

〔研究ノート〕

ジェット旅客機の濡れ面積

小糸 裕大*, 中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Wetted Area Estimation of Passengers Transport Jet Airplanes

Yudai KOITO*, Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering, Nippon Bunri University

1. はじめに

航空工学、特に航空機設計では外気に接する機体の表面積を濡れ面積 (Wetted Area) と呼ぶ⁽¹⁾。航空機の空気抵抗は揚力に起因する誘導抗力とそれ以外の非誘導抗力に分けられるところ、非誘導抗力は基本的に濡れ面積に比例するため、航空機設計では濡れ面積が重要なパラメータとなる。

Boeing 787-8 (以下 B787-8 と略し、他のボーイング機種についても同様) 等のボーイング機種の濡れ面積推算結果を表 1 に示す。表 1 に示す濡れ面積 (計) を元に航続性能について検討し、ボーイング社が公開している

ペイロード/レンジ図と比較検証したところ、航続性能の実機値との差は5%以下であった⁽²⁾。本稿では、濡れ面積の内訳とその推算方法を報告する。

2. 濡れ面積推算

ボーイング社が公開している Airport Planning Manual⁽³⁾に掲載されている三面図から機体寸法を測り取って濡れ面積を推算した。各機種の三面図を図3~7に示す。表1に記載されている機種で、図3~7に三面図がない機種については、三面図を測り取った同系列機に対して胴体長または翼面積の違いを反映して濡れ面積の推算値とした。

表1 濡れ面積の推算結果 (単位, 最右列を除き [ft²])

	主翼	胴体	垂直尾翼	水平尾翼	エンジン	濡れ面積(計)	濡れ面積(計)[m ²]
B787-8	6490	9253	982	1394	1210	19329	1796
B787-9	↑	10459	↑	↑	↑	20535	1908
B787-10	↑	11545	↑	↑	↑	21621	2009
B777-200	7505	11161	1193	1819	1416	23094	2146
B777-300	↑	13285	↑	↑	↑	25218	2343
B777-200LR	7699	11161	↑	↑	↑	23288	2164
B777-300ER	↑	13285	↑	↑	↑	25412	2361
B767-400ER	5180	9160	969	1319	650	17278	1605
B747-8	10162	15276	1685	2477	2384	31985	2972
B777-9	9482	13736	1368	1889	1869	28344	2633

主翼濡れ面積は、主翼を複数の台形に分割し、台形面積の合算により推算する。その際、検証として数値が公開されている主翼面積との比較検証を行う。主翼面積は胴体を貫通する部分の面積を含む⁽¹⁾のに対し、胴体を貫通する部分は外気には触れないので濡れ面積の対象外となる。主翼根元部の台形を図1のように4分割すると、それぞれの面積は次式で表される。

$$\begin{cases} S_1 = c_1 b_0 \\ S_2 = c_1 (b_1 - b_0) \\ S_3 + S_4 = \frac{1}{2} (c_0 - c_1) b_1 \\ S_4 = \frac{1}{2} \left\{ (c_0 - c_1) \frac{b_1 - b_0}{b_1} \right\} (b_1 - b_0) \end{cases}$$

濡れ面積の対象外となる面積は、次式で表される。 b_0 は、胴体幅の半分とした。

$$S_1 + S_3 = c_1 b_0 + \frac{1}{2} (c_0 - c_1) \left[b_1 - \frac{(b_1 - b_0)^2}{b_1} \right]$$

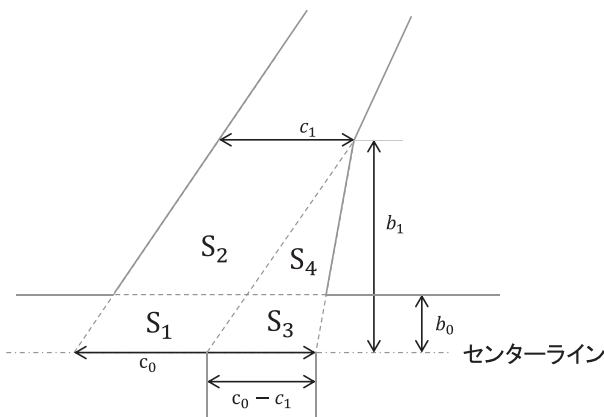


図1 主翼の胴体貫通部

同じ主翼を持つシリーズ毎に、主翼面積の Wikipedia 等の公開情報値と本推算結果の比較を表2に示す。三面図からの測り取りでも、良い精度で主翼面積が推算できることが確かめられた。

