

GAST-Dによる低視程時の 滑走路運用の改善効果

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
電子航法研究所

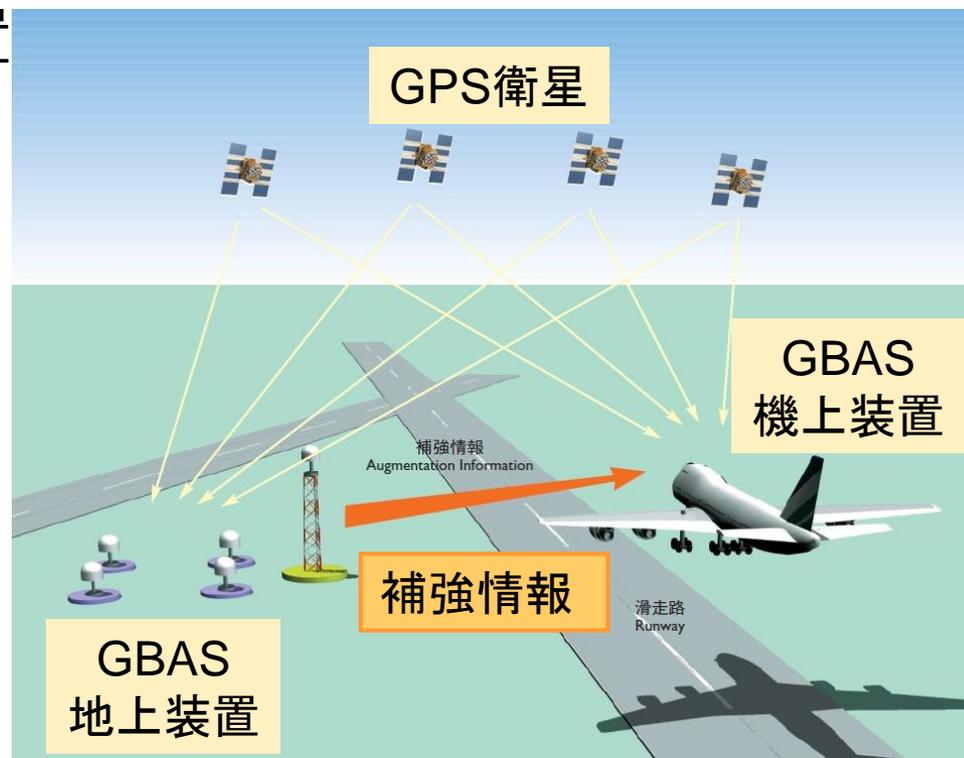
航法システム領域 吉原貴之, ※齊藤真二, 藤井直樹
航空交通管理領域 青山久枝

- はじめに
 - GBASの概要
 - GAST-D(GBAS Approach Service Type D)
 - GBAS導入の利点
- 低視程時の滑走路運用
 - 高カテゴリー(CAT-II/III)ILS運航と制限区域
 - 低視程時の滑走路運用の効率化
- 成田国際空港での検討
 - 停止位置標識等
 - GAST-Dによる航空機間隔短縮の試算
- まとめ

はじめに GBASの概要



- 精密進入をサポートする装置
- 地上装置の構成
 - GBAS基準局
 - 4式のGPSアンテナ&受信機
 - GBASデータ処理装置
 - 補正情報
 - インテグリティ情報
 - 最終進入セグメント情報
 - VHF送信局
 - VDB (VHF Data Broadcast)
 - 周波数:108~118MHz
- カテゴリーI(CAT-I)GBAS
 - ブレーメン空港(2012年2月)
 - 東京国際空港(トライアル中)



はじめに

GAST-D(CAT-III GBAS)



- カテゴリーI(CAT-I)GBASとの関係
 - CAT-III運用はCAT-I運用の安全性要件を包含
 - 最終的に利用可能なサービスは機上装置に依存
 - CAT-III地上装置はCAT-IIに加えてCAT-III補強メッセージを放送
- GBAS Approach Service Type(GAST)

