533. 68:625. 2-586. 23

列車の空気抵抗の測定法*

原 朝 茂**

Measuring Method of the Aerodynamic Drag of Trains

by Tomoshige HARA

The running resistance of a train is composed of two parts, i. e. mechanical resistance and aerodynamic one. The ratio of the latter to the former increases remarkably with train speed, so it is very important for the planning of high speed trains to estimate the aerodynamic drag accurately. We have, however, only insufficient knowledges about it so far. In the test using actual trains only the total running resistance can be measured but aerodynamic drag can not be obtained separately. And also in the model test in a wind tunnel it was practically impossible, though possible in principle, to obtain quantitatively accurate data, because of the inevitable reduction of model size and of the difficulties of experiments using models with rolling wheels and moving ground. As such was the case, there was no way but to rely on unsatisfactory data.

The author finds that the aerodynamic drag is closely related with the pressure rise on the side surface of a train, when it rushes into a tunnel, and that the aerodynamic drag can be obtained from this pressure rise independent of the mechanical resistance. The mean aerodynamic drag coefficient of streamlined train obtained through this method can be expressed as followed:

$$S = 0.12 + 0.0075x$$

where x is the length of a train in meters.

1. ま え が き

列車の走行抵抗は機械的抵抗と空気抵抗から成り立っている。列車の高速化に伴い空気抵抗の占める割合は急激に増加するので、この値を正確に知ることは高速列車の設計上非常に重要である。しかし従来空気抵抗に関してはあまり正確なことがわかっておらず、少し極端な表現をすれば、根拠の確実でない推定公式を持っているに過ぎない。このようにはなはだ不満足な状態にがまんしなければならなかった理由は、空気抵抗を確実に測定する手段をわれわれは従来持っていなかったためによるものである。

今までのやり方で列車の空気抵抗を求めるには、(i) 現物の列車を使う方法と、(ii) 風洞で模型を使って測定する方法が考えられている。現物の列車による場合には力行時の入力か、あるいはまた列車を惰行させ、その時の減速度から列車の全走行抵抗を求め、これから機械的抵抗を差引く方法が取られている。両者を分離する方法としては、機械的抵抗は列車速度の 1 乗に比例し、空気抵抗は 2 乗に比例すると仮定して行

なうが、実際には相当に散らばりのある実測値を使ってこのような分離操作を行なうことになるので、かなりの任意性がはいる、とうてい正確な値は得られない。この場合、機械的抵抗に関しては低速度における実測値がたくさんあるので⁽¹⁾、これを参考にすることもできるが、これとても車両の編成、両数、軌道の状態によって広範囲に変っているので、有力な手掛りにはならない。

次に風洞による模型実験について述べれば、長さが非常に長い列車の模型を作るとなると、全体を小さく縮小しなければならない上に、車輪のまわる影響や、地面が相対的に動く影響を考慮しなければならないので、原理的には可能だとしても、実際に定量的に信頼できる値を得ることはまず望めない。このような事情にあったため、定量的に確実な資料がないまま、いちおう推定して作った公式にたよらざるを得なかった訳である。

著者は列車がトンネルに進入する時の、列車の前頭部に近い側面の静圧の上昇が、列車の空気抵抗と密接な関係があることに気が付き、この現象を利用して列車の空気抵抗を機械的抵抗と関係なく独立に求める方法を思いついたので報告する。なお厳密には、この方法

* 昭和 39 年 4 月 3 日 第 41 期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和 39 年 5 月 7 日。

** 正員、鉄道技術研究所 (東京都北多摩郡国分寺町平兵衛新田)。

によって測定できるのは列車の側面に作用する力(屋根上および床下の物体に作用する力を含む)である。この側面に作用する力は全空気抵抗の中の主要部分であるが、このほかに列車の前頭面および後尾面に作用する力があり、これを加えて初めて全空気抵抗になる。したがって前頭面および後尾面に作用する力は別に求めなければならない。しかし幸いにこの部分だけを測定するのであれば、風洞実験によって十分その目的を達することができる。

