

4. 後方乱気流管制間隔の詳細化と安全性及び導入効果の評価

航法システム領域 ※吉原 貴之, 藤井 直樹
航空交通管理領域 瀬之口 敦, 山田 泉

1 はじめに

航空機が飛行する際に、左右の翼端から後方に一對の向きが異なる渦を生じるが、これは後方乱気流と呼ばれる。この後方乱気流は、一般に、時間の経過と共に減衰しながら下方に移動し、周囲の風にも流される。また、生成時の強さは航空機の重量に比例し、速度に反比例することが知られている。複数の航空機が同一経路を飛行するような場合には、安全な運航を確保するために、適切な間隔を設定する必要があるが、前述の先行する航空機（先行機）が生成した後方乱気流の強さに加えて、後続する航空機（後続機）が許容可能な強さも後続機の重量によって異なる。そのため、航空機を重量によって区分し、先行機と後続機の航空機区分の組み合わせに応じて最低離隔間隔を設定し、それを保つように交通制御することで、先行機が発生する後方乱気流が後続機の安全運航に影響を与えないようにする後方乱気流管制方式が、航空航法サービスの手順を示す文書である PANS-ATM (ICAO Doc 4444) [1] に定められている。とりわけ、混雑する空港における離着陸機については、多数の航空機が空港滑走路を介して同一経路上を飛行する必要があることから、この最低離隔間隔は空港の滑走路処理容量と密接な関係にある。そこで、現在の安全水準を保持した上で、滑走路処理容量を増やすことを目的として、航空機区分 (Category) とそれに対応した最低離隔間隔を見直す RECAT (Recategorization) の導入が進んでいる [2]。

ICAO (国際民間航空機関) がまとめた将来構想である GANP (Global Air Navigation Plan)[3] においても、空港運用の効率化という点から RECAT 導入を 3 段階の ASBU (Aviation System Block Upgrades) B0-WAKE, B1-WAKE, B2-WAKE として記載し、その将来像を示している。具体的には、その最初の段階である B0-WAKE は、現在の ICAO が定める後方乱気流管制方式につ

いて、航空機区分を 4 区分から 6~7 区分に詳細化することによって管制間隔の短縮を図る RECAT フェーズ 1 (RECAT-1) と呼ばれるものに相当する。その次の段階と位置づけられている B1-WAKE では、先行機と後続機のペアに対応した機種組み合わせ毎に最低離隔間隔を静的に定義した運用の実装や、近接平行滑走路 (間隔が 760m 未満) においてリアルタイムで後方乱気流に係るハザードを認識して動的に最低離隔間隔を管理することを掲げている。また、B2-WAKE では、周囲の気象状況等を反映して先行機と後続機のペア毎に適切な最低離隔間隔 (時間ベース) を評価して設定する方式の導入が期待されている。

本講演概要では、B0-WAKE に相当し、各国に導入されつつある RECAT-1 の国際動向と、RECAT-1 を日本の首都圏空港 (東京国際空港、成田国際空港) に導入する際に必要となる安全性及び導入効果の評価に関する当研究所における取り組みについて報告する。

2 RECAT-1 の国際動向

表 1, 表 2 に現在の ICAO による航空機区分と最低離隔間隔を示す。表 2 の空白となっている欄は、後方乱気流に係る間隔ではなく、レーダー管制間隔 (MRS; Minimum Radar Separation) によって決定される。既に欧米を中心にこの航空機区分を 4 区分から 6~7 区分に詳細化することにより、最低離隔間隔を短縮した新しい RECAT-1 の基準が策定されて実際に導入されている。これは、各区分に属する航空機について、先行機として生成する後方乱気流の強さ (航空機区分の中で最大のものを想定) と、後続機として許容できる後方乱気流の強さ (航空機区分の中で最小のものを想定) をより細かく設定することで、先行機と後続機の航空機区分の組み合わせによって最低離隔間隔が短縮できる可能性が期待できるためである。

表 1. ICAO 航空機区分

航空機区分	最大離陸重量 M (kg)
J (Super Heavy)	560,000 程度
H (Heavy)	$136,000 \leq M \leq 560,000$
M (Medium)	$7,000 < M < 136,000$
L (Light)	$M \leq 7,000$

表 2. ICAO 最低離隔間隔基準 (単位: NM)

