

モードSトランスポンダの応答遅延特性の計測

監視通信領域 ※角張 泰之、古賀 禎

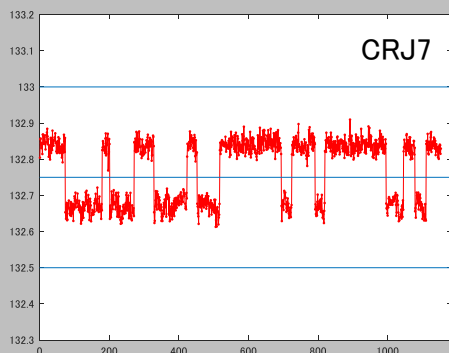
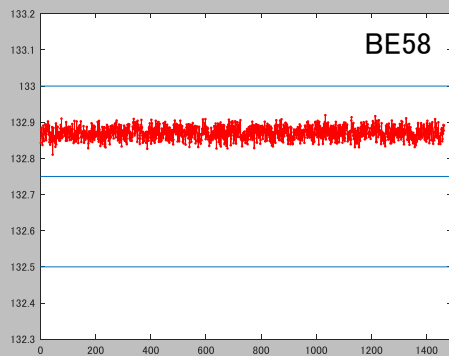


図2. モードSトランスポンダの応答遅延時間の計測例
(1ヶ月分のデータを航空機毎にまとめたため、複数のフライト分が連続的にプロットされている)

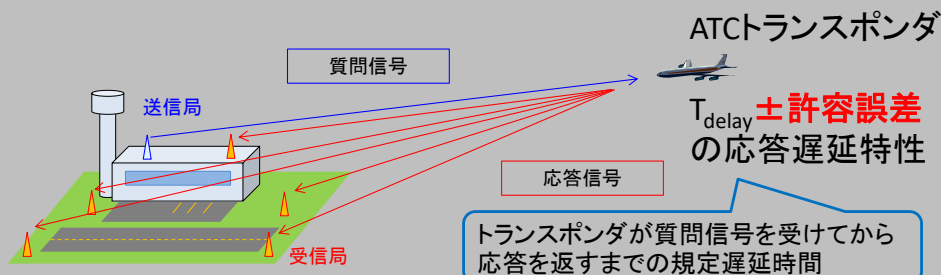
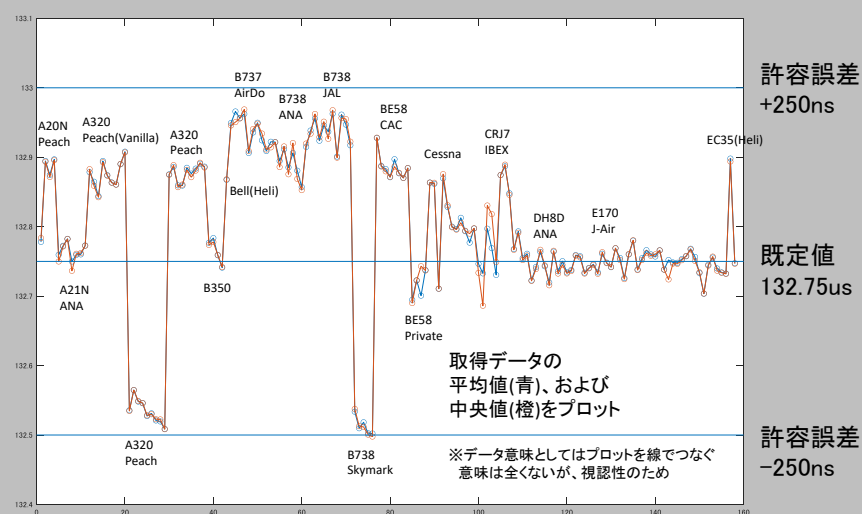


図1. ATCTトランスポンダの応答遅延



【計測実験の目的】

マルチラテレーション(MLAT)やADS-Bなど二次監視レーダシステム(ATCRBS)の派生技術を用いた航空機監視システムの認知や普及が進んでいる。SSRやMLATによる空港周辺監視などの質問・応答を原理とする監視では、ICAO Annex10(※)で規定されているATCTランスポンダ装置に対する応答遅延時間の許容誤差が潜在的な位置誤差として存在する(図1)。例えばモードS応答ではその許容誤差は±250nsと規定されているが、これは電波の速さでは75mに相当する時間である。

運航中の航空機における実際の応答遅延時間を広く正確に計測し、許容値と比較すれば、監視性能をより定量的な指標として得ることが可能となり、監視システムの利用者にとって有益である。またリアルタイムの計測・判断を行えば、指標値ではなく、個別の機体毎・フライト毎に監視性能値を見積もることも可能である。

【計測方法】

仙台空港に設置した実験用MLAT装置(OCTPASS)を用い、運航中の航空機におけるモードSトランスポンダの応答遅延特性を計測した。OCTPASSは受信した信号の時刻を非常に正確(数ナノ秒レベル)に計測できる特徴を有しており、これを活用した。具体的には、OCTPASSが送信した質問信号に呼応した応答信号を、受動監視(双曲線測位)により算出すると、「位置」の他に「当該応答信号の送信時刻」が推定できることを利用し、応答遅延時間を計測した。

【計測結果】

トランスポンダ信号の送信時刻の推定精度を表す指数としてTDOPがあるが、この値が良好なエリアを計測エリアとして設定し、1ヶ月程度のデータ取得期間中、このエリアを走行した全158機の航空機の応答遅延特性を取得した。

図2は、1ヶ月分のデータを航空機毎にプロットしたもの的一部分である。計測期間において、同じ航空機が何度も計測エリアを走行するため、複数のフライト分が連続的にプロットされている。上段の機体(BE58)は若干遅延が大きい傾向が見えるが、1ヶ月のデータを通して、傾向の変化は見られない事が分かる。下段(CRJ7)は、フライト毎に応答遅延特性が変動する様子が伺える。

図3は、収集した158機のデータを、機種毎・運航者毎・登録番号(モードSアドレス)順にソートし、応答遅延時間の平均値と中央値をプロットしたものである。158機全てにおいて許容誤差を大きく逸脱した航空機はいなかったが、機体毎・運航会社毎等の分類により、特性に特徴が現れることが分かった。

※ ICAO Annex 10, Vol 4

3.1.2.10.3.8.2 Reply delay and jitter for Mode S.

For all input signal levels between MTL and -21 dBm, the leading edge of the first preamble pulse of the reply shall occur 128 plus or minus 0.25 microsecond after the sync phase reversal of the received P6. The jitter of the reply delay shall not exceed 0.08 microsecond, peak (99.9 percentile).

本稿の図では、質問信号の同期位相反転(the sync phase reversal)ではなく、信号のP1パルスからの時刻で表記しているため、 $132.75 \pm 0.25 \mu s$ となっている。