

17.6 エンジンによる点火プラグの熱定格測定

Measurement of Heat-rating of Spark Plugs by 17.6 Engine

宝 諸 幸 男* 熊 谷 一 男* 原 田 耕 治*
 Yukio Hōsho Kazuo Kumagai Kōji Harada

内 容 梗 概

一般内燃機関に用いられる点火プラグの熱定格を正確に測定することは、エンジンに十分適合する点火プラグを選定するうえに必要不可欠のものである。17.6 エンジンはこの点火プラグの熱定格を測定する装置として、世界的に認められた唯一のもので、本装置によって精密に熱定格を測定しうるとともに、熱定格に及ぼす点火プラグ各部寸法の影響を解明することができた。

1. 緒 言

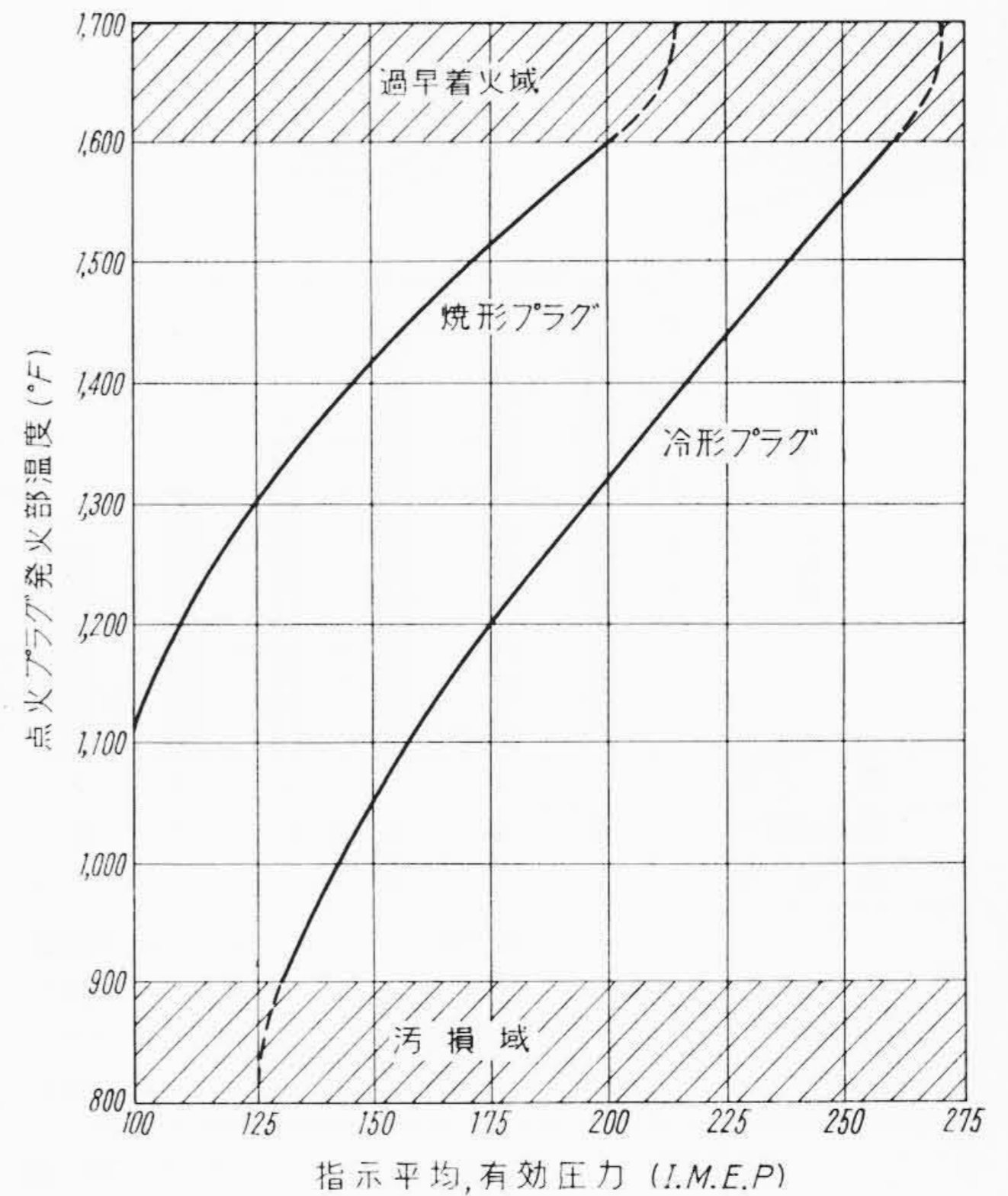
点火プラグの熱定格を数値的に測定し表示することは、そのプラグがあるエンジンに適合しうるかいなかを判断するうえに、きわめて重要なことである。もし点火プラグの熱定格がそのエンジンに対して不足である場合には、プラグの電極消耗がはなはだしいのみならず、エンジンの正常な運転が阻害され、ついにはエンジンを破壊することもある。このために軍用とか航空機など極度に安全性を重要視するものでは、点火プラグの受入検査規格に熱定格測定の一項目を設けている⁽¹⁻⁴⁾。また近來性能の著しい向上を示した一般自動車用点火プラグについても、熱定格の測定および表示を規格化する方向に進みつつある。従来多く用いられてきた点火プラグの熱定格測定方法は、実用エンジンによって自己点火を起こすに至る時間を求めるものであるが、測定精度、再現性に乏しく、測定値が一般に通用しないという欠点を有している。これに対し17.6エンジンはきわめて高い再現性をもって熱定格を正確に測定しうるばかりでなく、その表示は国際的にも認められている。日立製作所においては、この17.6エンジンによって点火プラグの熱定格を世界的レベルで測定しうるようになったが、さらに進んで本装置によって点火プラグの熱定格に及ぼす各種要因を解明することができた。以下に本装置の概要と点火プラグ発火部各部寸法の熱定格に及ぼす影響について、実験した結果を述べる。