GAST-D

サービスタイプ	A	B	C	D
進入方式	(APV-I)	(APV-II)	CAT-I	CAT-III

- 国際標準
 - ICAO Annex 10 (2018年11月発効)
 - RTCA
 - LAAS Signal-in-Space ICD, RTCA/ DO-246E, July 13, 2017.
 - MOPS for LAAS Airborne Equipment, RTCA/DO-253D, July 13, 2017

はじめに GBAS導入の利点

■ 従来システム(ILS)の制限解消

- 安定した進入経路(周辺障害物の影響がない) → 設置コスト削減
 - 一式で複数進入経路に対応 → 機材コスト削減
 - 設置制限に対応(コース・オフセットが生じない) → 進入限界高度の緩和
- 制限区域の保護が不要 → 着陸間隔短縮

■ 将来の運航による利点

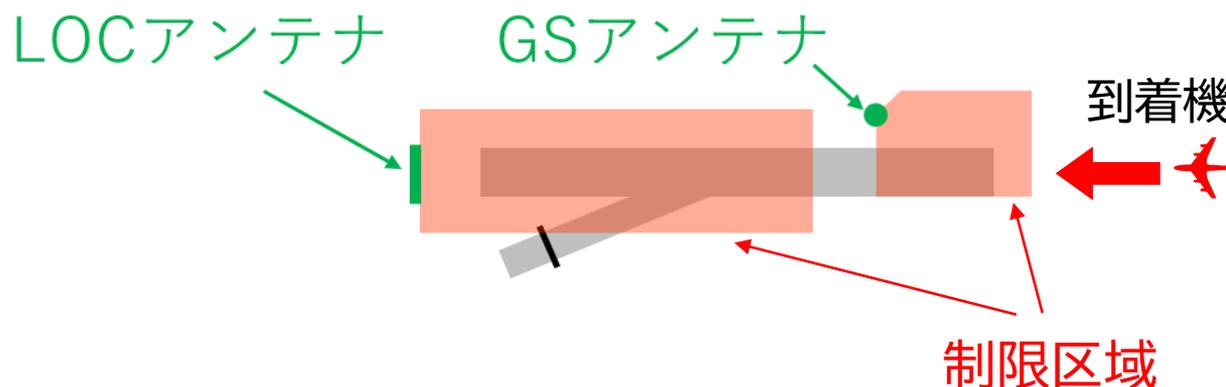
- 自由度の高い進入経路設定が可能(高度運用) → 環境負荷軽減
着陸間隔短縮

低視程時の滑走路運用

高カテゴリー(CAT-II/III)ILS運航(1)



- 低視程とは…
 - CAT-I運航における雲高, 滑走路視距離のどちらかが最小値未満となった場合(それぞれ60m, 550m)
- CAT-II/III ILS制限区域
 - LOCアンテナ・GSアンテナの前面に, それぞれ制限区域を設定
 - 航空機, 空港車両等の侵入から保護
 - 滑走路面, 誘導路面にも及ぶ

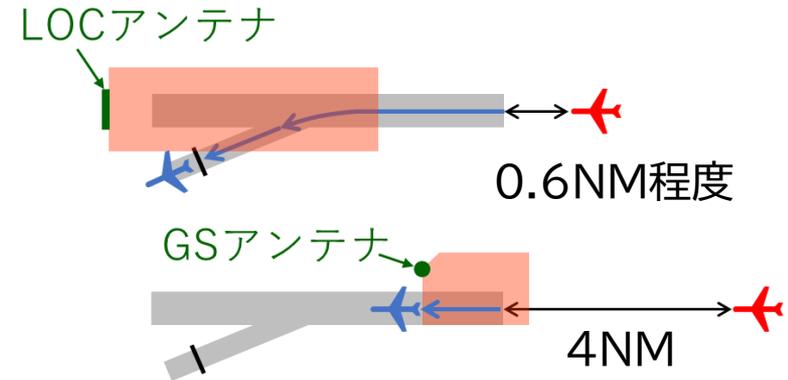


低視程時の滑走路運用 高カテゴリー(CAT-II/III)ILS運航(2)

