

部 会 だ よ り

このたび、「部会だより」のページを設けることになりました。学会活動の一環としての各研究部会の活動状況を会員に報告し、周知せしめることを目的としております。内容としては(1)部会の活動状況全般について、(2)部会主催の講演会等の記録、(3)その他、などです。今回はPPBS部会の講演会記録を掲載いたします。

飛行機の要求性能と設計の考え方†

本 庄 季 郎*

1. まえおき

私がいまからお話することは、ある問題の解法を示すというようなものではありません。むしろ、ついに解決法を見い出せなかった諸問題を、そのままの姿で示し、皆様になんらかの解決法を見い出していただくための材料を提供しようとするものであります。

1920年ごろから1940年ごろまでには、現在のように、飛行機そのものを設計するまえに、ORということを取りたてて行なわなかったのです。

2. 要求とは

ここで、要求という言葉について、ご説明しておきます。

要求とは requirement の訳で、日本語では物を注文するときの仕様という言葉にあたるかと思えます。

米空軍には Technical Order (略して T.O.) という米政府発行の一連の図書群がありすが、これは軍の技術的規則類の総称で、兵器類の取扱法とか、修理法というような、軍で作業をするときに守らねばならない「技術的な命令」という意味から出たものと思えます。

要求書の進展のしかたを少し詳しく考えてみますと、最初は、注文者が、ある目的を達するための製品ができるかどうか製作者に問い合わせることから始まります。

要求の初期のものは、多くの場合、現存する同種の機材より、技術的に進歩したもので、いままで満たされなかった使用目的を達するようなものということになります。

この初期の要求によって、受注者側では検討を加え、注文者側と打合せを行ない、たびたびの修正をした後、注文者側の要求もほぼ満足され、受注者としても大体要求に応じられるということになると、ここに両者の間に受注契約が成立します。こうして、要求書として注文書に付けて出す段階になると、要求書から仕様書あるいは要目明細書という色彩もちは始めます。

さらに進んで、設計が進み、大体の性能、強度計算書、図面等ができる、これを見て、注文者はさらに詳細な要求を出し、ふたたびこれを修正したり、承認したりします。

飛行機の場合は、一般にこの時期に、実物大の模型を作ります。

また、この時期に、要求性能を満足するか、大きな空力的欠陥がないか等を調べたり、あるいは、数案の外形のうちからもっとも性能のよいものを選ぶというような目的で風洞試験を行なうのが一般です。

昔は、試作1号機を使って、直ちに試験飛行に移ったものですが、最近では01号とか02号というような名称で、振動試験とか破壊試験用に使われてしまうのが普通です。

飛行試験、実用試験を行なった後、注文主は、こ

† 1970年7月11日 PPBS 部会講演会。

* 三菱重工業㈱。

の結果によってさらに改善要求を出します。

試作品には、完全な specification, 図面, 部品表, 取扱説明書, 修理法等までできあがります。

ここまでくると、要求書という言葉とは離れてきて、いわゆる spec または specification という言葉のほうが適切な感じに変わってきます。

この spec なるものは、生産機を注文するときには、要求書の役目を果たすものであります。

要求書は、初期の達成目標の観念的なものでありますが、最終段階には、具体的な指示を与える spec までに発展して行くものであります。

3. 第2次大戦直前までに日本海軍が要求していた機種と海軍機を製作していた会社

第2次大戦の始まるまでに日本海軍が試作を発注した機種は大体つぎのようなものであります。

単座艦上戦闘機 複座艦上戦闘機 艦上偵察機 艦上攻撃機(長距離水上偵察機) 艦上雷撃機 艦上作業練習機 複座練習機 飛行艇(偵察機) 陸上攻撃機 局地戦闘機 潜水艦搭載機 水上観測機

以上の機種おのおのに数機の試作が約20年足らずの間に行なわれ、陸軍でも別に数かずの試作を行なっていました。

現在だったら、どんな機種をどのくらい日本で試作すべきかということの研究をまず行なつたでしょう。こんなしたいですが、このころはこれらの機種の半数かそれ以上は試作だけで終るか、少数の生産で中止となりました。

