

# 農事用原動機としてのディーゼル機関

児 玉 義 彦

(農業工作第一研究室)

Yoshihiko KODAMA : Diesel Engines in Farm Motors.

## I. ま え が き

原動機とは私が今更いうまでもなく自然界に色々な形で蓄えられて存在するエネルギーを有用な機械的エネルギーに変換する機械であって、高所にある水の有する位置のエネルギーを機械的エネルギーに変える水車、石油、重油、石炭等の熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する熱機関、電力の有するエネルギーを動力に変える電動機は皆原動機であるが、それらの原動機中で農村において数多く使用され普及しているもの即ち電動機、石油機関(空冷式、水冷式)、ディーゼル機関を取上げ農事用原動機としての利欠点を分析し考え、ディーゼル機関が各農家において農業経営上、利用価値の度合を判定する資料を与えんとするものである。

## II 原動機の普及状態の分析

### (1) 都府県所有台数

第1表 (1955, 農林省農家経済調査報告より抜粋)

機 種		項 目 経営規模	所 有 台 数					計
			0.5~5	5~10	10~15	15~20	20~ 反	
モ ト タ ー	~ $\frac{1}{2}$ HP	33,364	120,651	99,569	42,911	19,348	315,842	
	1	32,062	136,692	155,090	93,714	72,714	490,272	
	2	11,580	36,823	33,476	20,090	25,883	127,852	
	3~5	6,072	16,436	15,192	7,739	9,373	54,749	
	5~	649	1,233	1,344	598	450	4,274	
	計	83,727	311,835	304,608	165,051	127,768	992,987	
デ イ ゼ ル 機 関	1~3.5	5,611	26,801	24,094	9,752	6,610	72,268	
	4~6	362	2,182	3,130	1,868	1,385	8,927	
	7~10	90	420	623	398	715	2,246	
	計	16,327	73,632	60,990	28,361	18,721	198,031	
ガ ソ リ ン ・ 石 油 機 関	空 冷 式	13~3.5	5,611	26,801	24,094	9,752	6,610	72,868
		4~6	362	2,182	3,130	1,868	1,385	8,927
		7~10	8	235	341	157	365	1,106
		計	5,981	29,218	27,565	11,777	8,360	82,907
	水 冷 式	1~3.5	99,356	420,691	293,077	112,119	51,842	977,085
		4~6	7,388	36,838	43,536	28,862	27,846	144,470
		7~10	360	2,727	3,594	2,580	3,668	12,925
		計	107,104	460,256	340,207	143,561	83,356	1134,484

## (2) 北海道所有台数

第2表 (1955, 農林省農家経済調査報告より抜粋)

機種	項目		所 有 台 数						
	経営規模		1~5	5~10	10~20	20~30	30~50	50反	計
モ ト タ ー	~ $\frac{1}{2}$ HP		—	—	123	285	162	230	800
	1		—	98	446	1,819	2,067	400	4,830
	2		—	65	796	3,861	8,783	2,721	16,226
	3~5		—	—	209	1,295	3,125	4,820	9,449
	5~		—	—	20	82	253	429	784
	計		—	163	1,594	7,342	14,390	8,600	32,089
デ ィ ゼ ル 関	1~3.5		—	102	278	953	1,540	1,701	4,574
	4~6		—	93	120	931	3,074	4,606	8,824
	7~10		—	—	—	30	53	145	224
	計		—	195	398	1,914	4,667	6,452	13,626
ガ ソ リ ン ・ 石 油 機 関	空 冷 式	1~3.5	—	33	173	268	349	734	1,557
		4~6	—	—	25	175	229	424	853
		7~10	—	—	—	79	92	85	256
		計	—	33	198	552	670	1,243	2,666
	水 冷 式	1~3.5	—	99	1,510	3,623	6,845	6,511	18,588
		4~6	38	26	751	2,857	6,921	13,229	23,822
		7~10	—	—	32	48	512	994	1,586
		計	38	125	2,293	6,548	14,278	20,916	43,996

