

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-569

最近のエアラインの燃油費に関する一考察

田 辺 義 一

1987年4月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 最近のエアラインの燃油費に関する一考察\*

田 辺 義 一\*\*

## 概 要

民間航空界においても、省エネルギー化が唱えられるようになって久しく、それぞれの立場で可能な対応が続けられているが、その結果としての実績は案外知られていない。ここでは、公表された資料を整理して、省エネルギー化進行途上の現状を概観した。

1985年第1四半期～86年第2四半期、米国のエアラインでは、航続率の実績は0.07～0.25 km/kg、航続率×有償客数では7～28人・km/kg、航続率×有償質量では大部分が1～3×10<sup>3</sup> kg・km/kgの範囲にあり、総経費中の燃油費は25～63%を占めている。

## 記 号

- $B$  : 毎時燃料消費量 [kg/h]  
 $b_j$  : 推力当たり燃料消費率 [kg/9.8N/h],  
(kg/kgf/h)  
 $T$  : 推力 [9.8N], (kgf)  
 $C_L/C_D$  : 全機揚抗比  
 $M$  : 総質量 [kg]  
 $g$  : 重力の加速度 [9.8m/s<sup>2</sup>]  
 $r_j$  : 航続率 [km/kg]  
 $V$  : 飛行速度 [km/h]  
 $n$  : 有償客数 (有償輸送客数) [人]  
 $M_p$  : 有償質量 (有償輸送質量) [kg]

## 1. ま え が き

エアラインにおける総経費中の燃油費率は、1973～74年の第一次オイルショックを境として約10%から20%になった。その後の省エネルギー化対策により、約15%まで低下しつつあったが<sup>1)</sup>、1979～81年の第二次オイルショックにより再び上昇し、30%を越すに至った。そして1983年以後の逆オイルショック(原油価格下落、安値安定)にもかかわらず、高率動揺の傾向が続いている模様である。運賃自由化で先行する米国では、1978年に航空事業の

規制緩和法が発効し、1984年の229社が97社(1986年3月の時点)に減少し、更に合併・吸収の嵐が吹き荒れている。そして1990年代以降には、130～180席クラスの中型機が大幅な代替期に入る見込みであり、1989年に運航開始するA320、1992年に就航予定のYXX/B.7J7(150席機)は、省エネルギー・低公害機の先発組とみられている。一方、B.747などの大型機は、その派生型を除けば、新規開発の需要はあまり無いようである。エアラインでは、各路線の便数増は搭乗率減になり、生産性が低下するので、大型機よりも燃料消費の少ない中型機を導入するようになると言われている。1990年前後までの「つなぎ」としては、各種の省エネルギー化対策を従来機に対して施すしかない(改修)。この時点において、実態を認識しておく必要がある。我が国に比して特殊な条件下にある限られたデータではあるが、改修による省エネルギー化が一段落したと考えられる現時点で整理、考察してみた。

## 2. データの収録

データは、米国の航空会社で、広胴機については1985年第1四半期～86年第2四半期のものを、狭胴機では1985年第2四半期～86年第2四半期のものをAviation Week & Space Technology上に公表されたものから収録した<sup>2-12)</sup>。広胴機は、ボーイング社製のB.747(6社)、B.767(4社)、エアバス社製のA300B(2社)、マクドネル・ダグラス社製

\* 昭和61年9月20日受付

\*\* 航空機公害研究グループ

のDC-10(6~5社)およびロッキード社製のL-1011(4~3社)である。各社, 1~3機種を使用している。狭胴機は, ボーイング社製のB.727-200(15~13社), B.737(14~10社), B.757(3社), マクドネル・ダグラス社製のMD-80(12~10社)およびDC-9その他(11~8社)である。各社, 1~4機種を使用している(DC-9その他を1機種として)。その他とは, DC-9-10, DC-9-15F, DC-9-30, DC-9-40およびDC-9-50である。

DC-8, B.707等の高騒音機は, 1985年1月1日から実施された米国の騒音規制により乗り入れが禁止されたので, 当然ながらここに表れていない。

広胴機では, 平均乗客数, 乗客搭乗率(%), 平均搭載量(全サービス), 全搭載率(%), 平均速度(Off-on Speed), 平均区間距離, 燃料系統オン・オフ時間当たりの燃料消費量, ブロック時間当たりの燃料・滑油費と税(ドル)およびブロック時間当たりの運航費(ドル)を収録し, mi.→km, gal→ℓ→kgに単位を変換し, 図示した。但し, 燃料の密度は, 一率に $800\text{kg/m}^3$ とみなした。ブロック時間とは, 航空機が動きだしてから, 次の目的地に着陸して停止するまでの時間である。また, ブロック時間には, 牽引車に引かれてスポットから動きだす場合の時間も含まれるが, 燃料系統オン・オフ時間はブロック時間に等しいものとみなした。

狭胴機では, 収入距離, 有償乗客距離, 平均座席容量, 乗客搭乗率, 有償トン距離, 出発便数, 収入時間, 全ブロック時間, ブロック時間当たりの燃料消費量, ブロック時間当たりの燃料・滑油費と税(ドル)およびブロック時間当たりの運航費(ドル)を収録し, 広胴機の場合に準じて処理した。但し, 狭胴機のBlock Speed(航空機が動きだしてから, 次の目的地に着陸して停止するまでの大圏距離における平均速度)は, 広胴機のOff-on Speed(航空機の車輪が滑走路から離れてから, 次の目的地の滑走路に接地するまでの大圏距離における平均速度)と異なるが, 概ね傾向は把握できるので, 両者とも平均速度として図示した。

元データは, エアライン毎, 機種毎, 四半期毎の種々の区間距離の路線についての合計または平均値であり, それを処理した諸量もすべて同様な平均値

である(以下, 航続率等の諸量についても同様)。

### 3. 平均速度と平均区間距離

図1に, 広胴機5機種と狭胴機5機種の平均区間距離に対する平均速度を一緒に示した。但し, 広胴機の平均区間距離は, エアライン毎, 機種毎, 四半期毎の大圏距離における平均区間距離であり, 路線および飛行毎の区間距離の長短が平均化されたものである。狭胴機の平均区間距離も同上であるが, 元データからの処理としては, (収入距離/出発便数)として導出したものである。また平均速度は, 広胴機ではオフ・オン・スピード(前出)の上記と同様な平均値であり, 狭胴機ではブロック・スピード(前出)の平均値であるが, 元データからの処理としては, (収入距離/収入時間)として導出したものである。従って, 物理的に正確な「平均速度」, 「区間距離」ではなく, 便宜的に表現した諸量である。図1で, 約200~250kmの短い平均区間距離(B.737, DC-9およびMD-80を使用)を例外とすれば, 大半が500~5,500kmである。広胴機に限れば, 約1,200kmが平均区間距離の下限であった。なお, B.767を例にとりて, 平均区間距離と設計航続距離の比をみると, 30%程度で運用されているようである(B.767の設計航続距離は<sup>13)</sup>, 中距離型/JT9D-7R4Dで4,485km, 高全備重量型/JT9D-7R4Eで9,785kmである)。多様な5機種(狭胴機)を使用しているにもかかわらず, 250~500kmの平均区間距離が欠落している。この空白域をカバーしているのは, 小型で便数の多いコピューター機, ヘリコプターなどであろう(我が国では, コピューター機は, 約400~40kmの区間距離をカバーしている)。乗用車を使用する国内旅行も多いのであろう。高高度巡航が短くなる短区間距離の飛行パターンでは, 燃料の大半は上昇飛行中に消費されるから, むしろ, 海, 湖, 山地越えなどを含む区間が無ければ, 250km未満では明らかに「航空不利」と思われる。本図から,  $\text{平均速度} \propto \sqrt{\text{平均区間距離}}$ という傾向を認めることができる。

### 4. 航続率

ジェット機では, 毎時の燃料消費量 $B(\text{kg/h})$ が

$$B = b_j T = b_j \frac{C_D}{C_L} M \cdot g$$

であるから、航続率  $r_j$  (km/kg) =  $V/B$  は、

$$r_j = \frac{C_L}{C_D} \cdot \frac{V}{b_j} \cdot \frac{1}{M \cdot g}$$

となる<sup>14)</sup>。飛行速度  $V$  が、図 1 で述べた平均速度に比例するものとみなせば、航続率を図 2 のように表わすことができる。図 2 の横軸は、図 1 の縦軸と同じ平均速度である (図 3 以下も同様)。但し、広胴機の航続率は、元データから、オフ・オン・スピード/燃料系統オン・オフ時間当たりの燃料消費量として導出し、狭胴機の航続率は、有償乗客距離/(全ブロック時間×ブロック時間当たりの燃料消費量)/(平均座席容量×乗客搭乗率)として導出したものである。図 2 では  $M$  の規模、エンジン基数によっていくつかのグループに分れていることが判かる。広胴機の  $r_j$  は約 0.2 km/kg 以下、狭胴機では約 0.12 km/kg 以上であり、図示の範囲内では平均速度と共に上昇する傾向がある。式を見ると、 $r_j$  は  $V$  に比例しており、速度を高めるほど燃料が経済的になるように見える。しかし速度を変えると  $C_L$ 、したがって  $C_L/C_D$  も変わり、エンジンの推力も変わるので燃料消費率  $b_j$  も変わる。結局  $C_L/C_D \cdot b_j$  は速度 (マッハ数) とともに変化するので、速度だけ勝手に変えることはできず、航続率はある速度で最大になる<sup>14)</sup>。なお、B.767 (広胴機、胴体幅 5.03m、双発) の航続率は 0.15 ~ 0.2 km/kg の範囲にあり、B.727-200 (狭胴機、胴体幅 3.76m、3 発) と比べて、B.767 の航続率が良いことが端的に表れている (但し、機体の償却費が大きいことは別の大問題であり、新複合材料もまだ一次構造部材には使われておらず、その使用量は 1 機で 1,530kg、軽量化効果は 570kg に過ぎないから<sup>14)</sup>、それによってこの広胴機の構造質量を大幅に軽減している訳ではない)。図 2 の横軸の合わせスケールは、参考までに  $V \approx$  平均速度とみなして、ICAO の国際標準大気におけるマッハ数 (海面上と高度 11km の値) を併記したものである。B.767 の標準巡航速度はマッハ 0.80 であり、その初期巡航高度は 10,850 ~ 12,435m であるから<sup>13)</sup>、( $M_{11}$ ) の合わせスケールでみると、平均速度は標準巡航速度の 83% 以上と推定することが