2. 熱定格の意味とその重要性

点火プラグには、燃焼を起こさせるに十分な火花エネルギーを発生しうることのほかに、耐熱性、耐汚損性が重要な特性として要求される。このうち、一般に“焼形”とか“冷形”とか称している耐熱性を、数値的に表示したものが熱定格である。

日立製作所では日立熱価方式を早くから確立し、これにより耐熱性を表示してきた。日立熱価は“1”から“9”までの正の整数値で表示されるもので、数の大きなものほど焼形すなわち熱定格が低い。たとえば46Gの“6”は熱定格を表示しており、また10位の数字“4”は取付部ねじ径14mmφを示している。熱定格は換言すればそのプラグの耐えうる熱負荷の度合を示す⁽⁵⁾ものであり、同じ仕事(すなわち熱負荷)をしているエンジンに取り付けた場合熱定格の低いプラグは、熱定格の高いプラグより温度が高くなり、過早着火を生じやすい。この関係を第1図に示す⁽⁶⁾。この過早着火は点火プラグの火花エネルギーを待たずして、一部特に点火プラグのがい子先端部にたくわえられた熱エネルギーによって混合気が燃焼を開始する現象⁽⁷⁻⁹⁾で、燃焼ガス温度が急上昇し、出力の減退、シリンダ壁の過熱、ピストンの焼き付きなどを誘起する。最近ではエンジン性能が向上してプラグに対する熱負荷が大となり、さらに高速道

* 日立製作所多賀工場



第1図 点火プラグ発火部温度と負荷の関係

路の出現により、いっそうこの傾向は助長され、エンジンに対するプラグ熱定格の適合性が問題となり、必然的に熱定格の測定が厳密に要求されるに至った。一般には熱定格の低い焼形プラグは、比較的低いガス温度のエンジンに、冷形プラグは比較的高いガス温度のエンジンに使用される。この熱定格を決定する要素には種々あるが、ガス室容積の大きいほど、がい子脚部の長いほど熱定格は低くなり、電極、がい子の熱伝導率のよいほど熱定格は高くなる。第2図は日立点火プラグの熱価系列を示したものである。

3. 17.6 エンジンの概要

17.6 エンジンはアメリカ Laboratory Equipment Corp. の製品で、過給気圧力と点火プラグに対する熱負荷が比例することから、点火プラグが過早着火を起こさない極限の熱負荷に達するまで過給気圧力を高め、このときのエンジン指示平均有効圧力 (lbs/in²) を次式⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾によって求め、これを点火プラグの熱定格とするものである。

$$P_{mi} = \phi(n) i K(\epsilon) i \frac{P_B}{420+t} \left[1 - 0.823 \left(\frac{P_r}{P_B} \frac{1}{\epsilon} \right) \right] + C (P_B - P_r) \quad (1)$$

ここで P_{mi} : 指示平均有効圧力すなわち熱定格 (IMEP lbs/in²)

$\phi(n)i$: 空気過剰率 r のみの関数

$K(\epsilon)i$: 圧縮比 ϵ のみの関数

- P_B : 過給気圧力 (in Hg abs)
- t : 吸入管温度 (°C)
- P_r : 背 圧 (in Hg abs)
- C : 定 数

本17.6エンジンは①エンジン本体, ②過給装置, ③速度自動制御装置, ④コントロールパネルの四つの主要部分より構成されている。装置の外観を第3図に, おもな仕様を第1表に示す。本装置は最高110" Hg abs までの過給方式を採っているの、これに耐えうるよ

