

ジェットエンジンの場合（後編）

武蔵野大学国際総合研究所客員教授 中島一郎

（前編よりつづき）

空と海はヤード・ポンド法の世界

RJ500 がめざすのは 100－130 席クラスの航空機向けの推力 2 万ポンドのエンジン。この推力を表すのに用いられる単位には、ポンド、トン、ニュートンと各種ある。その間の換算はかなりめんどうである。

アメリカやイギリスではポンドが主流、フランスではニュートン、日本ではトンを使ってきた。推力を表すわけだから力の単位なので、国際標準のはずのメートル法、それが発展した SI 単位系を使えば話は簡単に済むはずだが現実はそうっていない。

ポンドやトン本来が質量の単位で、1 ポンドの力という場合は質量 1 ポンドの物体の重さを支える力を示す。ところが質量が同じでもその重さは場所によって異なる。同じメロンであっても北海道でよりも沖縄での方が軽くなる。重力加速度が場所によって異なるため、赤道に近い低緯度地域は高緯度地域よりも重力加速度は小さくなる。

地域差による混乱を避けるため、国際標準の重力加速度は 9.80665m/s^2 と決められている。これは北緯 45 度の重力加速度の平均値だそうだ。

推力 2 万ポンドをトンに換算すると $20,000 \times 0.453592 / 1,000 = 9.07184$ トン。日本では RJ500 の推力は約 9 トンとしてきた。正確に 9 トンではなく約 9 トン。さらにキロニュートン（ニュートンの千倍）に換算すると $9.07184 \times 9.80665 = 88.964359736$ 。約 89 キロニュートン。

めんどうな換算はエンジンだけではない。航空機そのものもインチやフィート、ポンド単位で切りのいい数字になっている。原子力の仕事をしていたころ、蒸気の圧力や配管の厚みがやはりそうだった。原子力も航空機もアメリカやイギリスの単位が支配している。電気の単位はボルトもアンペアもメートル法なのに、発電機を回す蒸気タービンはヤード・ポンド法。めんどうなことこの上ない。力の単位には重力加速度も絡むからめんどうの 2 乗だ。航空機の主翼の性能や原子力の圧力容器の耐圧を示すのに使う圧力の単位は psi（ポンド・フォース・パー・スクエア・インチ）。世界標準のはずの SI 単位系（メートル法の発展形）ではパスカル（1 パスカルは 1 平方メートル当たり 1 ニュートンの圧力）。電卓片手に換算するにもちょいと気合が必要だ。ブラウザのアドレスバーに計算式をコピペすると自動計算してくれて間違いがなく楽なので推奨します。

空の世界にはさらにめんどうな単位がある。国際線に乗ると長距離フライトに飽きてしまい、座

席前のディスプレイのフライトマップを眺めてひたすら耐える経験を持つ人は多いだろう。そこに対地速度が表示される。単位は時速キロメートルだったり時速マイル (mph) だったり。ところがこれは乗客向けの数字で、実は航空機の運航では mph は使われない。船舶と同じ knot (ノット) が使われる。1 ノットは時速 1 ノーティカル・マイル。

1 ノーティカル・マイルは赤道 1 周 4 万キロメートルの緯度 1 分相当で $40,000 \div 360 \div 60 = 1.8518\cdots$ 。循環小数を整理して 1.852 キロメートルと決められている。だからこれはヤード・ポンド法の国々のわがままというわけではない。世界中でそうなのだ。イギリスだけは固有の単位として 1.853 キロメートルを 1 ノーティカル・マイル (UK) としていたが、70 年に国際標準に移行した。

1.852 を覚える方法として電卓のキーの中の列が上から 852 となっているのを利用するというのを聞いたことがあった。AI (グーグル) に聞いてみたら違って、カレンダーで 1 日の列を上から下へ 1 の位を見るのだそうだ。小型船舶免許の教習で教えているとか。

単位系はいちいち換算するのがめんどうだ。国際共同事業ではトラブルを起こさないようにここはしっかりと決めて契約に入れておく必要がある。国際事業あるあるだ。イギリスと日本の基本契約でも単位に何を採用するかで疲れる議論を延々とした記憶があるが、どう決着したか覚えていない。

