# 2．衛星を利用した自己同期型 ADS の概念

衛星技術部　　※住谷　泰人　　石出　明

## 1.　はじめに

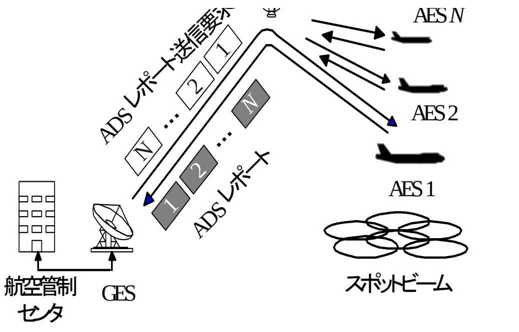
洋上管制では，従来，航空機の位置通報のために，短波の無線電話が用いられてきた。しかし近年，一部では，航空機の位置通報に，衛星を利用した自動位置情報伝送・監視機能(ADS: Automatic Dependent Surveillance,旧称:自動従属監視)が試行運用されている。ADS は，航空機に搭載された航法装置に基づく位置情報を，航空機から地上の航空管制センタに，データ通信を用いて自動的かつ定期的に伝送するシステムである。これにより，航空管制センタでは，上空を飛行する航空機の位置をリアルタイムで監視できる。

電子航法研究所では，これまでに，国際民間航空機関(ICAO: International Civil Aviation Organization)の衛星データ通信技術基準(AMSS SARPs: Aeronautical Mobile Satellite service Standards and Recommended Practices)に基づき，ADS の実験システムの開発やデータ伝送性能の評価を行ってきた。このなかで，従来の ADS では，プロトコルに基づく伝送遅延時間の増加が課題であることが分かっている。このため，これまでに簡易なプロトコルで伝送遅延時間を短縮する方式として，ポーリング方式 ADS を提案してきた[1]。しかし，伝送チャネル数の問題や，高い伝送速度の際等にチャネルの利用効率が低下する問題等がある。本稿では，ポーリング方式 ADS の問題点を改善できる方式として，GPS の時刻を ADS レポート送信時刻の制御に適用した自己同期型の ADS について検討した結果を報告する。

## 2.　ADSの概要

### 2.1.　ポーリング方式ADS

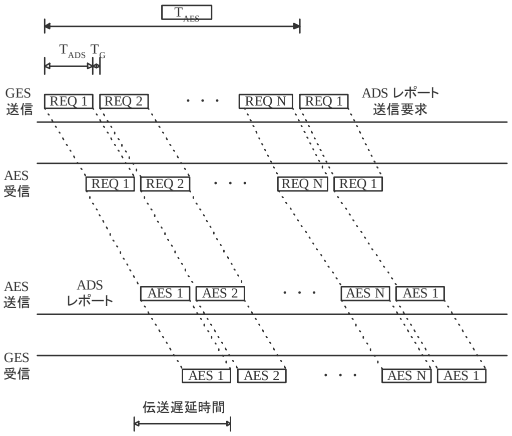
ポーリング方式 ADS は，航空機の ADS 情報を取得するための質問を行い，それに基づく応答で情報を取得する方式である。図 1 にこの方式の概念を示す。図 1 のとおり，地上の航空管制センタから，衛星のスポットビーム内の各航空機に対し，ADS レポートと呼ばれる ADS 情報の送信要求を行う。送信要求を受けた航空機は，航空機上で持つ最新の位置情報から ADS レポートを作成し，応答する。各航空機と航空管制センタでこの質問応答の動作を繰り返し，一定周期で各航空機の位置を監視できる。ポーリング方式において，衛星は原理上，静止衛星と周回衛星のどちらでも利用できる。しかし，現在，及び近い将来の航空管制での使用を想定し，本稿の検討は静止衛星で行った。なお，静止衛星である運輸多目的衛星(MTSAT: Multi-functional Transport Satellite)やインマルサット第三世代衛星では，グローバルビームとスポットビームの両方が利用できる。グローバルビームを利用する場合，小型の航空機でも使用できる低利得アンテナ(利得 0dB)を用いると伝送速度の上限は 1.2～2.4kbps と考えられる。航空機に低利得アンテナを用いた場合には，伝送遅延時間を縮小し，処理容量を向上させるために，さらに伝送速度を増加させる必要がある。このため，本稿では衛星のスポットビームを利用するものとした。




GES:航空地球局,AES:航空機地球局(1,･･･N は局数)

図 1　ポーリング方式 ADS の概念図

また，航空機の監視精度は位置情報の精度と位置情報の更新間隔に依存する。現在，北太平洋航空路(NOPAC: North Pacific route)の ADS は 16 分，国内エンルートにおける 2 次監視レ




