

7. コンフリクト検出における予測時間の一解析

航空交通管理領域 ※瀬之口 敦、福田 豊

1. はじめに

航空交通の安全のために、航空管制官は航空機間に管制間隔を確保する必要がある。^[1] 航空機が接近し、水平方向および垂直方向どちらの管制間隔も確保できない状態をコンフリクトとここでは定義する。もし万が一に管制官がコンフリクトを放置し続けた場合には、空中衝突事故が起こるかもしれない。管制官は常に管制間隔に気を配り、コンフリクトを避けつつ解消している。

ICAO（国際民間航空機関）の発行した“Global Air Traffic Management Operational Concept”では、コンフリクト管理について次のように述べている。^[2]

- ・コンフリクト管理によって航空機と危険事象の衝突リスクは許容できる段階まで抑制される
- ・コンフリクト管理は戦略的コンフリクト管理・間隔付け・衝突回避の3つの層で構成される
- ・戦略的コンフリクト管理の層から順に、各層が最適に機能することが望まれる

管制官が業務で扱う管制卓にはコンフリクト警報機能が備わっている。^[3] この機能は現在の位置や高度、対地速度や垂直速度等を用いて航空機の位置を予測する。そして、3分先までのコンフリクトを検出した場合には管制卓に警報を表示し、管制官に注意を促す。したがって、コンフリクト警報機能はICAOのコンフリクト管理における間隔付けの層で意味を成す機能と考えられる。

欧州では、さらなる航空交通の安全性のために国境間やターミナル・エンルート間等、様々な意味で継ぎ目のないATM（航空交通管理）を追求している。そのため、関連のある諸々の実行計画や制度、システムについて検討を行っている。^[4] 主な活動項目は次のとおりである。

- ・欧州の安全のための法律や規定の実施および支援
- ・インシデントの報告と情報共有

- ・日常の業務におけるリスク評価と軽減
- ・システムによる安全対策
- ・安全管理の促進

「システムによる安全対策」では地上ベースの安全網をさらに進化させるための概念や戦略、予定表を打ち立てる一環として、コンフリクト警報機能に相当するシステムの仕様についても検討され、まとめられている。^[5]

このような流れを受け、日本においてもコンフリクト警報機能について検討することが大事である。コンフリクト警報機能の予測時間ほどのくらいが適当か、安全で効率的な検出間隔、航空交通流とコンフリクト警報の関連等、検討課題は多い。

これまで、電子航法研究所ではコンフリクト検出手法における水平方向と垂直方向の予測誤差について解析してきた。^{[6][7]} また、フライトデータを用いたコンフリクト検出手法による予測誤差の低減について検討してきた。^{[8]-[10]} フライトデータとは対地速度、垂直速度、磁針路、選択高度といった機上のFMS（飛行管理システム）で管理されている情報のことである。

今回の発表ではコンフリクト警報機能における予測時間と警報数の関係を検討するために、予測時間に焦点をあてて計算機シミュレーションを行った結果について報告する。まず、コンフリクト警報機能と既存の2種類の検出手法について説明する。次に、シミュレーション環境について述べる。最後に、シミュレーション結果を示す。

2. コンフリクト警報機能

図1にコンフリクト警報の表示例を示す。三角形が航空機の位置を示し、コールサインや高度関連情報、型式、対地速度等を示すデータブロックが付いている。コンフリクト警報機能によって将来的なコンフリクトが検出されると、対象航空機のデータブロック中に“CNF”が点灯し、コンフリクト警報のリスト（図1では左上にあるリスト）も更新される。

