

航空機部品とOR

—資材システムにおける在庫計画—

植木 忠夫

1. はじめに

航空機部品の管理は、経済性を勘案しながら、航空機の「安全性」「定時性」「快適性」の維持向上を目的としている。高品質の航空機部品は「いつでも」「どこでも」「迅速に」提供する必要がある。その手段として、当社独自のORを展開している。

航空機部品は、1機種につき10万種以上あり、これら部品管理の精度向上には、厳重な在庫管理、品質管理、修理管理等を必要としている。特に在庫管理において、在庫切れ（信頼性）と過剰在庫（経済性）との最大公約数への追求は、一般製造業の生産工場と、基本的部分では共通しているが、航空機部品の管理には、次のような特殊性がある。

① 当社の航空機は、ほとんど輸入機材であり、その部品（高額）の調達先も外国（米国、欧州）メーカー、ベンダーが約9割を占有している。この地理的制約条件は、安全在庫等の面で、強く影響をおよぼしている。

② 航空機部品は、世界的傾向として、受注生産体制のため、納期が長期化している。また、使用材質の軽量化志向のため、特殊合金（チタン、アルミニウム等の合金）が多く、昨今の資源ナン

ォナリズムの台頭により、原材料の量的制約を受け、部品の入手を、より一層困難にしている。

③ 部品は、科学技術の最先端を進んでおり、かつ、より高い信頼性の追求から、仕様の変更、革新も激しい。これに柔軟に対応する予測、計画システムは、複雑多岐におよび、変動の可能性を含んでいる。

④ 修理部品（入庫→出庫→機体取付・取卸→修理→入庫）は、それぞれのサイクルの中で、修理状況を充分把握する必要がある。

⑤ 部品の要求場所は、国内外の各空港、倉庫整備工場と各地に点在しており、タイムリーに適応させる必要がある。

⑥ 飛行時間および日数に制限のある部品、使用期限指定部品、快適性および強い安全性志向のため、軽微な故障発生以前に強制的に取卸す部品・単純消耗部品等の管理側面が多岐にわたっている。

以上のような特性を有する航空機部品は、需要、納期の変動要素を、多く含んでいる。これらの不確実性を吸収するための予備部品は、経営全体に占める在庫投資の割合も多く、保有基準についても厳しい条件を課せられている。

当社では昭和51年2月より、在庫管理の正確性、効率化、在庫軽減を図るため、オンライン・リアルタイムのコンピュータシステム（ANA資材システム）が導入され、逐次改善されながら、

うえき ただお 全日本空輸機整備本部

現在に至っている。

当稿では、各種在庫管理システムの中で、特に計画段階にあたる「部品需要予測」と「部品計画」からなる“在庫計画”を中心に、その理論構成およびその現実への応用に関し、論じていきたい。

2. 概要とその紹介

[1] 航空機部品の概要

航空機の運航を支える機体整備に供給する部品の形態は、これ以下には分解不可能な「子部品」と、この集合体たる「親部品」とがある。そこで、機体整備より取卸された「親部品」は、オーバーホール工場に搬入、整備されるが、これを部品整備と称している。この「親部品」に供給する部品の形態は、「子部品」中心であり、また、「親部品」の稼働を促進する「中間組立部品」もある。

一方、部品計画は、両整備へ供給する「子部品」「中間組立部品」「親部品」をいかに経済的に所有するかが重要な課題である。換言すれば、部品計画とは、両整備での需要予測をもとに、運航効率と部品稼働率の両面を配慮しながら、進めるのである。しかし、初度の場合は、メーカーの予測、情報を充分斟酌し、また、運航機にあっては、実績動向を緻密に把握しながら、予測を進めている。

いずれにせよ、部品個々の寿命特性分析は、実に難解な面が多く、予測精度の向上は、図りづらい現状にある。

[2] 在庫計画の現状

在庫計画は、需要予測と部品計画の機能から、成っている。前者は、部品計画の前提となる需要量の予測を行ない、後者は、その前提条件を基礎に、経済的な在庫管理を図るよう、STOCK CONTROL LEVEL (以下 SCL と略す。)を設定し、購入指示を与える機能である。以下、その