このように、多機種の試作はつぎからつぎと発注され、試験飛行が行なわれ、軍の制式機として採用されるもの、採用されずに終るものの明暗二途にわかれたのです。これは、

- (1) 非常に多い機種を多く試作中に、軍が満足したものがきわめて少なかった。
- (2) 軍の兵器としては高く評価されなかったものでも、設計、工作等にすぐれたものがあり、用兵上から高く評価されたものより、むしろ技術的にはすぐれたものがあつた。
- (3) 海軍は、創意、工夫、アイデアをきわめて高く買ったので、当座の役にはたたないものでもわが国の技術の向上に役立つ、将来の優秀機を生む基礎を作つた。
- (4) 失敗に終つた機種には、要求が苛酷で、当時の技術水準と日本の工業力では無理であつたものが多かつた。

等のためでしょう。

当時の要求は、とにかく、すべての点で、軍の優勢を保つために、他の国の航空機を上回る機材であることを主眼としたため、これら注文者側の責任者は過大な責任を負わされていたのではないかという感じがします。ただでさえ、生命の危険にさらされた当時のテストパイロットは、神経の安まる暇もなく、会社との交渉中にもたびたび興奮した場面が見られました。

4. 海軍機の試作要求について

戦前に発注された飛行機の試作要求は、山名、中口著『飛行機設計論』を引用して書くと：――

a 機種 b 使用目的 c 機体の型式(陸上機, 水上機, 高翼型, 低翼型など) d 原動機の種類と数 e 搭乗員数と担当作業 f 搭載物の種類, 重量と体積 g 特殊の装備(室内の予圧, 空気調節など) h 搭乗員と乗客の視界 i 飛行性能①最高速度とその高度 ②巡航性能(航続距離, 巡航速度とその高度, 航続時間) ③離陸性能(離陸距離, 水上機では離水秒時と速度) ④着陸性能(着陸速度, 着陸距離) ⑤上昇性能(上昇率, 実用上昇限度) j 安定と操縦性 k 強度(耐空性基準の類別) l 完成時期 m 価格 n その他の要求(飛行安全性, 運用の経済性など)

のような内容のものであります。

これら海軍機に対する要求のうちで、諸外国の飛行機、および陸軍機に対する要求ととくに異なっていた点は、大きい航続力の要求でありました。

5. 海軍機の航続力性能の要求について

山本五十六氏が航空本部長だつたころ、1930年から海軍では、将来飛行機が軍艦に取ってかわるだろうという論が盛んとなり、日本の飛行機は諸外国の当時活躍している機体よりずっと大きい航続力をもたねばならない。とくに島国である日本の防衛には、1200哩を往復できる陸上爆撃機をもたねばならないと考えました。この航続距離は、当時の同種機体の航続力の2倍以上の要求であります。

明らかに設計段階に、遇然の技術的発見とか、特別な技術の洗練を期待しての要求と解釈されます。山本五十六氏が賭け事の天才だつたため、いちかばちか試してみようといった要求だとも考えられます。また会社の首脳部にも若い人間に大胆に権限を委譲したすぐれた指導者がいたのです。

この特殊な環境に幸いされて、日本海軍の賭け事

は見事に的中し、従来機から飛躍した高性能機が出現し、そのうえ、この試作機の直前まで行きづまっていた安定性、操縦性の問題も一挙に解決してしまったのです。

もう1つ、この時期には、諸外国からの技術導入の道が閉ざされ始め、日本人自身で、難問解決にあたらねばならなかったのであります。これは若い技術者の才能を十分発揮せしめて、彼らに経験と自信をもたせた結果を産みました。

こういった機種種の要目が十分なORの結果から決定されていないので、空中を飛ぶ機械としての性能は抜群でありましたが、戦争用の機材としては、弱点のいくつかをっていました。

とくに飛行機そのもの以外の他部門を含む総合計画ができていなかったように思います。

ゴム工業の弱体から防弾タンクができなかった、防弾鋼の生産量がきわめて少なく、搭乗員の防弾はまったく不可能であった、といったような具合です。とくに私が後に米空軍に3年間勤務して感じたことですが、前述のT.O.が日本軍にはなかった、書類および図面の整理が官民共きわめて下手、さらに、それら呼び出す手段方法 (date retrieval) がきわめて不完全であったことは、米軍との実力に大きな差をつけました。

6. 要求の競合

要求を実現可能なものにまとめるときに、常に起こる問題は、各部門の要求が互いに矛盾するということです。

大戦が始まって間もないころ、試作の仕様書を作る段階にあったM-60という爆撃機の場合は、軍と会社とのたび重なる打合せの末、木型を作る段階にまで進んだにもかかわらず、軍の各分担の過大な要求はついに調整つかず、試作中止となり、その間約3年を経過しています。