表2 主翼面積検証結果 [ft²]

	本稿	公開情報 ⁽⁴⁾	比率
B787-8/9/10	4039	4058	0.995
B777-200/300	4693	4605	1.02
B767-400ER	3169	3130	1.01
B747-8	6158	5960	1.03

水平尾翼および垂直尾翼も主翼と同様に台形または三角形に分割して、その推算値を合算した。ただし、胴体貫通部の面積は検討していない。

胴体は、ノーズ部、テール部、一定断面となっている中胴部の3つに分けて推算する。一部が2階席となっているB747-8では、中胴部を2つに分割する。中胴部は、中胴部長さを l_{mf} 、高さ方向の半径を r_h 、幅方向の半径を r_w としたとき、次式とする。

$$S_{mf} = \pi (r_w + r_h) l_{mf}$$

ノーズ部は、楕円体を2分割した半楕円体として推算する。ノーズ部長さを l_n としたとき、次式とする。

$$S_n = 2\pi \left(\frac{l_n^p r_w^p + l_n^p r_h^p + r_h^p r_w^p}{3} \right)^{\frac{1}{p}}, p = 1.6075$$

テール部は円錐として推算する。テール部が接続している胴体部の断面半径 r_f を、テール部の長さを l_t とすると、円錐を切り開いた時の扇型の半径は $r_t = \sqrt{l_t^2 + r_f^2}$ 、中心角は (r_f / r_t) で表されるので、扇型の面積、すなわちテール部の表面積は、次式となる。

$$S_{tail} = \pi r_t^2 \left(\frac{r_f}{r_t} \right) = \pi r_f \sqrt{l_t^2 + r_f^2}$$

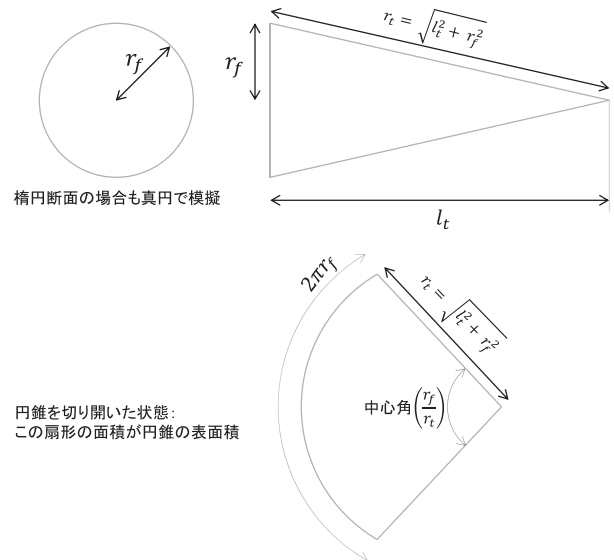


図2 テール部

エンジンはカウリングを円柱で模擬し円柱側面積とした。

同じ主翼および尾翼となっているB787-8/9/10は、B787-8の読み取り値に対して、B787-9/10での胴体ストレッチ長さから、ストレッチ分の円柱側面積を追加した。B787-8の胴体長183ft5inとの差分をとり次のように濡れ面積増加量を推算した。

$$B787-9 (203\text{ft}5\text{in}-183\text{ft}5\text{in}=20\text{ft}) +1206\text{ft}^2$$

$$B787-10(221\text{ft}5\text{in}-183\text{ft}5\text{in}=38\text{ft}) +2292\text{ft}^2$$

胴体断面の長径と短径（19ft6in, 18ft11in）から平均直径19.2ftを用いた。

B777-300は、胴体以外はB777-200と同じなので同様に胴体ストレッチ（239ft9in-206ft6in=33.25ft）による円柱側面積（胴体断面は直径20ft4in=20.33ftの真円）として+2124ft²。