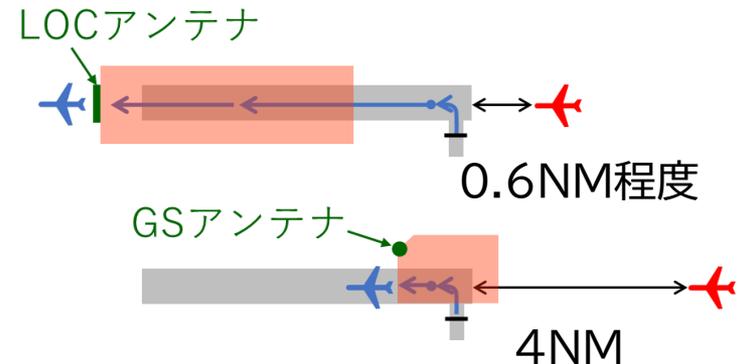


- 管制方式基準
 - LOC制限区域の保護
 - 到着機がミドルマーカ―またはこれに相当するDMEフィックスを通過した後
 - GS制限区域の保護
 - 到着機が滑走路進入端から4NMの地点を通過した後
- ⇒ 先行機との間隔は**長い方の間隔**を確保する必要
- ⇒ 低視程時は航空機間隔が長くなり、**単位時間当りの滑走路処理機数が減少**
- GBASでは制限区域の保護が不要
 - 高カテゴリー一運航時の**処理機数の低下を抑制**できる可能性がある

(a) 到着機/ILS到着機



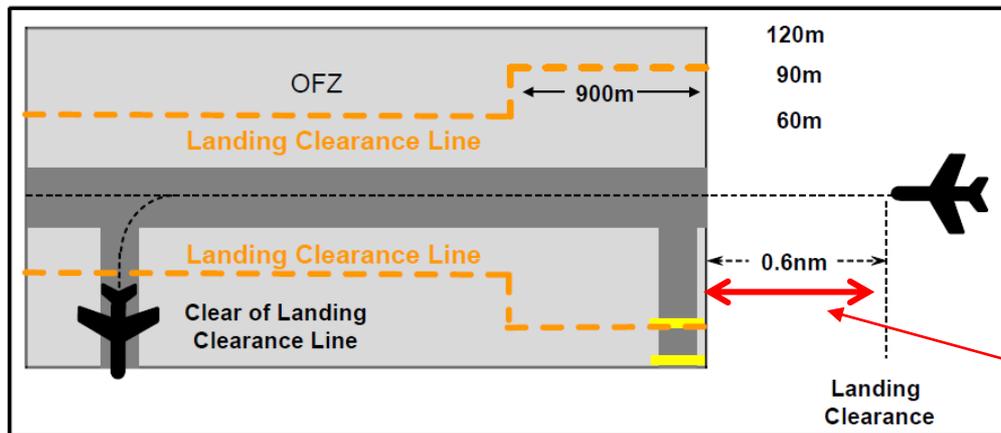
(b) 出発機/ILS到着機



低視程時のCAT-III GBAS運用 滑走路運用の効率化



- ICAO EUR Doc 13(将来的な運用概念)
 - 先進型地上走行誘導管制システム(A-SMGCS)の高度化
 - 航空機(型式/グループ等)によって異なるLanding Clearance Line(LCL)を設定
⇒ 現在の停止位置標識よりも滑走路寄りに設定
 - 滑走路占有時間の短縮
 - 後続機への着陸許可：先行到着機のLCLの外側到達を確認
 - 着陸機に許可を与える進入経路上のポイント：滑走路端から2NM手前
⇒ 0.6NMまで短縮