		後続機			
		J	H	M	L
先行機	J		6	7	8
	H		4	5	6
	M				5
	L				

このような新たな基準の設定は、従来の安全性水準と比較して相対的に同じ水準を保つように航空機区分の詳細化と管制間隔の設定を行うことを基本としており、安全性評価を必要とする。また、空域や空港毎で運航形態の特徴（航空機型式の比率、交通流の特徴等）が異なるため、航空機区分とそれに対応した最低離隔間隔が空域と空港に適していないと導入効果があまり得られない。この様な背景から、欧州と米国では RECAT に係る両者の航空機区分と最低離隔間隔の基準には差違があり、それぞれが RECAT-EU [4], FAA RECAT-1.5 [5] と呼ばれている。表 3, 表 4 に RECAT-EU, 表 5, 表 6 に FAA RECAT-1.5 の航空機区分と最低離隔間隔（到着機）を示す。また、アラブ首長国連合のドバイ空港においては、RECAT-EU および FAA RECAT-1.5 における 6 つの航空機区分を統合して A~G の 7 つに分類した表 7 及び表 8 に示す RECAT- DUBAI の試行がなされている [6]。この基準は、今後予定される ICAO の基準改訂案に基づくとされている。

なお、これら新たな基準策定に際しては、安全性評価の一環として、それぞれの地域、国において、図 1 に示す LIDAR (Light Detection And Ranging) を用いて航空機の通過経路に直

表 3. RECAT-EU の航空機区分

区分	最大離陸重量 M (トン)	翼幅 s (m)
CAT-A	$100 < M$	$72 < s < 80$
CAT-B		$52 < s < 72$
CAT-C		$s < 52$
CAT-D	$M < 100$	$32 < s$
CAT-E		$s < 32$
CAR-F	$M < 15$	-

表 4. RECAT-EU の最低離隔間隔 (単位: NM)

CAT		後続機					
		A	B	C	D	E	F
先行機	A	3	4	5	5	6	8
	B		3	4	4	5	7
	C			3	3	4	6
	D						5
	E						4
	F						3

表 5. FAA RECAT-1.5 の航空機区分

区分	最大離陸重量 M (pounds)	翼幅 s (feet)
CAT-A	$300,000 \leq M$	$245 < s$
CAT-B		$175 < s \leq 245$
CAT-C		$125 < s \leq 175$
CAT-D	$M < 300,000$	$125 < s \leq 175$
CAT-E	$41,000 < M$	$90 < s \leq 125$
CAT-F	$M < 41,000$	$s \leq 125$
	$M < 15,500$	-

表 6. FAA RECAT-1.5 の最低離隔間隔 (単位: NM)

CAT		後続機					
		A	B	C	D	E	F
先行機	A		5	6	7	7	8
	B		3	4	5	5	7
	C				3.5	3.5	6
	D						4
	E						
	F						

表 7. RECAT-DUBAI の航空機区分

CAT	最大離陸重量 M (kg)	翼幅 s (m)
A	136,000 ≤ M	74.68 < s ≤ 80
B		53.34 < s ≤ 74.68
C		38.1 < s ≤ 53.34
D	18,600 < M < 136,000	32 < s
E		27.43 < s ≤ 32
F		s ≤ 27.43
G	M ≤ 18,600	-

表 8. RECAT-DUBAI の最低離隔間隔 (単位: NM)

		後続機						
		A	B	C	D	E	F	G
先行機	A	3	4	5	5	6	6	8
	B		3	4	4	5	5	7
	C				3	4	4	6
	D							5
	E							4
	F							
	G							

交する垂直断面の風速パターン等から生成された後方乱気流の強さを計測するとともに、その時間的推移から乱流の減衰、消滅する過程を観測している。これは、後方乱気流に対する安全な最低離隔間隔の設定において、最悪ケースとなる周囲の風が弱く、地表近くで後方乱気流が時間的に最も長く持続する状況下で、後続機に確実に影響を与えない程度に減衰・消滅するのに必要な時間を導出、検証することが必要となるためである。後方乱気流の消滅には周囲の風況や大気安定度等といった気象条件も重要であることが知られており、このような最悪ケースに近い気象条件の発生頻度は多くないことから、一定程度の観測データの蓄積が必要となっている。

3 電子航法研究所における取り組み

我が国において RECAT-1 導入に向けた検討を行うに際しては、前述の対象空港の運航形態の特徴の違い等に加えて、滑走路配置の複雑性や狭隘性などに起因する地理的環境の違いも存

在する。そのため、それらを踏まえた航空機区分と安全性及び導入効果の評価検証が必要である。電子航法研究所では平成 28 年度から宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究により、東京国際空港、成田国際空港を導入検討対象として取り組んできた。

まず、航空機区分に対応した最低離隔間隔の安全性評価には、後方乱気流の生成、減衰及び消滅といった一連の過程において、これまでの知見から逸脱する事例がないかどうかを検証する必要がある。とりわけ、東京国際空港は海側からの進入経路が存在するが、国際的にも海上における後方乱気流の観測データは陸上に比べて多くない。そこで、国土交通省航空局のご協力のもと、図 2 のように平成 29 年 3 月から