できる。B.747 の平均速度も、その最大水平速度 969 ~ 995 km/h<sup>13)</sup> の 83% 以上と推定される。なお、航続率のみに注目した場合、その最小値は 70m/kg であり、自機の全長分を空間移動するのに 1kg の燃料を消費している。この辺りが 4 発輸送機の航続率を考える場合、一つの目安であろう。

## 5. 有償客数と有償質量

$$\text{図 3 には、航続率} \times \text{有償客数} = \frac{C_L}{C_D} \cdot \frac{V}{b_j} \cdot \frac{n}{M \cdot g} \quad (14)$$

を、平均速度に対して示した。広胴機の航続率×有償客数は、元データから、平均乗客数×(オフ・オン・スピード/燃料オン・オフ時間当たりの燃料消費量)として導出し、狭胴機では、有償乗客距離/(全ブロック時間×ブロック時間当たりの燃料消費量)として導出した。機種毎の記号は図 2 と同様である (以下、同様)。当然ながら、同一機種においても  $n/M$  の規模によって大きくばらついている。広胴機の実績は、ほとんど 13 ~ 28 人・km/kg の範囲にあるが、狭胴機では、下限が約 7 人・km/kg という低い実績を示している。これは、短区間距離で使用されているからであろう。

$$\text{図 4 には、航続率} \times \text{有償質量} = \frac{C_L}{C_D} \cdot \frac{V}{b_j} \cdot \frac{M_p}{M \cdot g} \quad (14)$$

平均速度に対して示した。有償質量は、旅客、貨物、郵便の合計 (全サービス) である。広胴機の航続率×有償質量は、元データから、平均搭載量×(オフ・オン・スピード/燃料系統オン・オフ時間当たりの燃料消費量)として導出し、狭胴機では、有償トン距離/(全ブロック時間×ブロック時間当たりの燃料消費量)として導出した。 $M_p/M \cdot g$  の規模によって大きくばらつくのは、前図と同様である。広胴機の実績は一部の例外的なものを除くと、概ね  $1.8 \sim 3.2 \times 10^3$  kg・km/kg の範囲にあるが、狭胴機の下限は  $0.9 \times 10^3$  kg・km/kg となっている。

図 3 と図 4 から平均速度を消去して作製したのが図 5 である。 $M_p$  と  $n$  の比をパラメータとして、両者と航続率の積を示したものである。広胴機を図 5 a に示し、狭胴機を図 5 b ~ 5 d に分けて示した。広胴機では、( $M_p/n$ ) = 100 ~ 200 kg/人の範囲にあるが、大半は 110 ~ 150 kg/人である。150 ~ 200 kg

/人に及ぶB.747は、米社としては、太平洋路線で最大の旅客を輸送したノース・ウエスト社であるが、貨物輸送量もかなり多いことが判かる。狭胴機では、概ね $(M_p/n)=100\sim 120\text{kg/人}$ の範囲にあるが、約 $170\sim 200\text{kg/人}$ のB.737は、アラスカ社で、やはり貨物輸送量が多い。

なお、手荷物を含む旅客1人当たりの有償質量は、国際線ファースト・クラスでは $102.5\text{kg}$ 、エコノミークラスでは $92.5\text{kg}$ が基準である。

## 6. 乗客搭乗率と全搭載率

図6には、広胴機の乗客搭乗率と全搭載率を示した。特に高い値を別にすると、前者は $50\sim 75\%$ 、後者は $40\sim 65\%$ が殆どである。

両者の高いものについて、季節変動を示したのが図7である。両者ともに $77\%$ という最高値を示しているのは、ピープル・エクスプレス社の1985年第2および第3四半期のB.747である。但し、同社は「低運賃」を売り物にしていたが経営破綻し、1986年9月、他社に買収されることが決った。また、全搭載率が $67\sim 71\%$ という実績は、フライング・タイガース社の1985年第3四半期～86年第1四半期のB.747である。

同社は米軍専用の貨客輸送会社であるので、平均乗客数については記載が無い(乗客搭乗率は $94\sim 86\%$ となっているが、少数の乗客と、米軍専用という特殊性から、あまり重視すべきではない)。

## 7. 総経費と燃油費

図8には、総経費中で燃油費(燃料費、滑油費、および税)が占める率(燃油費率)を、平均速度に対して示した。燃油費率は、広胴機、狭胴機とも、元データから、ブロック時間当たりの燃料費、滑油費、税/ブロック時間当たりの運航費として導出した。広胴機では、1982年9月に定期航空に就航したB.767の燃油費率が低いことが注目されるが、それでも $27\%$ 以上という厳しい状況であることが判かる。燃油費率の実績は、全機種でみると平均速度に関して上昇する傾向があるが、ばらつきが大きい。B.727-200とDC-10(いずれも3発機)では、実に $60\%$ を越える燃油費率を負担しているケースも

あることが判かる(あるエアラインの3ヵ月間の平均値であることに注意)。

なお、図2および図8をみると、ジェット旅客機としては過去最高であった3発のB.727(1832機生産)を抜く受注ペースといわれる双発のB.737<sup>15)</sup>が、B.727に比べて航続率を上げ、燃油費率を下けている傾向が伺える。

図9には、四半期毎、機種毎のブロック時間当たりの総経費と燃油費を示した。広胴機のB.747では、ブロック時間当たり約 $4,000\sim 7,000$ ドルの経費がかかり、このうち燃油費が約 $2,000\sim 3,000$ ドルである。B.767では、約 $2,000\sim 3,000$ ドルに対して $1,000$ ドルとなっている。狭胴機では、例外を除くとブロック時間当たりの燃油費が $1,000$ ドルを越えているのはB.727-200であり、総経費は約 $3,000$ ドル以下となっている。

例外は、1986年第1四半期のMD-80(エアカル社)と、1986年第2四半期のB.737(パン・アメリカン社)である。両者を図9中に×印で示した。広胴機、狭胴機とも、1986年は前年同期に比べ、総経費と燃油費が低額に推移している。

前出の図7に示した例と同様に、総経費と燃油費の季節変動例を示したのが図10である。また、図11には、燃油費率と全搭載率の季節変動例を示した。図7と図10を見ると、全搭載率が季節変動するのに比べて燃油費は安定しており、図11では燃油費率が最近の半年～1年間に $15\sim 10\%$ 減少していることが判かる。但し、ピープル・エクスプレス社は、1986年第2四半期で全搭載率低下と共に燃油費率を急激に減少させており、既に経営異常が現れていたことが推定される。

これに対して、フライング・タイガース社は比較的、経営安定していることが伺われる。全般的には、図8を見ると、総経費に対する燃油費の率は高率のまま動揺していると言することができる。

## 8. 経費の内訳

図12には、広胴機と狭胴機の各2機種について、典型的な経費の内訳を示した。あるエアラインのある機種についての3ヵ月間の平均が、一本の柱グラフである。それぞれのケースにおいて、黒字であっ

たか赤字であったか（営業費用を上まわる営業収入があったか否か）は定かではないが、経費の内訳をみる限り、燃油費が如何に大きな部分を占めているかということが判かる。経費の点から言えば、「エアラインは、目減りする燃料を運んでいる」ということになる。以上が、米国のエアラインの経費の実態（1985年第1四半期～86年第2四半期）である。

参考までに追記すると、1987年秋に純民営化が予定される日本航空では、タンカー1隻分をまとめて買うスポット購入の大幅拡大に力を入れ、経費に占める燃料費比率を約22%（1985年度）から更に引き下げる努力をして、1986年度では収支トントンの決算予想といわれる<sup>16)</sup>（燃料油の価格は、ほぼ原油価格にリンクして動いている）。

## 9. あとがき

1980年以降赤字を計上し続けていた航空会社は、1984年に業績が黒字に転じたが<sup>15)</sup>、IATA（国際航空運送協会）加盟147社の1985年の純利益は9億ドル（前年比-18.2%）に過ぎない<sup>17)</sup>。1985年は、ドル高で過去最高の米人旅行者を記録したのに、1986年はドル安とテロ不安のため、欧州行きは激減していると報じられている<sup>18)</sup>。業務旅行より観光旅行の比重が大きくなっている民間航空としては当然の帰結であろう。また、1984年は、ICAOが事故統計をとり始めて以来、定期航空輸送としては最良の年であったが、1985年には、事故統計のいずれも、前年より増加した<sup>19)</sup>。1985年に再び赤字に転落しなかったとはいえ、今後の傾向としては、運賃を値上げせざるを得ないと見込まれている<sup>17)</sup>。比喩的に言えば、「航空機のエンゲル係数（燃油費率）」が上昇すると、「安全こそ最大のサービス」が手薄にならないよう、一層の燃費節約努力が必要となる。なお、1985年8月にNASAは、1986 Long-Range Program Plan<sup>20)</sup>を提示し、我が国では1986年8月に、航空・電子等技術審議会が「省エネルギー航空技術の研究開発における重点課題とその具体的推進方策について」（諮問第8号）に対する答申を行なった。あらゆる観点からみて、省エネルギー化はますます必要になってくることは間違いない。

