

高調波外周波数成分の音色に及ぼす影響

-エンジン排気音について-

6 J-3

川上和久 田辺圭一 福島学 城戸健一 (千葉工業大学)

尾那達雄 鈴木英男 (オンテック R&D)

1 はじめに

スペクトルの高調波外周波数成分が音色に影響を及ぼすことは、これまでに車室内音質評価等[1]で報告されている。一般には、高調波外周波数により聴覚印象的に「濁った」印象を与え、高調波のみでは「澄んだ」印象を与えるとされている。

これまでに、著者等は自動車排気音に含まれる高調波外周波数が、排気管接続方式により生じる排気管長差による事を明らかにした[2]。本稿では特にエンジンの排気音を対象とし、スペクトルの高調波外成分の比率と聴覚印象の関係について調べた結果を報告する。

2 排気音について

基本周波数 $f_0$ は、気筒数 $p$ と回転数 $r$ より決まる[3]。

$$f_0 = \frac{r}{60} p$$

しかし、実測データでは、 $f_0$ とその高調波以外のスペクトル（高調波外周波数）が発生している[2]。これまでにこの高調波外周波数は、排気管接続方式によって生じる排気管路長差によって発生し、排気管スペクトル $X(f)$ は、全気筒の発火サイクルによる成分 $P_1(f)$ と管路長差による成分 $B_1(f)$ の積となることを明らかにした[4]。

$$X(f) = B_1(f) \cdot P_1(f)$$

$$B_1(f) = [\exp\{j2\pi f(\tau + \tau_1)\} + \exp\{j2\pi f(2\tau + \tau_2)\} + \exp\{j2\pi f(3\tau + \tau_3)\} \\ + \exp\{j2\pi f(4\tau + \tau_4)\} + \exp\{j2\pi f(5\tau + \tau_5)\} + \exp\{j2\pi f(6\tau + \tau_6)\}]$$

$$P_1(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N} \sum_{n=-N}^{N-1} \exp\{-j2\pi f n(6\tau)\}$$

但し、発火周期： $\tau$                        $\tau_k$  :  $k$ 気筒の管路長差により生じる伝搬遅延時間

本稿では、排気管接続方式の違いにより生じる高調波外周波数成分により、合成排気音の音色のうち聴覚印象「濁った」「澄んだ」[5]がどのように変化をするかを調べた。

3 合成排気音

実験で使用した合成排気音は、次の4パタンの排気管接続方式の音である。合成排気音は、6気筒4サイクルエンジン、3600rpm相当の音であり、管路長差は10cmとした。排気管特性は、トヨタ製セリカXXからサンプルした排気音より作成した。排気管特性を図1に示す。

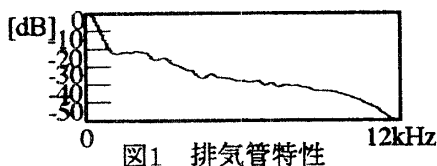


図1 排気管特性

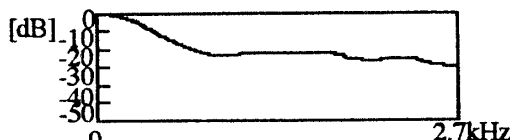


図2 図1の0から2.7kHzまでを拡大したもの

パターン1) 等長 (高調波外周波数なし)

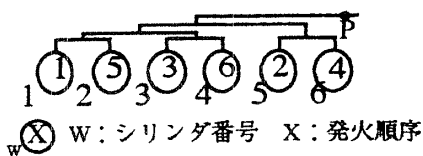


図3 排気管構造

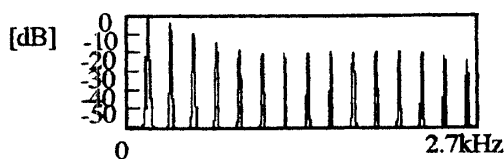
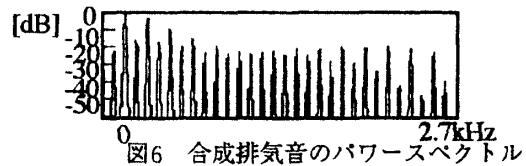
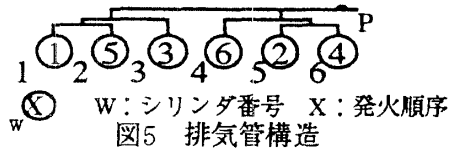
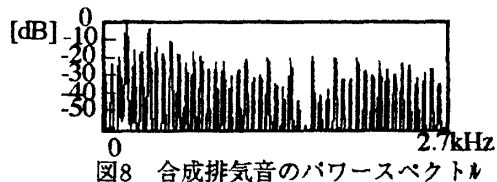
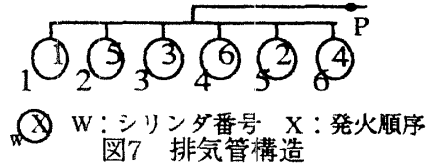