以上の第1表、第2表より各種原動機の普及状態を比較すれば次の如くである。

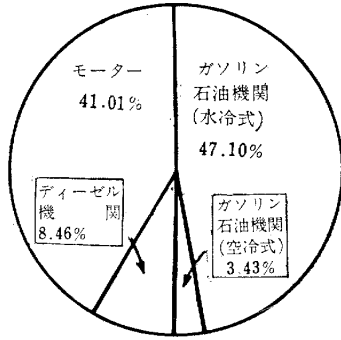
## (3) 各原動機の普及状態の比較

第3表 比 較 表

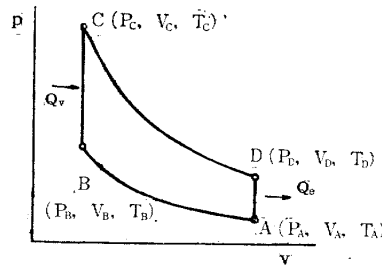
モーター	1025,076	41.01%
ディーゼル機関	211,657	8.46
ガソリン石油機関 (空冷式)	85,573	3.43
(水冷式)	1178,480	47.10
合 計	2500,786	100.00

## III. 熱力学的な相異点

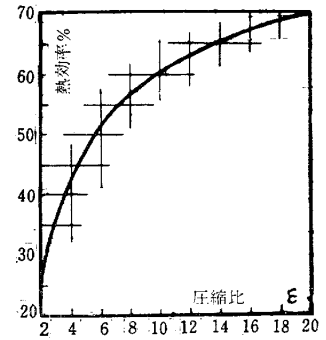
一般に内燃機関においてはシリンダ中に吸込まれた空気と燃料の混合気が燃焼して熱を発生し、これがために燃焼ガスの温度と圧力が高まる。この時ガスは膨張しながらピストンを押し、これにエネルギーを与え、ついに排気となって、シリンダ外に放出される。次に再び新しく吸気が行なわれて前と同一過程を繰り返す。かかる過程をサイクルと云っている。サイクル中のガスの状態の変化を圧力とシリンダ容積との関係で示したものをインジケータ線図といい、これによりサイクルの比較をしているのである。このサイクル中のガス変化が理論的に行われると仮定したサイクルを標準サイクルと云っている。このサイクルは各サイクルの特徴を比較するサイクルであるから、後述するサイクルの比較も標準サイクルについて



第1図 各原動機の普及状態の比較



第2図 定容サイクル (オットーサイクル)



第3図 圧縮比と熱効率との関係

のみ行う。

(1) ガソリン, 石油機関

定容サイクル (オットーサイクル) で空気と燃料ガスの混合気を圧縮して, これに点火すると爆発が起り熱の供給ガスの定容のもとに行われるものである. 今 BC 間に  $Q_v$  の熱をとり入れ, DA 間に  $Q_e$  の熱を捨てるとすれば

$$Q_v = C_v(T_C - T_B) \quad C_v: \text{定容比熱}$$

$$Q_e = C_v(T_D - T_A)$$

有効仕事  $AL = Q_v - Q_e$

従って取入れた熱量のうち有効な仕事に転換される割合, 即ち熱効率  $\eta$  をこの空気標準サイクルについて求めると

$$\eta = \frac{AL}{Q_v} = 1 - \frac{Q_e}{Q_v} = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B}$$

断熱変化の関係から

$$T_B = T_A(V_A/V_B)^{\gamma-1} = T_A \epsilon^{\gamma-1} \quad \gamma = C_p/C_v \quad C_p: \text{定圧比熱}$$

$$T_C = T_D(V_D/V_C)^{\gamma-1} = T_D \epsilon^{\gamma-1} \quad \epsilon = V_A/V_B = \text{圧縮比}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{(T_D - T_C)\epsilon^{\gamma-1}} = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{\gamma-1}$$

即ちオットーサイクルの熱効率は圧縮比を大にする程良くなり, 燃料消費率を減少するという事実を示し, これは実際でもノッキングを起さない範囲では正しい。

(2) ディーゼル機関

等圧サイクル (ディーゼルサイクル) でディーゼル機関の基準をなしている. 空気を 22~35 気圧の高圧に圧縮すると, その温度は 500°C 以上に上昇する. この中へ燃料油を噴射霧化すると燃焼は噴射時間に応じて継続し, 熱の供給は定積的に行なわれず噴射の加減によっては定圧的に行なわれる。