2. 記 号

- x : トンネルの中にはいる列車の部分の長さ(第1図参照) m
 s : 列車断面の周長, $2(w+h)$ に取る m
 a : 列車の断面積, wh に取る m^2
 w : 列車の幅 m
 h : 列車の高さ, レール面より屋根まで m
 S : トンネル断面の周長 m
 A : トンネルの断面積 m^2
 U : 列車の対地速度 km/h, または m/s
 u_2 : 列車とトンネルの壁の間を列車と逆方向に流れる気流の対地速度 m/s
 c : 音速 約 340 m/s
 $R = a/A$
 $M = U/c$, マッハ数
 $\phi = (u_2/U) / \{R/(1-R)\}$
 ρ : 空気密度 $kg\ m^{-3}$
 p_0 : トンネル外の大気圧(第1図参照) kg/m^2
 p_2 : 列車の前頭部に近い側面に作用する静圧(第1図参照) kg/m^2
 p_s : 列車前頭部岐点圧 kg/m^2
 $q = (\rho/2)U^2\ kg/m^2$
 f : トンネルの中にある列車の部分の, 側面に作用する空気力(屋根上および床下の物体の受ける力を含む) kg
 F : 列車のある部分のトンネル壁面に作用する摩擦力 kg
 m : 運動量変化 kg
 $c_f = \frac{f}{(\rho/2)(U+u_2)^2sx}$: 列車の側面に作用する空気力で作った抵抗係数(基準面積 sx)
 $c_F = \frac{F}{(\rho/2)u_2^2Sx}$: トンネル内面の表面摩擦係数(基準面積 Sx)
 $c_{Df} = \frac{f}{(\rho/2)(U+u_2)^2a}$: 列車の側面に作用する空気力で作った抵抗係数(基準面積 a)

c_{Dp} : 列車の前頭面および後尾面に作用する空気抵抗で作った抵抗係数(基準面積 a)

$c_D = c_{Dp} + c_{Df}$: 全抵抗係数(基準面積 a)

3. 理 論

第1図に示すように断面積 a の列車が, 断面積 A のトンネルに進出し, 列車の先頭がトンネルの入口から x だけはいった瞬間の状態について考える。この瞬間において次の二つの条件が満足されているものとする。すなわち, (i) 列車の後尾はまだトンネルには入り切っていない。(ii) 列車がトンネルにはいると, 列車の前方の空気は圧縮されて圧力波を生じ⁽²⁾, これが前進して行ってトンネル出口で反射してもどってくるが, この反射波はまだ列車の先頭部の位置までもどって来ていない。

次に第1図において 2-2 面および 0-0 面の間にある空気の部分(点線を調査面として)に運動量の定理を適用する。この部分の空気の流れについて考えると, 列車がトンネルに突入すると列車と入れかわりに列車の体積に近い体積の空気がトンネルの入口から外にあふれ出す。このあふれ出す流れの対地速度 u_2 は著者によってすでに理論的に計算されていて[文献(2)の(33), (34), (35)式参照], その値は時間的にほとんど変わらないことが明らかになっている。また列車の対地速度を U とすると, 気流の対列車速度は $U+u_2$ となる。この気流によって列車の側面は空気抵抗を受ける。この空気抵抗(屋根上および床下の物体の抵抗を含む)の, 列車側面積 sx を基準に取った抵抗係数を c_f とする。第1図の列車側面に沿って作った調査面はその反力を受けるわけで, その大きさは

$$f = c_f \frac{\rho}{2} (U+u_2)^2 sx \dots\dots\dots (1)$$

である。ただし列車の断面積の周長 s は, 列車の幅 w とレール面から車体の屋根までの高さ h の和の2倍 $s=2(w+h)$ に取ることにする。同様にトンネル壁面の表面摩擦係数を c_F とすると, トンネル壁面に沿って作った調査面に作用する力は

第1図

$$F = c_F \frac{\rho}{2} u_2^2 S x \dots\dots\dots (2)$$

ただし S はトンネル断面の周長である。次に第 1 図の 2-2 面および 0-0 面にある調査面に作用する力はそれぞれ

$$p_2(A-a) \text{ および } p_0(A-a) \dots\dots\dots (3)$$

である。したがって第 1 図の点線で示した部分に運動量の定理を適用すると、(1), (2), (3) 式より

$$(p_2 - p_0)(A-a) - f - F = m$$

となる。 m は第 1 図の 0-0 面から出る運動量と 2-2 面からはいる運動量との差であるが、7 章で述べるように、この量は比較的小さいので省略することにする

