

4. 中期コンフリクト検出技術の必要性と課題

航空交通管理領域 ※平林博子，瀬之口敦，白川昌之

1 はじめに

世界の航空交通需要は、今後特にアジア太平洋地域において高い伸び率を示すと予測されている。高まる航空交通需要に応じつつ、航空交通の効率性と安全性を向上させるために、国際民間航空機関（ICAO: International Civil Aviation Organization）の GANP（Global Air Navigation Plan）^[1] では、出発から到着まで航空機の軌道を時間も含めて管理する軌道ベース運用（TBO: Trajectory Based Operation）を取り入れた航空交通管理（ATM: Air Traffic Management）が将来の方向性として示されており、導入に必要な環境をいつまでに整えていくかを ASBUs（Aviation System Block Upgrades）^[2] に示している。日本における将来の航空交通システムは ICAO の提唱に準拠すべく、将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS: Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems）^[3] において変革を実現化していくための指標の設定、目標の達成度の検証等が行われている。CARATS のロードマップによれば、2025 年頃には飛行中のリアルタイムな軌道修正に対応できるシステムが構築されていることが求められている。

航空機運航にとって効率的な飛行経路を目指す一方で、航空管制官のワークロードを低減し、安全な航空管制を遂行することが求められており、支援機能のひとつとしてコンフリクト検出技術がある。本稿では、20 分程度先の潜在的なコンフリクト「中期コンフリクト」を検出する技術（MTCD: Medium Term Conflict Detection）の必要性と現在考え得る技術的課題について報告する。

2 中期コンフリクト検出技術(MTCD)

2.1 中期コンフリクトとは

航空機間に維持する必要がある間隔（管制間隔）が満たされない状態がコンフリクト（Conflict）であり、航空機間の間隔がゼロにな

ると衝突（Collision）である。図 1 に ATM における管理状況のイメージを時間と空間軸で示す。コンフリクト検出は、セパレーション管理の一環となる。中期コンフリクトは一般的に、20 分程度先までの潜在的コンフリクトのことを指す。接近までの有余時間が 2~3 分程度先になると、「短期」コンフリクトとなる。図 2 に中期コンフリクト検出（MTCD）と短期コンフリクト警報（STCA）の概念図を示す。STCA は航空管制官にとってのセーフティネットであるのに対して、MTCD は軌道管理において航空管制官によるコンフリクト検出を支援する役割が強い。図 3 は ICAO の ATM RPP（Air Traffic Management Requirement and Performance Panel）から参照した図^[4]であり、軌道予測における予測精度の粒度と信頼性の階層構造を時間軸で表現したものである。中期コンフリクト検出に必要な 16 分程度先の軌道予測では、ほとんどの飛行が飛行中であり、2~3 分程度先の軌道予測と同程度の高い精度が必要とされる。