概要を図1に沿って説明する。なお、本稿で使用する言葉の定義は、次のとおりとする。

(イ) EXPENDABLE 部品

修理不可能な消耗部品。

(ロ) RECOVERABLE 部品

ある許容範囲内で、修理再生可能な部品。

(ハ) ROTABLE 部品

(ロ)と(ハ)より構成されており、修理することにより何回でも使用可能となるよう設計された部品。

(ニ) MTBR

MEAN TIME BETWEEN REMOVAL

の略で、(ロ)、(ハ)部品の機体装着から、取卸しまでの使用平均飛行時間。

(ホ) 交換率

修理品1台当りの取替率

(ヘ) 消費率

1000飛行時間当りの消費数

(1) 予測システム

① 予測システムの対象

部品は、修理の面から属性分類でき、この属性により、予測方式は異なる。

・ROTABLE 部品および RECOVERABLE 部品は、MTBR 方式である。

・EXPENDABLE 部品は、交換率または消費率方式である。

このいずれを適用するかは、図2参照のこと。

② 予測計算

この項は、計画データ(計画飛行時間・機体整備計画)の登録と、実績データバンクに収集された実績飛行時間、取卸し台数、消費実績等を活用し、後述 [(3)①] の計算基準式にあてはめ、需要量の予測計算を行なっている。また、予測方式は、指数平滑法により、MTBR・交換率・消費率の予測を行なっている。なお、図2は、整備方式と部品属性および予測方式との関連を示したものである。

③ 予測値の検討・補正

②項の計算結果は、「FORECAST LIST」として出力される。

この項は、これにもとづき、計画データの正誤・過去の実績推移・技術品質情報等により、計算要素(取卸し予測・MTBR・指数平滑定数等)の補正登録を行なう。これにより、再計算が行なわれる。