GES:航空地球局,AES:航空機地球局(1,･･･N は局数)

図 2　ポーリング方式 ADS のタイムチャート

ーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)の更新間隔は 10 秒である。ここでは，SSR 相当の更新間隔を実現するものとした。

図 2 にポーリング方式 ADS のタイムチャートを示す。この方式では各 AES 当たりの ADS レポート伝送間隔 $T_{AES}$ 内で, 同一チャネルで異なる航空機に伝送される ADS レポートとの衝突を防ぐため，互いに重ならないようバースト信号長 $T_{ADS}$ とは別にガードタイム $T_G$ が設けられている。ADS レポートの情報量を 19octet とすると，ガードタイムは GES からスポットビーム内の AES までの往復距離の差の最大値から求め，0.04 秒となる。また，ADS レポートのバースト信号長は伝送速度 4.8kbps で 0.1269 秒，10.5kbps で 0.0846 秒である。このときのポーリング方式 ADS における伝送遅延時間を表 1 に示す。伝送速度 4.8kbps で 1.3 秒, 10.5kbps で 1.1 秒と予測されている[2]。

ポーリング方式 ADS には，ADS レポートの伝送チャネルと同数分, ADS レポート送信要求の伝送チャネルを必要とする問題がある。また, ADS レポート送信要求の伝送と ADS レポートの伝送の両方を含む衛星－航空機間の往復分のガードタイムが必要である。次に，これらを改善できる自己同期型 ADS について説明する。

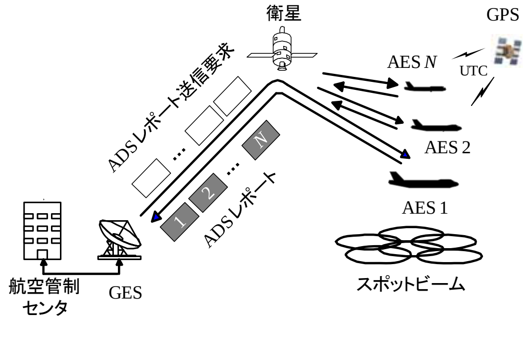
### 2.2.　自己同期型ADS

図 3 に衛星を用いた自己同期型 ADS の概念を示す。自己同期型 ADS も，ポーリング方式 ADS と同様, 地上から衛星のスポットビーム内の各航空機に対しての ADS であるとした。この場合, 送信スロットは GPS の時刻に基づき，一定周期で各航空機に割り当てられる設定を行う。これにより，ADS レポートも，各航空機から一定の間隔で伝送できる。ADS レポートの送信要求は ADS の開始時にのみ必要であり，その際に送信スロット番号が割り当てられる。このため, ADS レポート送信要求の伝送チャネルは複数の ADS レポートの伝送チャネルで共用できる。ガードタイムは ADS レポートの伝送のみを考慮すればよいため，ポーリング方式の半分と見積もることができる。

表 1　チャネルレート別の伝送遅延時間

| チャネルレート(kbps) | 遅延時間(s) |
|---|---|
| 0.6 | 2.9 |
| 1.2 | 1.9 |
| 2.4 | 1.4 |
| 4.8 | 1.3 |
| 10.5 | 1.1 |

図 4 は，伝送速度 4.8kbps の場合における自己同期型 ADS の送信スロットの構造例である。ADS レポートは，10 秒周期で各航空機に送信




GES:航空地球局,AES:航空機地球局(1,･･･N は局数)

図 3　自己同期型 ADS の概念

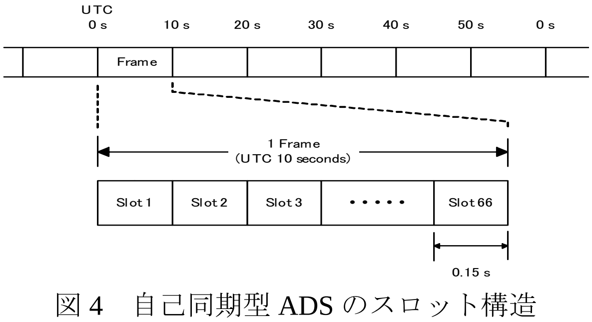



図 4　自己同期型 ADS のスロット構造
(チャネルレート 4.8kbps)