なお、輸送機の経済性を表わすのに広く使われる

Direct Operating Cost（直接運航費）は、特定の航空機が重量あるいは容積の許す最大限のペイロードおよび燃料を積んで（搭載率100%）ある区間距離を飛行するときの直接経費を単位飛行距離当たり（DOC/km）、1座席単位距離当たり（DOC/Seat・km）などで表わしたものであり<sup>21)</sup>、本考察の主旨外であるので省略した。

また、航続率×有償質量は、すべての輸送機関に共通な概念「輸送効率」と言えるが、無次元ではないので、本文では紛らわしい効率という言葉を用いなかった。

さらに、Speedは「速さ」であるが、本文ではVelocity（速度）と混同する恐れが無いので、慣例によりSpeedを速度として述べた。

## 参 考 文 献

- 1) 堀川勇壮：飛行制御技術の進歩，航空技術 No.372（1986.3）。
- 2) Aviation Week & Space Technology, September 9, 1985, p. 50.
- 3) Aviation Week & Space Technology, December 23, 1985, p. 36.
- 4) Aviation Week & Space Technology, January 27, 1986, p. 42.
- 5) Aviation Week & Space Technology, May 19, 1986, p. 38.
- 6) Aviation Week & Space Technology, August 4, 1986, p. 58.
- 7) Aviation Week & Space Technology, November 3, 1986, p. 58.
- 8) Aviation Week & Space Technology, October 14, 1985, p. 42.
- 9) Aviation Week & Space Technology, January 13, 1986, p. 40.
- 10) Aviation Week & Space Technology, June 16, 1986, p. 46.
- 11) Aviation Week & Space Technology, August 11, 1986, p. 38.
- 12) Aviation Week & Space Technology, October 13, 1986, p. 42.
- 13) Jane's All The World's Aircraft, 1985-86.
- 14) 木村秀政：航空機における省エネルギー，日本航空宇宙学会誌，第33巻第374号（昭和

60年3月).

- 15) 日経エアロスペース, 1986. 3. 3.
- 16) 日経エアロスペース, 1986. 7. 7.
- 17) **Aviation Week & Space Technology**,  
July 14, 1986, p. 41.
- 18) 日本経済新聞, 昭和61年8月12日.
- 19) 航空技術 No. 379 (1986. 10).
- 20) **NASA: 1986 Long-Range Program Plan**,  
**Compiled by Management Support Division**  
**Office of External Relations, August**  
**1985.**
- 21) 日本航空宇宙学会: 航空宇宙工学便覧, 増補  
版(昭和58年4月), p.117.