う特に精密にまたじょうぶに作られている。以下本装置の特長を列記する。

- (i) 自動車用および航空機用のあらゆるネジ径, あらゆるリーチのプラグ, ならびにあらゆる熱定格のプラグの熱定格測定が可能である。
- (ii) 試験条件は一定に自動的に調整され, データの再現性と測定精度が高い。
- (iii) 個人差がなく, 正確に測定できる。

(iv) 熱定格の表示値が指示平均有効圧力であるので, そのまま実用エンジンに対する点火プラグの適否の判定をなしうる。

(v) 本装置による測定値のみが国際的に通用する。

4. 17.6 エンジンによる点火プラグ熱定格測定方法ならびに測定条件

17.6 エンジンによる点火プラグの熱定格測定法は前述したように, 点火プラグが過早着火を起こさず正常に使用しうる極限の過給気圧力 P_B を求め, (1) 式からそのときの指示平均有効圧力 P_{mi} (lbs/in²) を算出し, そのプラグの熱定格とするのであるが, その際の測定条件は第2表に示すとおりである。

5. 点火プラグ熱定格に及ぼす発火部寸法の影響

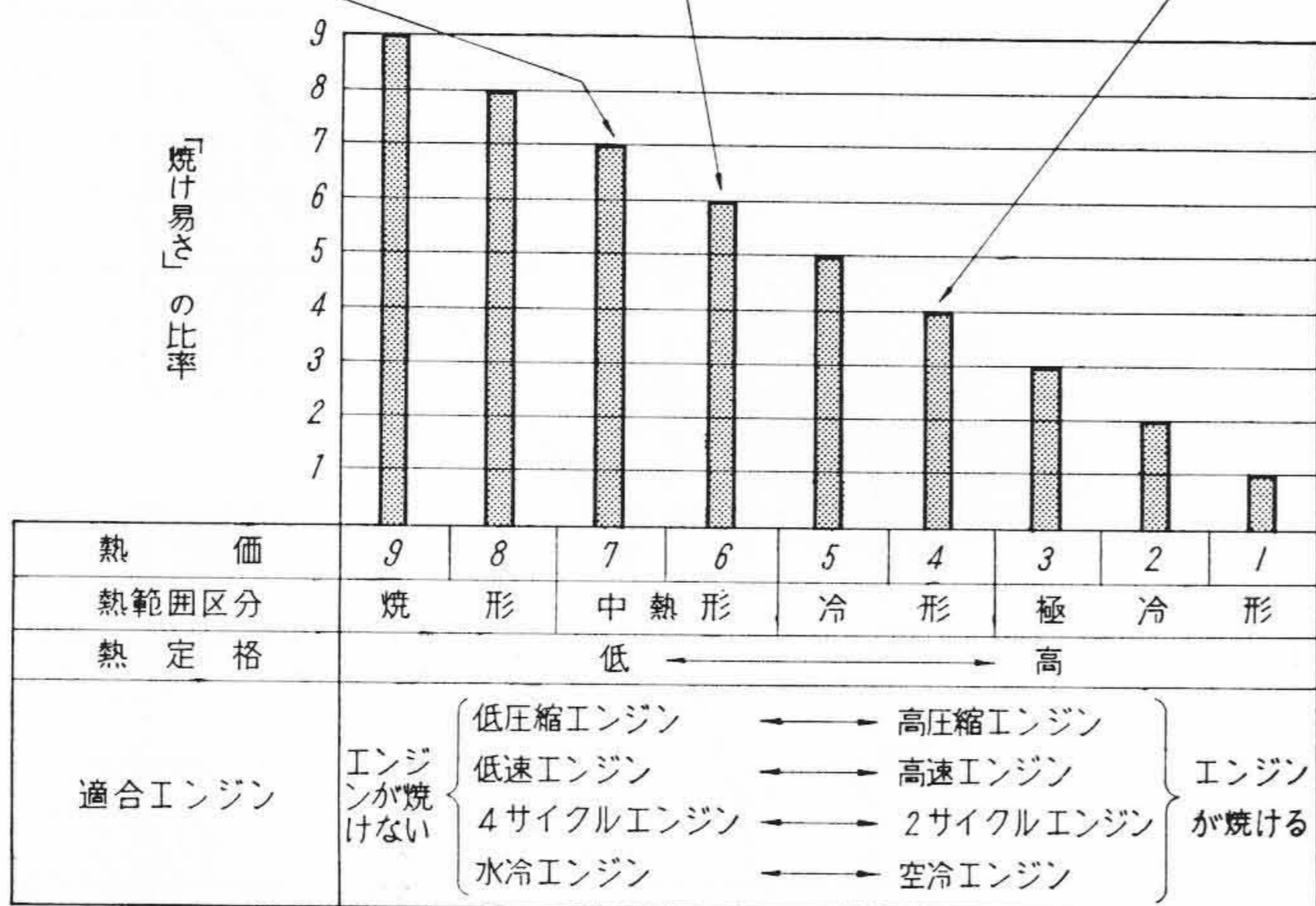
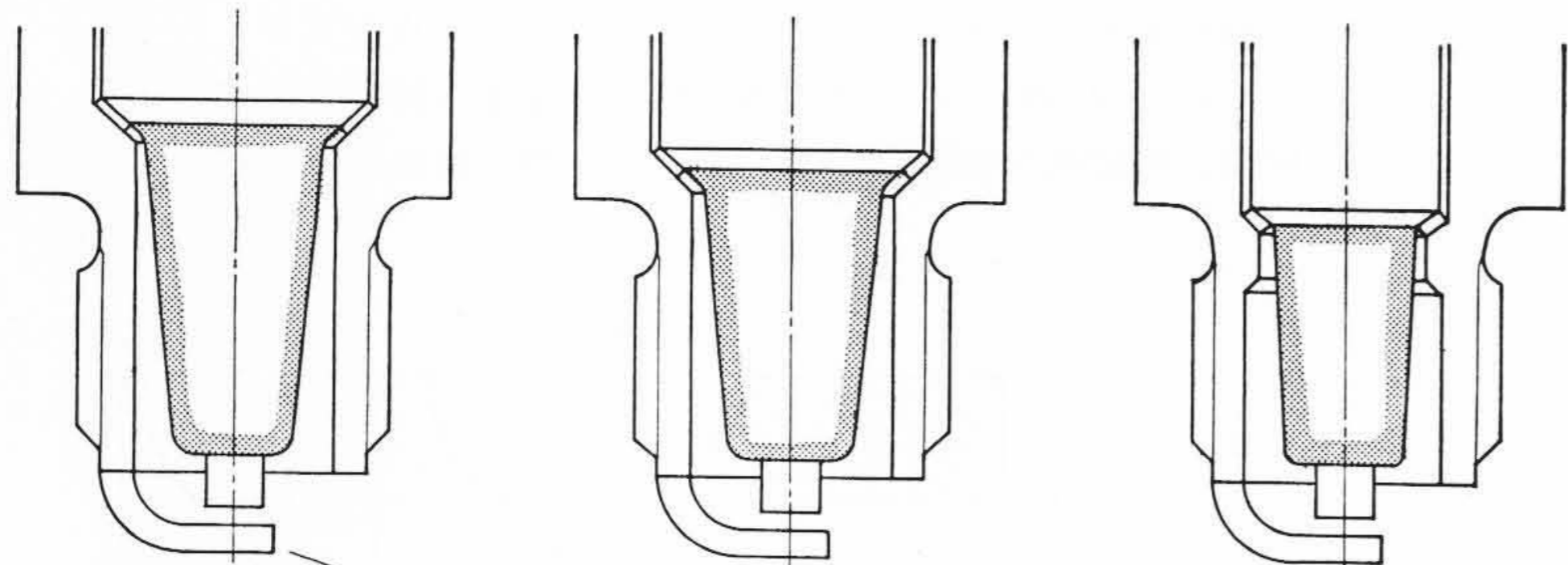
点火プラグの熱定格に及ぼす因子は, 寸法的にも材料的にも数多く存在するが, 特に顕著に影響を与えるのは, 発火部の形状寸法であると考えられる。この影響を定量的に知ることは点火プラグの設計に不可欠なことであって, 熱定格を正確に測定しうる17.6エンジンにより初めて可能となった。以下に 14 mm ショートリーチ点火プラグについて発火部各部寸法の熱定格に及ぼす影響を検討した実験結果を一例として述べる。