④ 予測システムの限界

指数平滑法は、最近実績のトレンド延長である。しかし、将来の変動は、過去の条件で説明できない次のような部分がある。

(イ) 過去に取卸し経験および消費実績のない部品は、計算対象より除外される。

〈例1〉 改修等により信頼性の高いとされる部品が装着した場合、メーカーの予測する部品設計寿命は、当社の運航特性と政策により、大きな差異を生ずる可能性がある。

〈例2〉 新造機に装着された部品は、外国の経験あるオペレーターの実績に類似させざるを得ない現状にある。

したがって、当社は、過去の蓄積された専門的知識と判断により、補完する必要がある。

(ロ) 実績の少ない部品、あるいは極端な異常消費を発生した部品は、予測計算結果に大きな誤差を生じ、人為的に補完しなければならない。

(ハ) LIFE CONTROL PARTS (使用飛行時間限界を有する部品) は、大型装備品、特にジェ

ットエンジンに多いが、その特異性により機械的予測は、困難である。

というのは、メーカー・先進航空会社等は、部

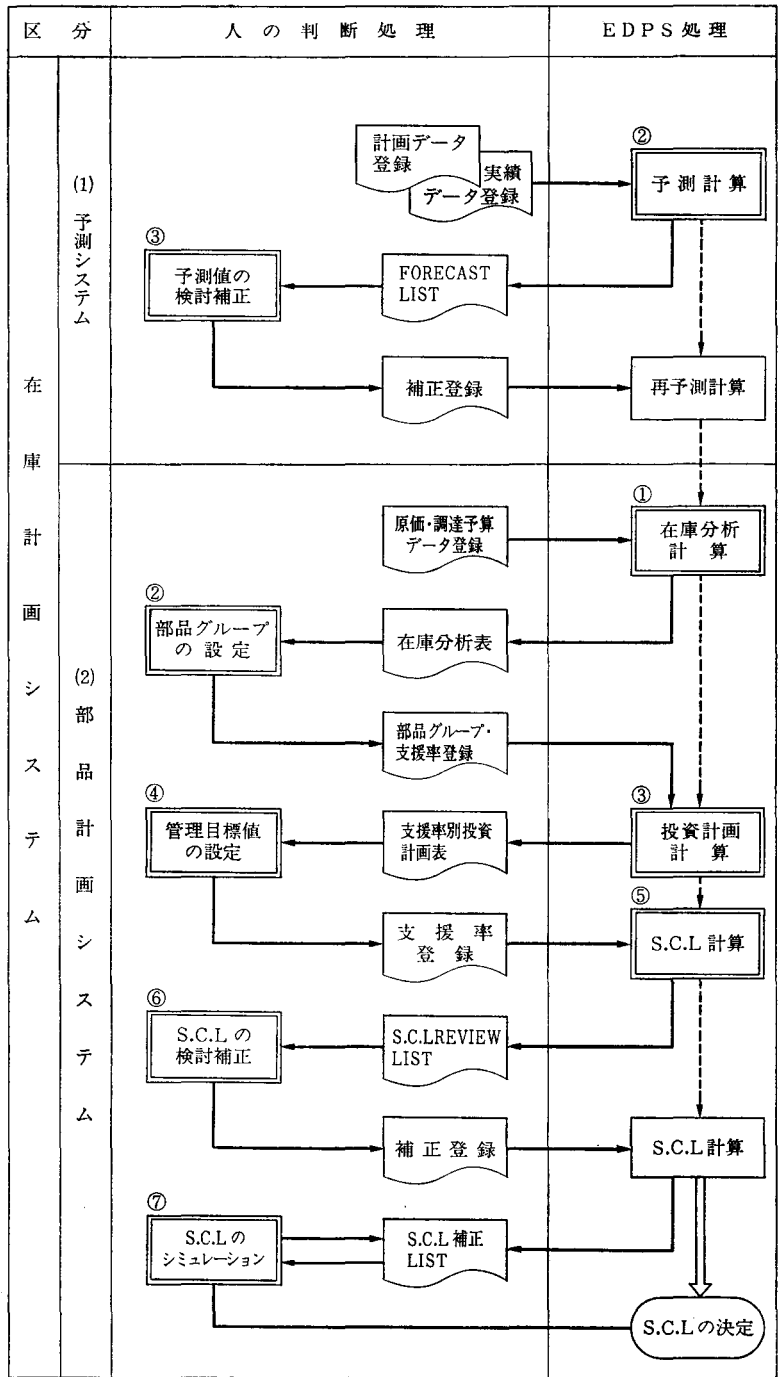


図1 在庫計画システムフロー [注: 図中の()および○内の番号は本文中の項目番号に対応]

実績・予測のメッシュ		整備・属性・方式の関連			
機体整備	運航整備	MTBRを適用		消費率を適用	
	定時整備				A整備
					B整備
					C整備
D整備					
部品整備	C O作業			交換率を適用	
	L O作業				
	S O作業				
部品区分		ROTABLE 部品	RECOVER- ABLE 部品	EXPENDA- BLE 部品	

図2 予測方式関連図

注) A整備：35～150 飛行時間以内に行なう点検整備
 B整備：250～500飛行時間以内に行なう点検整備
 C整備：800～2000 飛行時間以内に行なう点検整備
 D整備：8000～16000 飛行時間以内に行なう点検整備
 C O作業：分解をとまわらない点検作業
 L O作業：指定部分の分解検査
 S O作業：総分解検査

品のきびしい耐久テストを実施し、安全係数を合せて時間限界を設定するので、許容時間限界は、当然遵守される。

これに対して、たとえば、ジェットエンジンのLIFE CONTROL PARTS 使用限界は、約5000～5万サイクル（1サイクルとは、エンジン始動から停止までである。）とされている。

しかし、その部品の材質・形状等に技術的改良が加われば、さらにその限界は、延長されるのである。したがって、現行システムだけでは、予測精度の向上は困難であり、今後、当社は、補助システムとして、信頼性工学の分野から求める方法を研究する必要がある。

(2) 部品計画システム

① 在庫分析計算

この項の目的は、需要予測部品に関する最適な管理方法を定めるため、部品グループ分類資料を作成することにある。まず、部品グループの初期設定は、経験的に定め、その判断資料として、次の計算をするのである。それは、機種別・システム別・グループ別に、在庫金額・発注残金額・理論平均在庫金額・実績平均在庫金額・消費予測金額・発注予測金額等を計算するのである。