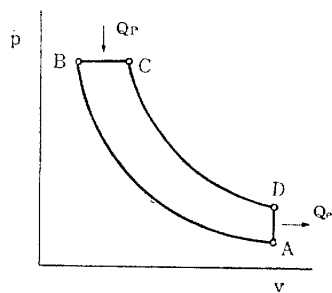
BC間の受熱  $Q_p = C_p(T_C - T_B)$

DA間の排熱  $Q_e = C_v(T_D - T_A)$

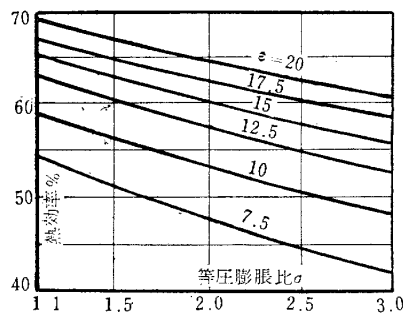
有効仕事  $AL = Q_p - Q_e$

熱効率  $\eta = AL/Q_p = 1 - Q_e/Q_p = 1 - (T_D - T_A)/\gamma(T_C - T_B) \dots\dots\dots(I)$

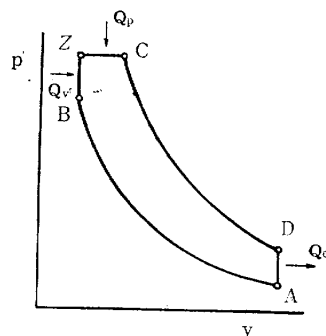
$T_C = T_D(V_D/V_C)^{\gamma-1}$ ,  $T_B = T_A \epsilon^{\gamma-1}$ ,  $V_A/V_B = V_D/V_C = \epsilon$  圧縮比



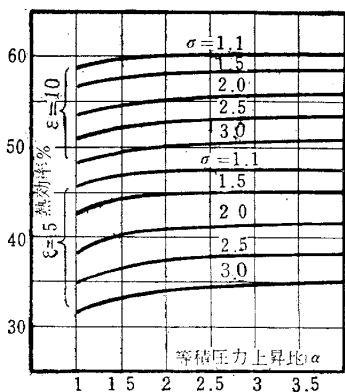
第4図 等圧サイクル (ディーゼルサイクル)



第5図 圧縮比, 等圧膨脹比並に熱効率の関係



第6図 合成サイクル (サバテサイクル)



第7図 等積圧力上昇比 alpha と epsilon, sigma 並に熱効率との関係

$V_c/V_B = T_C/T_B = \sigma$  等圧膨脹比または縮切り比

$$\left. \begin{aligned} T_C &= T_B \sigma = T_A \epsilon^{\gamma-1} \sigma \\ T_D &= T_C (V_c/V_D)^{\gamma-1} = T_A \sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$(1) \text{ と } (2) \text{ より } \mu = 1 - \frac{T_A (\sigma^{\gamma} - 1)}{\gamma T_A (\sigma - 1)^{\gamma-1}}$$

$$= 1 - \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^{\gamma-1} \left[ \frac{\sigma^{\gamma} - 1}{\gamma (\sigma - 1)} \right] \dots\dots\dots (3)$$

等圧サイクルでは  $\epsilon, \gamma$  のみでなく  $\sigma$  によっても  $\eta$  は変化する。  
 以上のサイクルはディーゼル機関の基準をなすものであるが、ディーゼル機関の最も一般的な理論サイクルと考えられるサバテサイクルについても同様に

BZ間の等容受熱量

$Q_v = C_v (T_Z - T_B)$

ZC間の等圧受熱量

$Q_p = C_p (T_C - T_Z)$

DA間の排熱量

$Q_e = C_v (T_D - T_A)$

有効仕事量

$AL = (Q_v + Q_p) - Q_e$

熱効率

$\eta = AL / (Q_v + Q_p) = 1 - Q_e / (Q_v + Q_p)$   
 $= 1 - (T_D - T_A) / [(T_Z - T_B) + \gamma (T_C - T_Z)] \dots\dots\dots (4)$

$\alpha = P_Z/P_B = T_Z/T_B$  : 圧力上昇比 (pressure rise ratio)

$\sigma = V_c/V_z = T_c/T_z$  : 等圧膨脹比又は縮切り比

$\epsilon = V_A/V_B$  : 圧縮比 (cut off ratio)