スロットが割り当てられるものとした。送信スロット幅はバースト信号長である 0.1269 秒とガードタイムである 0.02 秒の和(約 0.15 秒)であるため，スロット数を 66 に設定した。例えば 10.5kbps の場合では，送信スロット幅はバースト信号長 0.0846 秒とガードタイムである 0.02 秒の和(約 0.11 秒)であるため，スロット数が 90 に設定される。

図 5 に ADS レポートの伝送におけるスロットの状態を示す。まず，AES 1 は AES 1 宛の ADS レポート送信要求を受信する。その後，AES は決められたスロット(例えば slot1)で定期的に ADS レポートを送信する。次に AES2 宛の ADS レポート送信要求を受信した場合，AES1 の ADS レポート送信のための予約済スロット(slot1)以外のスロット(例えば slot2)を予約して，定期的に AES2 の ADS レポートを送信する。AES3 以下は，これと同様にして通信できる。なお，実際の運用環境では各 AES が ADS を開始するのはランダムになる。このため，各 AES からの ADS レポート送信要求はランダムに発生するものと考える。

## 3.　自己同期型ADSの検討

自己同期型 ADS を検討するため，ポーリング方式 ADS と，AES 数とスループットの関係やレポート損失について比較検討してみた。

### 3.1.　AES数とスループット

図 6 は 1 チャネルあたりの AES 数とスループットの関係を伝送速度 4.8kbps と 10.5kbps で計算した結果である。なお，スループットは ADS レポートのバースト信号が回線を占有する時間率(%)と定義した。

ポーリング方式 ADS では､伝送速度 4.8kbps の場合、1 チャネルあたりの AES 数は 59 機、スループット約 75%まで、伝送速度 10.5kbps の場合、AES 数は 80 機、スループット約 68%まで処理できる。自己同期型 ADS では、伝送速度 4.8kbps の場合、1 チャネルあたりの AES 数は 66 機、スループット約 84%まで、伝送速度 10.5kbps の場合、AES 数は 90 機、スループット約 76%まで処理できる。以上から，自己同期型 ADS では､ポーリング方式 ADS に比べ，処理できる AES 数やスループットが 1 割以上増加していることがわかる。

