

UDC 533.6.015.1/.2  
629.735.3.014.16

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-194

航空機の STOL 性に関する一考察

田 辺 義 一

1971 年 1 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

|        |  |          |                                   |
|--------|--|----------|-----------------------------------|
| TM-170 | JR エンジン燃焼器に起きた振動燃焼                                     | 1970年2月  | 鈴木邦男, 石井浅五郎<br>山中国雅               |
| TM-171 | 缶形燃焼器(低圧, 低温系)試験設備による<br>航空計器の氷結(着氷)試験                 | 1970年3月  | 鈴木邦男, 相波哲朗<br>本間幸吉, 服部宜夫          |
| TM-172 | 自動追尾型風向風速測定器   | 1970年3月  | 川幡長勝, 中谷輝臣                        |
| TM-173 | FA-200 改機の動安定微係数                                       | 1970年3月  | 遠藤浩, 林良生<br>海老沼幸成, 中谷輝臣           |
| TM-174 | 遷音速風洞動安定測定装置の構造と作動                                     | 1970年4月  | 小橋安次郎, 河野長正<br>西武徳, 宮沢政文          |
| TM-175 | NAL-16・31D 型ロケットの研究試作                                  | 1970年5月  | 五代富文, 近藤洋史<br>中井暎一, 田畑浄治          |
| TM-176 | 非対称自由流線の一計算法   | 1970年5月  | 高橋 侖                              |
| TM-177 | 小型固体ロケットモータの振動燃焼実験<br>—パルス法による中周波振動燃焼の研究—              | 1970年5月  | 五代富文, 伊藤克弥<br>西村久男, 湯沢克宜<br>柴藤 羊二 |
| TM-178 | 大型低速風洞動安定微係数測定装置                                       | 1970年5月  | 広岡貫一, 遠藤 浩<br>戸田亘洋, 岡部祐二郎         |
| TM-179 | 風洞天秤の試作  | 1970年5月  | 金成正好, 北出大三                        |
| TM-180 | ジェットエンジン燃焼器出口ガス流の乱れの<br>測定(II)<br>—レーザーのドップラ効果を利用する方法— | 1970年5月  | 相波哲朗                              |
| TM-181 | 航空機の乗り心地について   | 1970年6月  | 幸尾治朗                              |
| TM-182 | 排気系障害板の模型実験  | 1970年9月  | 田辺義一                              |
| TM-183 | ロケット模型の大型低速風洞試験  | 1970年9月  | 近藤洋史, 高橋 宏<br>桑野尚明                |
| TM-184 | 金属線へ衝突する液滴の現象  | 1970年9月  | 田丸 卓, 乙幡安雄                        |
| TM-185 | 推進エンジン用空気取入口の予備実験                                      | 1970年9月  | 近藤 博, 石賀保正                        |
| TM-186 | NAL-25・31型ロケットの試作と飛しょう試験                               | 1970年11月 | 宇宙研究グループ                          |
| TM-187 | 推力300 kg シンバル液体ロケットエンジンの<br>揺動特性(I)                    | 1970年11月 | 檜崎哲二, 中野富雄<br>橋本亮平, 竹花真一郎         |
| TM-188 | 自由飛行模型FFM-10の空力微係数におよぼ<br>す機体弾性変形の影響について               | 1970年11月 | 河崎俊夫, 河本 厳<br>戸田 勸                |
| TM-189 | 燃料蒸発管に関する研究(III)<br>管内の燃料—空気二相流への熱伝達                   | 1970年12月 | 田丸 卓, 乙幡安雄<br>鈴木邦男                |
| TM-190 | NAL-25・31型ロケットのノズル部FRPライ<br>ナーの接着剝離の検討                 | 1970年12月 | 中井暎一, 五代富文<br>古田敏康, 大竹邦彦          |
| TM-191 | 大型電子計算機プログラム・ライブラリ                                     | 1970年12月 | 戸川隼人, 磯部俊夫                        |
| TM-192 | 極超音速風洞M9ノズル較正試験  | 1971年1月  | 長洲秀夫, 橋本 登<br>穂積弘一, 松崎 貴至         |

注・欠番は配布先を限定したもの。

# 航空機の STOL 性に関する一考察\*

田 辺 義 一\*\*

## 概 要

離着陸距離のみによって STOL 機を定義すると、固定翼機全般の STOL 性能を一意的に評価できない。ここでは、STOL 機の離着陸性能を統計的に調査して、“STOL 性”判定の目安を提示した。STOL 性を有する機体は一般に揚力係数が大きく、失速速度が小さい。さらに(失速速度<sup>2</sup>)および(失速速度<sup>2</sup>×馬力荷重)の割合に離着陸距離が短いということが、STOL 性判定についての新しい見解である。これによると、離着陸距離が 610m (2,000ft) 以下であれば、大型機、小型機にかかわらず STOL 性を評価することが可能である。

併せて STOL 機開発状況も報告する。

## 記 号

C: 係数

k: 係数  $\left[ \frac{\text{m}}{(\text{Km/h})^2} \right]$  または  $\left[ \frac{\text{m}}{\left( \frac{\text{Km}}{\text{h}} \right)^2} \frac{\text{kg}}{\text{hp}} \right]$

L: 距離 [ m ]

P: 離昇パワー [ hp ]

S: 翼面積 [ m<sup>2</sup> ]

V: 速度 [ Km/h ]

W: 重量 [ kg ]

$\rho$ : 海面上の空気密度 (=0.1250)  $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4} \right]$

添字

app: 着陸進入

L: 揚力

i: 着陸

st: 失速

to: 離陸

## 1. ま え が き

航空機の高速化、大型化にともなって必要滑走路長が増大するので、これに対処するために近年 STOL 化の技術開発が急速に進められてきている。STOL に関連して 15m 越えの離着陸距離の大小によって航空機を分類する方法が考えられ<sup>1)</sup>(表1)、STOL 機は 300~150m 以下とされている。米国 FAA (Federal Aviation Administration) の STOL 機の暫定基準ではさらに、飛行径路や臨界状態の制限を加えて 610m (2,000ft) 以下としている。<sup>\*</sup> また ICAO (International Civil

表 1 離着陸距離による分類

| 区 分                                     | 離着陸距離 (15m 越え) |
|---|----------------|
| VTOL (vertical)                         | ≒ 0            |
| USTOL (ultra-short)                     | 150m 以下        |
| STOL (short)                            | 150~300m       |
| ITOL (intermediate)                     | 300~600m       |
| NTOL (normal) or<br>CTOL (conventional) | 600m 以上        |

Aviation Organization) でも STOL 機の定義づけに関する動きがあるが、まだ結論を得るに至っていない。<sup>4)</sup>

離着陸距離のみで飛行機を分類すれば、大型機(重量級)では重量の割合に離着陸距離が短いものでも STOL 機といえないものが多く、逆に軽飛行機では STOL 機が多くなる。しかしながら、大型機ほど離着陸距離を短くする必要があり、その効果もあげられていることは周知である。

一般に最大揚力係数が大きい機体は“STOL 性”を有するといわれるが、STOL 性についての明確な判定基準はなく、これを論ずる場合しばしば混乱を生ずる。

本報告では STOL 機の離着陸性能を統計的に調査して、“STOL 性”の判定法に関する一つの目安を提示することを試みた。また副次的に STOL 機の開発状況が

\*FAA の STOL 機暫定基準の要約<sup>2,3)</sup>

離着陸距離 2,000ft 以下、着陸進入角 7.5~9° (CTOL の約 3 倍)、旋回半径(進入時) 500ft 以下、旋回半径(離昇時) 1,000ft 以下、滑走路長 1,500ft 以下、臨界発動機故障後の最小操縦可能速度  $V_{mc}$  約 65kt 以下。