とすれば  $V_D/V_C = \epsilon/\sigma, T_B = T_A \epsilon^{\gamma-1}$   
 $T_Z = \alpha T_B = \alpha T_A \epsilon^{\gamma-1}, T_C = \sigma T_Z = \alpha T_A \epsilon^{\gamma-1} \sigma$   
 $T_D = T_C (\sigma/\epsilon)^{\gamma-1} = T_A \alpha \sigma^{\gamma}$  }  $\dots\dots\dots (5)$

(4) と (5) から  $\eta = 1 - \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^{\gamma-1} \left[ \frac{\alpha \sigma^{\gamma-1}}{(\alpha - 1) + \gamma \alpha (\sigma - 1)} \right]$

即ち熱効率は、 $\epsilon, \sigma, \gamma$  によるのみならず更に等積圧力上昇比  $\alpha$  の函数ともなり、 $\alpha$  の増加につれて高まり、等圧サイクルの場合と同様、 $\sigma$  を増すにつれて低下する第7図はそれ等の相互関係を示す。

IV. 各原動機についての比較研究

電動機は電源より作業場の距離が近かければ極めて取扱簡単であるばかりでなく、日常の整備保存も容

易で、1時間馬力当りの電気料金は比較的低廉なるため管農上極めて好都合なものであるが、然し、近くに電源が容易に得られる場合、殊に1HP以上の電動機においては三相電源が得られる所でなければならぬので、それらの条件がそろっているときのみ使用し得るのであるから他の原動機と比較することは意味がないので、ここではディーゼルと同じく移動可能で他の使用条件が同じである石油機関（空冷式、水冷式）とについて比較研究する。

### (1) ディーゼル機関と石油機関との比較

ディーゼル機関はガソリン、石油機関とに比らべて圧縮力が高いために安価な軽油、重油燃料でも容易に完全燃焼せしめることが出来ることは勿論、暫定的には大豆油、魚油等の動植物油でも運転出来る。しかも燃焼により生じた高い圧力を充分に利用することが出来るから熱効率は高い。従って燃料消費率は少なく、ことに軽負荷低速運転において著しい。そして内燃機関においては、その熱効率をあげるには、圧縮圧力の高い程又は爆発圧力の高い程充分の膨張を利用するということになるからディーゼル機関は第4表にある通り他の発動機に比較して圧力が高いから効率がよいことになる。

第4表 機関別による熱効率の比較

機 関 類 別	圧 縮 圧 力	最 高 圧 力	平 均 有 効 圧 力	燃 料 消 費 率	圧 縮 比	熱 効 率 (%)
石 油 機 関	kg/cm <sup>2</sup> 7~8	kg/cm <sup>2</sup> 17~20	kg/cm <sup>2</sup> 4~6.3	g/B HP/h 260~390	3.8~6	16~23
ガ ソ リ ン 機 関	8~10	25~35	6.4~7.5	190~300	4~6	19~30
デ ィ ー ゼ ル 機 関	32~45	50~70	5.5~7.2	200~250	12~17	25~30

然し運動部分、軸受部の構造をそれに堪えるように堅牢にし、材質を吟味しなければならないので、ガ

第5表 馬力当り重量

馬 力	デ ィ ー ゼ ル 機 関 (水冷式) kg/IP	石 油 機 関 (水冷式) kg/IP	石 油 機 関 (空冷式) kg/IP
2	35.75	31.65	13.75
3	30.00	26.09	11.30
4	31.20	25.30	11.60
5	29.32	23.30	11.70
6	28.80	21.50	12.33
平 均	31.01	21.57	12.14

ソリン、石油機関よりも馬力当りの重量も多少重く、(第5表参照)精巧な工作を必要とする燃料噴射装置を必要とするので高価となることはやむを得ない。又ディーゼル機関では荷重に変動のあるような場合でも回転にむらがなく運転経済の点でもすぐれている。運転中は勿論、始動時でも電気火花、焼玉等で着火する必要がなく自分自身で点火燃焼するから着火装置は不要で雨の中でも運転することが出来るし、空気中でも燃え難い重油を使用するため、火災