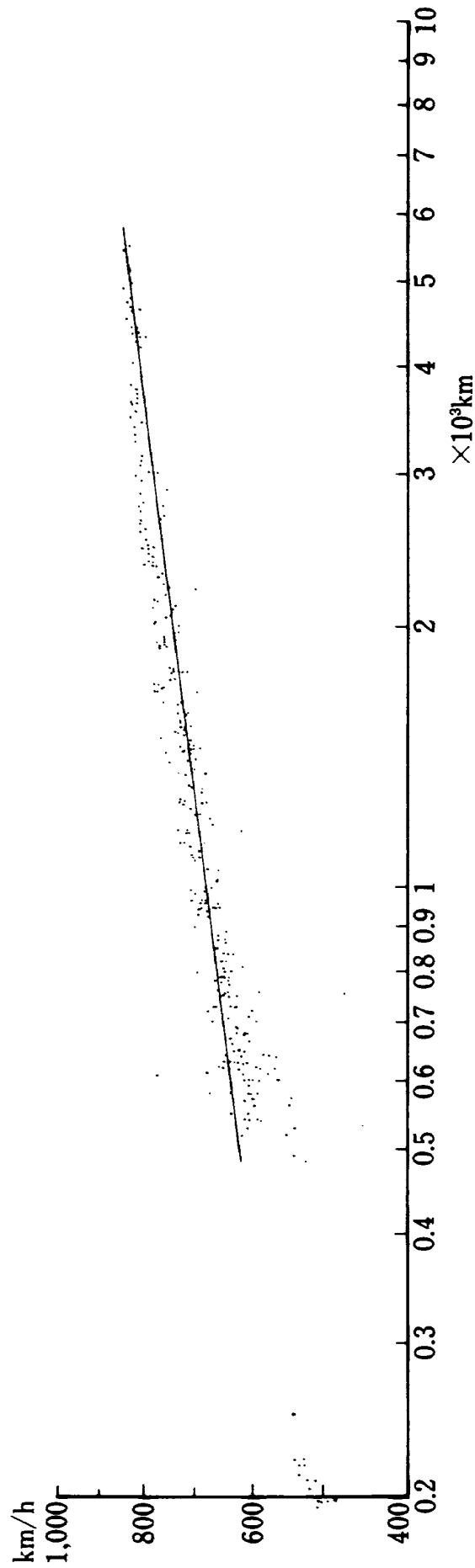


図1 平均速度～平均区間距離



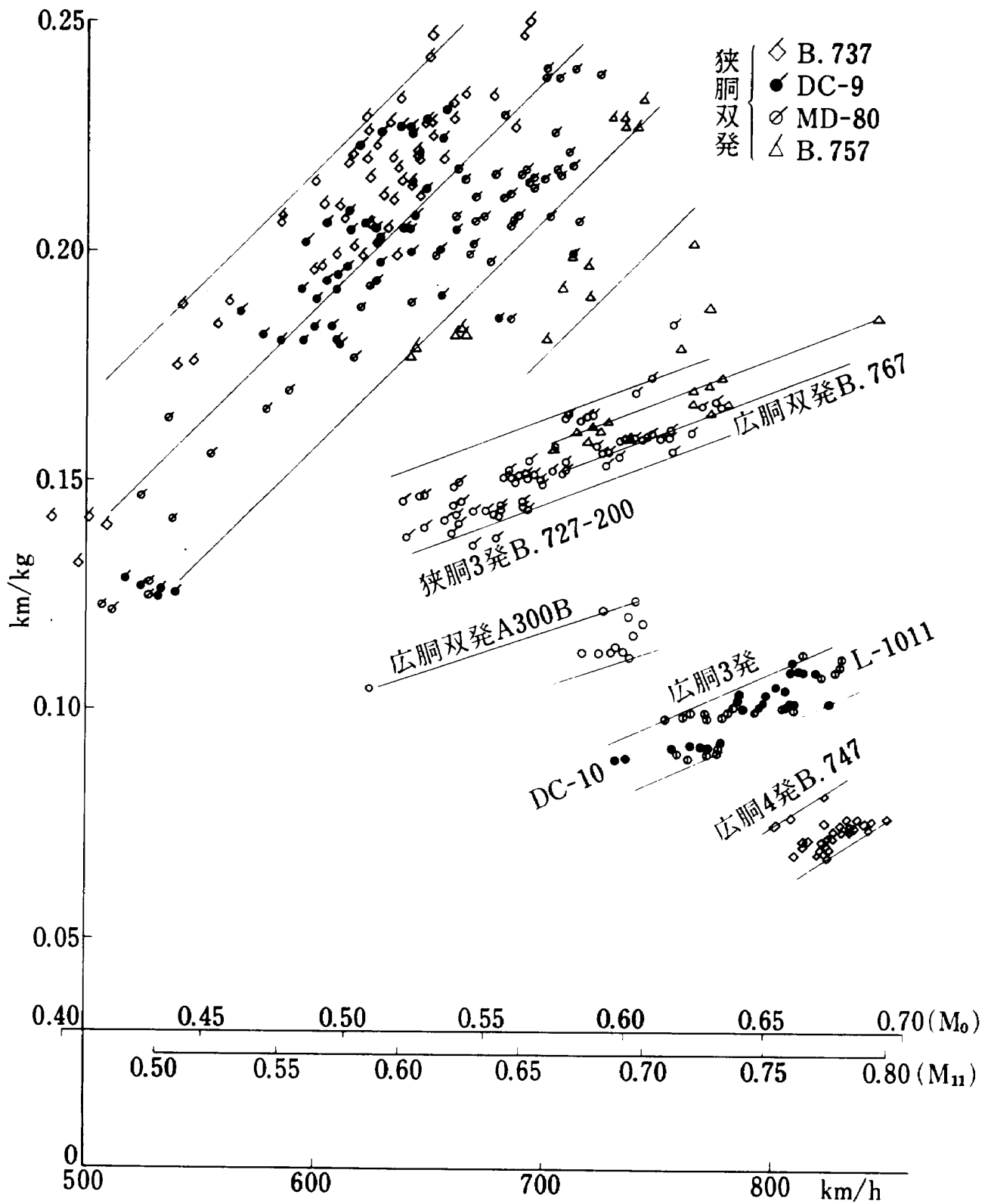


図2 航続率～平均速度

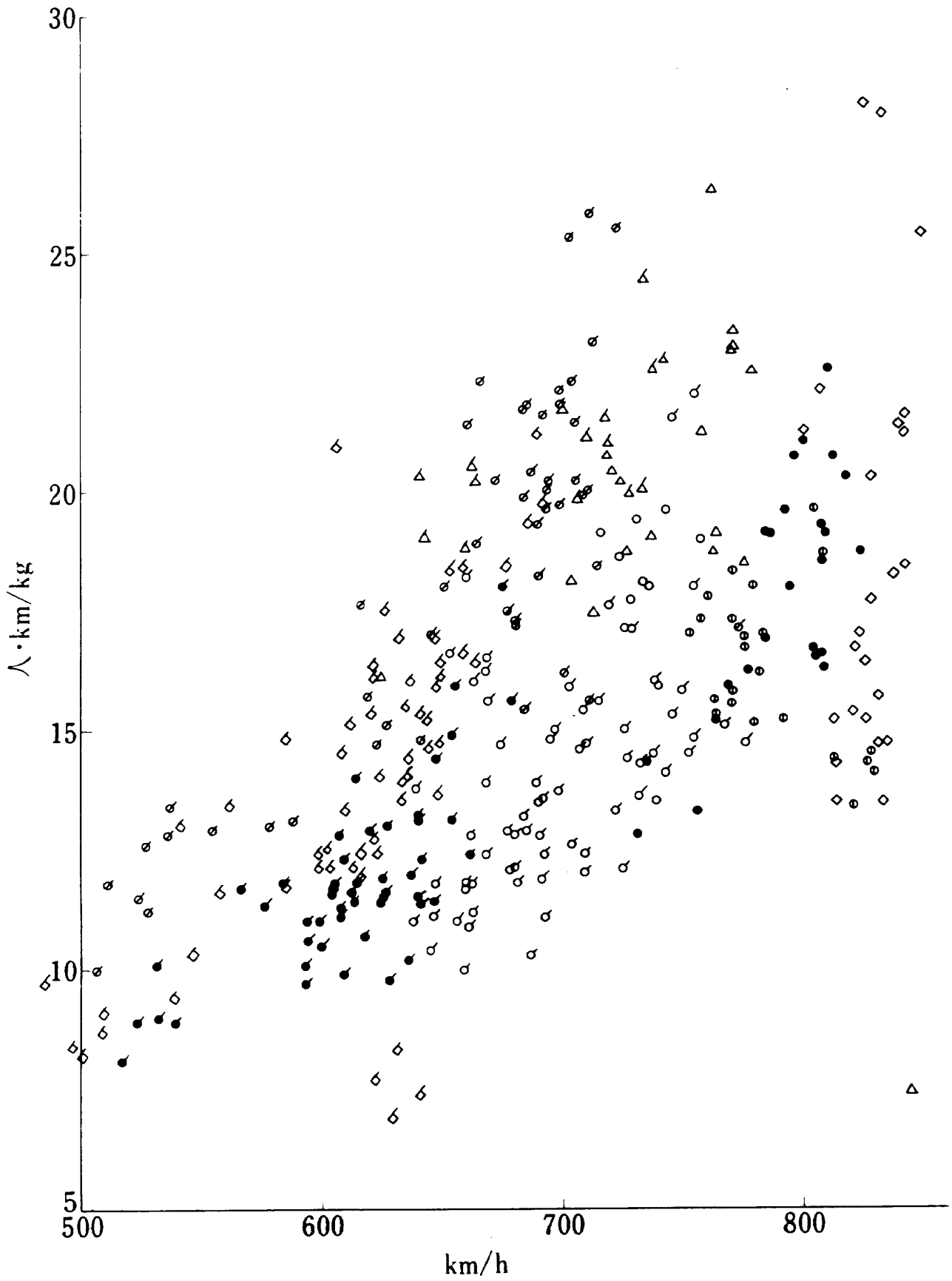


図3 有償客数×航続率～平均速度

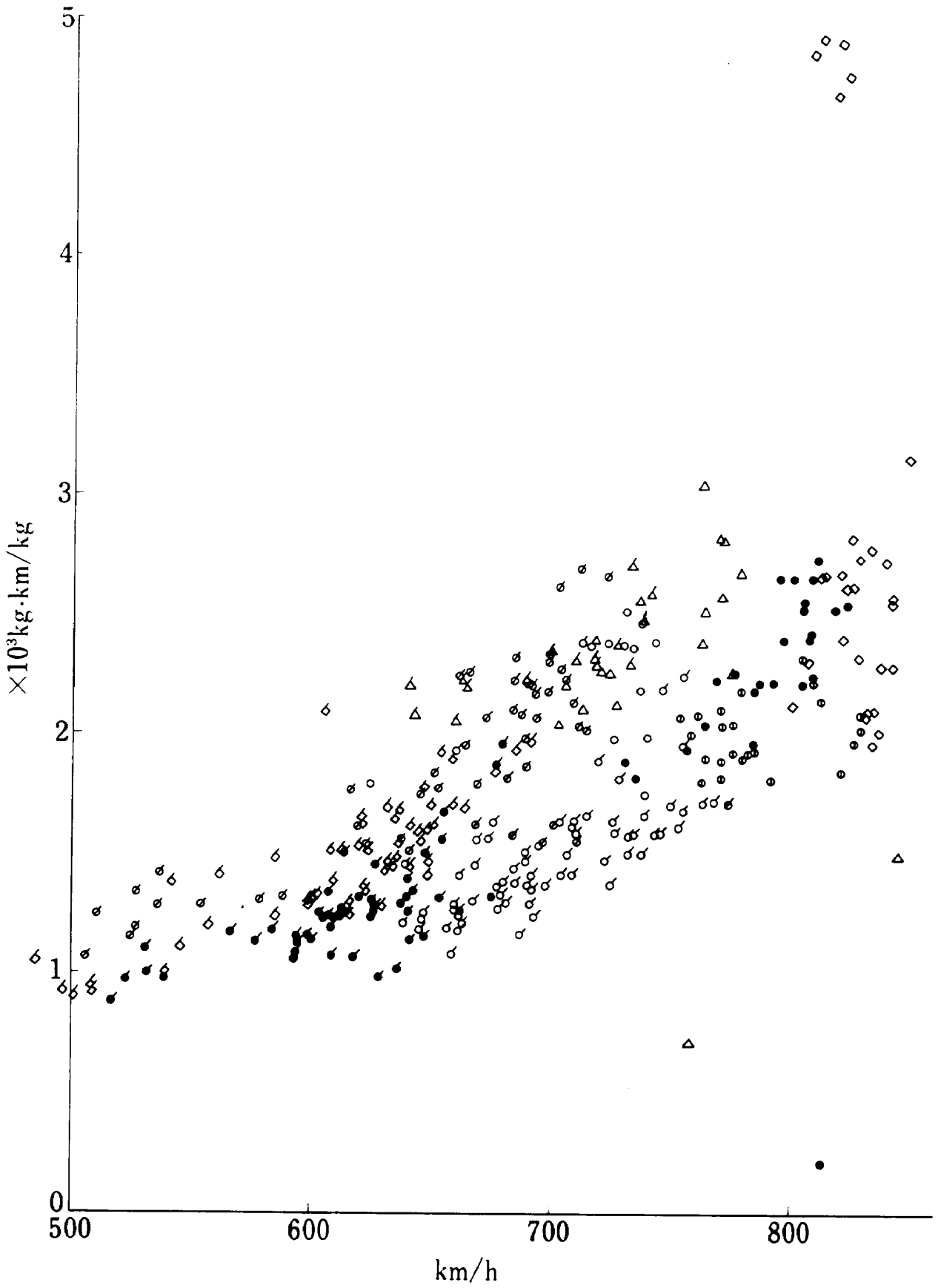