\* 昭和45年12月7日受付

\*\* 新型航空機部

わかったので報告する。

## 2. データ整理法

離陸性能、着陸性能は同一の機体でも操縦操作によって影響され、実験値の散布が大きく、精度の高い推定は困難であるが、着陸距離の近似式は

$$L_l = \frac{1}{2g} \left[ \frac{v_{td}^2}{D_m/W} + \frac{v_{app}^2 - v_{td}^2}{D_a/W} \right] + \frac{Z_{ob}}{D_a/W} \text{ であり,}$$

離陸距離の近似式は

$$L_{to} = \frac{1}{2g} \left[ \frac{v_{to}^2}{F_m/W} + \frac{v_2^2 - v_{to}^2}{F_m''/W} \right] + \frac{Z_{ob}}{F_m''/W} \text{ である。} \quad 1)$$

ただし、

|           |                                |                     |
|-----------|--------------------------------|---------------------|
| $Z_{ob}$  | 障害物の高さの基準                      | [m]                 |
| $g$       | 重力の加速度 (=9.8)                  | [m/s <sup>2</sup> ] |
| $v_{to}$  | 離陸速度                           | [m/s]               |
| $v_2$     | 安全離陸速度                         | [m/s]               |
| $v_{td}$  | 接地速度                           | [m/s]               |
| $v_{app}$ | 最終進入速度                         | [m/s]               |
| $F_m$     | 離陸滑走中における平均加速力                 | [kg]                |
| $F_m'$    | $v_{to}$ と $v_2$ との平均速度における加速力 | [kg]                |
| $F_m''$   | $v_2$ における加速力                  | [kg]                |
| $D_a$     | $Z_{ob}$ から接地までの空気抵抗の平均値       | [kg]                |
| $D_m$     | 着陸滑走中における負の平均加速力               | [kg]                |

ここで、ある機体の  $v_{to}$ ,  $v_2$ ,  $v_{td}$ ,  $v_{app}$  はその機体の  $V_{st}$  に比例し、 $W/F_m$ ,  $W/F_m'$ ,  $W/F_m''$  は  $W_{to}/P$  に比例し、また  $W/D_a$ ,  $W/D_m$  は機体ごとの定数と考えれば、

$L_l$  と  $L_{to}$  は、

$$L_l = k_l \cdot V_{st}^2 + L \quad (1)$$

$$L_{to} = k_{to} \cdot V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} + L \quad (2)$$

という形で表わすことができる。ただし、 $k_l$ ,  $k_{to}$  は係数、 $L$  は定数とする。この2式は粗い近似であるが、これを用いて以下に統計的資料を整理する。

(1), (2) 式を決定するために前述の米国 FAA 暫定基準を適用し、図1, 2 のようにすると、STOL 機は次の限界値以下でなければならない。

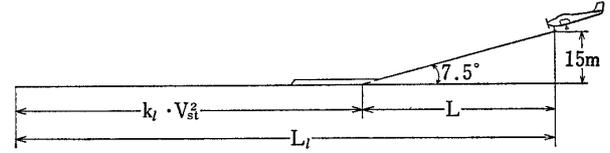


図1 着陸距離  $L_l$

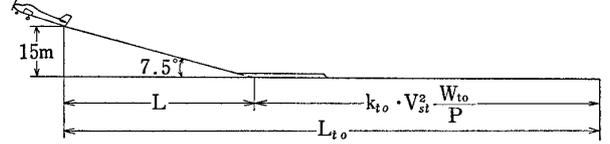


図2 離陸距離  $L_{to}$

$$\tan 7.5^\circ = \frac{15}{L} *$$

$$V_{st} \approx 115 \text{ [Km/h]} \quad (62 \text{ kt})$$

$$k_l \cdot V_{st}^2 \approx 457 \text{ [m]} \quad (1,500 \text{ ft})$$

$$k_{to} \cdot V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} \approx 457 \text{ [m]} \quad (1,500 \text{ ft})$$

(但し  $V_{st}$  は、文献7の安全離陸速度  $v_2$  に関する規程を援用して  $V_{st} \leq V_{mc}/1.05$  とみなし\*\*、また  $W_{to}/P$  は、後述のように  $\frac{W_{to}}{P} \approx 4$  とみなした)。

$$\text{すなわち, } L = 114 \text{ [m]}, k_l = 0.0346 \left[ \frac{\text{m}}{(\text{Km/h})^2} \right],$$

$$k_{to} \approx 0.0087 \left[ \frac{\text{m}}{\left( \frac{\text{Km}}{\text{h}} \right)^2 \frac{\text{kg}}{\text{hp}}} \right] \text{ を得る。}$$

ここで  $L$ ,  $k_l$ ,  $k_{to}$  に若干の余裕をとり、(1), (2) 式を次のように決定する。

$$L_l = 0.035 V_{st}^2 + 120 \text{ [m]} \quad (3)$$

$$L_{to} = 0.009 V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} + 120 \text{ [m]} \quad (4)$$

これら(3), (4)式は、FAAの暫定基準を適用することによって得られた最大の限界を示すものであるから、後述の図3, 4においてArea Eにプロットされる機体はFAA暫定基準と同程度のSTOL性を持つ機体とみなすことができる。すなわちArea Eにプロットされる機体は、Area Fにあるものよりも、 $V_{st}^2$  および  $V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P}$  の割合に  $L_l$  および  $L_{to}$  が短いという意味において、(3), (4)両式はSTOL性判定の目安として使えるであろう。

図3において、カーブ  $L_l$  と  $V_{st} = 115 \text{ Km/h}$  の交点Oは、 $D \approx 610 \text{ m} (2,000 \text{ ft})$  であり、これはFAA暫定基

\* 一般に用いられている離陸時の障害物の高さの基準は、ピストンエンジン機に対して15m (50ft)、タービンエンジン機に対して10m (35ft) であるが、限界値としては大きい方を採用する。

\*\* T類(プロペラ機、タービン機)では  $v_2 > 1.2 \sim 1.15 v_{s1}$  かつ  $v_2 > 1.1 v_{mc}$  でなければならない。

ただし  $v_{s1}$ : 離陸形態におけるパワオフ失速速度 (m/s),  $v_{mc}$ : 最小操縦速度 (m/s)。

これを援用して  $1.2 \sim 1.15 V_{st} \approx 1.1 V_{mc}$  とみなすと、

$V_{st} \approx V_{mc}/1.1 \sim 1.05$  すなわち  $V_{st} \leq V_{mc}/1.05$  とすることができる。