の危険がない。

## V. 運転経済の比較

第6表 評価標準値及び耐用年数

馬 力	評 価 標 準 値		耐 用 年 数		一 九 五 五 年 農 林 省 農 家 経 済 調 査 報 告 よ り 抜 粹
	石 油 機 関	デ ィ ー ゼ ル 機 関	石 油 機 関	デ ィ ー ゼ ル 機 関	
2 HP	38,000	47,000	10年	15年	
3	48,000	64,000	〃	〃	
4	58,000	83,000	〃	〃	
5	65,000	100,000	〃	〃	

石油機関とディーゼル機関が何れが農業経営上有利であるかを例題をもって比較して見ることとする。  
 先ず機関の購入費，耐用年数，運転燃料費について考慮して見る。（第6表参照）

年間の機関使用費の公式

$$\frac{C}{K} + \alpha \times l/HP/h \times B \times T + S \dots\dots\dots(1)$$

C……評価標準値（第6表の通りとする）

K……耐用年数（第6表の通り）

$\alpha$ ……1l の燃料の値（ディーゼル油約19円，燈油約23円，軽油約26円）

$l/HP/h$ ……燃料消費率 燈油と軽油 0.3~0.5 $l/HP/h$ ，ディーゼル油 0.19~0.25

B……機関の馬力

T……機関の運転時間（年間500時間と仮定する）

S……潤滑油

始動用の燃料，その他機関の保存の費用等は，同馬力においては石油，ディーゼル両機関は同一とする。

例 3 HP の石油，ディーゼル両機関について比較する。

石油機関 C=48,000円， K=10，  $\alpha$ =24円

$l/HP/h=0.4$ ， B=3 HP

を(1)に代入すれば

$$\frac{48,000}{10} + 24 \times 0.4 \times 3 \times 500 + S \dots\dots\dots(2)$$

$$19,200 + S \dots\dots\dots(2')$$

ディーゼル機関 C=64,000円， K=15，  $\alpha$ =19円

$l/HP/h=0.22$

$$\frac{64,000}{15} + 19 \times 0.22 \times 3 \times 500 + S \dots\dots\dots(3)$$

$$10,536 + S \dots\dots\dots(3')$$

(2)-(3')=8,664円

即ち3 HP の機関においてはディーゼル機関が年間（500時間運転するものと仮定して）8,664円だけ経費が少なくて済むことになる。

## VI. む す び

ディーゼル機関は農村において，原動機としての普及状態は約8.46%位であって未だ甚少であるが，燃料消費の少ないこと，燃料費の安価なこと等において農業経営面にどんどん利用されなければならない。一方現在は暫定的には大豆，魚油等の動植物油でも運転出来る。然し農事用原動機としてのディーゼル機関は農村で燃料が自給自足可能な上述の燃料を暫定的でなく恒久的に使用出来るように研究すべきである。

### 主な参考書

- 1) 田伏三作：農機具利用の実際
- 2) 庄司英信：農業機械学概論
- 3) 東京教育大学農業工学教室編：農業工作

- 4) 日本機械学会内燃機関部門委員会：内燃機関（上・下）
- 5) 川田正秋：ディーゼル機関の噴油口についての一考案 52-367（昭24. 7）
- 6) COOK, SCRATON, MC COLLY : Farm Mechanics Test and Hand Book
- 7) JONES : Farm gas engines and tractors : 1952
- 8) HOLLDAK : Maschinenlehre für Landwirte : 1947
- 9) SMITH : : Farm machinery and Equipment : 1948

### Summary

In our country, Diesel engines using in agricultural districts are 8.46 percent of farm motors. We must think about matters that Diesel engines have the next special features.

1) When we compare the fuel-consumption of Diesel engines with other engines, it is certain that Diesel engines are farther few than other engines in the fuel-consumption.

2) When we compare the fuel-cost of Diesel engines with other engines, it is certain that Diesel engines are farther low than other engines in the fuel-cost.

3) Diesel engines temporally can be driven with some soy-bean-oil or fish-oil. Therefore, we must have use of Diesel engines in order to rationalize our agricultural managements in agricultural districts.

Afresh, we must make a study of next problems.

- 1) It is a matter that we raise the ability of Diesel engines.
- 2) It is a matter that Diesel engines usually can be driven with some soy-bean-oil or fish-oil.