B777-200LR/300ERは、B777-200/300と翼以外は同じであるので、翼面積の差を公開情報⁽⁴⁾から（4702-4605=97ft²）の倍（表裏）の+194ft²加算した。本稿には収録していないが、B777-200LRの主翼の濡れ面積を同様の方法で測り取ったところ+192ft²と近い値が得られている。

3. まとめ

濡れ面積の推算と聞けば、CATIA等を使って3次元データを起こしソフトウェアで表面積を計算する手法が

想起されるだろう。この観点からは、本論文が使った台形や三角形、円柱、円錐、楕円体等に当てはめる推算は粗く精度が悪いとの印象を受けるかもしれない。ただし、このような推算方法で求められた濡れ面積（計）を使って航続性能を推算し実機値と比較した結果の誤差は、最大5%であり⁽²⁾、十分実用的である。

参考文献

- (1) Daniel Raymer, Aircraft Design - Conceptual Approach 2nd edition, AIAA, 1992, pp.19-22, p. 48
- (2) 中山周一, 小糸裕大, 中野慎介, ジェット旅客機基本空力設計の要諦, 日本航空宇宙学会論文集, 71巻6号 (2023), pp.241-248
- (3) Boeing, Airport Planning Manual, 787. pdf等 https://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.page
- (4) Wikipedia 他

(2023年11月6日受理)