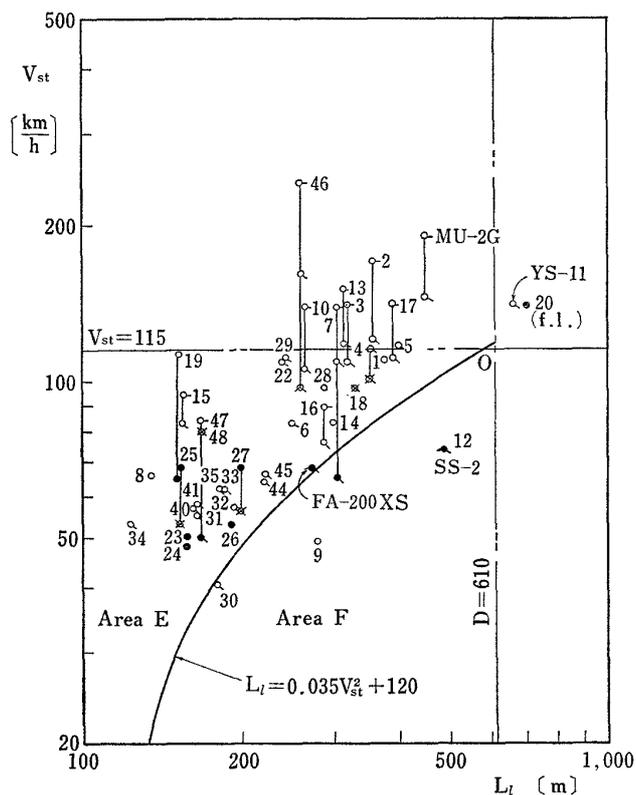


図3  $V_{st}-L_l$

準を満足する機体の上限を示すものといえる。同様に図4においては  $V_{st}=115\text{km/h}$  の代りに、 $V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} \approx 115^2 \times 4$  とし、これとカーブ  $L_{to}$  の交点  $O$  は  $D \approx 610\text{m}$  であり、その上限を示す。

着陸失速（パワオフ）時の水平定常直線飛行の力のつりあいの式から、

$$V_{st}^2 = 3.6^2 \frac{2 \cdot W_l}{\rho \cdot C_{Lst} \cdot S} \approx 207 \frac{1}{C_{Lst}} \frac{W_l}{S} \quad (5)$$

を得る。この関係を図5に示す。

文献8によると、翼面荷重  $\frac{W}{S} = 440 \text{ [kg/m}^2\text{]} (90 \text{ psf})$  では高揚力を得るための補助エンジンが無い限り、 $1g$ 失速揚力係数  $= 6.7$ の循環揚力限界 (circulation lift limit) があり、 $\text{FAR field length} \approx 427\text{m} (1,400 \text{ ft})$  でなければならない。図5に示した破線はこの翼面荷重と失速揚力係数を示すが、その交点は  $V_{st} = 117 \text{ [Km/h]}$  となり、上記の  $V_{st}$  限界値がおおむね妥当であることがわかる。

### 3. データの収録

米国における近距離航空輸送では、小型CTOL機によるCommuter (全備重量  $12,500\text{lb}$ , 約20席以下の固定翼機で既存の空港を利用する定期航空輸送会社)の路線網が全土をおおっており、欧州やアジアでも小規模ながらこのような路線が開設されている。また

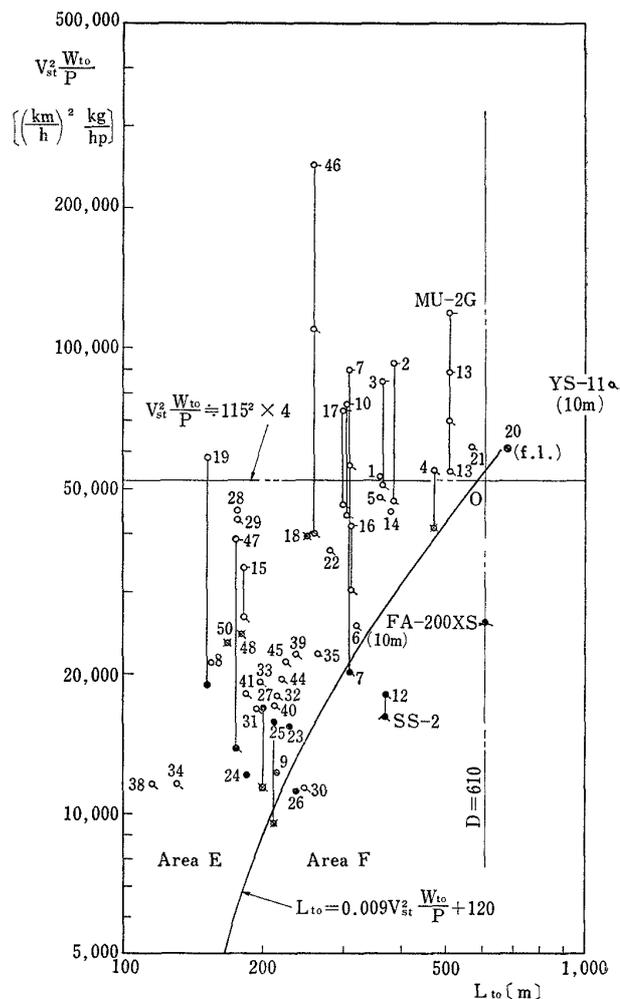


図4  $V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} - L_{to}$

STOL機の研究対象としては、約40~120席の中量級、重量級に重点がおかれつつある。<sup>3)</sup>

このような現状に基づいて、つぎの基準により文献3, 5, 6などからデータを収録した。データの一覧表を表2に示す。

- (1) 主として文献5のタイプ欄に“STOL”というキーワードが記載されているもの。
- (2) キーワードが無いものまたはタイプ欄が省略されているものについては、離陸重量  $\geq 5,670 \text{ kg} (12,500\text{lb})$ ,  $15\text{m}$ 越え離着陸距離  $\leq 610\text{m} (2,000 \text{ ft.})$ の飛行機。

なお参考のため、国産機のデータを表2の末尾に収録した。

諸数値の単位としては慣用単位の  $\text{kt}$  や  $\text{ft}$ ,  $\text{lb}$ 法を採用すべきであるかも知れないが、またNASAの全出版物も1970年10月からメートル法に切り替えたので、本報告ではメートル法で諸数値を整理する。