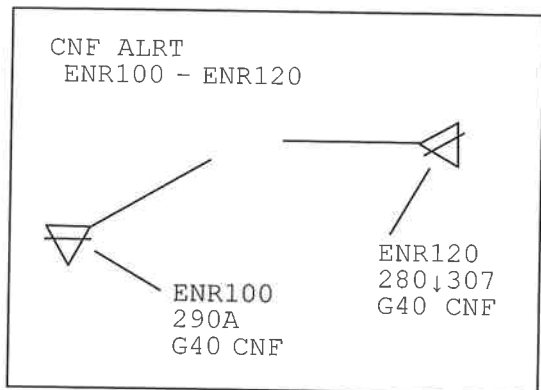


図1 コンフリクト警報

次に、コンフリクト検出手法について説明する。現状の検出手法は2種類あり、LP-CDM (Linear Prediction - Conflict Detection Method) およびFP-CDM (Flight Plan - Conflict Detection Method) とここでは呼ぶことにする。

2.1 LP-CDM

図2にLP-CDMの概念図を示す。

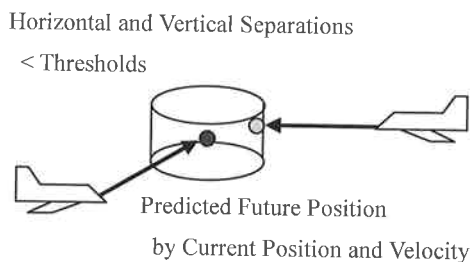


図2 LP-CDM

航空機*i*の位置を $\mathbf{x}_i(t)$ 、速度を $\mathbf{v}_i(t)$ とする。 t は時刻である。LP-CDMは航空機が等速直線運動で飛行すると仮定し、時刻 $t + \tau$ における航空機*i*の予測位置 $\mathbf{p}_i(t, \tau)$ を予測する。したがって、予測位置 $\mathbf{p}_i(t, \tau)$ は式(1)により求まる。

$$\mathbf{p}_i(t, \tau) = \mathbf{x}_i(t) + \tau \cdot \mathbf{v}_i(t) \quad (1)$$

予測時間 T_p を定義すると、コンフリクト検出機能は τ を $0 \leq \tau \leq T_p$ の範囲で変化させ、航空機*i*の予測位置 $\mathbf{p}_i(t, \tau) = (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi})$ と航空機*j*の予測位置 $\mathbf{p}_j(t, \tau) = (p_{xj}, p_{yj}, p_{zj})$ の接近時刻を水平方向と垂直方向で別々に求めながら、式(2)および式(3)による検出間隔の判定を行う。もし式(2)と式(3)が同時に満足されれば、コンフリク

トとみなす。 $R_{horizontal}$ および $R_{vertical}$ はそれぞれ水平方向と垂直方向のコンフリクトの検出間隔である。

$$\sqrt{(p_{xi} - p_{xj})^2 + (p_{yi} - p_{yj})^2} \leq R_{horizontal} \quad (2)$$

$$|p_{zi} - p_{zj}| \leq R_{vertical} \quad (3)$$

毎時間、LP-CDMは全ての航空機ペア(i, j)に対して、上記の判定を行う。

2.2 FP-CDM

図3にFP-CDMの概念図を示す。

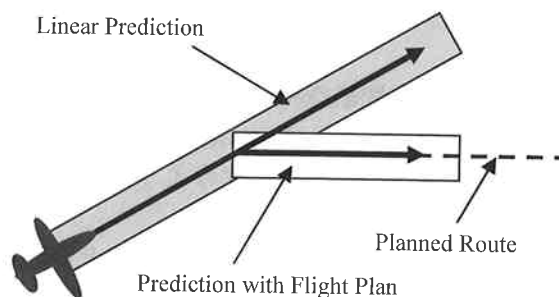


図3 FP-CDM

LP-CDMと比較して、FP-CDMは飛行計画情報を利用する点異なる。飛行計画情報には航空機が飛行を予定している経路に関する情報について、ウェイポイントを繋げた書式で記されている。そこで、FP-CDMは航空機が計画された経路を飛行しているかどうか判定し、経路上にあると判定すれば予測線分を計画された経路に沿って伸ばす。したがって、その際の予測線分はウェイポイントに従い折れ曲がる。経路上でないと判定した場合は、LP-CDMと全く同様である。