5.1 実験計画法による試料の作成

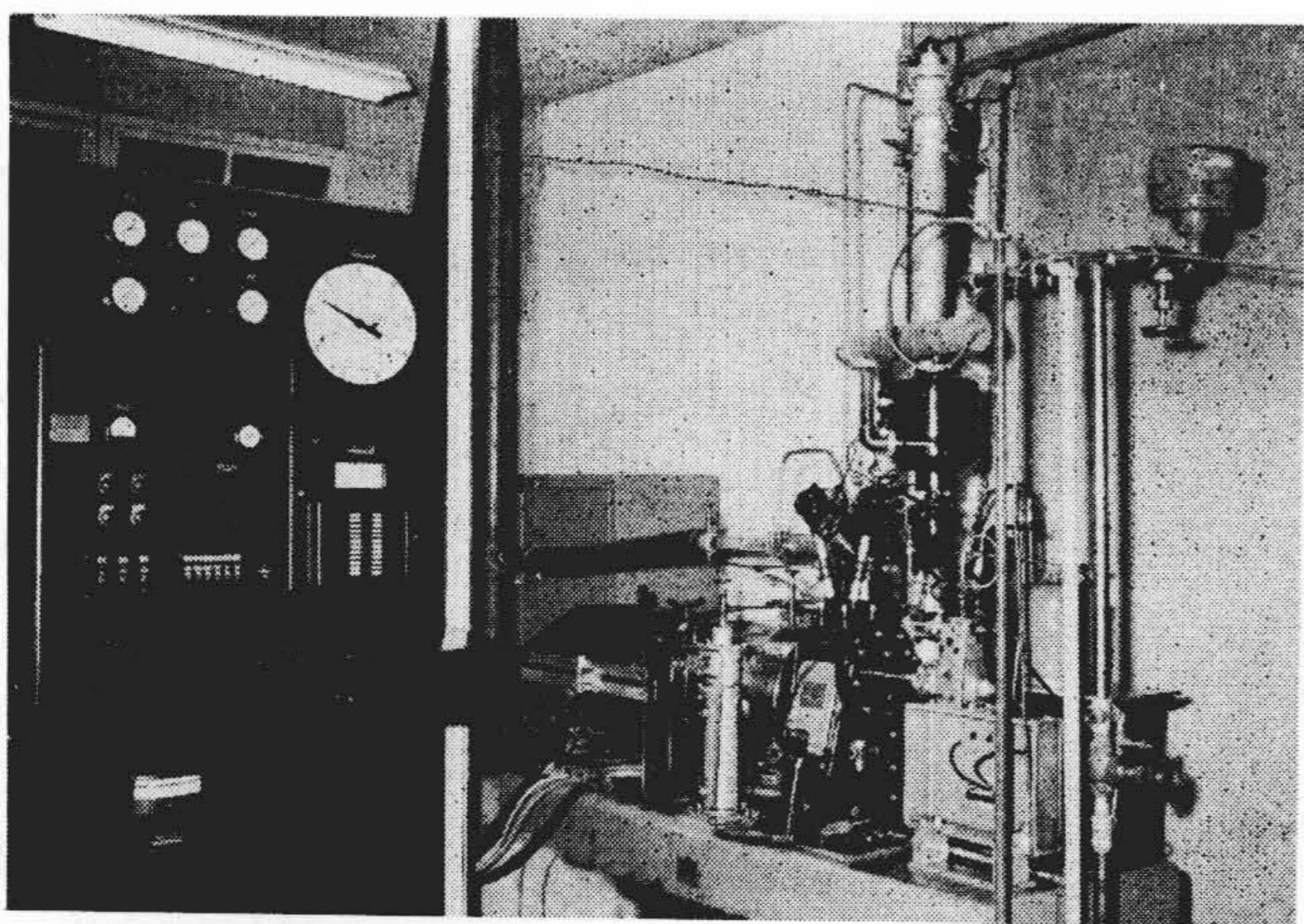
実験は直交配列法により, 因子としては栓(せん)体ガス室長, 径, がい子脚部長, がい子先端径の四つをとり, 水準としては第3表のように3水準とした。これらを第4表に示すように直交配列表 $H_{3,27}$ に割り振り, 試料を作成したが, 因子A, B, C, Dは, もし交互作用があったとしても, それによって主効果の情報がよごされないようにそれぞれ1, 2, 5, 9列に割り振ってある。