図4 有償質量(旅客・貨物)×航続率～平均速度

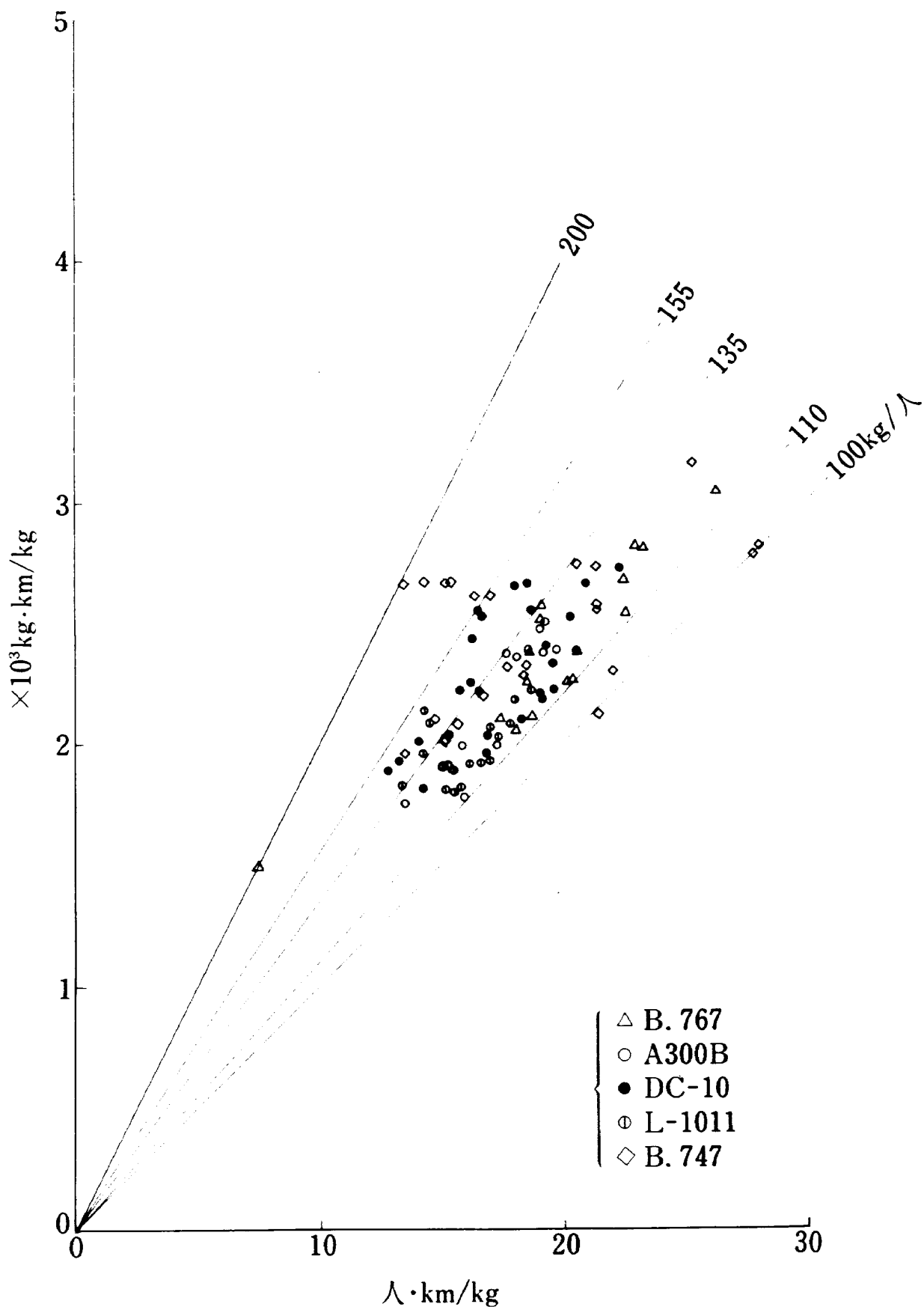


図 5 a 有償質量×航続率～有償客数×航続率

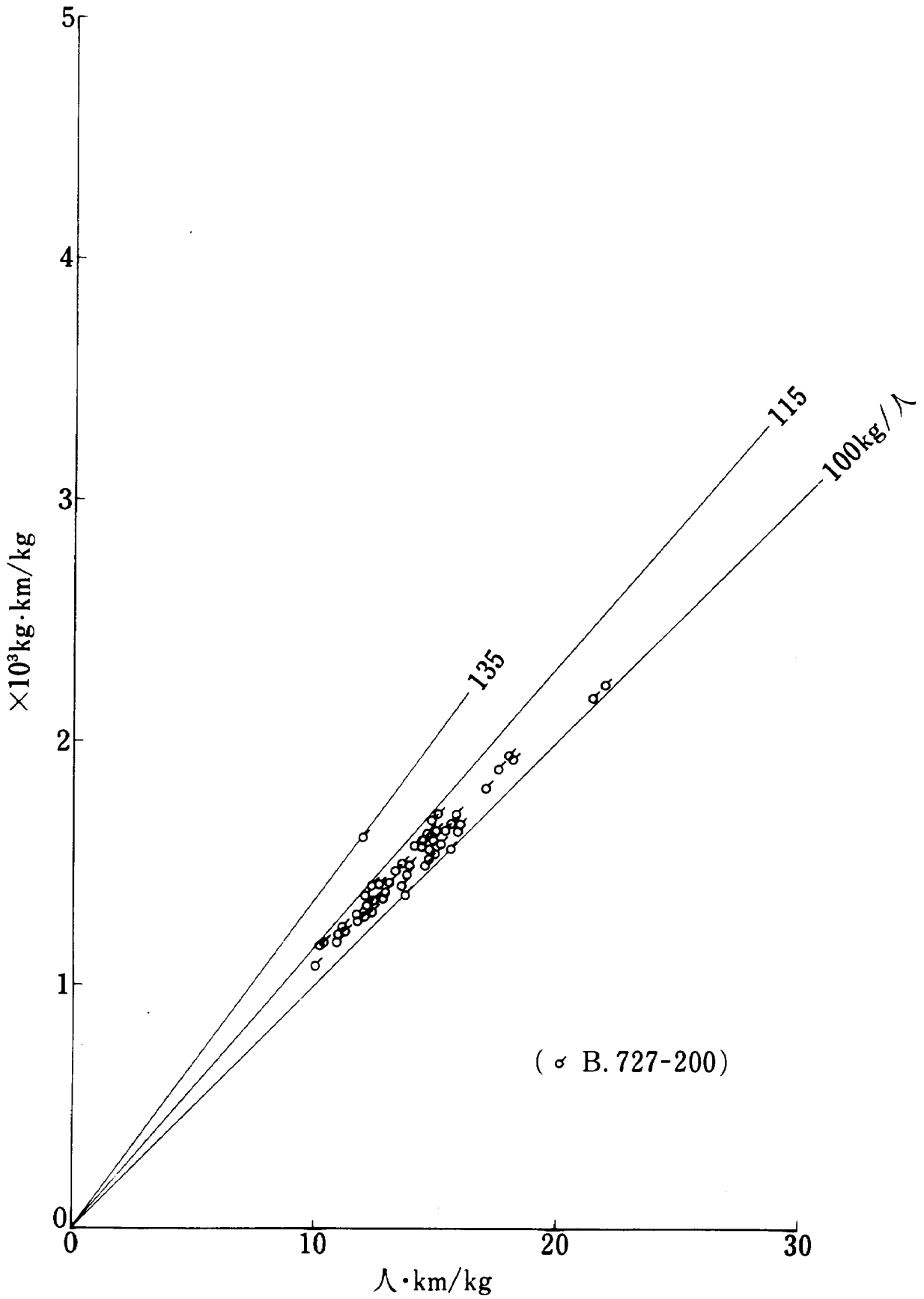


図 5 b 有償質量×航続率～有償客数×航続率

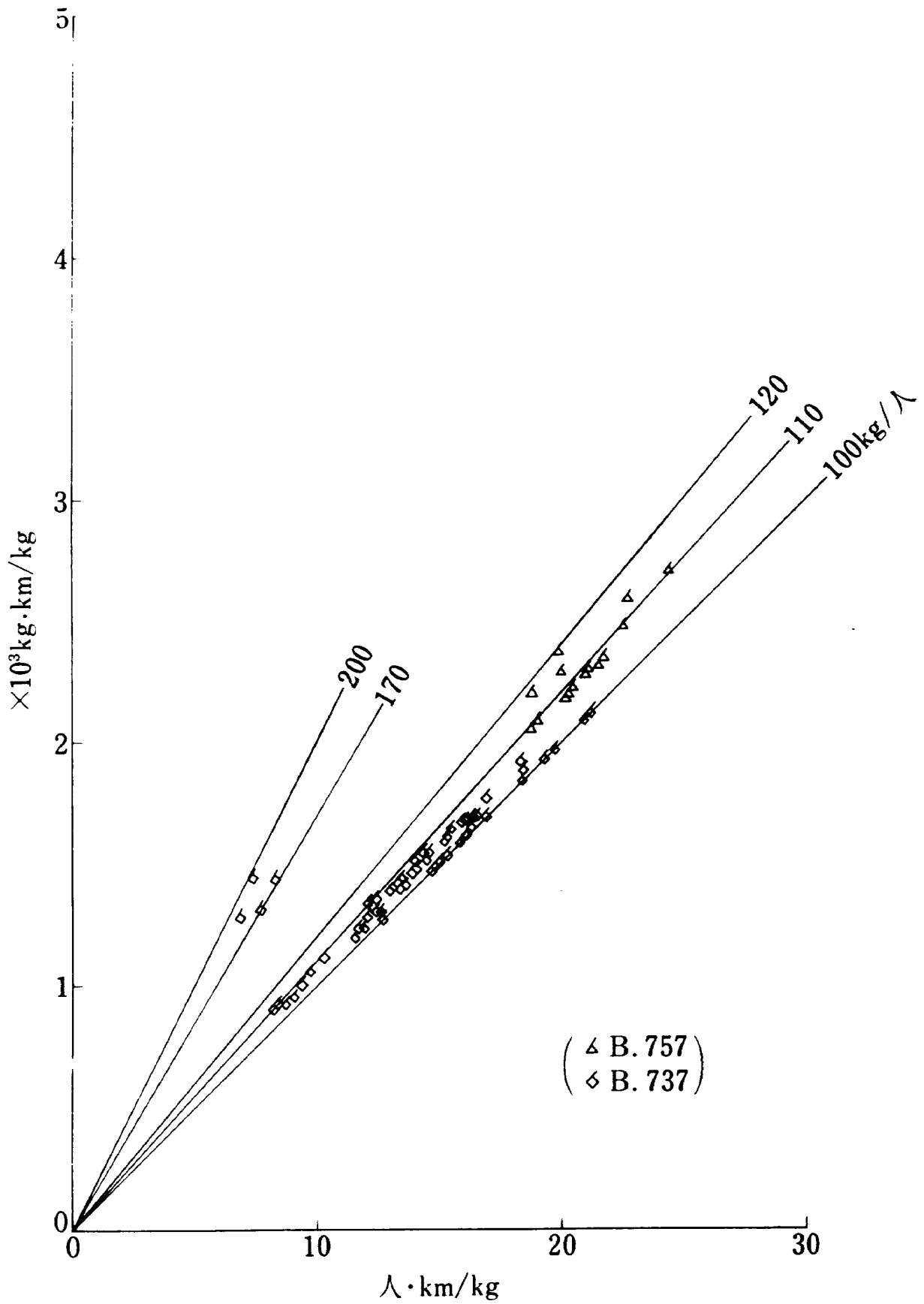