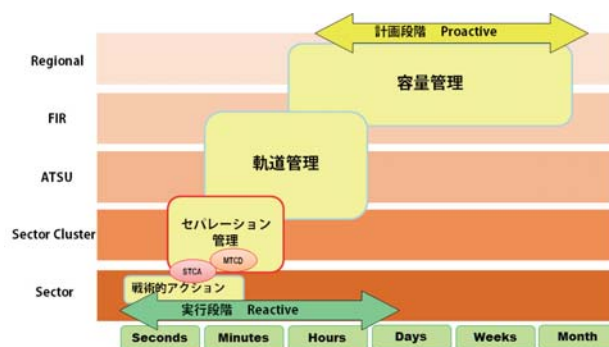


図 1 ATM における管理状況

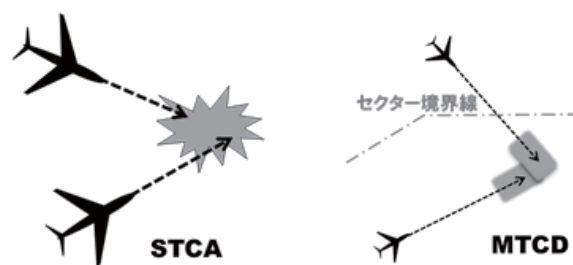


図 2 STCA と MTCD

2.2 航空管制における MTCD

現在行われている日本の航空路管制では、空域をいくつかのブロックに分けたセクター毎の管制を実施しており、ひとつのセクターにつき、レーダー対空席とレーダー調整席の組み合わせで管制業務を行うことが一般的である（図 4）。レーダー対空席は、直接パイロットと交信し、高度変更、針路変更等の管制指示を発出する役割を担い、レーダー調整席は、レーダー対空席の業務が円滑に遂行できるよう隣接する空域を管轄するセクターや管制機関と航空機の受け渡しに関する調整を行う席である。レーダー調整席の役割のひとつとして、航空機が計画通りに飛行を行うとコンフリクトの可能性のある潜在的コンフリクトを見つけだし、必要な措置を取る、または計画する役割がある。MTCD はコンフリクトまでの有余時間が比較的あるため、レーダー対空席だけではなく、他セクターに及ぼす影響も考慮した回避措置を計画するレーダー調整席に対して効果的な支援機能と成り得る。

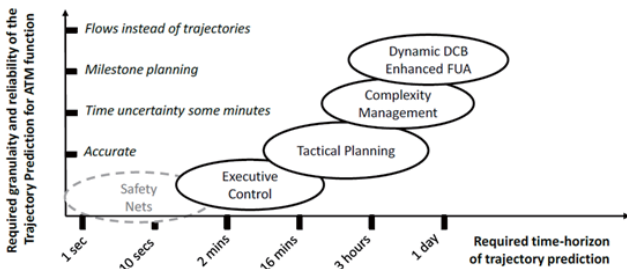


図 3 軌道予測に求められる精度

参照) Accuracy of the flight trajectory, ICAO ATM RPP, WP601, SESAR, Toulouse, March 2014



図 4 セクターにおける管制席

2.3 欧州における MTCD の要件

欧州では、システム要件の異なる各国間で調和のとれた運用を実現するため、航空管制支援ツールの要件が定義されている^[5]。その中では、MTCD には 3 つの検出機能が必要とされている。

- 航空機間コンフリクトの検出及び管制官への通知
- 不可侵空域への侵入の検出及び管制官への通知
- 計画するアクションをとることで、引き続いて起こる可能性のあるコンフリクトの検出と管制官への表示

飛行計画段階であるか、または飛行中の接近した段階（戦術的段階）であるかによって要求されるコンフリクト検出は異なってくる。一例として、戦術的段階になると、計画段階では検出されない針路変更等を反映し検出する必要がある。

典型的な MTCD の流れは次のとおりである^[6]。

1. システムは、例えば 20 分先の予測時間内で潜在的なコンフリクトを予測、検出し、計画管制官 (planner controller, 日本におけるレーダー調整席と近い役割を持つ管制席) に通知する。
 2. 計画管制官は、システムによって検出された情報の提供を受ける。
 3. 計画管制官は、システムが検出し評価した情報を基に、監視を続けるか、または何かしらのアクションを取るかを定める。ここでは“what-if”の機能が有効である。“what-if”機能は計画管制官に次の解決策を提供する。
 - (ア) 監視を続ける。
 - (イ) 空域への入出域条件を修正することで、解決する。
 - (ウ) コンフリクトは、レーダー管制官 (tactical controller, 日本におけるレーダー対空席) が取扱い解決できる戦術的レベルのものである。
- フランス及びイタリアの管制機関である DSNA 及び ENAV では、ERATO (En-Route Air Traffic Organizer)^[7]と呼ばれる MTCD ツールを開発中である。ERATO では、コンフリクト検出をタイムラインで示す等により、レーダー管制官と計画管制官の間で、タスクが共有できるよ

う工夫されている。また、このような支援ツールが発展することで計画管制官のタスクの助けとなるため、ひとつのセクターにレーダー対空席と調整席の二人配置（図4参照）から、ふたつのセクターに、二人のレーダー対空席と一人のマルチセクター計画席で対応することが可能となるとも述べられている^[8]。

2.4 日本における MTCD

日本における将来の航空交通管理は、CARATS の場で具体的な施策のロードマップが作成されている。MTCD に関しては、次期の管制システムへの対応が検討されており、さらに将来においては航空機からのダウンリンク情報 DAPs (Downlink Aircraft Parameters) を活用した MTCD 機能の高度化が視野に入れられている。

3 将来の管制運用における MTCD の有効性

3.1 フリールーティング空域

近い将来の日本の空域の構想として高高度空域の分離がある。高高度空域分離の目的のひとつは、航空機が自由に経路を選択し飛行するフリールーティング運用を実現することである。初期的なフリールーティング運用のイメージを図5に示す。運航者は、設定されたいくつかのウェイポイント間を自由に組み合わせて飛行経路を計画できる運用であり、より柔軟な経路設計を可能とする。フリールーティング運用が実現されると、季節や気象状況、空域制限等により経路パターンが変化し、現状よりもパターン数が増加する可能性が高い。経路パターン数の増加は、コンフリクトが発生する可能性の箇所の増加を引き起こすことが考えられ、コンフリクト検出機能による支援が効果的である。