5.2 熱定格測定結果

第4表に割り振った各因子の組み合わせを持つ点火プラグの熱定格を測定した結果を第4表に並記した。測定値は3個の平均値を示す。



第2図 日立点火プラグの熱価系列



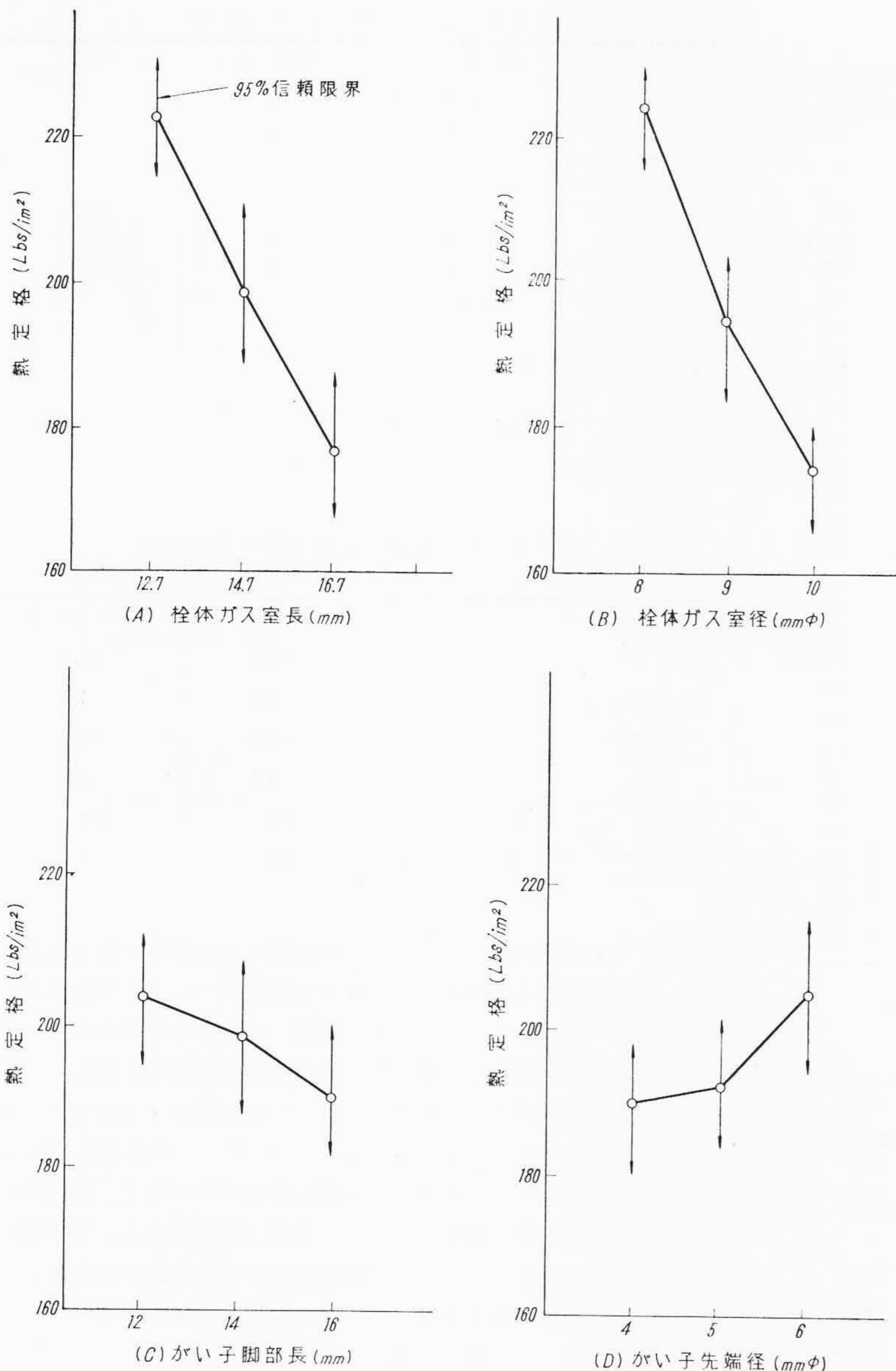
第3図 17.6 エンジンの外観

第1表 17.6 エンジンの仕様

装置名	仕 様
エンジン本体	加圧水強制循環冷却式, 単気筒4サイクル, 排気容積 17.6in ³ (288 cc), 圧縮比 5.6:1, 吸気マニホールド燃料噴射, プレイグニッションテスト燃料使用, 定格回転数 2,700 rpm, マグネット点火
過給装置	大気圧+80 inHg (大気圧+2,000 mmHg)
速度自動制御装置	2,700 rpm (爆発時 2,765 rpm max モータリング時 2,670 rpm min)
コントロールパネル	メータに指示される条件: エンジン回転数, 過給気・冷却水潤滑油の圧力・温度, その他 自動調整される条件: 冷却水圧力・温度, 過給気圧力・温度湿度

第2表 17.6 エンジンにおける熱定格測定条件

項 目	条 件
回 転 数	2,700 rpm
圧 縮 比	5.6:1
点 火 進 角	30° BTDC
点 火 装 置	マ グ ネ ト
燃 料	プレイグニッションテスト燃料
燃 料 噴 射 圧 力	300±50 lbs/in ²
冷 却 水 圧 力	シリンダヘッドで 20 lbs/in ² 以上
ジャケット入口温度	130±2°C
吸 気 温 度	エアレシーバ内で 107±2°C
潤 滑 油	Aircraft Engine Oil 120
潤 滑 油 圧 力	主ベアリングで 95±5 lbs/in ²
潤 滑 油 温 度	90±4°C



第4図 14 mm ショートリーチプラグ熱定格に対する各種要因効果曲線

第3表 熱定格実験計画における因子と水準

記号	A	B	C	D
	栓体ガス室長 L_1	栓体ガス室径 D_1	がい子脚部長 L_2	がい子先端径 D_2
因子				
水準	0: 12.7 1: 14.7 2: 16.7	8 9 10	12 14 16	4 5 6