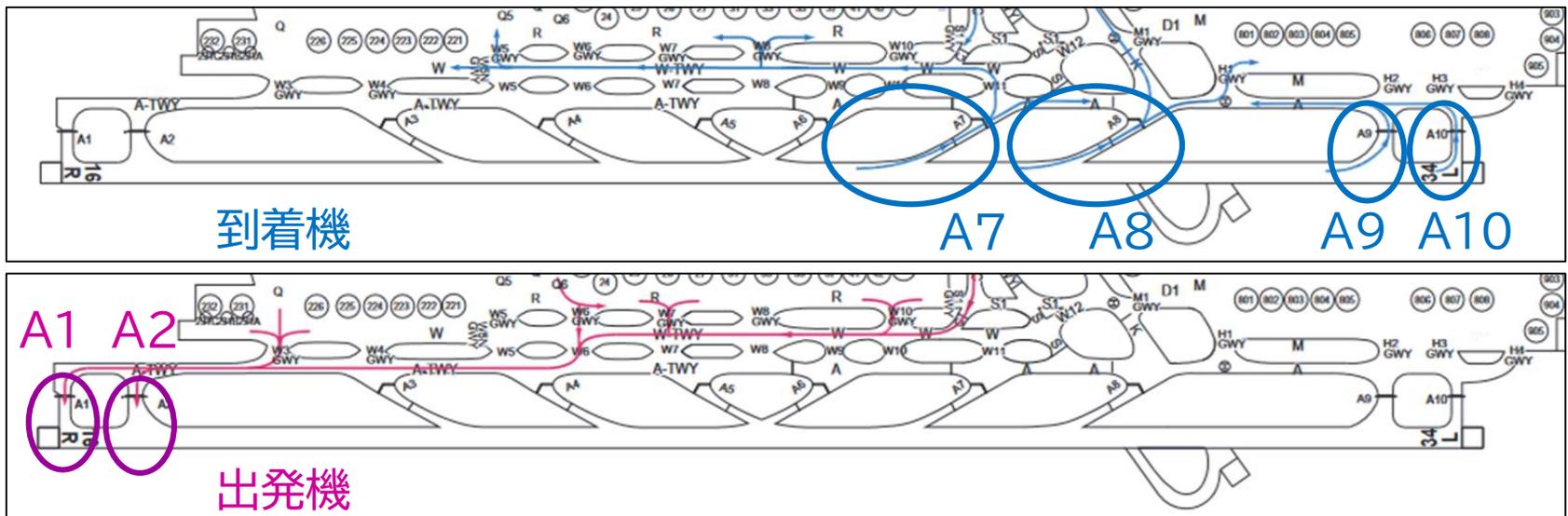


Landing Clearance Line
の設定例 (コードE)
[ICAO EUR Doc 013]

0.6NM

成田国際空港での検討 低視程時の運用

- 滑走路
 - A滑走路(RWY16R)を用いた出発機, 到着機の混在した運用
- 誘導路
 - 走行可能な誘導路が限定される
 - 取付誘導路/高速離脱誘導路の停止位置標識
 - それぞれ, 滑走路中心線から120m/128mの位置

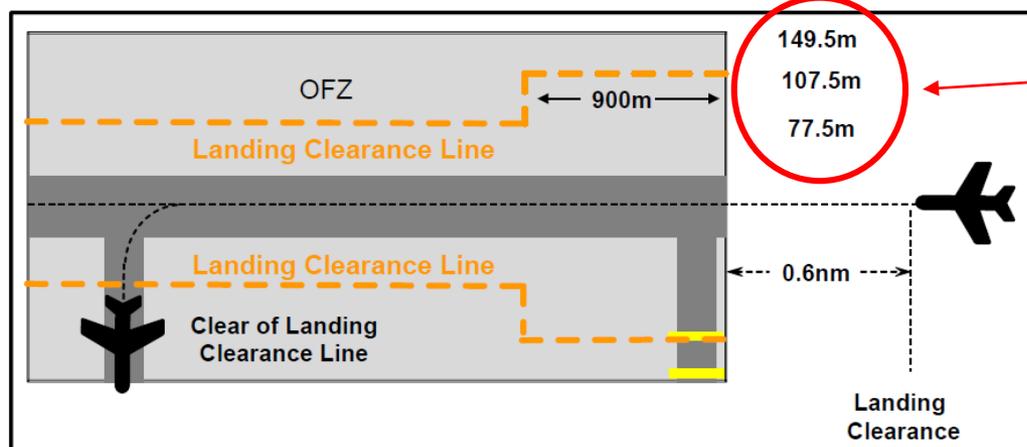


[AIS JAPAN, <https://aisjapan.mlit.go.jp/>]

成田国際空港での検討 停止位置標識(1)