マイレージ・サービスのマイルはどちらなのか、また AI に聞いてみた。ふつうのマイルで計算するとの説明。JAL や ANA のホームページでも通常のマイルで計算するとしている。一般の乗客にノーティカル・マイルのめんどうな説明はしたくないのだろう。

目標が変わり人も変わる

RJ500 で計画した推力は 2 万ポンド。82 年には試運転に成功した。ところがこの間に航空会社の需要がより大型の 150 席クラスに上方シフトしていた。機体が大きくなれば必要な推力も大きくなる。当初設計の 2 万ポンドでは足りない。推力を増やす改良にはかなりの追加開発費が必要になる。

この状況で P&W から共同開発の提案が入る。新しい共同開発チームができあがる。P&W、RR、P&W の共同開発パートナーだった MTU とフィアット、RR のパートナーだった日本。5 か国の企業による大連合のプロジェクトになった。何よりファーストティアの P&W と RR が組むのは大きなできごとだった。両社ともに組まざるを得ない状況だったと考えられる。

150 席クラス向けエンジンの世界市場の規模は多くて 2 機種が生き残れる程度で、3 機種が競合すると共倒れの可能性があると考えられていた。GE はスネクマとの共同開発が先行していて、すでに実績も出し、この領域の市場の 1 番手だったから撤退はありえない。P&W といえども RR と 2 番手争いをするのは共倒れのリスクもある。RR と組むメリットは大きい。

RR にしても 100-120 席向けの RJ500 が B737 への採用が見送られ、その上のクラスをねらうには追加開発費がかなり大きいと見込まれたこと。150 席クラスでも勢いにのる GE スネクマ連合がトップを確保すれば、P&W と競合するのはあまりにリスクが大きい。

競合相手を減らしたいのはどこも同じだからか、GE チームからの誘いもあったらしい。結果として RJ チームは P&W に合流し、できあがったエンジンは市場で大きな成功を収めることができた。

5 か国共同の V2500 計画の契約が成立したのは、RJ500 試運転の翌年 83 年のことだった。V は 5

か国共同、2500 は推力 25,000 ポンドからとったとされる。運営企業はスイス法人とし、参加比率は P&W が 30%、RR が 30%、日本が 23%、MTU は 11%、フィアットは 6%。市場でまだ実績のない日本にしては大きな比率だと思う。RJ500 計画の効果はここにも生きたということではないだろうか。

まだまだ続くぬかるみ

世界トップと 3 位の RR が組んだゲームだから盤石。ではなかった。こんな波乱万丈、聞いている方もいいかげん疲れてくるだろう。テレビドラマなら山場は 1 シーズンに大きな山 1 つ、小さな山 1 つでおなかいっぱい。3 つも 4 つも山があるのはしんどい。以下、その後の 40 年近くのストーリーを 10 行で早回し。

ジェットエンジンのプロたちはめげない。このあとも山は次々にあり、事業の存続が危ぶまれるものも出てくる。V2500 シリーズの最初のモデルは 88 年に FAA（アメリカ連邦航空局）から型式承認と製造証明を受け、市場にデビューした。若干の受注があったものの結局は伸び悩み、次の改良モデルの開発にとりかかる。それが製品化した 90 年代にようやく受注量が増え、量産ビジネスとして軌道に乗る。90 年代半ばになると、推力 2 万 2 千ポンドから 3 万ポンドまでを複数のモデルでカバーするラインアップができ、年間受注数が 500 基を超えることもある人気機種になる。

これまでのエンジンのベストセラーは 3 万基以上が売れた GE・スネクマ連合の CFM56 シリーズだ。V2500 シリーズは 8 千基ほどで GE チームには及ばなかったが、損益分岐点は 2 千基くらいとされるビジネスとしては大成功だった。シリーズは 2019 年に民間機用の最終号機を納入し（軍用版は継続）、その後は修理や補修部品のビジネスが続いている。

坂の上の坂

路地裏に迷い込んだロールス・ロイスから、いろいろな記憶がよみがえった。

ジェットエンジンのビジネスはリスク満載、社運をかける判断を次々と迫られる。

あるとき、とある企業幹部から渡された資料の中に、社外秘のはずの経営会議の議事メモが入っていた。メモの中で、企業トップが政府の判断をなかなかの強い表現でこきおろしていた。ステージを上げるリスクと判断の重さにいら立っていたのかもしれない。愉快的内容ではなかったが、人が知れば良い結果になるとは思えず、誰にも見せずに処分した。