図4 合成排気音のパワースペクトル

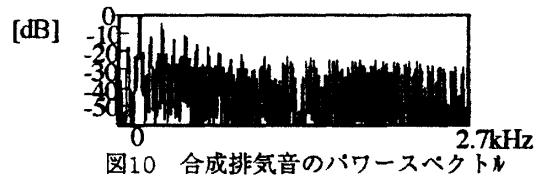
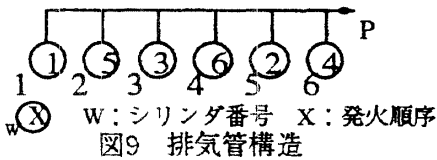
パターン2) 直列エンジン ( $\pm \frac{1}{2}f_0$ )



パターン3) 直列エンジン ( $\pm \frac{1}{3}f_0$ )



パターン4) 直列エンジン (全気筒とも管路長差が異なる場合)



#### 4 聴取実験結果

聴取実験は、被験者5名、延べ50サンプルで行った。その結果を表1に示す。表1中1~4が振幅を一定とした場合の上記パターン1~4を示し、5~8が振幅をランダムに変化させた場合の上記パターン1~4を示す。振幅を変化させると、合成排気音のワースペクトルが、実測排気音に近似するため、これも比較の対象とした。聴取実験は、一対比較法で行った。結果を、表1に示す。表1は、左と上の一対を聞いたとき上のほうが「澄んでいる」と回答したサンプル数を示している。

表1 聴取実験の結果 (総サンプル数: 50)

		1	2	3	4	5	6	7	8
振幅一定	等長 (1)		22	1	6	36	12	11	24
	$\pm \frac{1}{2}f_0$ (2)	28		10	2	28	33	20	9
	$\pm \frac{1}{3}f_0$ (3)	49	40		18	47	29	28	13
	全気筒 (4)	44	48	32		32	47	19	10
振幅変化	等長 (5)	14	22	3	18		3	2	20
	$\pm \frac{1}{2}f_0$ (6)	38	17	21	3	47		30	33
	$\pm \frac{1}{3}f_0$ (7)	39	30	22	31	48	20		10
	全気筒 (8)	26	41	37	40	30	17	40	

■: 有意水準1%で有意な範囲

#### 5 おわりに

本稿では、自動車排気音における高調波外周波数成分が、音色に与える影響を調べた。振幅が一定の場合は、パターン1,2に有意差がなく、パターン3,4に比べ「澄んでいる」と評価された。しかし、振幅を変化させると、その関係が変化した。パターン1では振幅を変化させたほうが一定よりも「澄んでいる」と評価されたが全てのパターンでそうはならなかった。この件については、今後さらに検討をすすめる。

#### 【参考文献】

- [1] 岡本直久、古郡了、阿部智行、「運転操作と音質評価」日本音響学会誌48巻11号(1992)
- [2] 田辺圭一、川上和久、福島学、城戸健一、尾郡達雄、鈴木英男、「エンジンの排気管接続方式による排気音スペクトル変化と音質評価に関する一検討」信学技報 Vol.96 No.236 p.7 (1996)
- [3] 「自動車工学便覧」第2章 p.83
- [4] Ken'iti Kido, Manabu Fukusima, Kazuhisa Kawakami, Keiichi Tanabe, Hideo Suzuki, Tatsuo Ona, 「EFFECT OF INTERNAL COMBUSTION ON THE EXHAUST NOISE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE」 Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan Third Joint Meeting (1996.12)
- [5] 難波精一郎、「現代基礎心理学講座2知覚」基礎過程」東京大学出版会(1982)