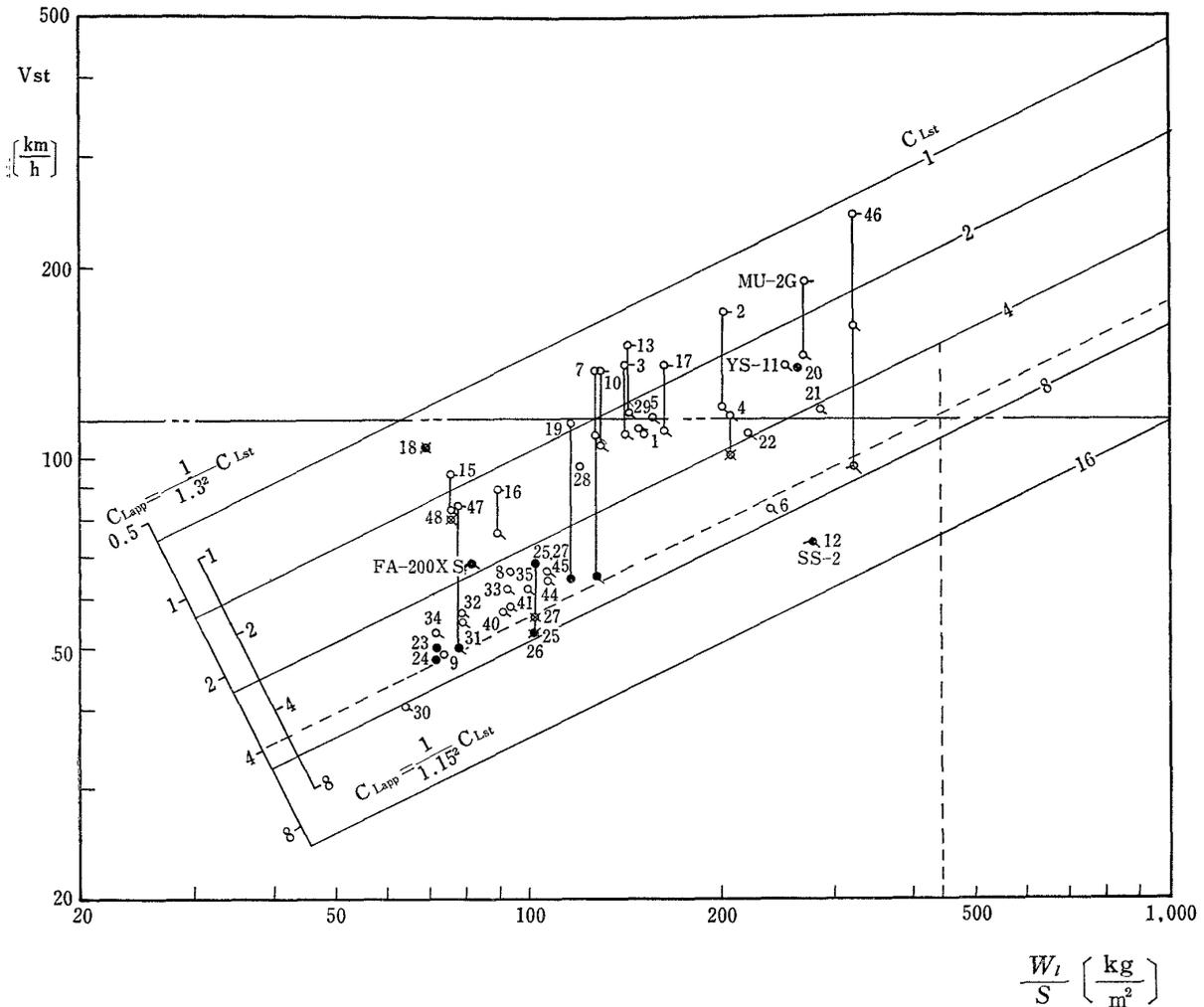


図5  $V_{st} - \frac{W_l}{S}$

#### 4. 実際の進入時の揚力係数

CTOLでは、

有視界飛行(VFR)における通常の着陸：

$$V_{app} \approx 1.2V_{st},$$

計器飛行(IFR)における計器着陸：

$$V_{app} = 1.3V_{st},$$

航空母艦への着艦：

$$V_{app} \approx 1.15V_{st}$$

(但し  $V_{st}$  はパワーオフ) である。1)

一方、STOL機では、着陸進入形態(パワーオン)の  $C_{Lst}$  ( $C_{Lmax}$ ) = 4.5~5.0 に対して実際の進入時には  $C_{Lapp} \approx 3.5$  である。9) すなわち、 $V_{app} \approx 1.15 \sim 1.2 V_{st}$  である。また、STOL機では一律に  $V_{app} = 1.3V_{st}$  などとはいえず、10,11)  $V_{app} = V_{st} + 18.5$  [Km/h] 程度をとるのが妥当と提案されている11)ので、

$$\frac{C_{Lapp}}{C_{Lst}} = \frac{V_{st}^2}{V_{app}^2} = \frac{V_{st}^2}{(V_{st} + 18.5)^2} \text{ とすると、}$$

$V_{app} = 1.3V_{st}$  すなわち  $\frac{C_{Lapp}}{C_{Lst}} = \frac{1}{1.3^2}$  に相当するのは  $V_{st} \approx 62$  [Km/h] の場合であり、 $V_{app} = 1.15V_{st}$  すなわち  $\frac{C_{Lapp}}{C_{Lst}} = \frac{1}{1.15^2}$  に相当するのは  $V_{st} \approx 123$  [Km/h] の場合であることがわかる。

図5の左下の合わせ尺は、これらの関係を示す。

#### 5. STOL機とSTOL性

図3~6には表2の値(参考値も含む)をプロットした。前述の条件

$$V_{st} \leq 115 \text{ [Km/h]}$$

$$L_t < 0.035V_{st}^2 + 120 \text{ [m]}$$

$$L_{to} < 0.009V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} + 120 \text{ [m]}$$

を認めると、図3,4において参考値は必ずしもSTOL機とはいえないが、一般にSTOL機と称している機体は一部の例外を除きほとんどArea Eに入るの、これ

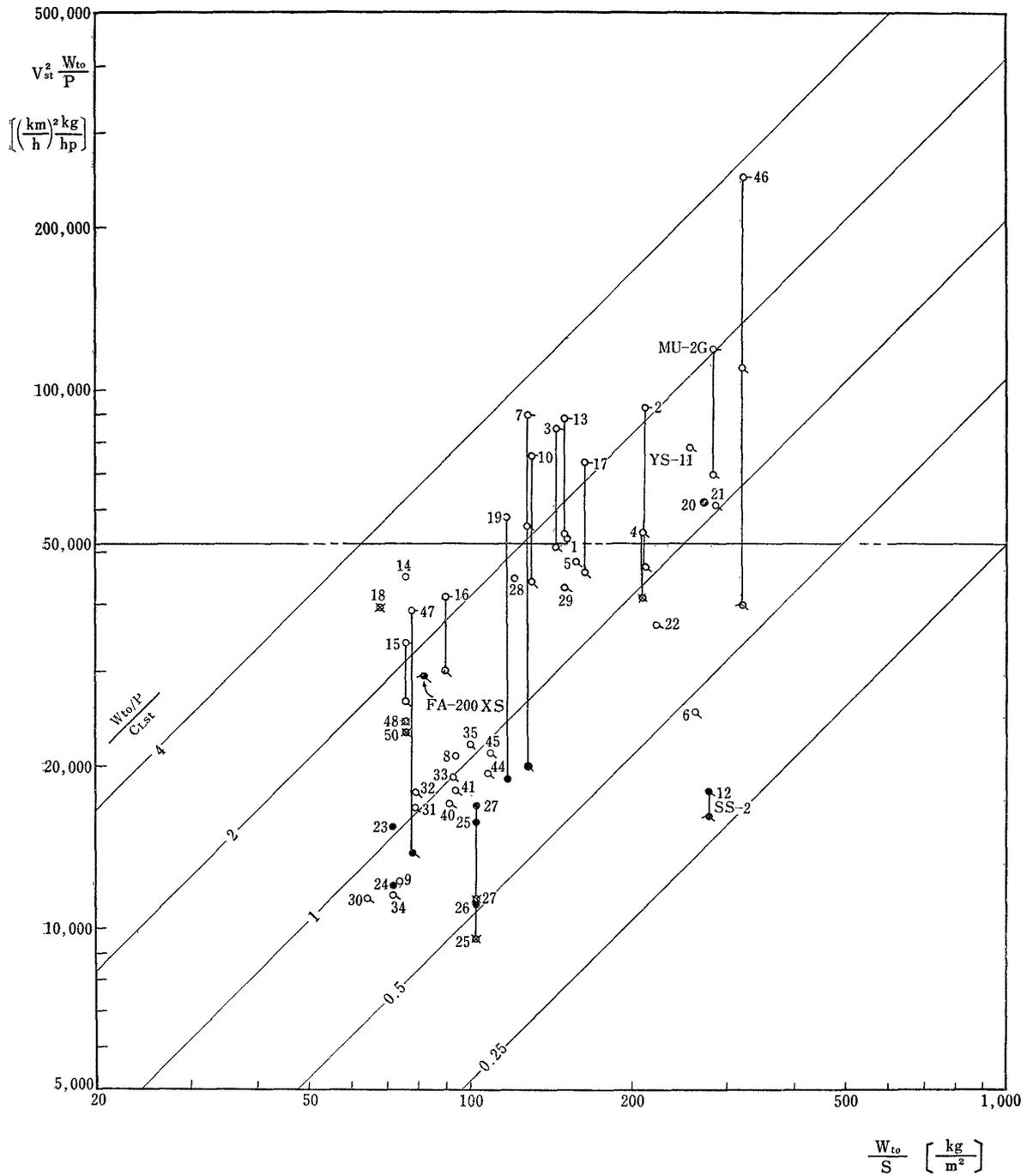


図 6  $V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P} - \frac{W_{to}}{S}$