$$(p_2 - p_0)(A-a) = f + F$$

これに (1), (2) 式を代入すると

$$(p_2 - p_0)(A-a) = c_f \frac{\rho}{2} (U + u_2)^2 S x + c_F \frac{\rho}{2} u_2^2 S x$$

$$\frac{p_2 - p_0}{\frac{\rho}{2} U^2} = \frac{c_f S x}{A-a} \left\{ \left(1 + \frac{u_2}{U} \right)^2 + \frac{c_F S}{c_f S} \left(\frac{u_2}{U} \right)^2 \right\} \dots\dots (4)$$

(4) 式の右辺の第 2 項は第 1 項に比して小さいので、 c_F や S の取り方は非常に正確でなくても大きな誤差にはならないと考えられるので

$$\left. \begin{aligned} c_F &\doteq c_f \\ \frac{S}{A} &\doteq \sqrt{\frac{a}{A}} = R^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

と置くことにすると

$$\frac{c_F S}{c_f S} = R^{-1/2} \dots\dots\dots (6)$$

なおこの近似による誤差については 7 章において検討する。(6) 式を (4) 式に代入すると

第 2 図

$$\frac{p_2 - p_0}{q_0} = \frac{c_f S x}{A-a} \left\{ \left(1 + \frac{u_2}{U} \right)^2 + \left(\frac{u_2}{U} \right)^2 R^{-1/2} \right\} \dots\dots (7)$$

である。ただし

$$q_0 = \frac{\rho}{2} U^2 \dots\dots\dots (8)$$

u_2 は著者⁽²⁾によってすでに理論的に計算されているので、これを次の形で表わすことにする。

$$\frac{u_2}{U} = \frac{R}{1-R} \phi(R, U) \dots\dots\dots (9)$$

$\frac{R}{1-R}$ はマッハ数 $M = \frac{U}{c} \rightarrow 0$ の極限の場合の u_2/U の値である⁽²⁾。 ϕ はこの値からのずれを示し、第 2 図にはその理論値を示す。(7), (9) 式より

$$\frac{p_2 - p_0}{q_0} = \frac{c_f S x}{a} \frac{R}{1-R} \left\{ \left(1 + \frac{R}{1-R} \phi \right)^2 + \left(\frac{R}{1-R} \phi \right)^2 R^{-1/2} \right\} \dots\dots (10)$$

今基準面積として列車の断面積 a を取った時の、列車の側面に作用する空気力で作った抵抗係数を cd_f と書くことにすれば

$$cd_f = \frac{f}{(\rho/2)(U + u_2)^2 a} = \frac{c_f S x}{a} \dots\dots\dots (11)$$

となるから、(10) 式より

$$cd_f = \left(\frac{p_2 - p_0}{q_0} \right) \left/ \left[\frac{R}{1-R} \left\{ \left(1 + \frac{R}{1-R} \phi \right)^2 + \left(\frac{R}{1-R} \phi \right)^2 R^{-1/2} \right\} \right] \right. \dots\dots (12)$$

第 1 図におけるように、列車が x だけトンネルにはいった時の $(p_2 - p_0)/q_0$ を実測して (12) 式に入れれば、長さ x の列車の cd_f が求まる。

なお cd_f は列車の前頭面および後尾面に作用する力は含んでいない。この力で作った抵抗係数を cd_p (基準面積 a) とすると、 cd_p は cd_f に比較して小さい量ではあるが、これを加えて初めて全空気抵抗係数になる。すなわち

$$cd = cd_p + cd_f \dots\dots\dots (13)$$

cd_p は現物の列車を使って簡単に測定する方法がなく、今のところ模型実験にたよらざるを得ない。しかし cd_p のみを求めるのであれば、5 章に説明する模型実験により、特に困難を感ずることなく、信頼できる値を得ることが可能である。