一方それに対して、「原価調達予算データ登録」の目的は、保管費・発注費・為替レート・部品単

価値上り率等を入力することによって、EOQ(経済発注量)・投資額等を算出することにある。

② 部品グループの設定

この項の目的は、部品の分布特性を把握することにより、最適な投資と管理方法を決定することにある。図3の部品グループ区分は、需要予測で求められた部品を、需要予測目盛と部品単価目盛の交点で枠組し、分類したものであり、以下これにしたがって説明する。

(イ) 高価額品は、支援率を下げ、安全在庫を低く抑え、緻密な管理を行なう。

(ロ) 低価額品は、支援率を上げ、安全在庫を高くし、管理メッシュを粗くする。

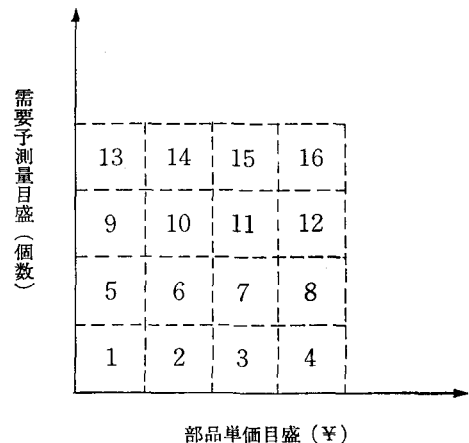


図3 部品グループ区分

(ハ) 中価額品は、(イ)と(ロ)の中間的管理を行なう。ところで、16区分管理方式の採用理由は、一般的なABC分析による管理区分では、当社の意図する方向に対処し得ないからである。

というのは、ABC分析では、各グループの支援率によって、全体の投資効果を求めるとき、安価な部品でも、消費が多くなると、A区分に近づくことになる。このような品目は、一般に予測精度を向上させやすく、また、過剰在庫も防止できることになる。したがって、当社は、全体的な投資調和を図るため、16区分方式を採用した。一方、ここでの判断処理は、「在庫分析表」の計算結果をもとに、品目の偏在を是正して、適切な16区分に整理する。

次に、全体の支援率が、方針支援率と等しくなるように、各グループごとに支援率を設定(配分)するのである。

③ 投資計画計算

この項の目的は、②項で登録した支援率(需要に対する供給の比率)を基準に、上下1(%)均等刻みで10種類に分けて、投資額のシミュレーション計算を行ない、支援率と投資額のバランスを図り、妥当な支援率を求めることにある。

ここでの計算は、機種・システム・16区分・支援率別に、予測発注金額・発注回数・安全在庫金額等の項目が求められる。

④ 管理目標値の設定

この項の目的は、③項の計算で求められた「支援率別投資計画表」によって、各部品グループごとに、いずれの支援率が、より効果的な投資となるかを選択し、総合的な判断を加え、最終的な支援率を決定する。

⑤ SCLの計算

④項の支援率の登録によって、SCLが計算される。(計算基準は、後述の(3)―①項を参照)なお、ここでの在庫管理方式は、発注点法が中心となっている。

⑥ SCLの検討・補正

⑤項の計算結果として、出力される「SCL REVIEW LIST」には、予測量・SCL・EOQ・需要量の標準偏差・最近の消費実績・単価・調達日数等が出力される。そして、この項の目的は、以上の情報をもとに、最新技術品質情報と経験とによって、適切な判断を下し、適宜補正登録する。この登録により、EDPS上の最終的なSCLが決定される。設定後のSCLの見直しは、管理比重に応じて「SCL REVIEW LIST」の打ち出しサイクルを決めることにより、定期的(30・60・90・180日)に出力される。この段階で、⑦項のシミュレーションが活用される。

⑦ SCLのシミュレーション

EDPSにて決定されるROP(発注点)やSS(安全在庫)等は、過去の実績に重みのかかった計算値である。しかし、実際の流動的に変化する運用上の限界等を検証しサポートする必要がある。以下の方式(図4)は、理論と実態の整合をかけるための一手法である。