- ICAO EUR Doc 13におけるLCL(Landing Clearance Line)
 - 後続する到着機に進入許可を与えるための先行到着機が確実に通過したことを確認する停止位置標識に相当するライン
 - 衝突リスクの関係から滑走路進入端から進入方向に900mまでと、それより遠方とで滑走路中心線からの距離が異なる
 - A380の運航を想定するか否かで異なる

【A380の運航を想定する場合】



A380想定／想定しない

149.5m / 120m
107.5m / 90m
77.5m / 60m

Landing Clearance Line
の設定例 (コードF)
[ICAO EUR Doc 013]

成田国際空港での検討 停止位置標識(2)

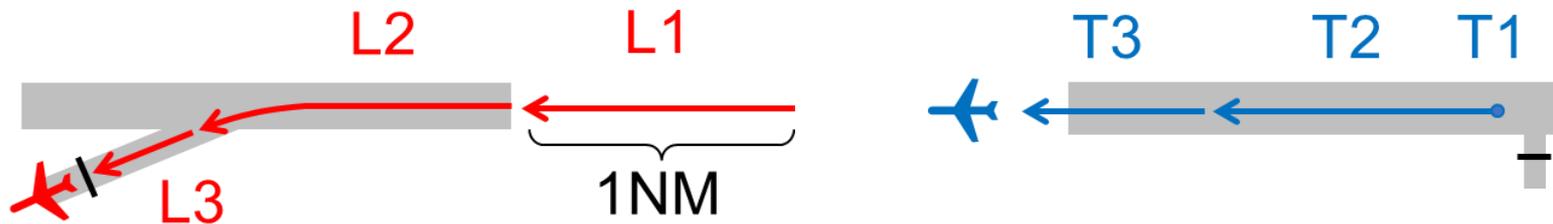


- 本研究での航空機間隔短縮効果の試算
 - GLS到着機(GAST-Dを使用した到着機)
 - ICAO EUR Doc 13におけるLCLの概念を参照
 - 滑走路進入端でのLCLを全ての誘導路に適用
 - A380以外の航空機について試算
 - 到着機は全て高速離脱誘導路から離脱すると想定
 - GLS到着機のLCL :90m
 - ILS到着機の停止位置標識 :128m
 - 出発機は滑走路上で待機時間があり, 誘導路上の停止位置から滑走路上の待機位置までの走行時間の短縮効果は考慮しない

成田国際空港での検討 航空機の時間間隔(1)

