 93 ON だったことから ONR は 93 ON と判断した。

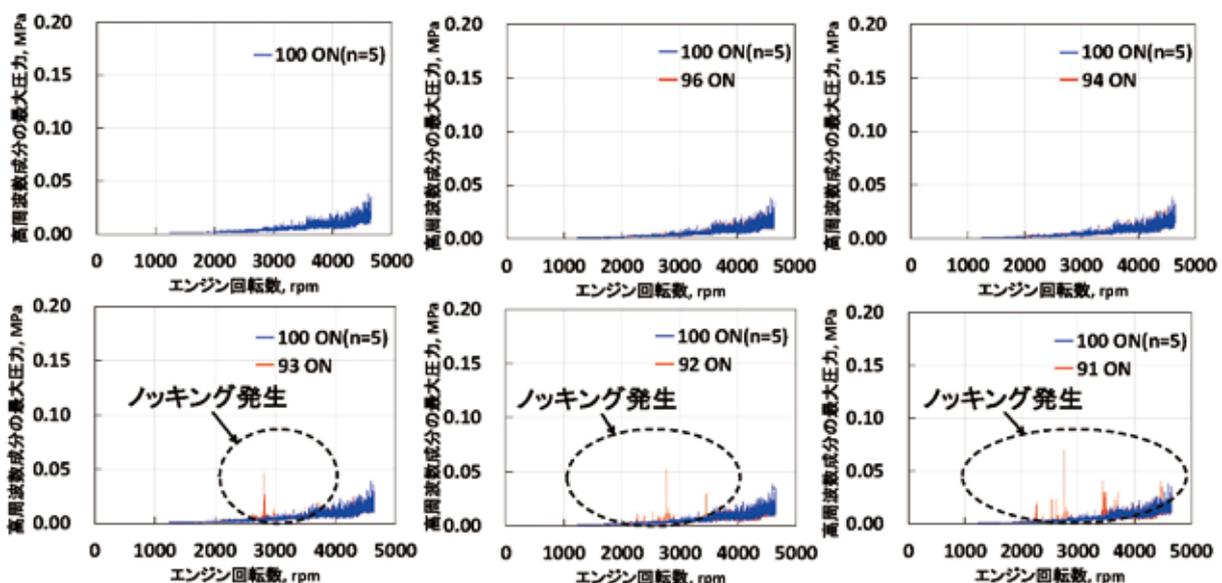


図 6 オクタン価の変化に伴う高周波数成分の最大圧力波形の変化

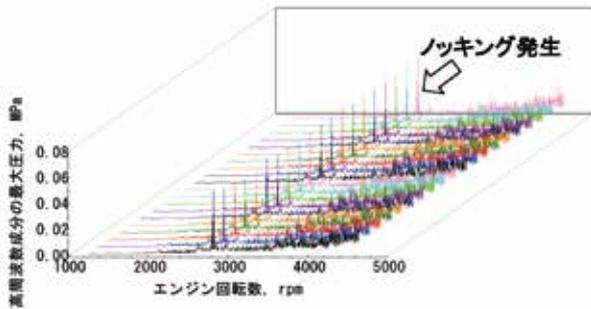


図7 93オクタンの加速20回におけるノッキング判定の再現性

### 3.2 既存法との比較

表1にエンジン燃焼室内圧力計測法と既存法の各測定結果を示す。官能評価によるONR測定法の場合、今回実施した初心者および熟練者による結果はそれぞれ92 ON、93 ONとなった。93 ONではピンポイントノック(加速中に1回だけ発生するノック)が生じた。このため、ピンポイントノックの聞き分けに個人差が生じた結果となった。また、新ONR測定法の場合、加速10回の平均点火時期および平均加速時間の結果から有意差判定(T検定)によってONRは91 ONとなった。今回の試験車両においては、実際にノックが生じ始めたオクタン価よりも低いオクタン価で車両制御・性能の変化が生じたことから、新ONR測定法は車両固有の制御による影響が大きいことを確認した。これらの既存法の結果に対して、エンジン燃焼室内圧力計測法は、安定したノック検知によってONR測定の熟練者と同等である93 ONとなった。

表2に示すように各測定法をノック判定技能習熟の難易度および測定時間、正確性の観点で比較評価すると、今回検討したエンジン燃焼室内圧力計測法を用いたノック判定法は既存法に対して優位性を示した。

表1 各測定法におけるONR測定結果

手法		ノッキングの判定	ONR測定結果, ON	
既存	ONR測定法	ノッキング音の聴取	初心者	92
			熟練者	93
	新ONR測定法	点火時期あるいは加速時間の変化を統計解析	91	
本検討手法	エンジン燃焼室内圧力計測法	圧力センサからのノッキング波形	93	

表2 各測定法の比較評価

手法	ノッキングの判定	技能習熟の難易度	測定時間	正確性	
既存	ONR測定法	ノッキング音の聴取	×	○	○
			難	測定者による	測定者による
	新ONR測定法	点火時期あるいは加速時間の変化を統計解析	○	△	△
本検討手法	エンジン燃焼室内圧力計測法	圧力センサからのノッキング波形	○	◎	◎
			易	短	

### 4. まとめ

車両試験においてエンジン燃焼室内の圧力計測が可能なシステムを用いたノック判定法を用いてONRを測定し、既存法と比較検証した。その結果を以下に示す。

- (1) ノック検知の再現性は高く、ノック発生時期およびその強度の定量化が可能であることを確認した。
- (2) 技能習熟の難易度および測定時間、正確性において、既存法のONR測定法および新ONR測定法と比較して優位性を示した。

### 5. 今後の検討

近年、ガソリン自動車において、エンジンの排気量を小さくし、燃費性能を向上させた上で、過給化によって出力性能を確保する過給ダウンサイジングエンジンを搭載した車両が普及している。このような車では、低回転・高負荷域の運転条件において、点火前に着火してしまう異常燃焼である低速ブレイクニッション(LSPI: Low Speed Pre-Ignition)が発生することが報告されている。LSPIは何万回の燃焼に1回という確率で発生するとされているが、発生した場合はエンジンの損傷につながるとされている。今回検討したエンジン燃焼室内圧力計測法を用いることによって、市販車両をシャシダイナモ上で走行させた状態でLSPI測定も可能であると考えている。現在、LSPIが発生する走行条件も併せて検討している。

本報は、石油学会2016石油製品討論会にて発表した内容<sup>3)</sup>を加筆・修正したものである。

#### — 参考文献 —

- 1) JPI-6S-6-94; 石油学会規格 - オクタン価要求値測定法基準 (1994)
- 2) 新ONR・燃費評価試験専門委員会; 2010年度新ONR・燃費評価試験結果報告書, 石油学会, 2010-03
- 3) 内木武虎他; 筒内圧計測によるオクタン価要求値の測定, 2016石油製品討論会要旨集 (2016)