図4の左例は、ROPとSSが各々9個、7個と設定されたとき、現在の在庫状況から始まって、在庫が今後どのように推移していくかを、シミュレーションしたものである。

なお、月間の需要(DMD:DEMAND)は、正規乱数によって発生されたものである。

月初の在庫(STK.1)が、DMDによって、月末在庫(STK.2)に推移する。

その間に、需要が供給より大となれば、不足(SHT:SHORTAGE)が発生する。

月末にROPと月末在庫を比較し、レベル切れを起こしていれば、発注(D/I:DUE-IN)がなされる。図中の「*」印は、発注時期であり「+」印は、納入時期である。ここでは、2年間のシミュレーションを行なう。

一方、右例は、各レベルを再計算して、同様のシミュレーションを行なったものである。

つまり、左例と異なったROP(=5個)、SS(=3個)にレベルを下げても、不足は発生せず、

PART. NO 717-2825-0								PART NO 717-2825-0									
ROP							9	ROP									9
SS							7	SS									7
EOQ							4	EOQ									4
FILL RATE							.95	FILL RATE									.95
LT+PT (M)							4	LT+PT (M)									4
FCST/YR							4	FCST/YR									4
DEVIATION-AT							.92	DEVIATION-AT									.92
MTH INT	STK1	DMD	SHT	STK2	D/I	ID		MTH INT	STK1	DMD	SHT	STK2	D/I	ID			
	10	0	0	10					10	0	0	10					
	10	0	0	10		*			10	0	0	10		*			
	11	0	0	10		+			11	0	0	10		+			
	11	0	0	10		*			11	0	0	10		*			
	11	0	0	10		+			11	0	0	10		+			
	11	0	0	10		*			11	0	0	10		*			
	11	0	0	10		+			11	0	0	10		+			
	11	0	0	10		*			11	0	0	10		*			
	11	0	0	10		+			11	0	0	10		+			
	11	0	0	10		*			11	0	0	10		*			
	11	0	0	10		+			11	0	0	10		+			
NO OF ORDERED				3.00	KAI			NO OF ORDERED				2.00	KAI				
NO OF DELIVERED				0.00	KAI			NO OF DELIVERED				0.00	KAI				
SURPLUS QTY (ITL)				14.00	KAI			SURPLUS QTY (ITL)				20.00	KAI				
SURPLUS QTY (AV)				4.00	KAI			SURPLUS QTY (AV)				0.00	KAI				
NO OF SHORT OCCUR				0.00	KAI			NO OF SHORT OCCUR				0.00	KAI				
SHORT QTY (ITL)				0.00	KAI			SHORT QTY (ITL)				0.00	KAI				
TOTAL DEMAND				15.00	KAI			TOTAL DEMAND				10.00	KAI				
SHORT RATE				0.00	KAI			SHORT RATE				0.00	KAI				
AVERAGE STOCK				8.00	KA			AVERAGE STOCK				5.00	KA				
AVE DMD/YR				7.00	KA			AVE DMD/YR				5.00	KA				
DEVIATION				0.00	KA			DEVIATION				0.00	KA				
Q/DV/SQR(T) >=.8				1.06				Q/DV/SQR(T) >=.8				1.06					

図 4 SCL シミュレーション例 注) 図中の主な略号は次の通り

右例のほうが、在庫を低減させることができるわけである。

(3) 在庫計画システムの計算基準

① 需要予測計算基準

(i) 修理可能部品の計算式

(ROTABLE & RECOVERABLE)

② 取卸予測台数(R)

$$R = \text{計画飛行時間} \times \text{UPA} \div \text{予測 MTBR}$$

(UPA は 1 機当りの部品装着数である.)

③ 予測 MTBR(E)

$$E = \text{前回予測の MTBR} + \alpha \{ (\text{実績 MTBR}) - (\text{前回予測 MTBR}) \}$$

α : 指数平滑定数 ($0 < \alpha \leq 1$)

④ 実績 MTBR(E₁)

$$E_1 = \text{実績飛行時間} \times \text{UPA} \div \text{今期取卸台数}$$

(ii) 非修理部品の計算式

(EXPENDABLE)