5.3 実験結果の検討

以上の実験結果から各因子の分散比を計算し、主効果の順位をみれば、

$$B (29.9^{**}) > A (29.2^{**}) \gg C (3.2) > D (2.55)$$

(()は分散比)

で栓体ガス室径、ガス室長は、がい子脚部長、がい子先端径より大きく熱定格に影響することがわかる。各因子の要因効果曲線を第4図

に示す。自由度2の計算では因子C、Dは5%危険率で有意差なしと判定されたが、これをさらに自由度1に分解して分散分析を行なった結果、第5表に示すように、A、B、Cはともに高度に有意、Dは有意である。これを用いて推定値に対する信頼限界を求めれば、

$$\pm \frac{t_{0.05}(16)}{\sqrt{9}} \sqrt{\frac{S_e}{16}} = \pm \frac{2.12}{\sqrt{9}} \sqrt{\frac{3.996}{16}} = \pm 11.1$$

となる。

なお、ここに取り上げた四つの因子のうち、栓体ガス室長、ガス室径、がい子脚部長の間に交互作用があるかどうかを検討した。第4表で(1)(2)列に割り付けた因子A、Bの交互作用は(3)(4)列に、因子A、Cの交互作用は(6)(7)列に、また因子B、Cの交互作用は(8)(11)列に含まれるから、これによって、各因子の交互作用の平方和を求めF検定を行なった結果、第6表に示すように、いずれも $F \ll F_0^{\alpha}(0.05)$ で交互作用は認められなかった。

5.4 熱定格を算出する実験式

以上の結果から、点火プラグの熱定格を左右する発火部諸元の要因効果が、それぞれ独立に作用することが確認されたので、熱定格を算出する実験式として次式を与えることができる。

$$H = H_0 + \frac{\Delta H}{\Delta L_1} (L_1 - L_{10}) + \frac{\Delta H}{\Delta D_1} (D_1 - D_{10}) + \frac{\Delta H}{\Delta L_2} (L_2 - L_{20}) + \frac{\Delta H}{\Delta D_2} (D_2 - D_{20}) \dots (2)$$

H: 熱定格 (lbs/in²)

L_1 : 栓体ガス室長さ (mm)

D_1 : 栓体ガス室径 (mm)

L_2 : がい子脚部長さ (mm)

D_2 : がい子先端径 (mm)

添字0を付したのは基準点火プラグの諸量を示す。

発火部諸元のとり方は第3表による。

$\Delta H/\Delta L_1, \Delta H/\Delta D_1, \Delta H/\Delta L_2, \Delta H/\Delta D_2$ はそれぞれ $L_1,$

D_1, L_2, D_2 の単位長さの変化に対する熱定格の変化する割合を示し、第4図より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta H}{\Delta L_1} &\doteq -12.5 \quad (\text{lbs/in}^2/\text{mm}) \\ \frac{\Delta H}{\Delta D_1} &\doteq -25 \\ \frac{\Delta H}{\Delta L_2} &\doteq -4 \\ \frac{\Delta H}{\Delta D_2} &\doteq +5 \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

となる。

ここで、熱定格200の点火プラグを基準にとると、発火部諸元は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} L_{10} &= 14.7 \quad (\text{mm}) \\ D_{10} &= 9.0 \\ L_{20} &= 14.0 \\ D_{20} &= 5.0 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

ただし $H_0 = 200$ (lbs/in²)

(3)(4)を(2)に入れると

第 4 表 直交配列表 $H_{3,27}$ に対する因子の割り振り
および熱定格測定結果

試料番号	A		B		A×B		C	A×C		B×C	D	B×C	熱定格 (Lbs/in ²)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	\bar{x}		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	247
3	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	255
4	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	218
5	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	230
6	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	208
7	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	210
8	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	194
9	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	180
10	1	0	1	2	0	1	0	1	1	1	0	0	218
11	1	0	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	266
12	1	0	1	2	2	0	2	0	0	0	2	2	192
13	1	1	2	0	0	1	1	1	2	2	2	2	197
14	1	1	2	0	1	2	2	2	0	0	0	0	194
15	1	1	2	0	2	0	0	0	1	1	1	1	185
16	1	2	0	1	0	1	2	2	0	1	2	2	190
17	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2	0	0	177
18	1	2	0	1	2	0	1	1	2	0	1	2	170
19	2	0	2	1	0	2	0	0	2	0	2	0	226
20	2	0	2	1	1	0	1	1	0	1	0	1	171
21	2	0	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	192
22	2	1	0	2	0	2	1	1	0	2	2	2	176
23	2	1	0	2	1	0	2	2	1	0	1	0	169
24	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1	1	1	164
25	2	2	1	0	0	2	2	2	1	1	1	1	157
26	2	2	1	0	1	0	0	0	2	2	2	2	135
27	2	2	1	0	2	1	1	1	0	0	0	0	150