これに類した事態は多かれ少なかれ試作のたびごとに起こりましたが、ORとか組織工学という考え方が発達していなかったために、いい解決法を見い出せず、関係者は頭を痛めていました。

こういう問題が起こる原因には、つぎのようなことが考えられます。

- (1) 所望の兵器の目的達成だけを考え、その時代の技術水準以上のものを要求した。たとえば、年月の経過による技術の向上を、いままでの統計曲線から、外挿した値以上に期待した。
- (2) 信頼性の保証をする実験期間を考えずに、開

発進行中の兵器または部品を試作機体に取付け得ると期待した。

7. 完成時期の要求について

当時はPERTなどという方法は知られていなかったもので、新しい開発作業の予定を厳守することはきわめて困難であり、従来の経験と、軍の必要時期とを考え合わせ、大体、大型機なら試作完成に1年半、小型機なら1年くらいと、軍から強制されるのが普通でした。受注会社はいままでの経験から図面枚数を見積り、作業員の数、他機種種の作業等の関連等を考えて概略の予定をたてていました。

ところが、この予定は守られた例はまったくなく、非常にまれに予定に近く完成したものがあっても、残業徹夜を予定以上に行なっているもので、本当の意味で予定を守れた日本の試作機は1機もなかったといっても過言ではないでしょう。

予定を守るとは、試作品をサブシステムとする一段上のシステムまたは総合計画の順調な運営上きわめて重要であるにもかかわらず、日本人にはこの認識の少ない人が多い。

受注者が、契約時に申し出た予定を厳守した場合と、短期完成を約束して、実際には遅れて完成した場合とでは、後者の場合のほうが高く評価されました。簡単にいえば、大風呂敷を広げたほうが勝つというのが当時の実状でありました。

会社側でも、予定に対してはきわめて安易に考える人が多く、工程の初期にある係が順に割り当てられた予定を延ばし、工程の終りにある検査係とか塗装係はたいていの場合徹夜をするというのが一般の姿でありました。最近のシステムエンジニアリングの本には、PERTにしたがって電子計算機を用い、工程を監視していさえすれば、予定は簡単に守れるように書いてありますが、たとえPERTを採用しても、そう容易に予定は守れるとは考えられません。

パラメータの多い実際の工業製品では、その組合せはぼう大な数となり、計算の量はきわめて大きなものになりやすく、なんらかの方法でその数を制限する結果となります。この計算範囲を制限するには、結局経験者の判断を必要とする場合が多く、あくまで機械化しようとしていた最初の方針とは逆に、昔風の経験によるカンを働かさねばならないはめに陥り、PERTの有難味も薄らぐのが実状ではないでしょうか。

PERTの時代でも、依然として、実務の経験による判断が重要であることに変わりはないようです。

8. 重量見積について

飛行機の試作では、完成時期が予定より遅れるのとよく似た問題として、重量が見積りを超過するということがしばしば起こります。

重量の変化に影響されるものは、

1) 重心位置, 2) 慣性能率, 3) 翼面荷重, 4) 馬力荷重
等です。

重量見積もあとから追加されることはあっても、取り除かれるものはないという性質をもっています。未経験者の設計はほとんど必ず重量増加が、重心後退、静安定不十分となり、水平尾翼増積の必要を生じ、これらが集積されて馬力不足による性能低下という結果を生じます。

設計者の世代のかわるごとにこの失敗をくり返しているのが現状です。

9. 誤った情報について

誤った情報を採用して、種々の計算をしてももちろん正しい結果は出ません。

新しい飛行機の要求性能は、いままでの飛行性能を年代に対してプロットし、その曲線を外挿して完成時の要求性能としたことが多かった。

このいままでの飛行機の資料にかけ値のあるものが相当ありました。ある外国の旅客機は発表された燃料を満載すると、乗客が1人も乗れないし、旅客満員の際は燃料が1/も積めなかった。

もっとも、これには多少の理由があったようです。というのは、当時は米国の燃料が日本のものより良質で、日本の飛行機を米国で試験飛行すると、ほとんど常に発表値を上回るという事実もあったようがあります。