らの必要条件はSTOL機判定の目安として使えるであろう。図3,4においてSTOL機がArea Eに入るということは、正確に言えば、着陸および離陸の形態（フラップ、パワーなど）におけるデータのみ有意であるから、そのほかの形態におけるデータが $V_{st} > 115 \text{Km/h}$ やArea Fにまたがってもよいということである。

ここで図3～6におけるデータのプロット法に関して断わっておくと、これは統計的なデータ処理にすぎず、物理的に正確な対応をつけるためには、例えば図3でNo.46のフラップ上げ形態のデータは $L_i$ の大きい方にずらすべきであろうし、また図4でNo.46のフラップ下げ、BLCオン形態のデータはあるいは $L_i$ の小さい方にずらすべきかも知れないが、 $L_i$ ,  $L_{i0}$ のデータは単一値しか収録できないため、同一機体のデータを縦線で連ねたものである。（図3で、同一機体の各形態における失速速度は、カーブ $L_i$ にはほぼ平行なカーブ上に連なるべきであろう。図4についても同様のことがいえる。）すなわち上例の図3, No.46についていえば、フラップやBLCなどの各形態に対応する失速速度の如何にかかわらず着陸距離は一定であると解釈するのは誤りである。

物理的に正確な意味を持つ作図としては、例えば、着陸形態における着陸速度と、それに対応する着陸距離のデータが必要となるが、これらのデータは容易に集められないので、このような統計的な作図で代用せざるを得なかったが、一応、所期の目的を果たすことができる。

カーブ $L_i$ によって分たれるArea EとArea Fにそれぞれ含まれる機体を比較すると、もし $V_{st}$ が同水準ならば、もちろん $L_i$ の小さい方がSL（短距離着陸）性能を持つものであるが、逆に同じ $L_i$ を必要とする機体同士ならば、 $V_{st}$ が大きい（但し $V_{st} \leq 115 \text{Km/h}$ ）方がSL性能を有するといえる。STO（短距離離陸）性能についても、図4において同様のことがいえる。

STOLを考える場合、横風下で機を完全に制御できる能力、低速で正確に定位置につけ得る能力とともに、最も重要なことはもちろん、最大揚力係数 $C_{Lmax}$ である。この意味において、図3および図4のArea FにあるNo.12の機体は（飛行艇の推算値であり、陸上機に対する参考値としてみるべきものであるが）、図5からわかるように、BLC（境界層制御）オンの形態では明らかに“STOL性”を有する航空機であろう。

一般に、 $V_{st}$ が小さい機体は高揚力タイプ、 $W_{i0}/P$ が小さい機体（ $P$ はBLC用の動力を除く）は高加速力タイプのSTOL機である。前者のうち、特に $W/S$ が大

きなものでは、小さな翼面積により巡航時の抵抗が小さく、CTOL機としても経済性が期待できるが、 $C_L$ を大きくするためのBLC装置、APU（補助動力装置）などが必要となる。そのための重量増加は、翼構造重量減少という利点がある程度減殺する。但し燃料スペース減少ということは、近距離輸送機にとって大きな欠点とはならない。

## 6. 現用中および開発中のSTOL機

$$(5) \text{式} \text{の両辺に } W_{i0}/P \text{ を乗ずると (但し, } W_i \approx W_{i0}),$$

$$V_{st}^2 \frac{W_{i0}}{P} \approx 207 \frac{1}{C_{L_{st}}} \frac{W_{i0}}{P} \frac{W_{i0}}{S} \quad (6)$$

となり、この関係を図6に示したが、図5と図6のパラメータにより実機のデータを比較すると、 $\frac{W_{i0}}{P} \approx 4$ とみなすことができる。

さらに詳しく表2から $W_{i0}/P$ ,  $W_{i0}/S$ などの傾向を調べると表3のようになる。

表3から次のことがいえる。

- (1) 開発中のものも含めて全機種51がプロペラ機である。
- (2) レシプロ機のはほとんどは $W_{i0} \leq 5,670$  [kg] で現用のものであるが、タービン機は $W_{i0} > 5,670$  [kg] で開発中のものが多い。
- (3) レシプロ機の大半は $\frac{W_{i0}}{P} > 4$  であるが、タービン機は逆に $\frac{W_{i0}}{P} < 4$  がほとんどである。
- (4) 全体の方向としては、 $W_{i0} \leq 5,670$  [kg] のCommuter STOLから、 $W_{i0} > 5,670$  [kg] の中量級、重量級のSTOL機へ、低馬力荷重（高加速）化とともにレシプロからタービンへ、また高翼面荷重、高揚力係数化への傾向を示している（翼面荷重と揚力係数の関係は図5参照）。

## 7. あとがき

$$V_{st} \leq 115 \text{ [Km/h]}$$

$$L_i < 0.035 V_{st}^2 + 120 \text{ [m]}$$

$$L_{i0} < 0.009 V_{st}^2 \frac{W_{i0}}{P} + 120 \text{ [m]}$$

をSTOL機の目安にできることを示した。これは、離着陸距離が610m(2,000ft)以下などの制限に基づいて導き出した一つの提案であり、それ以上の離着陸距離を必要とする航空機のSTOL性を判定する基準としてそのまま拡大解釈することはできない。すなわち、 $V_{st}$ の制限のみ緩めて $L_i$ と $L_{i0}$ のカーブを右上方に外挿することはあまり意味がない。

しかしながら、(1), (2)式の $V_{st}$ ,  $k_i$ ,  $k_{i0}$ ,  $W_{i0}/P$

をパラメータとして考えると、固定翼機全般の STOL 性を判定する基準を確立できるかも知れない。これは今後明らかにすべき問題である。ただしこの場合、第 2 節で述べたところの近似式の取扱いに注意を要する。例えば、陸上機と水上機では  $W/F_m$  や  $W/D_m$  が異なることなどである。

なお、FAA は Powered Lift Transport のための試験的な耐空性標準<sup>12)</sup>を定めたが、今後の開発においては有害排気、騒音などの軽減に関する努力も要求されつつある。<sup>13,14)</sup>これは、物理性能 ( $C_L/C_D$  など)、経済性能 (DOC: 直接運航費など)、安全性能 (信頼性<sup>15)</sup> など)、感覚性能 (Passenger Rating<sup>16)</sup> など)のほか、無害性能 (排気無害化など) も 70 年代の課題となりつつあることを示すものであろう。