4. 実物の列車による $(p_2 - p_0)/q_0$ の測定法

(12) 式を使って列車の抵抗係数を求めるには $(p_2 - p_0)/q_0$ を測定しなければならない。次に現物の列車による具体的な実測法について述べる。

(i) 列車の第 1 両めの側面の前寄り (前頭部の影

響のない範囲でできるだけ前寄り)に圧力受感部を取りつけ、トンネルに進入する時の受感部の圧力 p_2 の時間的変化を記録すると第3図の実線のようになる。受感部がトンネルにはいるまでは大気圧 p_0 に等しいが、受感部がトンネルにはいった瞬間 G からしだいに増加する。前章の理論で述べたように、この圧力上昇が、列車の側面とトンネル壁面の摩擦とつりあっている訳である。この圧力上昇は時刻 H まで続き、そこで急激に低下する。 H は列車の尾端がトンネルにはいった影響が受感部に達したか、あるいは列車の前方に生じた圧力波がトンネルの出口に達し、そこで位相を 180° 変えて反射したものが圧力受感部の位置までもどって来たか、いずれかである。時刻 H における $p_2 - p_0$ の値と、列車速度で作った動圧 $q_0 = (\rho/2)U^2$ から (12) 式を使って c_D が計算できる。この c_D は $x = Ut$ の長さの列車長に対する値である。ここに t は時刻 G から H までの時間である。

(ii) 列車の先頭にピトー管を取りつけて、そこでの岐点圧 p_s を測定すると第3図点線のようになる。列車の前頭部に角張った部分がなく、境界層にはく離がなければ点線は実線と平行に変化する。これは理論的にもいえることで、文献(2)の(30)および(36)式においてマッハ数 M を小さいとすると次式が得られることから明らかである。

$$\frac{p_s - p_0}{q_0} = \frac{p_2 - p_0}{q_0} + \frac{1 - (1-R)^2}{(1-R)^2} + \left(\frac{U - u_1}{U} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

右辺第2項は一つのトンネルに関しては定数、また第3項もほとんど変化しない。このように $p_s - p_0$ は p_2

第3図 列車がトンネルに突入する時の側面圧 p_2 と岐点圧 p_s の時間的変化

$-p_0$ と平行に変化するので、 $p_s - p_0$ をもって $p_2 - p_0$ に代用することができる

(iii) 実物列車による経験によれば、特に嚴重に密閉した車両でない限り、客車内の圧力は客車外側面の静圧に常にほとんど等しくなっている。したがって非常に長い列車の場合には、第1両めの車両の車内圧をもって近似的に p_2 の代りに使うことができる。

5. 風洞実験による c_{Dp} の測定

この報告の方法によって測定できるのは、列車の側面に作用する空気抵抗係数 c_{Dp} であって、列車の前頭面および後尾面に作用する空気抵抗係数 c_{Dp} は含まれていない。両者を加えて初めて全空気抵抗 c_D になる訳である。したがって c_{Dp} はなんらかの方法で求めなければならない。著者自身は今これを測定しようとしている訳ではないが、 c_{Dp} だけを求めるのであれば、 c_{Df} とは違って、風洞実験により比較的容易に実測できることを述べておこうと思う。たとえば列車の前頭部* (あるいは後尾部*) を他の列車の部分と力学的に絶縁して風洞てんびんにつることにより、列車の前頭部 (あるいは後尾部) だけの抵抗が測定できる。この場合には列車全長にわたる模型を作る必要がなく、前頭部 (あるいは後尾部) に近い、たとえば2両程度の模型を作れば十分であるので、非常に小さく縮小した模型を使う必要はない。最近の高速列車においては前頭部および後尾部を普通美しい流線形にするが、この場合に問題になることは、列車の側面に沿って発達した境界層の厚さによって、後尾面のはく離点の位置が多少移動することが考えられ、圧力抵抗が変ることである。この問題については、模型に針金をはちまきさせる等によって人工的に境界層の厚さを増し、実物の場合と同程度にすることにより解決できる。田中ら⁽⁴⁾はこの方法により二、三の模型により測定を行っているが、流線形の後尾部 (東海道新幹線用列車のもの) については、抵抗係数は境界層の厚さによってほとんど変わらないことがわかっている。

次に模型の車輪の回転の有無は今の場合ほとんど影響しないと考えられるから、固定した模型でさしつかえないであろう。地面の影響は鏡像模型を使うことによりいちおう解決できよう。前頭面の試験ではあまり問題は少ないが、後尾面の試験では伴流内の不規則な流れが、地面に相当する面 (鏡像模型の対称面) を横切って流れ、実際の流れと違う恐れがあるが、これを防ぐためには、この対称面の延長上に仕切板を置くこ