備考 AとBの交互作用A×Bの情報は、3, 4列に現われる。
A×C, B×Cの情報はそれぞれ6, 7および8, 11列に現われる。

第 5 表 分 散 分 析 表

要 因	変 動	自由度	F_0
A	lin	11,603	1
	res	31	1
B	lin	11,705	1
	res	197	1
C	lin	1,267	1
	res	10	1
D	lin	840	1
	res	174	1
S_t (全 変 動)		29,411	26
S_e (誤 差)		3,996	18

$F_{18}^2(0.05) = 3.55$

$F_{18}^2(0.01) = 6.01$

F_0 は各要因の不偏分散を誤差の不偏分散 199 で除した値である。

$$H = 200 - 12.5(L_1 - 14.7) - 25(D_1 - 9.0) = 4(L_2 = 14.0) + 5(D_2 - 5.0) \dots (5)$$

をうる。

6. 確 認 実 験

(5)式を確認するため発火部寸法の異なる各種の点火プラグを試作し、(5)式に基づく計算値と17.6エンジンによる実測値を比較した結果、満足すべき精度で一致することがわかった。第7表にその一例をあげる。

7. 結 言

前述したように、点火プラグの熱定格は、エンジン性能を十分発揮せしめるためにきわめて重要な意味を持つものであるが、日立においては、点火プラグの熱定格を、世界的に認められている17.6エン

第 6 表 交 互 作 用 の 検 定

要 因	変 動 (S)	自由度 (df)	F_0
A	11,634	2	
B	11,901	2	
C	1,277	2	
D	1,014	2	
A×B	171	4	0.1
A×C	1,595	4	1.6
B×C	300	4	0.3
S_t (全 変 動)	29,411		
S_e (誤 差)	1,519	6	

$F_0 = \frac{S(\text{交互作用})/4}{S^2}$

$S^2 = \frac{S_e}{df_e} = \frac{1,519}{6} = 253$

$F_0^4(0.05) = 4.39$

第 7 表 熱 定 格 確 認 実 験 用 試 作 14 mm

ショートリーチ点火プラグ

発火部寸法 (mm)	試 作 例 1		試 作 例 2	
	L_1	16.7	12.7	
D_1	9.5	9.5		
L_2	16.0	12.0		
D_2	5.5	5.5		
熱 定 格 (lbs/in ²)	計 算 値	157	223	
	実 測 値	160	228	

ジンによって正確に測定している。本装置による幾多の研究結果のうち、発火部各部寸法の熱定格に及ぼす影響についての実験結果の一例を本文に述べたが、このほか、電極、がい子そのほかの熱伝導率、発火部特殊構造などの熱定格に及ぼす影響が明らかになり、さらに、本装置を用いて、一般実用エンジンが必要とする点火プラグの熱定格を決定することも可能となった⁽¹²⁾⁽¹³⁾。このように17.6エンジンは単に点火プラグの熱定格を測定するのみでなく、熱定格に関するあらゆる現象の解明にきわめて有効な装置である。日立製作所は本装置を駆使して点火プラグ熱定格の十分な管理を行なうとともに、性能の飛躍的向上を目ざして研究開発を進めている。

参 考 文 献

- (1) MIL-P-10067 A (Ord): Military Specification Plugs; Spark (for Automotive Application) (22 March 1951)
- (2) MIL-S-10067 B (Ord): Military Specification (Spark Plugs: Shielded and Unshielded; Automotive) (3 July 1956)
- (3) W-P-506 Z Amendment-2: Federal Specification for Plugs; Spark (23 May 1952)
- (4) JIS: 航空発動機用点火プラグ W 4501-1956
- (5) W. Koennecke: Entwicklung von Glühmesskörpern zur Bewertung von Zündkerzen, MTZ, 19, Nr 1, S. 15 (Januar., 1958)
- (6) Champion Spark Plug Engineering Manual
- (7) 八田, 浅沼ほか: 熱機関体系 5 (火花点火機関) 90 (昭 34-6, 山海堂)
- (8) 日本機械学会内燃機関部門委員会: 内燃機関(上巻) 96 (昭 35-5, 機械学会)
- (9) 八田, 浅沼ほか: 内燃機関ハンドブック, 60 (昭 35-4, 朝倉書店)
- (10) 日本機械学会内燃機関部門委員会: 内燃機関(上巻) 28 (昭 35-5, 機械学会)
- (11) 栗野, 内田: 熱機械体系 1 (基礎理論 1) 132 (昭 34-6, 山海堂)
- (12) 宝諸, 熊谷: 自動車技術昭和 35 年秋期講演会前刷集, 112 (10-1960, 自動車技術会)
- (13) 宝諸, 熊谷: 自動車技術, 15 (昭 36-10, 自動車技術会)