最後に、武田峻新型航空機部長と滝沢直人新型航空機第一研究室長に貴重な助言をいただいたことを付記する。

#### 文 献

- 1) 山名正夫, 中口 博; 飛行機設計論, 養賢堂, (1968).
- 2) STOL or VTOL for future inter-city air transport, INTERAVIA, No. 1/1970.
- 3) 日本航空工業会; 航空機開発の方向, その三, 昭和45年3月.
- 4) STOL and VTOL Aircraft, Airworthiness Committee Ninth Meeting, ICAO AIR C-WP/401, 9/6/70.
- 5) JANE'S ALL THE WORLD'S AIRCRAFT, 1969-70.
- 6) Specifications, Aviation Week & Space Technology, March 9, 1970.
- 7) 運輸省航空局検査課; 耐空性審査要領, 鳳文書林, 1966 (改訂).
- 8) S. M. Levin; Unclogging the short-haul corridors, SPACE/AERONAUTICS, May 1970.
- 9) 中口 博; V/STOL 機の展望, 日本機械学会誌, 第70巻第576号 (昭和42年1月).
- 10) R. C. Innis, and others; Airworthiness considerations for STOL aircraft, NASA TN D-5594, 1970.
- 11) 荒木 浩; STOL 機の運用上, 操縦上の問題点について, 航空宇宙技術研究所技術資料 N-3 (1963年12月).
- 12) Flight Standards Service, Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Tentative Airworthiness Standards for Powered Lift Transport Category Aircraft, August 1970.
- 13) D. A. Brown; American STOL requests sent to 13 manufacturers, Aviation Week & Space Technology, August 17, 1970.
- 14) Variable pitch fan designed for low-noise STOL aircraft, Aviation Week & Space Technology, September 14, 1970.
- 15) 近藤次郎; 信頼性を考慮したシステムの最適設計, 日本機械学会誌, 第74巻第624号 (昭和46年1月).
- 16) 幸尾治朗; 航空機の乗り心地について, 航空宇宙技術研究所資料 TM-181 (1970年6月).

表 2 各国の STOL 機および  $W_{to} \geq 5,670kg$  (12,500lb.) で

| 製造国                     | 通し番号 | T D<br>  <br>ター<br> <br>ビ<br>ン<br>機<br>中 | 機種名                                    | TYPE  |
|-------------------------|------|--|--|---|
| CANADA                  | 1    |  | DHC-4A CARIBOU                         | all-weather STOL utility transport            |
| "                       | 2    | T  | DHC-5 BUFFALO                          | STOL utility transport                        |
| "                       | 3    | T  | DHC-6 TWIN OTTER Series 300            | STOL transport                                |
| "                       | 4    | T, D                                     | DE HAVILLAND CANADA DHC-7              | short/medium-range STOL transport             |
| CZECHOSLOVAKIA          | 5    | T, D                                     | L-410 TURBOLET                         | STOL light transport                          |
| FRANCE                  | 6    | T, D                                     | BREGUET 941                            | STOL transport                                |
| GERMANY                 | 7    |  | DORNIER Do 28 D-1<br>SKYSERVANT        | STOL transport and utility aircraft           |
| "                       | 8    | D  | PÖSCHEL P-300 EQUATOR                  | light executive STOL amphibian                |
| INDONESIA               | 9    |  | PZL-104 GELATIK                        | STOL general utility aircraft                 |
| ISRAEL                  | 10   | T, D                                     | IAI ARAVA                              | STOL light transport                          |
| ITALY                   | 11   | T, D                                     | FIAT G 222                             | general-purpose military transport a.         |
| JAPAN                   | 12   | T, D                                     | SHIN MEIWA SS-2                        | STOL amphibious aircraft                      |
| SPAIN                   | 13   | T, D                                     | CASA C. 212 AVIOCAR                    | STOL utility transport                        |
| SWITZERLAND             | 14   |  | PILATUS PC-6 PORTER                    | STOL utility transport                        |
| "                       | 15   | T  | PILATUS PC-6-C1/H2<br>TURBO-PORTER     |   |
| THE UNITED KINGDOM      | 16   |  | BRITTEN-NORMAN BN-2A<br>ISLANDER       | STOL light transport                          |
| "                       | 17   | T  | SHORT SC. 7 SKYVAN                     | light civil or military transport             |
| THE UNITED STATES OF A. | 18   |  | BUSHMASTER 2000                        |   |
| "                       | 19   |  | CUSTER CCW-5                           | STOL monoplane                                |
| "                       | 20   | T, D                                     | GENERAL AIRCRAFT GAC-100               | STOL transport                                |
| "                       | 21   |  | GRUMMAN G-89 TRACKER                   | naval anti-submarine aircraft                 |
| "                       | 22   | T  | GRUMMAN G-134 MOHAWK                   | army observation aircraft                     |
| "                       | 23   |  | HELIO H-250 COURIER                    | STOL aircraft                                 |
| "                       | 24   |  | HELIO H-295 SUPER COURIER              | light STOL personal, corporate and utility m. |
| "                       | 25   | T  | HELIO STALLION MODEL 550A              | general-utility turboprop aircraft            |
| "                       | 26   |  | HELIO H-580 TWIN COURIER               | light personal and corporate monoplane        |
| "                       | 27   | T, D                                     | HELIO MODEL H-634<br>TWIN STALLION     | general-utility twin-turboprop aircraft       |
| "                       | 28   | T  | MISSISSIPPI STATE<br>UNIVERSITY MARVEL | STOL research aircraft                        |
| "                       | 29   | T, D                                     | OCCIDENTAL MODEL 100                   | STOL airliner                                 |