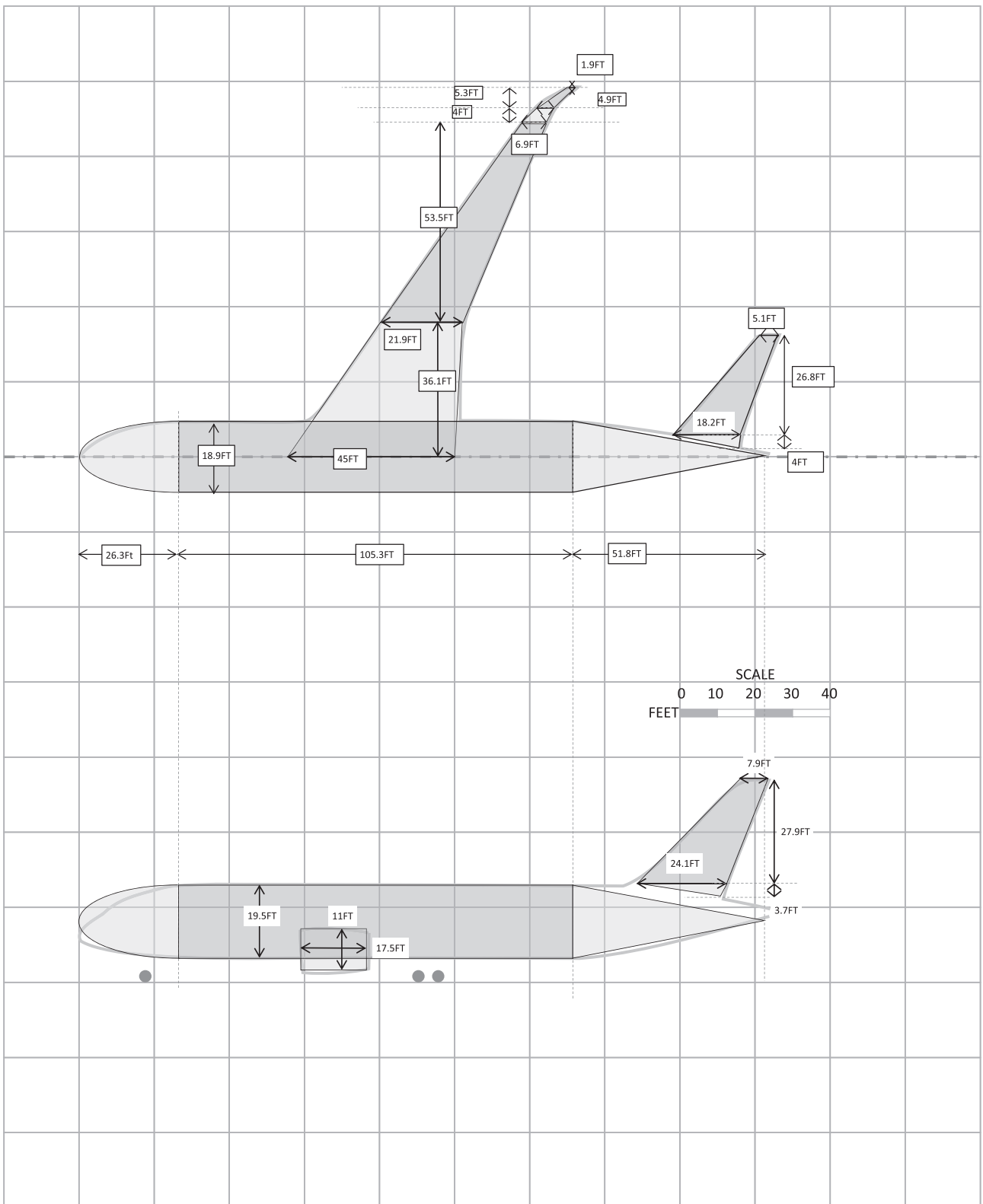


图 3 Boeing 787-8