日本が民間市場にデビューできた V2500 での持ち分は 23%。その後の世界のエンジン開発は国際共同事業が主流となり、いくつかの共同事業に日本企業が参画を続けている。RJ500 や V2500 では共同事業会社が運営する方式がとられた。それ以外にも参加企業が配分比率に応じた開発コストの分担と売り上げを配分するリスク売上配分パートナーシップ（RRSP）方式の共同開発もある。

エンジン・ビジネスでは好況やトラブルなど振れ幅の大きい状況が続く。最近では報道で知るのみになったが、P&W、日本、MTU の共同事業で開発した PW1100（推力 24,000～35,000 ポンド）が技術的なトラブルで 2024 年度に日本の主要参加企業の石川島播磨重工（IHI）が過去最多といわれ

る赤字見込みを発表した（日経新聞、23.10.25）。ところが翌年度は劇的な回復で営業最高益を見込むと報道されている（日経新聞、24.3.25）。

変わらないのは世界市場を支配するファーストティア 3 社体制だ。1つの推力領域に1つか2つのエンジンしか生き残れない激しい生存競争を繰り返しているから、ファーストティア企業は2社か3社がせいぜい。彼らもいつ落伍しないとも限らない。チャンスとリスク。明日も厳しいビジネスは続く。

もうロールス・ロイスは裏通りには現れない。幻だったのかもしれない。自動車のロールス・ロイスは今ではBMWの傘下になっていると聞く。長く続く縁。

（参考）

IHI が営業最高益、25 年 3 月期に 1100 億円,日本経済新聞,2024.3.25

IHI、15 年ぶり最終赤字 900 億円,日本経済新聞,2023.10.25

守屋勝義,岡田拓也,西村圭司, PW1100G-JM エンジンプログラムの概要,IHI 技報,第 60 巻 2 号,2020

笠原知諭,清水達,西村圭司, GE9X エンジンの開発, IHI 技報,第 60 巻 2 号,2020

伊藤源嗣,我が国の航空機エンジン産業と大学に期待すること,航空機部品国産化フォーラムレポート,早稲田大学理工総研,2009

ジェット旅客機初の国産化,日本経済新聞（視点）,2008.4.13

三菱重工業・不屈の佃改革,日経ビジネス（復活の研究）,2008.3.31

石澤和彦,発展型 V2500 ターボファンエンジンの開発,日本航空宇宙学会,1993

伊藤源嗣,民間機用ガスタービンの国際共同事業,日本ガスタービン学会,1992

伊藤源嗣,V2500 ターボファンエンジン開発の現状,日本航空宇宙学会,1988

伊藤源嗣,国際共同開発 V2500 エンジン,ターボ機械協会,1985

伊藤源嗣,航空機用ガスタービンの開発,機械振興協会,1984

大学に移ったころの年末、伊藤源嗣さんを社長室にお訪ねし、20 数年ぶりの状況をていねいに教えていただいた。ありがとうございました。

著者紹介

中島一郎 武蔵野大学国際総合研究所客員教授

研究組織（複数組織による共同研究、研究組織ライフサイクル、技術ロードマップ）、セキュリティ・マネジメント（事業継続と国際標準）、産業政策（新産業育成、研究開発政策）が主な関心分野。

東京大学工学部電子工学科卒業、通商産業省入省（1970 年）。l'Ecole Nationale d'Administration (ENA、フランス）留学。博士（工学、東北大学）。関東通商産業局長、環境立地局長を経て通商産業省退職（2000 年）。(独) 産業技術総合研究所・理事・企画本部長（2001 年）。東北大学大学院工学研究科教授（2003 年）。未来科学技術共同研究センター長、産学官連携推進本部長を兼任。

早稲田大学研究戦略センター教授（2009 年）。研究推進部産学官連携担当部長兼任。

2018 年に早稲田大学定年退職。

この間、内閣府、内閣官房、NEDO、JST、ISO 等の委員を務める。