$L_{to}$ ,  $L_t \leq 610m(2,000ft.)$  の飛行機

| 離昇パワ<br>[hp]<br>$P$    | 翼面積<br>[m <sup>2</sup> ]<br>$S$ | 離陸重量<br>[Kg]<br>$W_{to}$ | 着陸重量<br>[Kg]<br>$W_l$ | 離陸翼面重<br>[Kg/m <sup>2</sup> ]<br>$\frac{W_{to}}{S}$ | 着陸翼面重<br>[Kg/m <sup>2</sup> ]<br>$\frac{W_l}{S}$ | 馬力荷重<br>[Kg/hp]<br>$\frac{W_{to}}{P}$ | $(\frac{Km}{h})^2 \frac{Kg}{hp}$<br>$V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P}$ | 失速速度<br>[Km/h]<br>$V_{st}$ 註2 | 離陸距離<br>[m]<br>$L_{to}$ 註1 | 着陸距離<br>[m]<br>$L_t$ | 文献              |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|---|-------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------|
| 1,450×2                | 84.72                           | 12,928                   | 12,928                | 152.6   | 152.6  | 4.46                                  | 52,989  | 109 ○                         | 361                        | 376                  | 6               |
| 2,850×2                | 87.79                           | 18,598                   | 17,720                | 211.8   | 201.8  | 3.26                                  | 93,109<br>46,944  | 169 ○<br>120 ○                | 386                        | 357                  | 6               |
| 652×2                  | 39.02                           | 5,670                    | 5,579                 | 145.3   | 143.0  | 4.35                                  | 85,260<br>50,738  | 140 ○<br>108 ○                | 366                        | 320                  | 3               |
| 1,035×4                | 79.89                           | 16,783                   | 16,556                | 210.1   | 207.2  | 4.05                                  | 54,497<br>41,314  | 116 ○<br>101 ⊗                | 472                        | 354                  | 3               |
| 715×2                  | 32.3                            | 5,080                    | 5,080                 | 157.3   | 157.3  | 3.55                                  | 47,769  | 116 ○                         | 360                        | 400                  | 3               |
| 1,500×4                | 83.78                           | 22,000                   | 20,000                | 262.6   | 238.7  | 3.67                                  | 25,283  | 83 ○                          | 320*                       | 250                  | 5               |
| 380×2                  | 28.61                           | 3,651                    | 3,651                 | 127.6   | 127.6  | 4.80                                  | 90,091<br>55,987<br>20,280                                      | 137 ○<br>108 ○<br>65 ●        | 309                        | 305                  | 3               |
| 310                    | 16.0                            | 1,500                    | 1,500                 | 93.8  | 93.8   | 4.84                                  | 21,083  | 66 ○                          | 155                        | 135                  | 5               |
| 225                    | 15.50                           | 1,150                    | 1,150                 | 74.2  | 74.2   | 5.11                                  | 12,269  | 49 ○                          | 215                        | 280                  | 5               |
| 715×2                  | 43.66                           | 5,670                    | 5,670                 | 129.9   | 129.9  | 3.97                                  | 75,605<br>43,769  | 138 ○<br>105 ○                | 305                        | 265                  | 3               |
| 3,400×2                | 82                              | 24,500                   | 24,500                | 298.8   | 298.8  | 3.60                                  | ?   | ?                             | 570                        | 400                  | 5               |
| 2,850×4<br>(1,250-BLC) | 135                             | 37,500                   | 37,500                | 277.8   | 277.8  | 3.29<br>(2.96)                        | 18,016<br>(16,209)  | 74 ●                          | ***<br>370                 | ***<br>490           | メーカ<br>一推算<br>値 |
| 755×2                  | 40.00                           | 6,000                    | 5,750                 | 150.0   | 143.8  | 3.97                                  | 89,325<br>54,345  | 150 ○<br>117 ○                | 510                        | 315                  | 5               |
| 340                    | 28.8                            | 2,200                    | 2,200                 | 76.4  | 76.4   | 6.47                                  | 44,572  | 83 ○                          | 380                        | 300                  | 5               |
| 575                    | 28.8                            | 2,200                    | 2,200                 | 76.4  | 76.4   | 3.83                                  | 33,842<br>26,385  | 94 ○<br>83 ○                  | 183                        | 155                  | 5               |
| 260×2                  | 30.2                            | 2,722                    | 2,722                 | 90.1  | 90.1   | 5.23                                  | 41,427<br>30,208  | 89 ○<br>76 ○                  | 311                        | 287                  | 3               |
| 755×2                  | 34.65                           | 5,670                    | 5,670                 | 163.6   | 163.6  | 3.75                                  | 73,500<br>46,204  | 140 ○<br>111 ○                | 299                        | 390                  | 3               |
| 450×3                  | 83.6                            | 5,670                    | 5,670                 | 67.8  | 67.8   | 4.20                                  | 39,518  | 97 ⊗                          | 250                        | 330                  | 5               |
| 250×2                  | 19.42                           | 2,268                    | 2,268                 | 116.8   | 116.8  | 4.54                                  | 57,971<br>18,888  | 113 ○<br>64.5 ●               | 152                        | 152                  | 5               |
| 894×4                  | 42.73                           | 11,567                   | 11,340                | 270.7   | 265.4  | 3.23                                  | 61,512  | 138 ⊕                         | **<br>686                  | **<br>701            | 3               |
| 1,525×2                | 46.08                           | 13,222                   | 13,222                | 286.9   | 286.9  | 4.34                                  | 61,459  | 119 ○                         | 572                        | ?                    | 5               |
| 1,100×2                | 30.65                           | 6,818                    | 6,818                 | 222.3   | 222.3  | 3.10                                  | 36,831  | 109 ○                         | 281                        | 240                  | 5               |
| 250                    | 21.46                           | 1,542                    | 1,542                 | 71.9  | 71.9   | 6.17                                  | 15,425  | 50 ●                          | 229                        | 158                  | 6               |
| 295                    | 21.46                           | 1,542                    | 1,542                 | 71.9  | 71.9   | 5.23                                  | 12,050  | 48 ●                          | 186                        | 158                  |                 |
| 680                    | 22.48                           | 2,313                    | 2,313                 | 102.9   | 102.9  | 3.40                                  | 15,722<br>9,551   | 68 ●<br>53 ⊗                  | 212                        | 154                  |                 |
| 290×2                  | 22.48                           | 2,313                    | 2,313                 | 102.9   | 102.9  | 3.99                                  | 11,208  | 53 ●                          | 238                        | 192                  |                 |
| 317×2                  | 22.48                           | 2,313                    | 2,313                 | 102.9   | 102.9  | 3.65                                  | 16,878<br>11,446  | 68 ●<br>56 ⊗                  | 201                        | 200                  |                 |
| 250                    | 9.85                            | 1,188                    | 1,188                 | 120.6   | 120.6  | 4.75                                  | 44,693  | 97 ○                          | 177                        | 290                  | 5               |
| 4,950×2                | 230                             | 34,474                   | 34,474                | 149.9   | 149.9  | 3.48                                  | 42,877  | 111 ○                         | 177                        | 244                  | 3               |

表 2 各国の STOL 機および  $W_{i0} \geq 5,670\text{kg}$  (12,500lb.) で

| 製造国                     | 通し番号 | T D<br>  <br>開<br>ター<br>ビ<br>ン<br>機<br>中 | 機種名                                     | TYPE                              |
|-------------------------|------|--|---|-----------------------------------|
| THE UNITED STATES OF A. | 30   |  | CESSNA MODEL 172                        | ROBERTSON/CESSNA STOL CONVERSIONS |
| "                       | 31   |  | " MODEL 180                             |                                   |
| "                       | 32   |  | " MODEL 182 and SKYLANE                 |                                   |
| "                       | 33   |  | " A 185 SKYWAGON                        |                                   |
| "                       | 34   |  | " P 206 SUPER SKYLANE                   |                                   |
| "                       | 35   |  | " "                                     |                                   |
| "                       | 36   |  | " TP 206 TURBO-S. SUPER SKYLANE         |                                   |
| "                       | 37   |  | " " "                                   |                                   |
| "                       | 38   |  | " U 206 C SUPER SKYWAGON                |                                   |
| "                       | 39   |  | " "                                     |                                   |
| "                       | 40   |  | " MODEL 210 CENTURION (braced wing)     |                                   |
| "                       | 41   |  | " " (cantilever w.)                     |                                   |
| "                       | 42   |  | " T 210 TURBO-S. CENTURION (b. w.)      |                                   |
| "                       | 43   |  | " " (c. w.)                             |                                   |
| "                       | 44   |  | " MODEL 337 C SUPER SKYMASTER           |                                   |
| "                       | 45   |  | " MODEL T337 C TURBO-S. SUPER SKYMASTER |                                   |
| "                       | 46   | T, D                                     | SUNRISE S-1600                          | STOL short-haul transport         |
| "                       | 47   |  | WREN 460                                | STOL light aircraft               |
| "                       | 48   | T  | PC-6/31A-H2 HELIPORTER                  | STOL light aircraft               |
| "                       | 49   | T  | PC-6/32-H2 HELIPORTER                   |                                   |
| "                       | 50   | T  | PC-6/C-H2 HELIPORTER                    |                                   |
| "                       | 51   | T, D                                     | MD 210 G                                | STOL transport                    |
| JAPAN                   |      |  | FUJI FA-200XS AERO SUBARU               |                                   |
| (参考値)                   |      |  | MITSUBISHI MU-2G                        |                                   |
|                         |      |  | NAMC YS-11                              |                                   |

註 1.  $L_{i0}$  { \* 10(m)越え  
 \*\* 離陸, 着陸滑走路長  
 $L_l$  { \*\*\* 水上機の15(m)越え  
 無印 15(m)越え