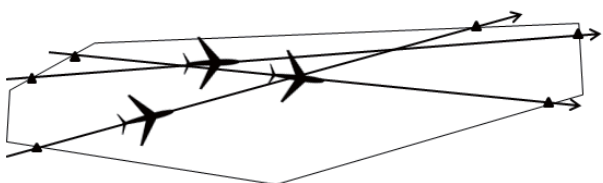


図5 ある空域でのフリールーティング運用のイメージ

3.2 TBO における動的な軌道修正

図6はTBOにおいて計画した軌道上に予測外の悪天が発生し、飛行中に軌道を変更する動的な軌道変更をイメージした図である。動的に軌道が修正・変更されることで、コンフリクト発生可能性箇所が日々変動することが考えられる。航空管制官のワークロードを低減し、安全な航空管制を遂行するために、コンフリクト検出技術が必要とされる。



図6 TBO における飛行中の軌道修正

4 MTCD 事例解析

航空路管制の運用では、交通流はセクターによって大きく異なり、それにより処理すべき運用ルールも異なってくる。セクター毎の MTCD の特徴及び検出頻度の推定のために、管制による間隔設定が介入する前の段階の計画軌道を用いて MTCD をカウントした。

4.1 MTCD カウント

4.1.1 対象セクター

対象セクターは、主に羽田空港の到着機を取り扱う関東南Aセクター及び出発機を取り扱う関東西セクターとした。各セクターの位置及び形状を図7に示す。黄色矢印が到着機の流れで、水色矢印が出発機の流れである。

4.1.2 運用ルール

各セクターには円滑な交通流を確保するために運用ルールが定められている。管制間隔だけではなく運用ルールも規定値と仮定し、規定値を下回るケースを潜在的コンフリクトとして MTCD をカウントした。対象は、2013年の1月及び9月の各1日で、0時 UTC~15時 UTC の15時間の飛行である。本解析で用いた運用ルールを表1に示す。実運用ではここで示すものよりも緻密な運用ルールが存在するが、本解析では傾向をつかむことを目的とし、おおまかなルールを設定した。

4.1.3 カウント結果

MTCD は、管制による間隔設定が介入する前の計画軌道を用いてカウントした。ファストタ

イムシミュレーターを使用し、飛行計画通りに飛行した場合の計画軌道を作成した。得られた軌道は航跡再生ツールにより再生し、10分から15分程度先には、あらかじめ決められた規定値を下回る可能性が高いケースを、対象セクターの管制経験者が抽出し潜在的コンフリクトとしてカウントした。

関東南Aセクターでの規定値を下回るケースをAS (Arrival Separation)、関東西セクターでの規定値を下回るケースをCS (Coordination Separation)、管制間隔5マイルの規定値を下回るケースをS (Separation)としてカウントした結果を表2に示す。なお、MTCDはペアでカウントし、関連した航空機数は()に示す。関東西セクターのCS及びSの機数はペア数のおよそ倍であるのに対して、関東南AセクターのASは倍よりも小さい数字である。これは、同時に関連した機数が多く存在することを意味する。図8は、ひとつのコンフリクトにおいて関連した機数の分布を表したものである。最も多いものでは15機が一度に関連したケースも検出されている。

関東南Aセクターでは、取り扱う交通のほとんどが羽田到着機であり、10マイル間隔の設定のために15時間で約300機の航空機になんらかの管制指示を発出する必要があることがわかる。

関東西セクターにおいては、季節による差が顕著に表れている。総機数に対し、1月のCS及びSの件数が9月よりも多い。冬季は強いジェット気流が北緯30度から40度付近に存在し、羽田空港を出発する西行き便の巡航高度が低高度に集中する傾向がある。このため、同一高度でのCSが多く発生した。