* 列車の先端 (あるいは後端) から表面の静圧がほぼ一般流の静圧になる断面までを取るのが便利である。

とが望ましい。なお仕切板を置いて、相対的に動く実際の地面とは多少違うが、流れのようすが違うのは仕切板（または地面）にきわめて近接した部分、すなわち仕切板（または地面）から粘性の影響が及んでいる範囲に限られているであろうから、後尾面の圧力抵抗には大きな影響はないと考えてさしつかえないであろう。

以上により風洞実験により実際に近い値が得られることがわかる。その上さらに c_{Dp} は c_{Df} に比較して小さい量であることも考慮すれば、このようにして得られた値は実用上十分満足できるものであると考える。後述の三木⁽³⁾、田中⁽⁴⁾らの実験は上記の方法に近い方法で行なわれたものである。

6. 測定結果

測定は国鉄の従来の狭軌の線において断面積比 $R = 0.160, 0.224, 0.420, 0.595$ の各種のトンネルにおいて「こだま」、「つばめ」、「せっつ」、「なにわ」、「ながら」、「六甲」、「東海」、「はつかり」、「いわて」、「しもきた」、「やまびこ」等比較的新形の電車またはディーゼル車によって行なったものと、東海道新幹線において $R = 0.209$ のトンネルにおいて行なったものがあり、結果は第 4 図に示す。横軸は m 単位で測った列車の長さ x である。これらの平均値を取ると

$$c_{Df} = 0.0075x \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。東海道新幹線の列車についての測定点数はあまり多くないので、はっきりしたことはいえないが、この平均値をやや下回っているように見える。

次に列車の前頭面および後尾面の抵抗であるが、これは前章において述べたように風洞実験によって求めた値を使うことにする。三木⁽³⁾、田中⁽⁴⁾、夏井が前章

において説明したような方法で測ったものがあるので、その結果の中から前頭部および後尾部が美しい流線形である場合（東海道新幹線の列車のもの）の値を取ることにすると

$$c_{Dp} = 0.12 \quad \dots\dots\dots(16)$$

となる。なおこの値は三木らの求めた値を、著者の定義による抵抗係数に換算したものである。

(15), (16) 式を加え合わせて全空気抵抗を求めると

$$c_D = c_{Dp} + c_{Df} = 0.12 + 0.0075x \quad \dots\dots\dots(17)$$

7. 理論の検討

上記の理論式 (12) を導くに当たって行なった仮定や省略について検討する。

(i) この理論ではトンネルで測定した c_{Df} が、トンネル外を走る場合の c_{Df} に等しいと考えている。この当否を考えてみるために第 4 図を見ると、実測値は断面積が非常に狭い $R = 0.595$ の場合から、非常に広い $R = 0.160$ の場合までいっしょに記入してあるが、これらの間には著しい差異はほとんど認められない。すなわちこのことは c_{Df} は R にほとんど関係しないことを示すもので、これを $R \rightarrow 0$ すなわちトンネル外の場合にまで外そうしてもあまり問題はないと思われる。

(ii) (4) 式の第 2 項は第 1 項に比して小さい項であるとして、(6) 式のような仮定をした。すなわち

$$\frac{c_{Rf}}{c_{fs}} = R^{-1/2} \quad \dots\dots\dots(18)$$

この仮定が正確でないために起るかもしれない誤差について調べてみる。(10) 式の第 2 項の全体に対する割合

$$K = \frac{\left(\frac{R}{1-R}\phi\right)^2 R^{-1/2}}{\left(1 + \frac{R}{1-R}\phi\right)^2 + \left(\frac{R}{1-R}\phi\right)^2 R^{-1/2}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

を計算してみると第 1 表のようになる。 $R = 0.2$ の複

第 1 表

R	K
0.2	0.064
0.4	0.222
0.6	0.360

線トンネルの場合では (18) 式の誤差が大きくて、かりに 100% あったとしても (12) 式に現われる誤差は 6.4% にしかない。したがって複

線トンネルで測った値については、この意味において誤差の心配はほとんどない。単線トンネルの場合には $R = 0.4 \sim 0.6$ の範囲であるが、この場合も K は非常に大きいというほどではないが、実際第 4 図において単線トンネルで測った値と複線トンネルで測った値を比較してみると、両者の間には著しい差はない。このこ