3. シミュレーション環境

ここでは、運用環境を模擬したシミュレーション環境について述べる。

実際の航空交通を模擬するため、東京航空交通管制部のレーダデータと飛行計画情報を利用した。UTC (協定世界時) で2006年8月25日1時から2時までの計1時間分の交通量である。この1時間は対象航空機が409機と、2006年8月20日15時から27日15時までの間で最も交

通量が多かった時間帯であった。

また、コンフリクトの検出間隔についても日本の航空路で運用されているRDP（レーダ情報処理システム）のシステムパラメータを参考に決定した。水平方向の検出間隔 $R_{horizontal}$ は5 NM（1 NM = 1,852 m）、垂直方向の検出間隔 $R_{vertical}$ は41,000 ft（1 ft = 0.3048 m）以下では700 ft、41,000 ft超では1,600 ftとした。

4. シミュレーション結果

以上に述べた環境下で、コンフリクト警報機能における予測時間と警報数の関係を検討するために、予測時間に焦点をあてて計算機シミュレーションを行った。具体的には予測時間 T_p を変化させたときのコンフリクト警報数を計測した。

図4に予測時間とコンフリクト警報数についてのシミュレーション結果を示す。水平軸が予測時間である。黒四角がLP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数、黒三角がFP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数を表す。なお、コンフリクト警報数の単位を航空機ペアとしたので、コンフリクト警報の持続時間は考慮していない。また、同一航空機ペアによるコンフリクト警報はシミュレーション中に何度発生しても1ペアと計測した。

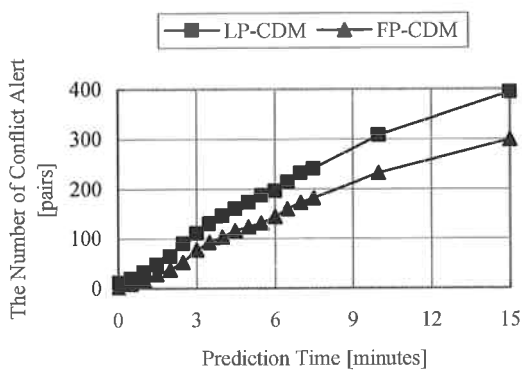


図4 予測時間とコンフリクト警報数

予測時間が0分から15分の範囲においては、LP-CDMを用いる場合のコンフリクト警報数とFP-CDMを用いる場合のコンフリクト警報数どちらも予測時間の長さにはほぼ比例することがわ

かる。LP-CDMを用いる場合のコンフリクト警報数は予測時間1分につき約27.5ペア、FP-CDMを用いる場合のコンフリクト警報数は約21.6ペア増減する。

図5にLP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数とFP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数の相関を調べた結果を示す。水平軸はLP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数を、垂直軸はFP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数を表す。丸印は予測時間ごとのコンフリクト警報数である。また、回帰直線と回帰式、相関係数も図5に示した。

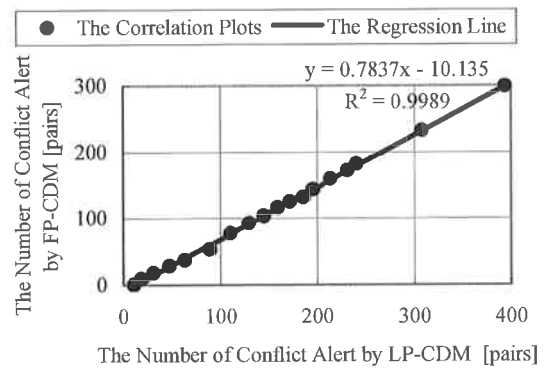


図5 LP-CDMを用いた場合とFP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数の相関

相関係数が0.9989であるので、LP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数とFP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数の間には相関がみられる。回帰直線の傾きより、FP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数はLP-CDMを用いた場合のコンフリクト警報数1ペアの増減につき約0.78ペアだけ増減する。したがって、等しい予測時間の場合、コンフリクト警報数の多い範囲においてはFP-CDMを用いた場合にはLP-CDMを用いる場合よりも22%ほどコンフリクト警報数が減少するといえる。これはFP-CDMがLP-CDMに加えてさらに飛行計画情報を利用するコンフリクト検出手法であるためと考えられる。一方の航空機が経路上をまっすぐに飛行し、もう一方の航空機がその経路に交差する角度から接近して平行に対向した場合等における検出の有無があるかもしれない。これ