⑤ 消費率方式

ROP(RE-ORDER POINT): 発注点

SS(SAFETY STOCK): 安全在庫

EOQ(ECONOMIC ORDER QUANTITY): 経済発注量

MTH-INT(MONTHLY INITIAL): 月の通し番号

STK1(STOCK1): 月初の在庫量

STK2(STOCK2): 月末の在庫量

DMD(DEMAND): 月間需要量

SHT(SHORTAGE): 払出し不足量

D/I(DUE-IN): 発注量

ID(IDENTIFICATION): *印は発注月, +印は納入月

$$\text{消費予測値} = \text{予測消費率} \times \text{計画飛行時間} \div 1000$$

⑥ 交換率方式

$$\text{消費予測値} = \text{予測交換率} \times \text{取卸予測台数}(R)$$

ただし、(ii)における予測消費率・交換率は、上記(i)⑤と同様に、指数平滑法によって求める。

② 部品計画計算基準

(i)非修理品の計算式

④安全在庫(SS:SAFETY STOCK)

$$SS = \frac{2D \cdot \sigma_T}{T} + k \cdot \sigma_D \sqrt{\frac{T+2\sigma_T}{30}}$$

⑤発注点(REORDER POINT)

$$ROP = D + SS$$

D: 調達期間中の需要予測数量

k: 安全係数(求め方は省略する.)

T: 標準調達日数

σ_T : 調達日数の変動率

σ_D : 需要量の標準偏差

⑥納期督促点(EXPEDITE POINT)

$$EP = 30D \div T$$

(ii)修理品の計算式

(省略)

3. むすび

当稿では航空機部品の特性を充分織り込んで、現在実践中の在庫計画手法について、簡単にその概要だけを紹介してきた。

元来、在庫計画は、資材の在庫量に対するマクロの視野と、個々の部品特性を考慮したミクロの視点とを、いかに均衡させていくかが肝要である。一方、在庫計画の目的は、それ自体が目的でなく「計画—実行—統制—再計画」のサイクルとして、初めて活性化されるものであり、このサイクルを通して、多くの意思決定を行ない、経済性

を追求し、経営に反映していくことにある。

また、日進月歩で技術革新している航空機部品は、まさに“生き物”であり、当社としては、今後このサイクルの中で、在庫計画と実際運用との乖離幅をいかに減少させるかが、大きな課題である。当社は、その対処方法として、大型電算機では充分機能しにくい面で、小型電算機を駆使し、データ類の分析と各現象に対する多面的なシミュレーションを実施し、数量化による一般解を試行錯誤していく予定である。

抽象的な表現をすれば、航空機部品のORに対するアプローチは、人・情報・場(システム)の有機的な体系を、三位一体として、常に対話させる必要があると理解している。

最後に、部品関係の在庫管理は、一般的に、営業や生産部門の管理に比較して、裏方的な管理であり、経営の盲点的な位置づけになりがちである。しかし、高度成長から安定成長時代へ移行した経済社会において、部品需要推移の展望と転換点の意思決定は、経営上、重要な役割を果すことを強く認識しなければならない。

今後、当社の課題は、限定された要員と時間の中で、情報の最新性と精度向上を追求し、より実態に適応したOR手法を導入しながら、総合的な在庫管理システムのレベルアップを図っていくことである。

昭和55年度編集委員会 (OR誌)

委員長 高橋啓郎 筑波大学社会学系
副委員長 森清 堯 (財)電力中央研究所
委員 太田正樹 早稲田大学システム科学研究所
川嶋弘尚 慶応義塾大学工学部管理工学科
小林竜一 立教大学理学部数学科
佐々木浩二 ㈱日立製作所システム開発研究所
城 信雄 ㈱日本総合技術研究所
武田俊男 日本アイ・ビー・エム(株) T. S. C.
野末尚次 国鉄・鉄道技術研究所
平本 巖 ㈱日本科学技術研究所

藤川洋一郎 立教大学理学部数学科
御船 泰 出光興産(株)業務部計画課
安田八十五 筑波大学社会学系
山内慎二 日本放送協会総合技術研究所
横山和夫 鹿島建設(株)電子計算センター
和合 肇 筑波大学社会学系
成久洋之 岡山理科大学大学院応用数学専攻
幹事 荒木 勉 早稲田大学大学院理工学研究科
松浦春樹 同