第 4 図 列車の側面に作用する力で作った抵抗係数

とは逆に(12)式は R の大きい単線トンネルの場合に使用しても大してまちがいのないことを示しているといえる。(12)式の第2項を第1項の修正項と見た場合、かなりよい近似の修正項であるといえよう。

(iii) 運動量の定理を適用するに当たって、運動量の増加 m は小さいとして省略したが、その理由について述べる。第1図の2-2面からはいった空気が0-0面に達するまでに、粘性および粘性の作用によって速度分布が変り、運動量は増加する。今比較の基準にするために第5図(a)に示すような円管の中の乱流を考える。管の入口では一様な流速 U' 、また断面積は A' であるとする。助走区間が終わるまでに増加する運動量は

$$m' = 0.09 \frac{\rho}{2} U'^2 A' \dots\dots\dots (20)$$

である。トンネルの場合は第5図(b)に示すように管内の流れとはやや趣がちがう。この図は列車に固定した座標系から観察した図であって、列車の側面では流速は0であるが、トンネルの壁面では0ではなく、列車速度 U に等しい速度で動いている。したがってトンネル壁面で0であると仮定した場合に比し速度分布の変化する範囲は狭く、したがって運動量の変化も少ないはずである。われわれは今トンネルの場合の運動量の増加を評価してみたいと思うが、安全側にとることにして、トンネル壁面で流速が0であると仮定した場合の値を概算してみる。この場合にはトンネルの表面でも列車の表面でも、すべて表面では流速は0であるから、その意味では上記の円管の場合に近い訳である。今われわれは運動量増加のおおよその程度を知りたいので、近似的には(20)式を使って計算してもさしつかえないと考えられる。(20)式をトンネルの場合の記号で書直すと

$$m = 0.09 \frac{\rho}{2} (U + u_2)^2 (A - a) \dots\dots\dots (21)$$

すなわちトンネルの場合の運動量の増加はたかだか(21)式の程度であることがわかった。

次にまず複線トンネルに比較して条件の悪い単線トンネルの場合を吟味してみる。この場合には $u_2 \approx U$ であるから(21)式は

$$m = 0.36 \frac{\rho}{2} U^2 (A - a) \dots\dots\dots (22)$$

実測によれば単線トンネルでは

$$p_2 - p_0 = 5 \sim 10 \frac{\rho}{2} U^2 (A - a) \dots\dots\dots (23)$$

(a)

(b)

(a) 円管
(b) トンネル (列車に固定した座標系より見た場合)
第5図 流速分布の変化

であるから、 m は $p_2 - p_0$ に比較して小さいとして省略してもさしつかえないと考えられる。次に複線トンネルの場合であるが、この場合には単線トンネルの場合にくらべて条件は楽になる。すなわちトンネル壁との相対速度 u_2 は小さく、そのために運動量増加も小さくなるはずであり、また列車断面積 a のトンネル断面積 A に対する比 R も小さいので、列車の表面からの影響も小さくなるはずである。このような訳で単線トンネル、複線トンネルを問わず m を省略することができる。

8. あとがき

従来列車の空気抵抗を測定する手段がなく、したがって信頼し得る空気抵抗の資料がなかった。著者は列車がトンネルに突入する時の、列車の前頭部付近の側面の圧力増加からこれを求める方法を見出し、この方法を使って最近製造された比較的外面のなめらかな列車に対する平均の抵抗係数と列車長との関係を求めた。

なお cd_f の計算に使った $(p_2 - p_0)/p_0$ の値は鉄道技術研究所物理研究室 山本彬也技師、大櫛 淳氏、西村弁三氏らによって測定されたものであります。ここに厚く謝意を表します。

文 献

- (1) 鉄道車両の走行抵抗調査分科会, 機械学会誌, 67-543 (昭39-4), 620.
- (2) 原, 機械学会論文集, 26-171 (昭35-11), 1581.
- (3) 三木, 東海道新幹線に関する報告, 第3冊, (昭37-4), 12, 鉄道技術研究所.
- (4) 田中・夏井, 東海道新幹線に関する報告, 第4冊, (昭38-4), 142, 鉄道技術研究所.