らの場合における LP-CDM のコンフリクト警報は管制官にとって不必要な可能性がある。

5. まとめ

この発表では、コンフリクト警報機能と既存の2種類の検出手法、LP-CDM と FP-CDM について説明した。航空機の位置を予測する際、LP-CDM は現在の航空機の位置と速度を用いて直線的に予測位置を求める。FP-CDM は LP-CDM を基本としてさらに飛行計画情報を利用する。

次に、シミュレーション環境について述べた。シミュレーションでは実際の航空交通を模擬するため、対象航空機が409機と非常に交通量の多い1時間を取り扱った。コンフリクトの検出間隔については水平方向5NM、垂直方向は41,000ft以下では700ft、41,000ft超では1,600ftとした。

以上を踏まえ、予測時間とコンフリクト警報数についてのシミュレーションを行った。その結果、予測時間が0分から15分の範囲においては、LP-CDM を用いる場合のコンフリクト警報数とFP-CDM を用いる場合のコンフリクト警報数どちらも予測時間の長さにはほぼ比例することがわかった。また、LP-CDM を用いた場合のコンフリクト警報数とFP-CDM を用いた場合のコンフリクト警報数の間には相関がみられた。コンフリクト警報数の多い範囲においては、FP-CDM を用いた場合にはLP-CDM を用いる場合よりも22%ほどコンフリクト警報数が減少する。

今回の発表では、コンフリクト警報機能における予測時間に焦点をあてた計算機シミュレーションについて報告した。しかし、コンフリクト警報の解析には予測時間だけでなく、検出間隔や航空交通量等も含めた検討も必要である。これは今後の課題とする。

また、電子航法研究所では機上側のフライトデータを地上側でも利用可能とした場合の新しいコンフリクト検出手法について研究している。この新しいコンフリクト検出手法は不必要なコンフリクト警報やコンフリクト警報の検出遅れを低減できると期待している。この実証についても今後の課題としたい。

謝辞

レーダデータ等をご提供いただきました国土交通省航空局の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] “航空管制入門”，財団法人航空交通管制協会 発行，1999.
- [2] “Global Air Traffic Management Operational Concept”，Doc.9854，ICAO 発行，2005.
- [3] “RDP システム概論”，NTT データ通信株式会社 編集，財団法人航空振興財団 発行，1997.
- [4] “The European Safety Programme (ESP) for ATM”，EUROCONTROL 発行，Feb. 2006.
- [5] “EUROCONTROL Specification for Short Term Conflict Alert”，EUROCONTROL 発行，Dec. 2006.
- [6] 瀬之口敦・福田豊，“コンフリクト検出に用いる高度予測モデルの提案”，SANE2005-91，信学技法 Vol.105 No.574 pp.19-24，Jan. 2006.
- [7] 瀬之口敦・福田豊，“コンフリクト検出における水平面位置予測に関する一解析”，SANE2006-101，信学技法 Vol.106 No.329 pp.19-24，Oct. 2006.
- [8] 福田豊，“航空機の動態情報を利用する近接検出手法”，SANE2002-82 SAT2002-164，信学技法，Feb. 2003.
- [9] 瀬之口敦・福田豊，“航空機の将来高度の予測に関する解析”，SANE2003-102，信学技法 Vol.103 No.636 pp.53-59，Jan. 2004.
- [10] 福田豊・瀬之口敦，“航空管制卓における異常接近警報機能の研究開発”，SSS2006-18，信学技法，Oct. 2006.