$L_{to}, L_l \leq 610\text{m}(2,000\text{ft.})$  の飛行機 (続)

| 離昇パワ<br>[hp]<br>$P$ | 翼面積<br>[ $\text{m}^2$ ]<br>$S$ | 離陸重量<br>[Kg]<br>$W_{to}$ | 着陸重量<br>[Kg]<br>$W_l$ | 離陸翼面荷<br>[ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ]<br>$\frac{W_{to}}{S}$ | 着陸翼面荷<br>[ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ]<br>$\frac{W_l}{S}$ | 馬力荷重<br>[Kg/hp]<br>$\frac{W_{to}}{P}$ | $(\frac{\text{Km}}{\text{h}})^2 \frac{\text{Kg}}{\text{hp}}$<br>$V_{st}^2 \frac{W_{to}}{P}$ | 失速速度<br>[Km/h]<br>$V_{st}$ 註 2 | 離陸距離<br>[m]<br>$L_{to}$ 註 1 | 着陸距離<br>[m]<br>$L_l$ | 文献  |            |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----|------------|
| 150                 | 16.16                          | 1,043                    | 1,043                 | 64.5  | 64.5   | 6.95                                  | 11,400  | 40.5                           | }                           | 247                  | 180 | 5          |
| 230                 | 16.16                          | 1,270                    | 1,270                 | 78.6  | 78.6   | 5.52                                  | 16,698  | 55                             |                             | 194                  | 165 |            |
| 230                 | 16.16                          | 1,270                    | 1,270                 | 78.6  | 78.6   | 5.52                                  | 17,934  | 57                             |                             | 215                  | 194 |            |
| 300                 | 16.16                          | 1,497                    | 1,497                 | 92.6  | 92.6   | 4.99                                  | 19,182  | 62                             |                             | 198                  | 186 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,179                    | 1,179                 | 72.3  | 72.3   | 4.14                                  | 11,629  | 53                             |                             | 131                  | 123 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,633                    | 1,633                 | 100.2   | 100.2  | 5.73                                  | 22,026  | 62                             |                             | 264                  | 181 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,179                    | 1,179                 | 72.3  | 72.3   | 4.14                                  | 11,629  | 53                             |                             | 131                  | 123 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,633                    | 1,633                 | 100.2   | 100.2  | 5.73                                  | 22,026  | 62                             |                             | 264                  | 181 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,179                    | 1,179                 | 72.3  | 72.3   | 4.14                                  | 11,629  | 53                             |                             | 116                  | 123 |            |
| 285                 | 16.30                          | 1,633                    | 1,633                 | 100.2   | 100.2  | 5.73                                  | 22,026  | 62                             |                             | 237                  | 181 |            |
| 285                 | 16.36                          | 1,497                    | 1,497                 | 91.5  | 91.5   | 5.25                                  | 17,057  | 57                             |                             | 212                  | 161 |            |
| 285                 | 16.36                          | 1,542                    | 1,542                 | 94.3  | 94.3   | 5.41                                  | 18,199  | 58                             |                             | 185                  | 165 |            |
| 285                 | 16.36                          | 1,497                    | 1,497                 | 91.5  | 91.5   | 5.25                                  | 17,057  | 57                             |                             | 212                  | 161 |            |
| 285                 | 16.36                          | 1,542                    | 1,542                 | 94.3  | 94.3   | 5.41                                  | 18,199  | 58                             |                             | 185                  | 165 |            |
| 210×2               | 18.67                          | 1,995                    | 1,995                 | 106.9   | 106.9  | 4.75                                  | 19,456  | 64                             |                             | 221                  | 221 |            |
| 210×2               | 18.67                          | 2,041                    | 1,995                 | 109.3   | 106.9  | 4.86                                  | 21,170  | 66                             | 225                         | 223                  |     |            |
| 760×2               | 20.10                          | 6,465                    | 6,465                 | 321.6   | 321.6  | 4.25                                  | 246,844<br>110,164<br>39,988  | 241<br>161<br>97               | ○<br>○<br>○                 | 258                  | 260 | 5          |
| 230                 | 16.30                          | 1,270                    | 1,270                 | 77.9  | 77.9   | 5.52                                  | 38,949<br>13,800  | 84<br>50                       | ○<br>●                      | 175                  | 168 | 5          |
| 579                 | 28.8                           | 2,200                    | 2,200                 | 76.4  | 76.4   | 3.80                                  | 24,320  | 80                             | ⊗                           | 180                  | 168 | 6          |
| 579                 | 28.8                           | 2,200                    | 2,200                 | 76.4  | 76.4   | 3.80                                  | 24,320  | 80                             | ⊗                           | 180                  | 168 |            |
| 605                 | 28.8                           | 2,200                    | 2,200                 | 76.4  | 76.4   | 3.64                                  | 23,296  | 80                             | ⊗                           | 168                  | 168 |            |
| 3,300×4             | 141.2                          | 38,329                   | 38,329                | 271.5   | 271.5  | 2.90                                  | ?   | ?                              |                             | 386                  | 344 | 3          |
| 180                 | 14.0                           | 1,150                    | 1,150                 | 82.1  | 82.1   | 6.39                                  | 29,547  | 68                             | ●                           | 600                  | 274 | 航技研<br>実験値 |
| 705×2               | 16.55                          | 4,700                    | 4,470                 | 284.0   | 270.1  | 3.33                                  | 118,951<br>70,013   | 189<br>145                     | ○<br>○                      | 510                  | 450 | 5          |
| 3,060×2             | 94.8                           | 24,500                   | 24,000                | 258.4   | 253.2  | 4.00                                  | 78,400  | 140                            | ○                           | 1,110*               | 660 | 5          |

註 2.  $V_{st}$  {

- flaps up
- flaps down
- power on
- flaps down, power on

- flaps down, BLC on
- 条件不明
- ⊗ landing speed
- approach speed

表 3 プロペラ STOL 機の機種数

|  |   | 合 計 38+(13)      |                   | $\frac{Wto}{S}$ $\left\{ \frac{kg}{m^2} \right\}$ |   |           |
|--|---|------------------|-------------------|---|---|-----------|
|  |   | レシプロ<br>28 + (1) | タービン<br>10 + (12) | $\leq 125$  | $\begin{matrix} > 125 \\ \leq 250 \end{matrix}$ | $> 250$   |
| Wto<br>(kg)                            | $> 28,350$  | 0 + (0)          | 0 + (3)           | 0 + (0)   | 0 + (1)   | 0 + (2)   |
|  | $\begin{matrix} < 28,350 \\ > 5,670 \end{matrix}$ | 2 + (0)          | 2 + (6)           | 0 + (0)   | 3 + (2)   | → 1 + (4) |
|  | $\leq 5,670$                                      | 26 + (1).....    | ↑<br>8 + (3)      | 31 + (2).....                                     | → 3 + (2)                                       | 0 + (0)   |
| $\frac{Wto}{P}$<br>( $\frac{kg}{hp}$ ) | $< 4$   | 1 + (0)          | ↑<br>8 + (10)     | 6 + (1)   | 3 + (4)   | → 0 + (5) |
|  | $\geq 4$  | 11 + (1)         | ↑<br>2 + (2)      | 9 + (1)   | 3 + (1)   | 1 + (1)   |
|  | $< 5$   | ⋮                |                   | ⋮   |   |           |
|  | $\geq 5$  | 16 + (0)         | 0 + (0)           | 16 + (0)  | 0 + (0)   | 0 + (0)   |

註： ( )内は開発中のもの， →はその増加方向， .....は現用機種の減少方向

---

## 航空宇宙技術研究所報告 194 号

昭和 46 年 1 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町 1880  
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表)〒182

印刷所 第一印刷株式会社  
東京都新宿区富久町 58

---