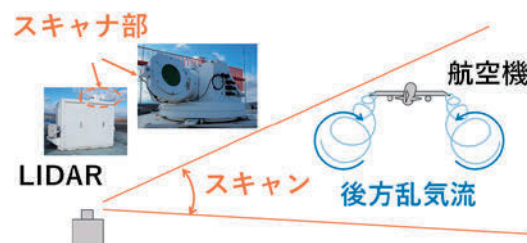


図 1. LIDAR による後方乱気流観測

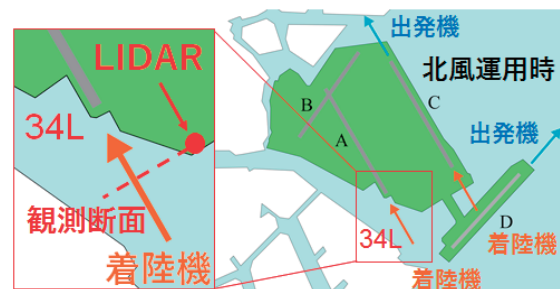


図 2. 東京国際空港における LIDAR 観測場所



図 3. 電子航法研究所 (ENRI) と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の LIDAR 装置

東京国際空港に LIDAR 装置を設置して滑走路 34L の到着機について後方乱気流観測を開始した。なお、本装置は電子航法研究所と三菱電機株式会社の共同研究により運用され、観測データを収集している。平成 29 年 11 月からは JAXA の LIDAR 装置も設置され、同時観測も行っている。後方乱気流データの解析には、航空機が観測断面を通過した時刻、進入速度といった運航データに加えて、周囲の風況や気象観測値も必要となるため、気象・運航データベースの構築も本研究の目的としている。安全性評価では、航空機が生成する後方乱気流について、通過機毎に LIDAR 観測による乱流の強さの時間経過を示す減衰曲線を導出し、これまで欧米等で観測されている減衰曲線から逸脱するものがないかどうかといった視点から調査することが重要となっている。

導入効果の評価に関しては前述の気象・運航データベースから得られる機種構成等の運航情報のみならず、到着機に着目した場合、進入経路上だけでなく滑走路を含む空港面、進入経路に接続するターミナル空域と接続した評価が重要であると考えられる。本研究では、まず空港面管理との接続に着目し、到着機と出発機の混在する滑走路にも踏み込んだ評価を行うこととした。具体的には、ICAO の基準改訂案に基づくとされている RECAT-DUBAI を用い、実際の交通流データに対してターミナル空域でこれに基づく間隔付けが適切に行われることを想定した交通流を入力シナリオとして計算機シミュレーションを行っているところである。

4 むすび

本講演概要では、各国に導入されつつある RECAT-1 の国際動向、日本の首都圏空港（東京国際空港、成田国際空港）に導入する際に必要となる安全性及び導入効果の評価に関する電子航法研究所における取り組みについて記載した。発表では、東京国際空港における後方乱気流観測結果及び空港面管理に着目した計算機シミュレーション結果について報告する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、共同研究を実施している宇宙航空研究開発機構 又吉 直樹 様、松野 賀宣 様をはじめ、東京国際空港での後方乱気流観測において共同研究によりドップラーライダーに係る機材をご提供くださいました三菱電機株式会社の関係各位、設置場所や航跡データなどのご提供と、国際的な情報交換の機会を与えてくださいました国土交通省航空局交通管制部の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] ICAO: The Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (PANS-ATM), Doc 4444, November 2016.
- [2] 吉原ほか, “航空管制における新たな後方乱気流区分の導入に係る動向,”信頼性, Vol.41, No.3 (掲載予定).
- [3] ICAO: 2016-2030 Global Air Navigation Plan, Doc 9750-AN/963, 2016.
- [4] EUROCONTROL: “RECAT-EU”, European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure, February 2018.
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/sesar/recat-eu-released-september-2018.pdf> (2019年4月7日閲覧)
- [5] FAA: “Wake Turbulence Recategorization”, JO 7110.659B, 2015.02.27
https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7110_659C.pdf (2019年4月7日閲覧)
- [6] General Civil Aviation Authority, United Arab: “Implementation of DUBAI Recategorisation (RECAT) Wake Turbulence Separation Scheme within DUBAI CTA,” AIC, A 02/2018, UFN, Jun. 2018.
<https://www.gcaa.gov.ae/aip/current/AIRACs/2018-P04/html/eAIC/eAIC-2018-02-A-en-GB.html> (2019年4月16日閲覧)
- [7] 山田ほか, “空港面交通シミュレータの開発,”電子航法研究所研究発表会講演概要, pp.97-102, 平成 25 年 6 月.