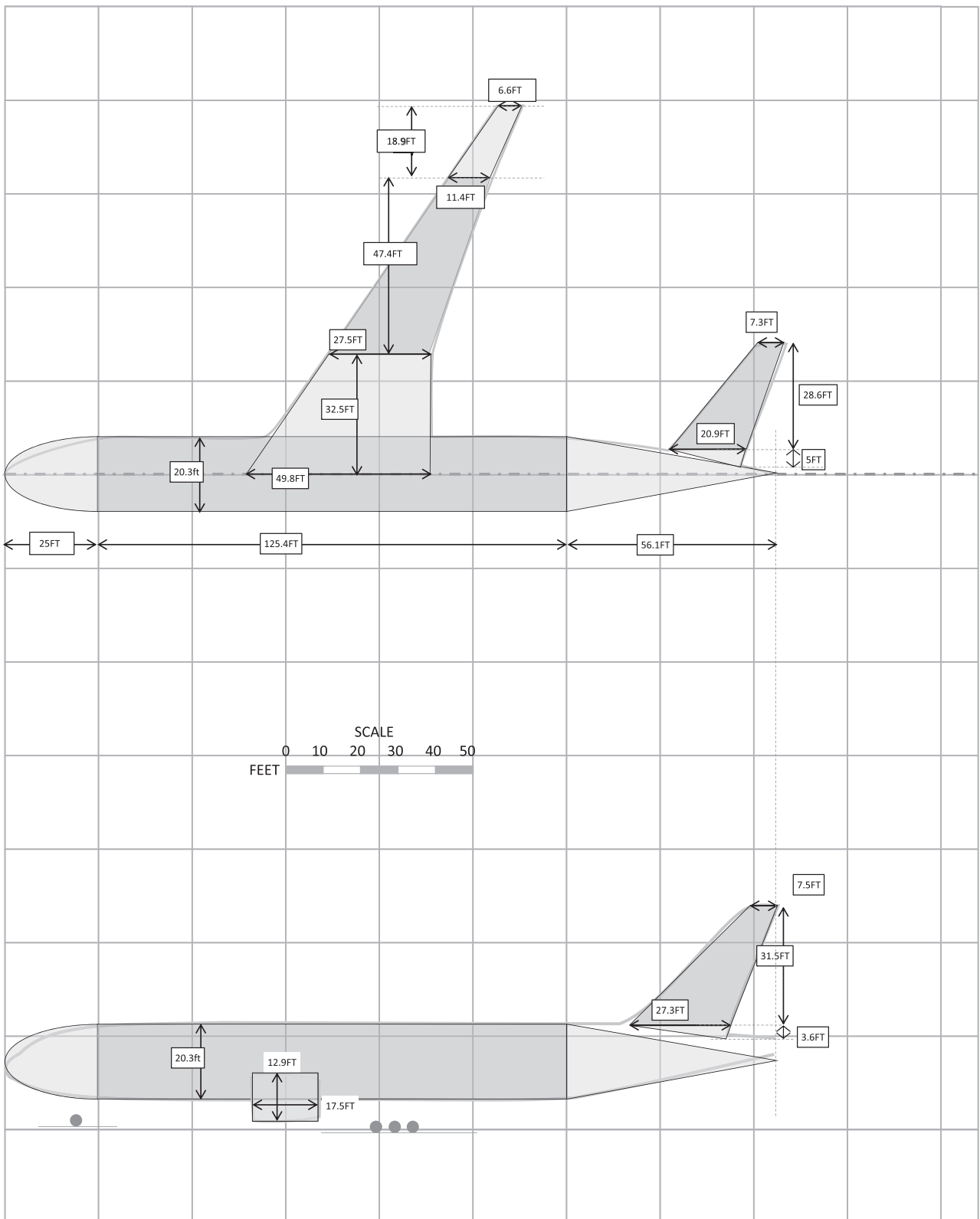


図 4 Boeing 777-200

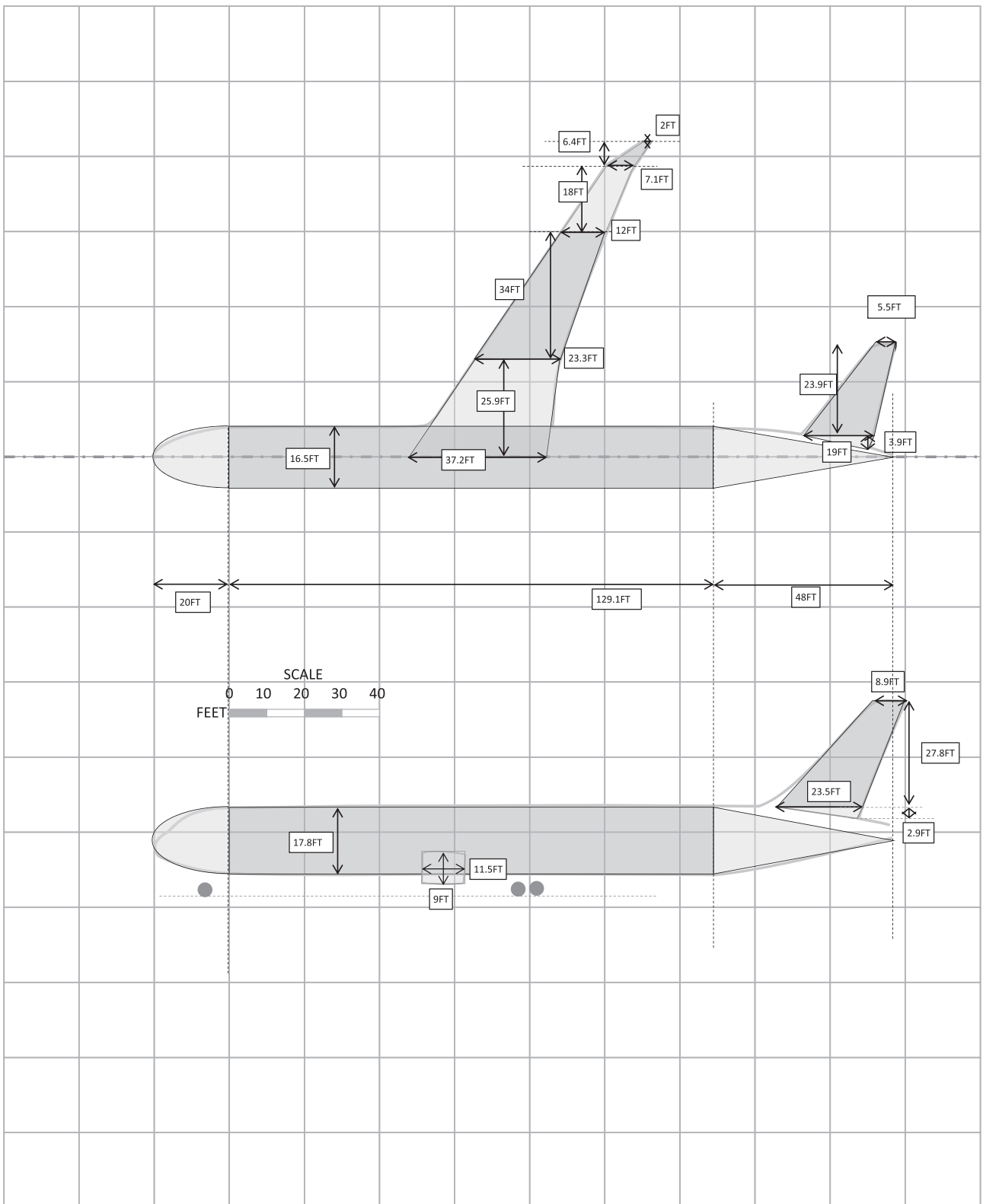