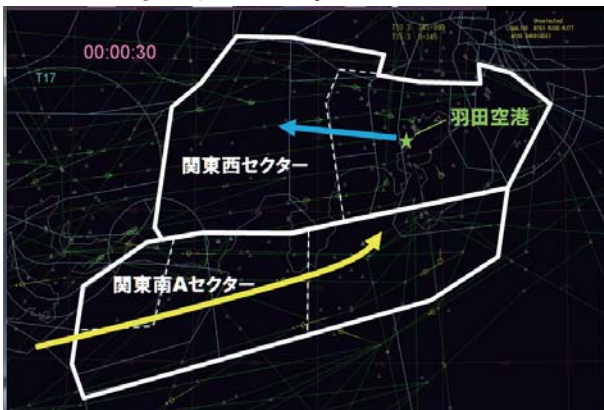


図7 関東南Aセクター及び関東西セクター

表1 解析でを使用した運用ルール

関東南Aセクター
・羽田空港到着機を同高度10マイルで次の管制セクターに渡す
関東西セクター
・出発機は巡航高度までの上昇状態で受け取る ・同高度同経路の飛行は20マイルで次の管制セクターに渡す

表2 MTCD カウント

1月	AS	CS	S	総機数
関東南A	194 (282)	-	0	429
関東西	-	27 (53)	12 (24)	579
9月	AS	CS	S	総機数
関東南A	204 (292)	-	0	448
関東西	-	7 (14)	9 (18)	642

ペア (機数)

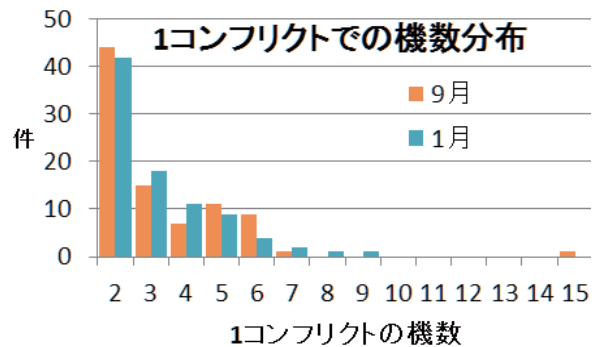


図8 一コンフリクトでの機数の分布 (関東南Aセクター)

4.2 MTCD と到着管理

関東南Aセクターと関東西セクターでは、セクター毎の地域特性により検出される中期コンフリクトの件数、傾向に違いがあった。特に関東南Aセクターでは、同時に複数機に対して羽田空港到着機への規定値を下回るケースが多く発生している。

図9は9月の関東南Aセクターのセクター入域機数及びASのカウント機数を時系列で示したものである。入域機数が多くなるとAS機数も増加することは容易に想像できる。1時、4時半、8時半ごろのAS機のピーク時は入域機数も多い。一方で、3時、10時ごろは総機数が多い状態でもASカウントはそれほど多くない。

入域機数は MTCD カウントと強い関連性はあるものの、必ずしも一致しているわけではない。

同日の西からの羽田空港到着機に関して、飛行計画経路通りに飛行した場合の飛行距離と、実際の航跡から算出した飛行距離を比較する解析を行った結果を図 10 に示す。飛行距離は羽田空港から 200NM 範囲のプロット情報から算出し、実際の飛行距離から飛行計画経路距離を減じた値を到着時刻の時系列で表している。飛行距離算出開始点は関東南 A セクターより西側であり、羽田空港まで約 40 分程度の飛行時間の地点である。羽田空港到着機の多くは、ショートカット等による運用から、飛行計画経路よりも短い距離で飛行できている。一方で、2 時、5 時、7 時、9 時頃にプラスとなるケースがいくつかある。これは、レーダー誘導により飛行距離が延伸したことを意味する。2 時、5 時及び 9 時頃は、30 分程度前の関東南 A セクターの AS 機数も多く、関連機が多くあるため、実飛行距離の延伸が発生していると推察される。しかし、飛行距離差がプラスにでているケースの多い 7 時に関連した 6 時半ごろの AS 機数はそれほど多くはない。MTCD では検出されないが、レーダー誘導が実施された航空機が多く存在していたことになる。

到着機の順序付けと間隔付を管理する到着管理システム (AMAN: Arrival Manager) の導入は将来の航空交通管理で重要視されている要素のひとつである。解析結果から、入域機数、MTCD 及び実際のレーダー誘導とのあいだに関連はあるものの、完全に一致していないことがわかった。関東南 A セクターのように大規模空港への到着機を一定間隔で送りだす必要がある場合は、同時に関連する航空機が多く存在することから、MTCD により潜在的コンフリクトを検出するだけでなく、到着管理システムが有効に適用できるセクターであることが示唆される。