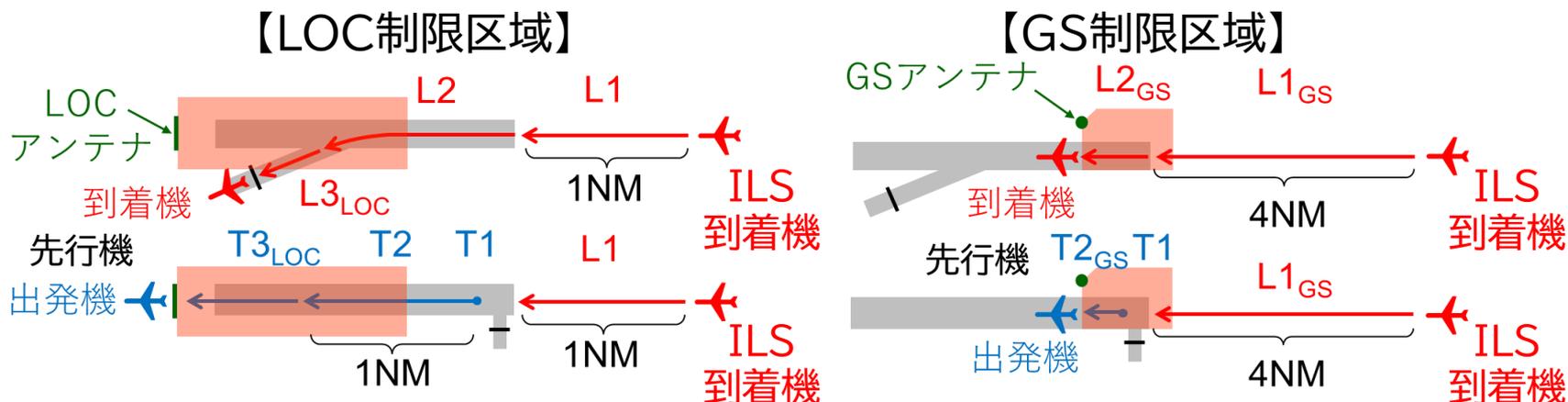


- 離着陸に関わるセグメント毎の移動時間に関する評価方法を参照
 - 北河ほか [2014, 2015]
- 到着機:L1~L3の定義
 - L1:着陸許可を受けた後, 滑走路進入端の1NM手前の地点から滑走路進入端までにかかる時間
 - L2:滑走路進入端通過時点から, 滑走路の縁を通過するまでにかかる時間
 - L3:滑走路の縁を通過してから, 停止線(誘導路上の地点)を通過するまでの時間
- 出発機:T1~T3の定義
 - T1:滑走路上で待機している航空機に離陸許可が下りてから, それを受けた航空機が動き始めるまでの時間(レスポンスタイム)
 - T2:航空機が動き始めてから離陸するまで, あるいは, 滑走路1NM地点を通過するまでの時間
 - T3:離陸あるいは1NM地点通過から上空で2NM進んだ地点までの時間



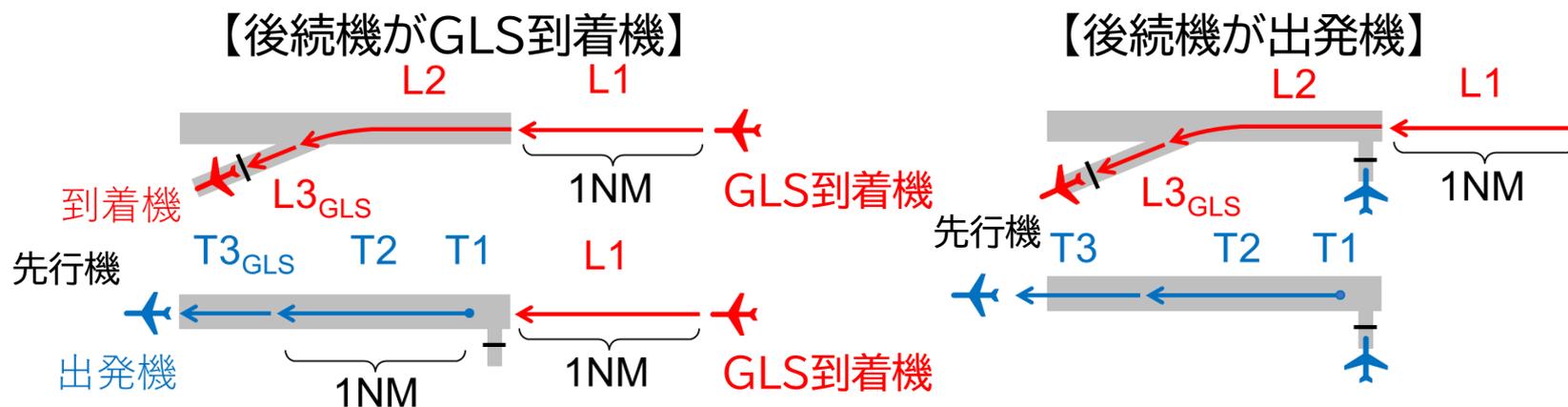
成田国際空港での検討 航空機の時間間隔(2)

- 後続機がILS到着機
 - $L3_{LOC}$, $L2_{GS}$: 先行する到着機のL3, L2についてLOC, GS制限区域外に出るために必要な時間
 - $T3_{LOC}$, $T2_{GS}$: 先行する出発機のT3, T2についてLOC, GS制限区域外に出るために必要な時間
 - LOC制限区域, GS制限区域によって必要となる航空機間隔をそれぞれ計算し, **大きい方**を航空機の時間間隔とする
 - T2: 動き始めてから滑走路1NM地点通過までの時間



成田国際空港での検討 航空機の時間間隔(3)

- 後続機がGLS到着機
 - $L3_{GLS}$: 先行する到着機のL3について, LCLを通過するまでの時間
 - $T3_{GLS}$: 先行する出発機のT3について, 滑走路端までの時間
- 後続機が出発機
 - $L3_{GLS}$: 先行する到着機のL3について, 低視程条件下でLCLを確実に通過している必要があることからGLS到着機の場合と同じ値を使用