図5c 有償質量×航続率～有償客数×航続率

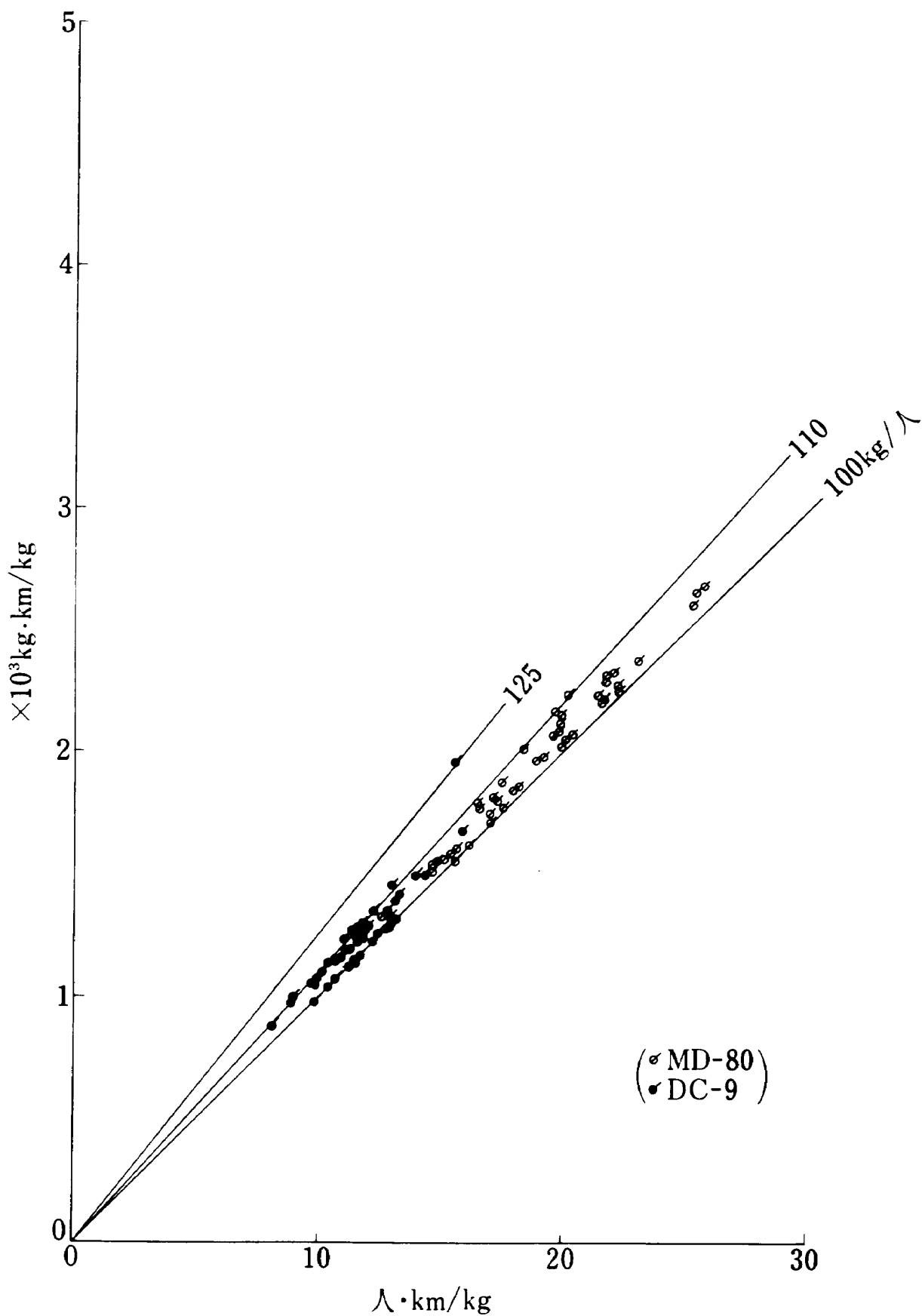


図 5 d 有償質量×航続率～有償客数×航続率

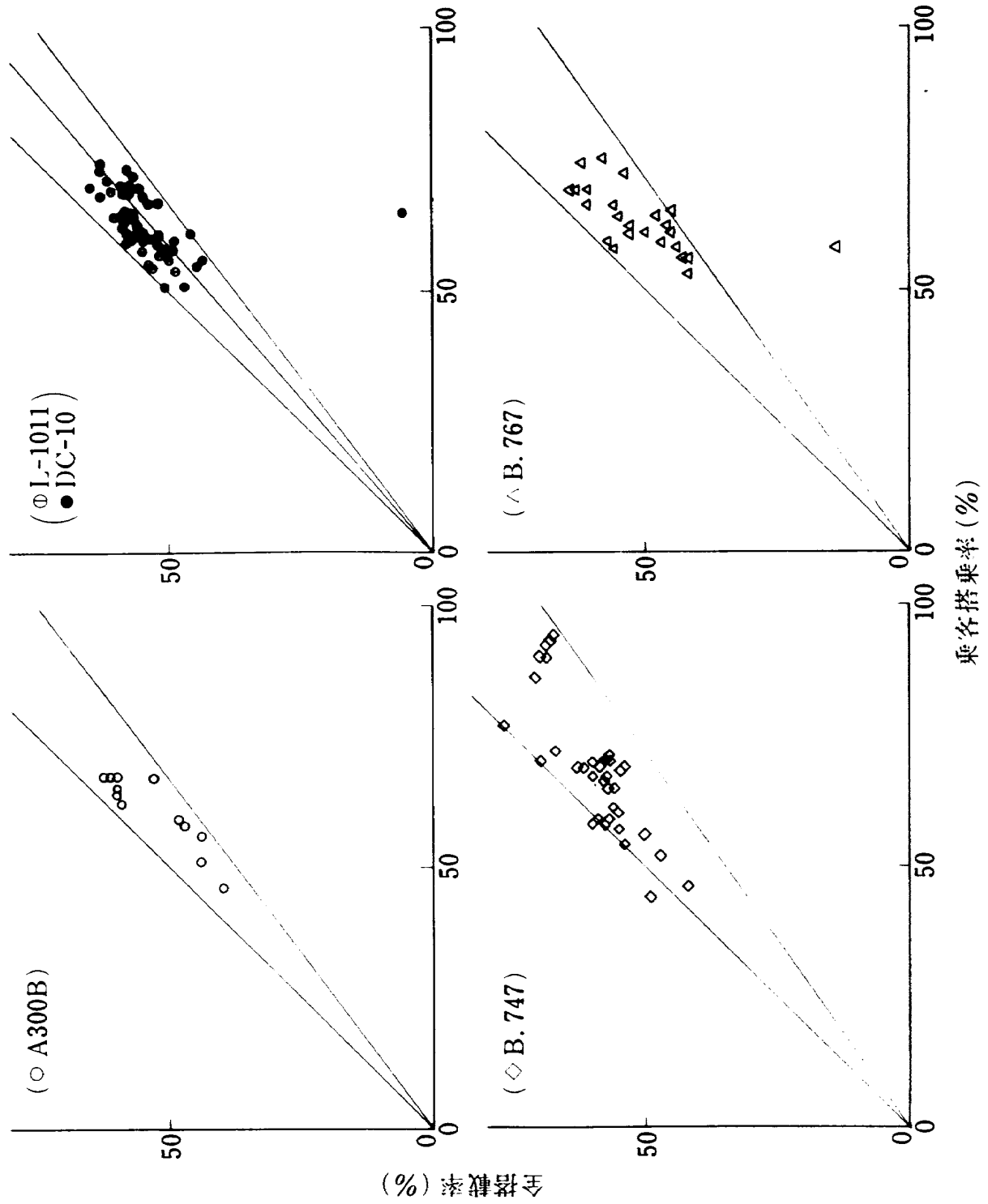


図6 全搭載率～乗客搭乗率



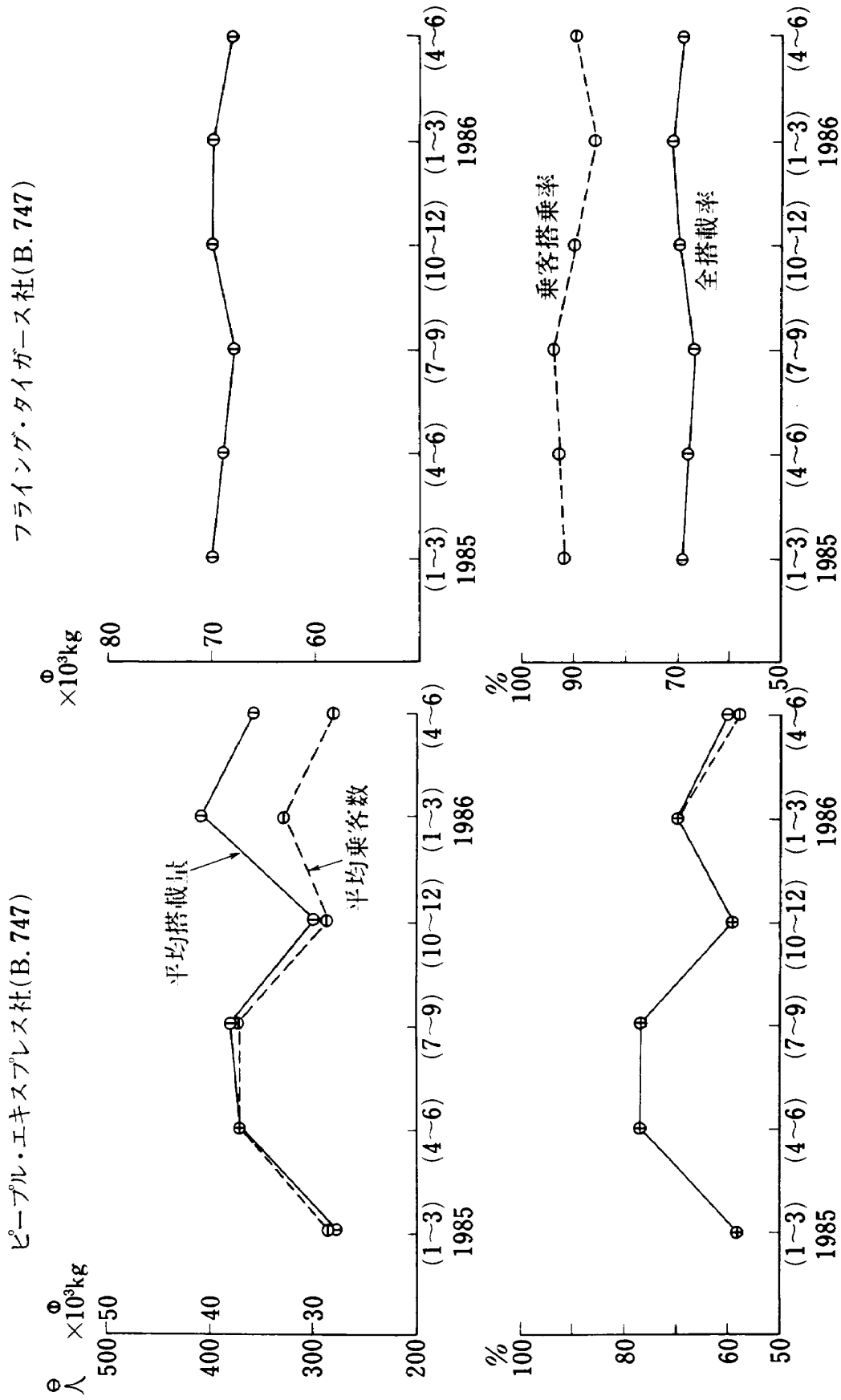


図 7 乗客数, 搭載率等の季節変動例