图 5 Boeing 767-400ER

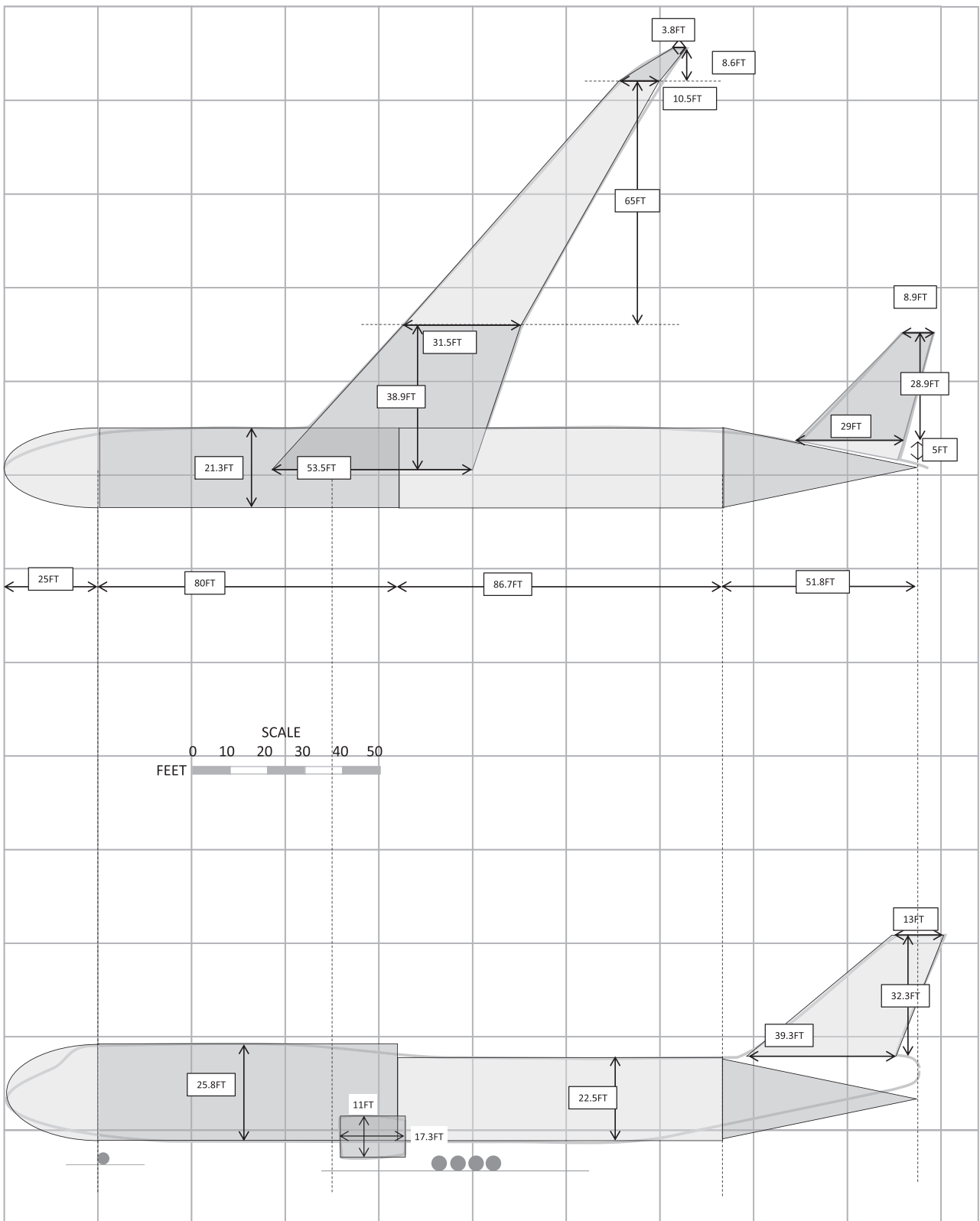