### 3.2.　ADSレポート損失

ADS レポート損失を，ADS レポート送信要

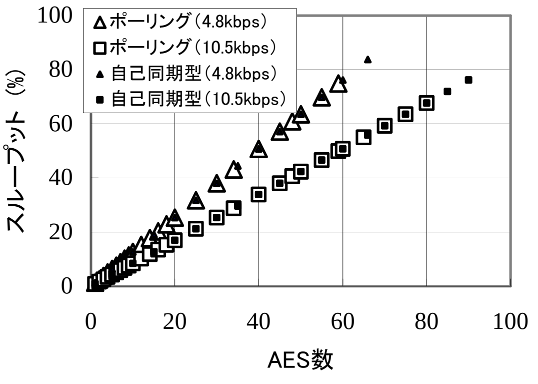



図 6　AES 数とスループット

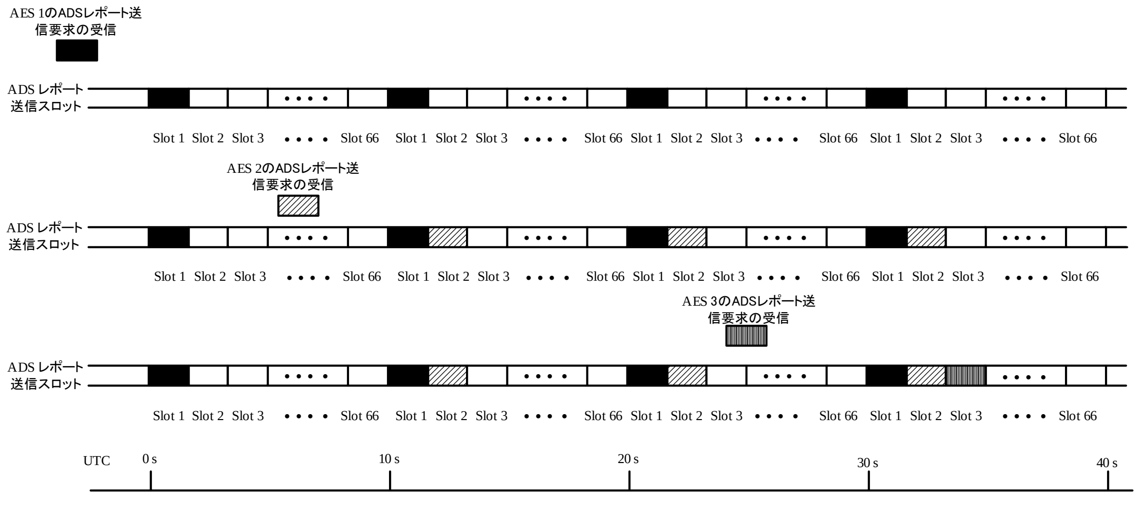



図 5　自己同期型 ADS のスロットの状態

求は送信したが、ADS レポートが GES に正しく到着しない場合と定義する。ポーリング方式 ADS における ADS レポート損失は、ADS レポート送信要求が AES に正しく届かない時と，ADS レポート送信要求は AES に正しく届くが ADS レポートは GES に正しく届かない時の和と考えられる。GES から AES に伝送するフォワード回線において，$M$ ビットの情報データを持つ ADS レポート送信要求が AES に正しく届かない割合 $P_{RQ}$ は，

$$P_{RQ} = P_{fUW}\left[1-\left(1-P_{fb}\right)^{M}\right]+\left(1-P_{fUW}\right) \quad (1)$$

$P_{fUW}$:ユニークワード検出確率(フォワード回線)

$P_{fb}$:ビット誤り率(フォワード回線)

で表される。

また AES から GES に伝送するリターン回線において $N$ ビットの情報データを持つ ADS レポートが正しく届かない割合 $P_{REP}$ は，

$$P_{REP} = P_{rUW}\left[1-\left(1-P_{rb}\right)^{N}\right]+\left(1-P_{rUW}\right) \quad (2)$$

$P_{rUW}$:ユニークワード検出確率(リターン回線)

$P_{rb}$:ビット誤り率(リターン回線)

で表される。

よって、このときの ADS レポート損失の割合(損失率) $P_{ADS}$ は

$$P_{ADS} = P_{RQ} + (1-P_{RQ})P_{REP} \quad (3)$$

となる。

一方，自己同期型 ADS では，ADS レポート送信要求は最初だけに必要であるため，ADS レポート損失率はリターン回線で ADS レポートが GES に正しく届かない割合とほぼ等しいと考えられる。このため、$P_{ADS}$ は

$$P_{ADS} \approx P_{REP} \quad (4)$$

と表せる。

図 7 に、(3),(4)式から求めた ADS レポート損失率とビット誤り率 $P_{fb}$, $P_{rb}$ との関係を示す。なお，ADS レポート送信要求と ADS レポートのデータフォーマット及びバースト信号フォーマットは同一とした。

ポーリング方式 ADS の場合、$P_{fb}$ と $P_{rb}$ が $10^{-5}$ のときの $P_{ADS}$ は $3\times10^{-3}$ であるが、自己同期型 ADS の場合は $P_{rb}$ が $10^{-5}$ のときの $P_{ADS}$ は 1.5

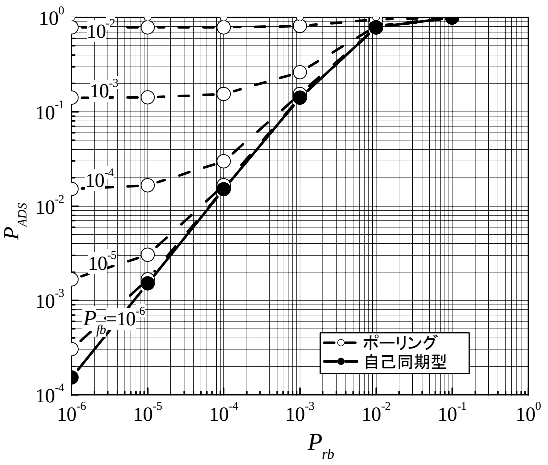



図 7　ADS レポート損失の割合

$\times10^{-3}$ であり，ADS レポート損失率は半分に改善できることがわかった。

## 4.　おわりに

ポーリング方式 ADS の問題点を改善できる自己同期型 ADS について検討した。この結果，ポーリング方式 ADS より ADS レポート送信要求の伝送チャネル数を減少でき，1 チャネル当たりの AES 数や伝送効率が 1 割以上改善できることがわかった。また，ADS レポート損失率も半分に改善できることがわかった。今後は，さらに詳細なシミュレーションを実施したいと考える。

## [参考文献]


[1]石出他:”衛星利用 ADS の伝送特性改善について”,第 2 回電子航法研究所発表会, 2002.6

[2]石出他:”ポーリング方式 ADS の伝送特性”, 信学総大 B-2-38,2003.3

[3]石出:”衛星を用いた自己同期型 ADS の概念について”,信学技報 SANE,2003.7

[4]住谷他:”Concept of Self- synchronized ADS using Satellite”, NexSAT 3rd Steering Group Meeting WP3, 2003.10