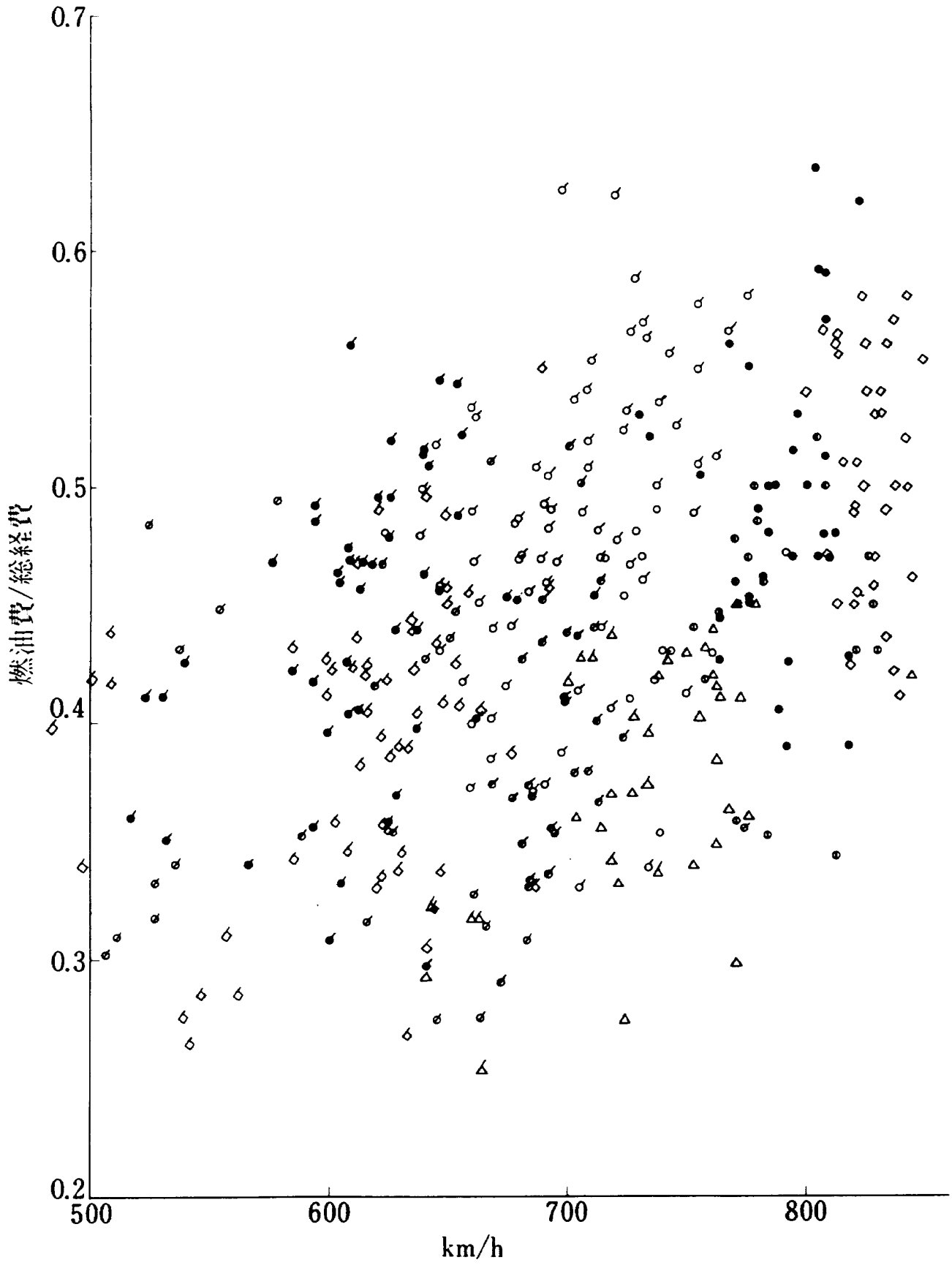


図8 総経費中の燃油費率～平均速度

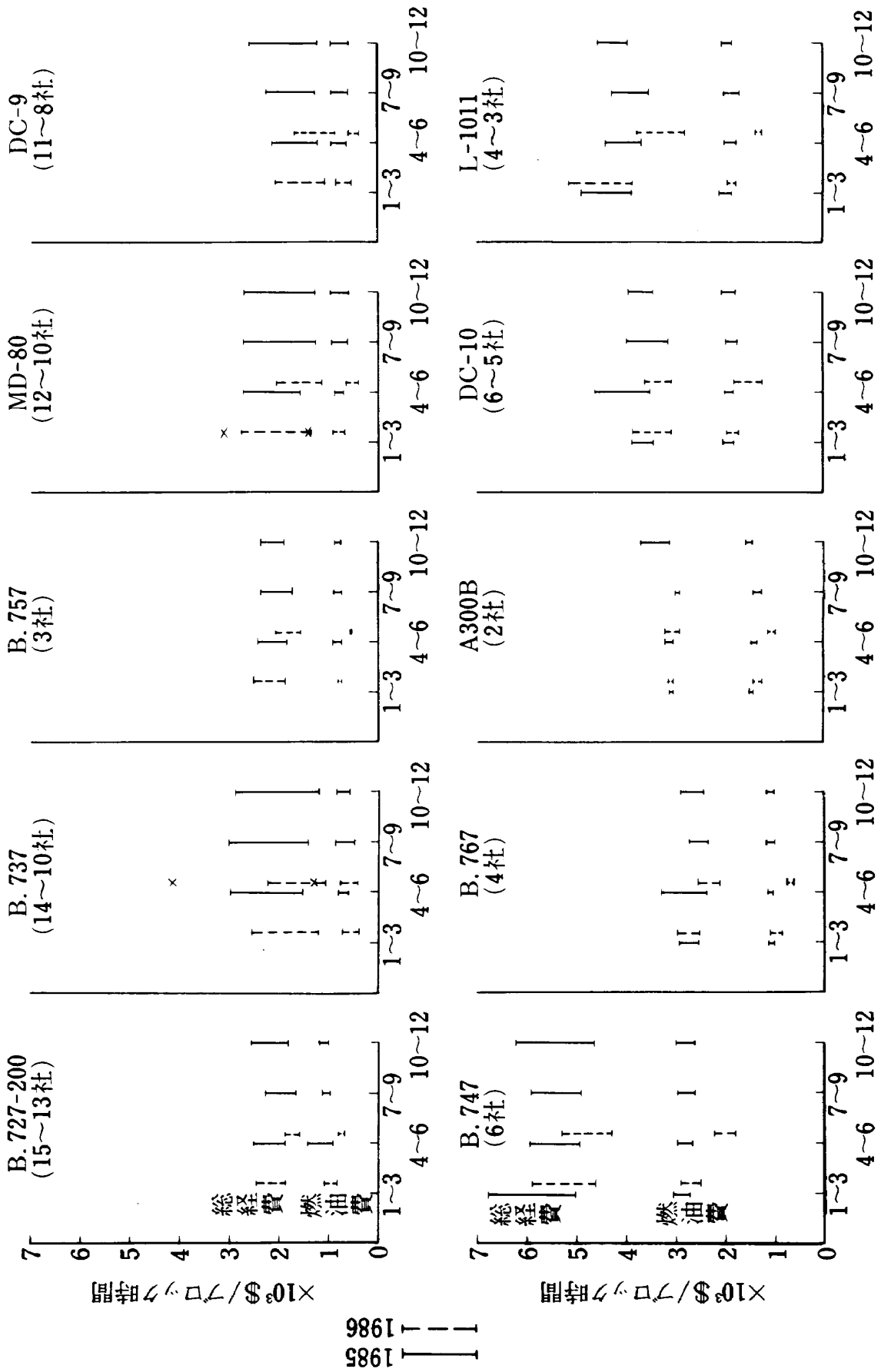


図9 総経費と燃油費

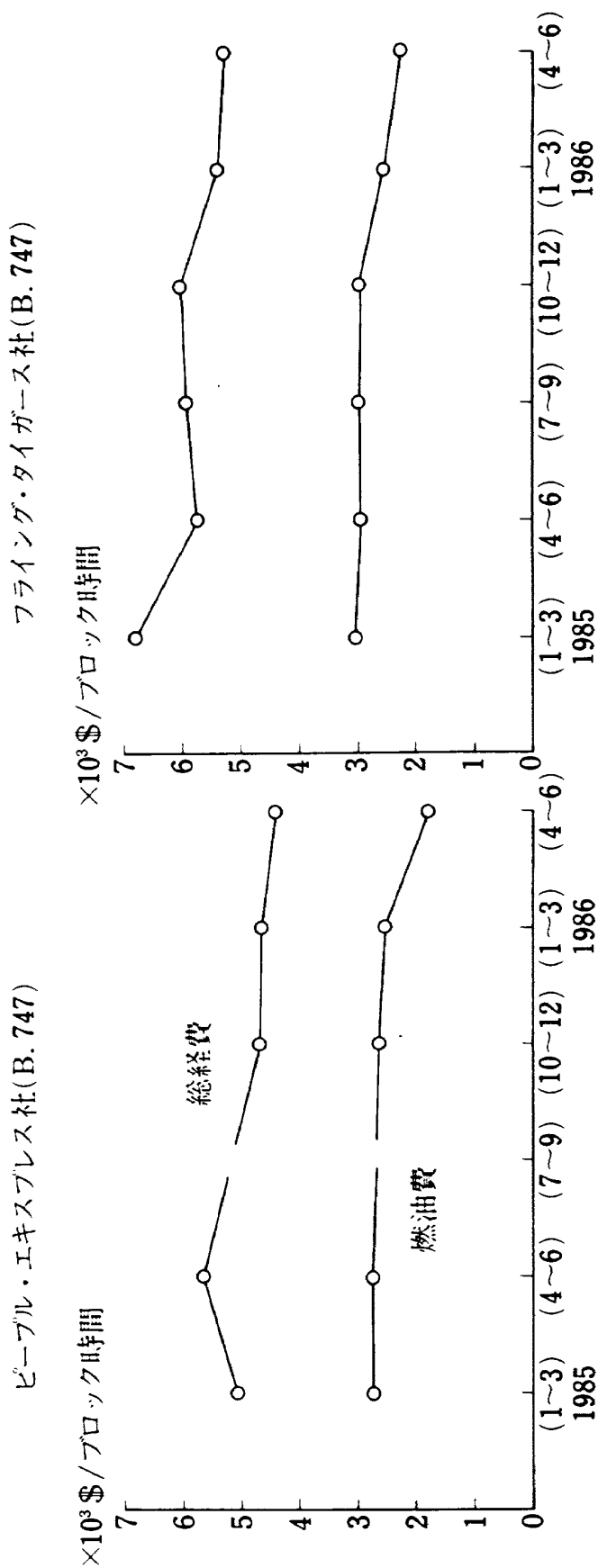


図 10 総経費と燃油費の季節変動例

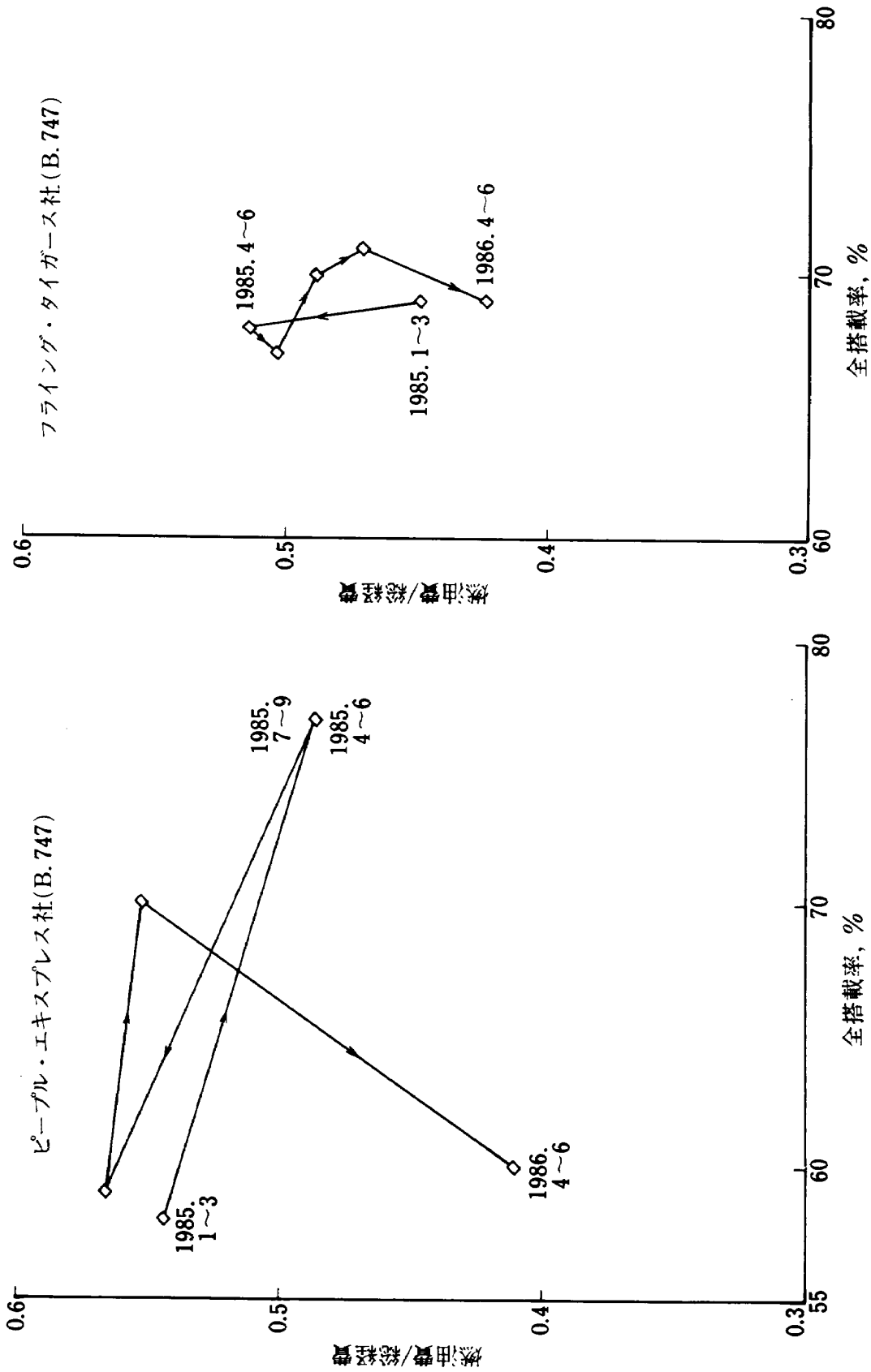