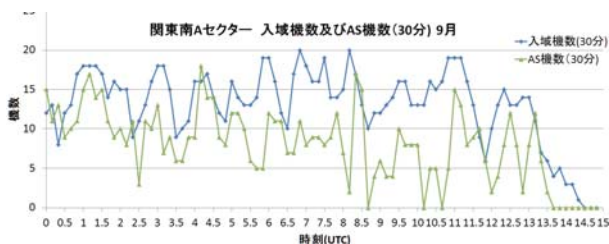


図 9 入域機数及び AS 機数（関東南 A 9 月）

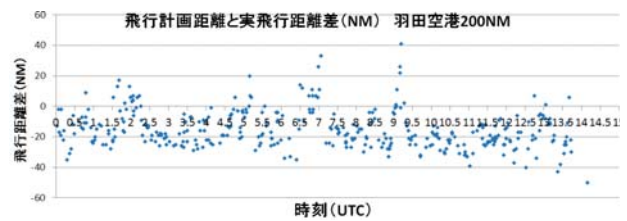


図 10 実飛行距離と飛行計画飛行距離比較

5 技術的課題

航空交通管理においては効率性と安全性の向上が期待されている。コンフリクトを検出し知らせる機能は、安全性を高めつつ効率的に管制業務を行うために、交通需要増加が予測される将来において不可欠である。特に、20 分程度先までの潜在的コンフリクトを検出する MTCD は、計画的な軌道管理を目指している将来の航空管制及び航空交通管理において有効である。

コンフリクト検出精度は、航空機の軌道予測に依存する。軌道予測の向上には今後航空機からのダウンリンク情報の活用が有効とされており、電子航法研究所では、SSR モード S 局の DAPs を利用した軌道予測技術を開発している。引き続き予測精度向上のための研究が求められる。

今回は事例解析として、管制運用ルールの規定値を下回るケースも MTCD カウントの対象とした。MTCD カウントは対象地域の管制経験のあるリタイアされた航空管制官の協力を得て行った。関東西セクターでの MTCD カウントでは、まだ出発していない航空機と当該セクターを通過する航空機との間の注意喚起が、計画的な管制を行う上で有効であるとの感想を得ている。MTCD カウントは、適切なタイミングで適切な数の潜在的コンフリクト検出が必要であり、今後はコンフリクト検出精度に応じた検出ロジック及びアルゴリズムの検討が必要である。

潜在的コンフリクトの発生をどのように航空管制官へ通知するかも重要な技術課題のひとつである。次期管制システムである統合管制情報処理システムの表示画面では、航跡等を表示するシチュエーション領域とは別に、支援情報を表示する領域が用意される計画となっている。MTCD は数十分程度先を予測するため、現状の航跡画面上だけでなく別画面上に表示すること

で、調整席での活用が有効となる。MTCDの有効的な活用には、見せ方の工夫が大切である。

今後は、これらの課題に取り組んでいくことで、日本の航空管制運用に適した、航空管制官への適切な通知を可能とする MTCD 検出精度要件を定義していくことを目標とする。

謝辞

飛行計画等運用に関する情報を提供してくださいました航空局の皆さま、並びに MTCD カウンタにご協力いただきました元航空管制官の岡田一美氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] ICAO, “Global Air Traffic Management Operational Concept”, ICAO Doc9854, 2005.
- [2] ICAO, “Aviation System Block Upgrades”, ASBU Working Document Edition 2, Version 3, 2013.
- [3] 国土交通省将来の航空交通システムに関する研究会, “将来の航空交通システムに関する長期ビジョン”, 2010年.
- [4] ICAO, “Accuracy of the flight trajectory”, ICAO ATMRPP, WP601, SESAR, Toulouse, March 2014.
- [5] EUROCONTROL, “EUROCONTROL Specification for Medium-Term Conflict Detection”, EUROCONTROL-SPEC-0139, Edition 1.0, 2010.
- [6] EUROCONTROL FASTI Operational Focus Group, “First ATC Support Tools Implementation (FASTI) Operational Concept”, Edition 1.1, Mar. 2007.
- [7] DSNA, “ERATO Electronic Environment”, DSNA Services, <http://dsnaservices.com/portfolio/erato/> 参照 2016年3月.
- [8] Irfan M., “Multi-Sector Planning in En-Route Trajectory Based Operations”, 9th Innovative Research Workshop & Exhibition, EUROCONTROL Experimental Centre Bretigny-sur-Orge, Dec. 2010.