10. 要求（または仕様）の一部になって いる規格規定類

仕様書にはたいいてい規格規定類を列挙し、それらに従うことを要求しています。

代表的なものはつぎの通りです。

①型式証明 ②製造方法の認可 ③耐空性審査要領 民間航空規則 ④Civilair Regulations ⑤JIS規格類 ⑥MIL規格数 その他。

11. 受注者が自発的に追加した要求

戦前の飛行機設計者には、飛行機は要求性能がきわめてきびしかったので、いかに工数をかけ、高価

な材料を用いても最高の性能を出せばよいと考える者が多かった。一部の設計者には、注文主の要求には列挙していない項目でも、構造の合理性、工作簡易性、生産性、修理整備点検の容易さ、部品統一等に力を入れたものがありました。

戦局が悪化して、生産に支障をきたし始めたころ、海軍では、生産性向上のための改造を計画しましたが、ある機体はまったく改造の必要なしと認められ、あらためてその設計方針を高く評価されました。

この時代には、これら経済性の向上は、会社の利益をはかった安物と解釈されがちだったのであります。これは土農工商の工商を下等視する昔の習慣からきた感情によるものかも知れません。

12. 要求から試作までの戦前、戦後の差

戦前、戦中の試作は、要求書は契約前に、注文主と受注者が打ち合せて定め、その後、設計を開始して試作機を製造し、試飛行を行なうまでをひとまとめに契約しました。

最近では、第一段階としてORだけの契約を行ない、つぎにまた別契約で、時には別会社に、風洞試験までを契約するか、あるいは荷重試験用機体、振動試験用機体くらいまでで区切って契約し、つぎの段階として試作数機で飛行試験をするという具合であります。昔のやり方では、ORから試験飛行まで1組織があたるので、それらの間に一貫した考え方が引きつがれやすかったが、現在のやり方では、先行した契約者の方針や考え方が後続の契約者に試作完了まで貫かれることは、はなはだ困難のように思われます。

13. 要求の出し方と創意

要求の出し方を細分化すればするほど、注文主は予期したものとよく一致した製品を得やすいと考えられます。

試作注文の発注されるまでの期間が長ければ長いほど、要求は詳細にかつ正確に受注者に伝えられます。

ところが、この細部設計に手をつけるまでの期間が長ければ長いほど、その間に発達した技術を設計に採用することはできなくなるのが常であります。

一方、技術的な進歩は、予定が一般におくれるのとは反対に、思いがけない早い時期に、思いがけないところから出現するということが多という事実があります。

この辺の調整をどうするか、これは相当むずかし

い問題だと思います。日本人で、OR以上のうまい手法を創案して、この種の問題を解決する人はいないでしょうか。

14. 要求の出し方と経験

試作の前段階に、多種多様の作業が、しかも長期にわたって行なわれると、飛行機または発動機そのものの研究、設計、工作、検査等に長年の経験をもつ人間はほとんどいなくなります。これらの技術者は時とともに担任作業が変わり、一部門に経験を体得する年月を与えられない傾向にあります。

私の意見では、ものの見方の分類が無方針に多様化したためだと思います。

なんとかして、この二重三重の重複した分類からきた組織を単純化して、各人が単純化された数少ない部門を長年担当するようにすれば、経験が有効に生かせるのではないかと思います。

15. わが国における試作飛行機の要求について

日本で試作する飛行機の要求を、試作作業の全部を日本国の工業力で完成するものと、他国の工業力を協力させて完成するものとのわけて考えてみましょう。

第1の場合は、日本人の苦手とする精密部品を自作し、苦手とする構造考案をみずから行なわねばな

りません。この構造考案力と製図は日本人のもっとも苦手とすることだけに、この試作によって、その苦手技術の向上がはかれるということになります。

第2の場合には、他国が協力しなくなったときは、その機体は日本の独力では完成できず、また将来の設計能力もますます低下するということになります。

ORだけやっているある試作旅客機の場合は、この第2の場合にあたります。OR以外は他国に依存するということになりそうであります。少なくとも日本独自の創意を織り込む余地はなく、前例の模倣のみになると思います。ORも結構ですが、ORだけでは、空飛ぶ機械は出現しないし、日本に進歩した飛行機を設計し、製図し、製作する能力はなくなること知らねばなりません。構造考案のほかに、さらに、いままで顧みられなかったものが、飛行機を作るための工作機械の自己開発です。

16. 要求の出し方と受け方

要求は必ず実現できる見込みのものにとどめなければなりません。そのかわり、受注者は要求項目を必ず実現させねばなりません。

要求を上回る性能は、多くの場合、総合計画に害を及ぼさないので、受注者は要求をいくぶんでも上回る製品を作るよう努力するという姿が理想的でしょう。

以上をもって、私の話を終ります。