図 11 燃油費率と全搭載率の季節変動例

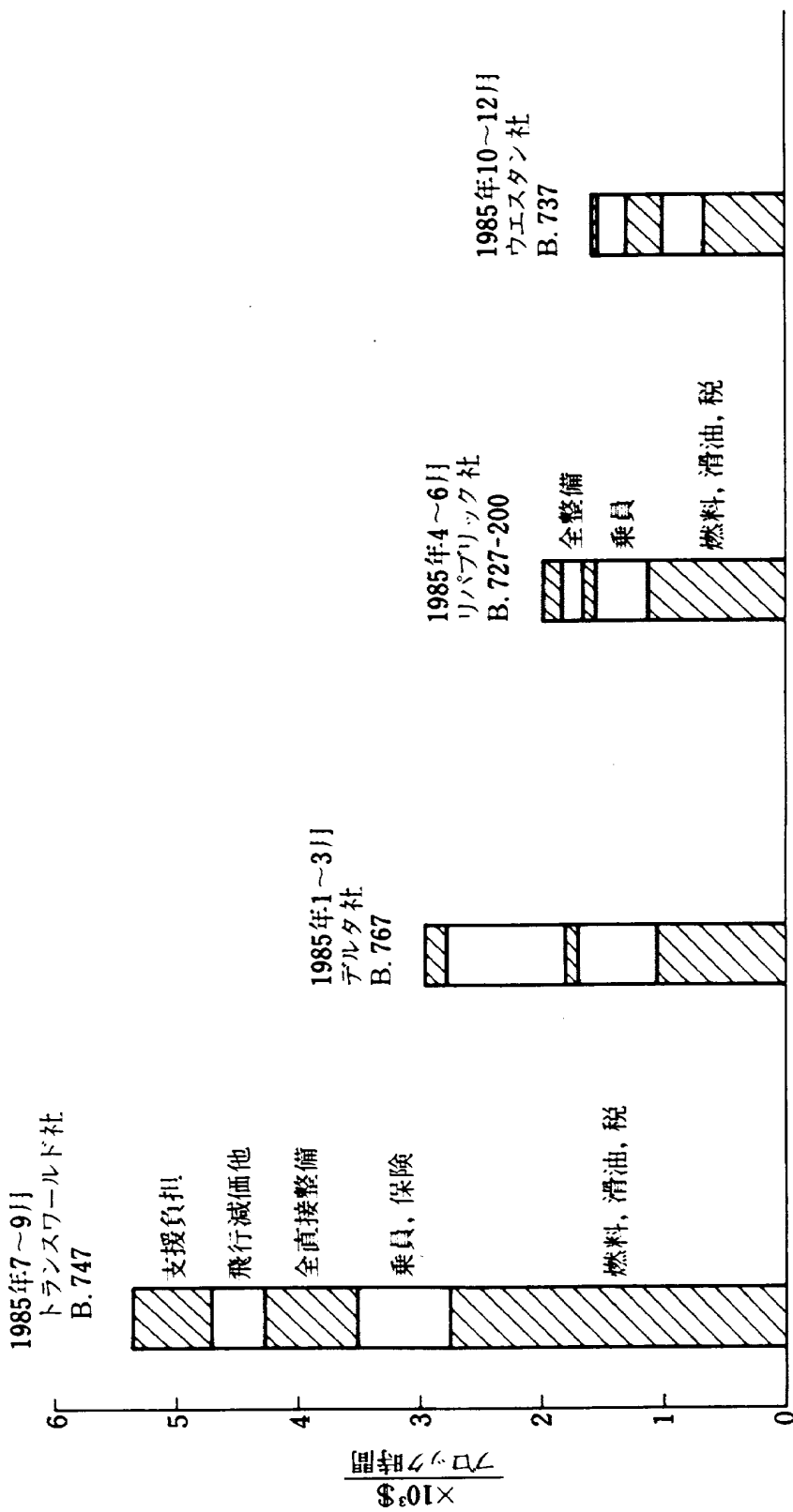


図 12 ブロック時間当たりの運航費

---

## 航空宇宙技術研究所資料 569号

昭和62年4月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182  
印刷所 株式会社三興印刷  
東京都新宿区信濃町12三河ビル

---