図6 Boeing 747-8

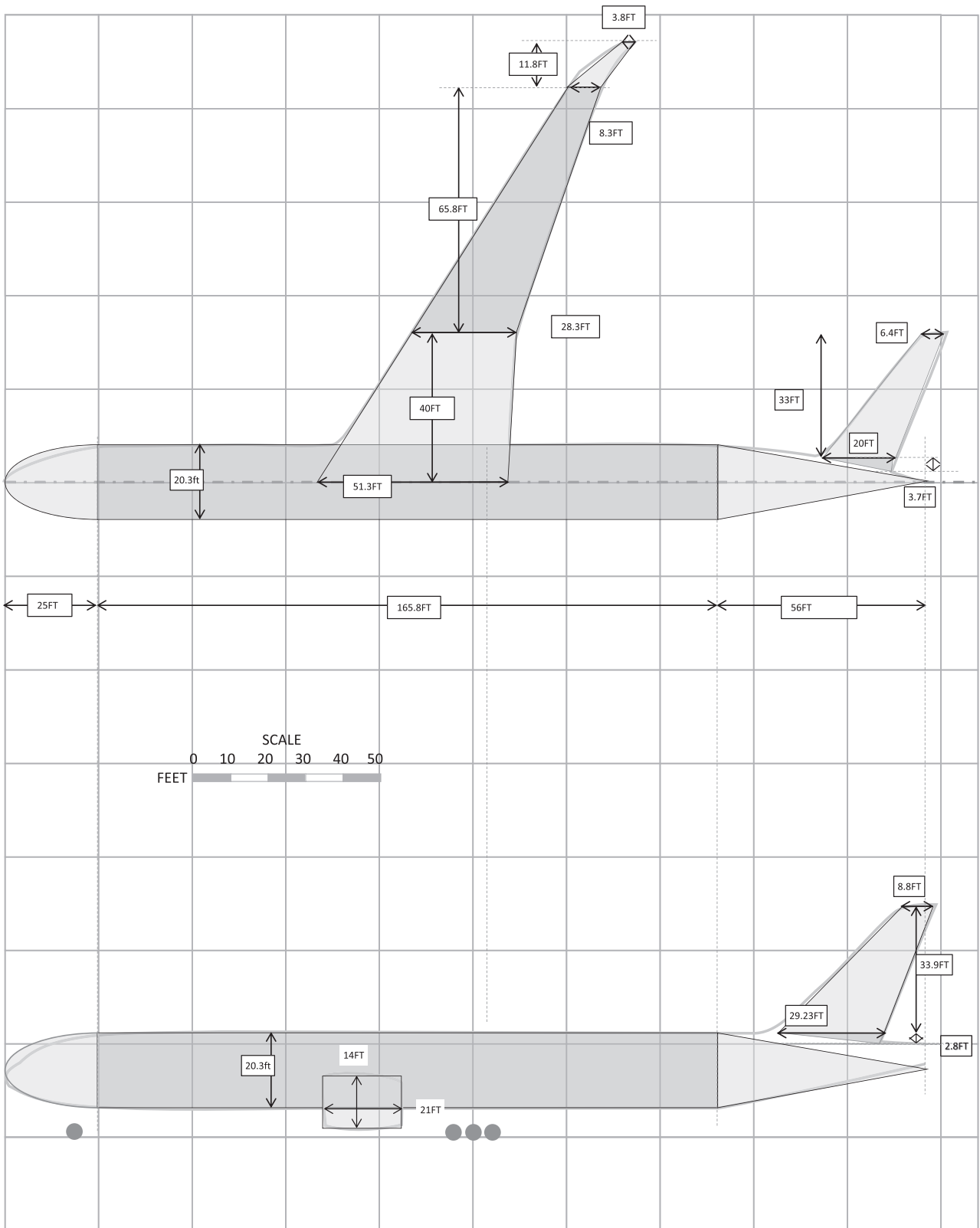


图 7 Boeing 777-9