



JAL907 便事故・高裁不当判決についての考察

TCAS の基本コンセプトと航空管制 (前)

今回は TCAS の基本コンセプト、TCAS のソフトウェアの改善、航空管制との関係について、2 回に分けて書き出すつもりです。

1 . TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) の基本と種類

TCAS の基本コンセプトは、地上にある航空管制システムから独立したもので、広い範囲の航空機について衝突防止の機能を果たすことにあります。TCAS は Traffic Advisory (TA: 接近機の情報) のみを示すもので、主として小型機用のものとされています。

TCAS は TA に加え垂直方向の推奨される回避操作 Resolution Advisory (RA) も示すもので、現在大型機に法的に要求される物はすべて TCAS です。

TCAS は RA に水平方向の回避操作も加わるものですが、今のところ実用化された製品は出ていません。

TCAS は、相手機も TCAS 搭載の場合に Mode S で連携して作動し、本来の性能を発揮します。しかし相手機 ATC がトランスポンダーを搭載していれば作動し、Mode A トランスポンダーであれば自機が TCAS でも TA のみが作動し、Mode C または Mode S トランスポンダーを搭載していれば TA RA の双方が作動します。TCAS は ATC トランスポンダー等により応答を行っていない航空機に対しては全く作動しません。

2 . RA には正確な高度情報が必要

TCAS の RA が作動するためには Mode C (100ft 単位) または Mode S (25ft 単位) の高度情報が必要です。もし高度情報に誤差があれば無用な RA が出て危険を増す側に作動する可能性もあります。ATC プロシージャで、各管制機関と通信設定する際に 100ft 単位の正確な高度/フライトレベルを通報することになっているのは、高度情報の確認にもなっています。もし高度情報に 300ft 以上誤差がある場合は、高度情報が使用不可であると判断され、機材によって Mode C のみの停止とか ATC トランスポンダー/エア・データの切り替え等が必要となります。Mode S の高度情報は 25ft 単位であり、TCAS コンピューターではこの数値が使われますが、表示としては、管制官のレーダー、TCAS Traffic Display 共に 100ft 単位となっています。

3 . TCAS の限界

TCAS は 1 平方海里 (per square nautical mile) あたり 0.3 機、言い換えれば半径 5nm 内に 24 機のトランスポンダー搭載機を想定して設計されています。これは開発の時点で予想された 20 年後の最も混雑した空域の数値です。30nm 以内の TCAS 搭載機は 30 機を想定しています。(実際にはもう少し多くの TCAS 機の情報処理できます。)

距離測定の精度は非常に高く 1/128nm(14.5m)以内ですが、方位性能は低く recommendation として 10 度を超えないこととされています。(方位性能は TCAS Traffic Display のみに関係しています。)



水平方向の接近速度限界は、方向によって違い前方 1,200kt、側方 750kt、後方 430kt となっており、現有旅客機は速い方の機種でも最大 500kt 程度ですので、どの方向からの相手機でも作動する設定となっています。垂直方向の相対接近率は 10,000ft/min が限界となっており、旅客機的一方が上昇、他方が降下の場合でも一般的には限界内にあります。上昇/降下率が 10,000ft を超える相手機は TCAS では処理不能となります。

信頼性という面では、90%の確率で最接近の 30 秒前までに相手機を捕捉することが要件とされています。

限界としてもう一つ重要なものがあります。具体的数字としてバンク角とか何 G (重力の何倍) などでは示されていませんが、急激な空中操作には対応できるものではない、とされています。

4 . TCAS の Version とは

Version はソフトウェアの番号のことで、番号は試作段階から続いています。TCAS が米国で義務化されはじめたときは Version 6 でした。その後の TCAS 搭載義務化については Version も指定されてきましたが、複雑になるため、今までは省略していました。1993 年に Version 6.04a が発表され、主たる改善点は、低高度領域での無用な advisory の減少、1,000ft の正規の管制間隔があるものの関係機のレベルオフ前に入る RA の減少、高度を交差する関係の回避の改善にありました。

5 . Version 7 とは

1999 年に装備可能となった Version 7 は上記の点に更なる改善に加え、新たな改善として加えられた主要点は次のごとくです。

- ・ FL290 以上での RVSM 施行に合わせ、1,000ft 垂直間隔でレベルオフする相手機による無用の警報を減らすため alert threshold を小さくした。
- ・ 相手機のレベルオフ時の警報を減らすため 5 秒間、相手機の操作を待つこととした。
- ・ 相手機が協調した RA に従わないか、RA に反する操作をしているとき、9 秒の猶予を持って、RA の反転が出されるようにした。(6.04a では RA の増強のみでした。)

2000 年 1 月のヨーロッパの ACAS 義務化は Version 7 と指定されていましたが、機体の改修が間に合わず 2001 年 3 月まで持ち越されたものもありました。ICAO Annex 6 の ACAS 義務化は全て Version 7 またはそれ以降の物を搭載するとされています。

6 . 質問応答の基本ロジック

TCAS は航空管制の二次レーダーと同じ周波数、質問 1,030MHz、応答 1,090MHz、を使っています。TCAS 搭載機については、Mode S トランスポンダーが地上空中とも 1 秒に 1 回送信する機体固有の Mode S アドレスを基礎データとして、接近機に個別に質問して応答を求めます。Mode S アドレスは ICAO により定められたもので、国籍符号から始まる機体固有のアドレスです。Mode C 搭載機については原則として 1 秒に 1 回 Mode C 質問電波を送り、その応答を基礎データとします。関係機の近接を検知すれば質問間隔は短くなり、混雑した空域で電波が飽和状態に近づくと質問間隔を長くして混信を避けるようになっています。TCAS Directional Antenna は質問電波を 4 方向に分けて送信を行い、質問電波の出力を複雑に変化させて距離的に近い複数の応答信号を識別するようになっています。こういうロジックですので、混雑した空域では TCAS の性能が意図的に下げられます。このため目視で見える機体が Traffic Display に映らないということもありますが、TA/RA に関係する領域には影響しません。TA/RA が出る場合は必ずディスプレイに出るようになっています。

(次回に続く)