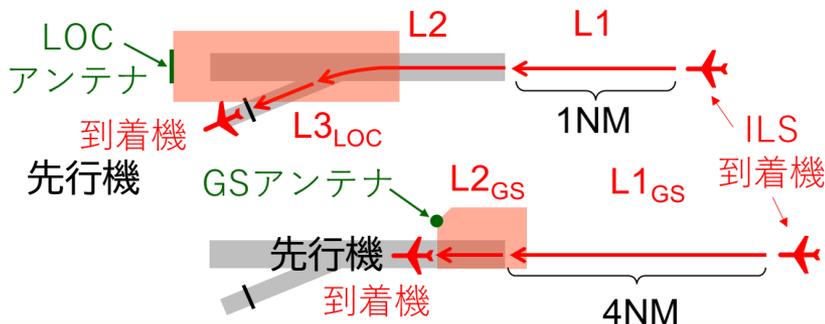


成田国際空港での検討 航空機の時間間隔(4)



- 航空機の時間間隔の試算
 - 右表のセグメント毎の時間を設定
 - 実測値*:2020年1月8日低視程時の到着機24便の平均値(航跡)
 - 試算例
 - ILS到着機の先行機が到着機
 - LOC制限区域に伴う時間間隔
 - $L1 + L2 + L3_{LOC} = 138$ 秒
 - GS制限区域に伴う時間間隔
 - $L1_{GS} + L2_{GS} = 104$ 秒
- ⇒ 航空機間隔は**138秒**

	時間	設定した時間
到着機	L1	30秒(固定値) 北河ほか[2014]を参照
	L1 _{GS}	99秒(対地速度75m/sとして計算)
	L2	78秒(実測値*, 高速離脱誘導路A7)
	L2 _{GS}	5秒(対地速度75m/sとして計算)
	L3 _{LOC}	30秒(実測値*, 高速離脱誘導路A7)
	L3 _{GLS}	21秒(L3 _{LOC} から距離による比例計算)
出発機	T1	15秒(固定値)北河ほか[2014]を参照
	T2	37秒(実測値*)
	T2 _{GS}	7秒(T2から距離による比例計算)
	T3	45秒(固定値)北河ほか[2014]を参照 後続が出発機で適用
	T3 _{LOC}	33秒(T3から距離による比例計算)
	T3 _{GLS}	26秒(T3から距離による比例計算)



成田国際空港での検討 航空機の時間間隔(5)



■ 時間間隔短縮の試算結果

□ GLS到着・ILS到着の比較

- 先行機が出発機：13秒の短縮
- 先行機が到着機：9秒の短縮

	先行機	後続機	間隔(秒)
低視程	出発機	ILS到着	121
		GLS到着	108
	到着機	ILS到着	138
		GLS到着	129
	到着機	出発	129
	出発	出発	97

13秒短縮

9秒短縮

■ 今後の課題

- セグメント毎に設定する移動時間の詳細化
 - 航空機型式毎の速度, 滑走路上の加減速効果を考慮した時間
- 後方乱気流管制間隔を考慮した航空機間隔
 - 先行機, 後続機の航空機型式の組合せに対応した航空機の時間間隔
- 出発機と到着機順序を与えるシナリオ作成と計算機シミュレーション
 - 成田国際空港に就航する航空機型式の割合に対応
 - 時間当たりの滑走路処理機数等を用いた評価

- 低視程時の滑走路上のILSにおける制限区域の保護が不要であるGBASの利点に着目
- CAT-II/III GBASによる滑走路運用の効率化について定量評価を行うことを目的
- 成田国際空港での効果を到着機・出発機の各組み合わせについてセグメント毎の時間を見積り, 航空機間隔の短縮時間を試算
- GLS到着機の場合, ILS到着機と比べて先行機が出発機, 到着機についてそれぞれ13秒程度, 9秒程度の時間間隔短縮の可能性
- 今後の課題
 - セグメント毎に設定する移動時間を詳細化
 - 後方乱気流管制間隔を考慮した航空機間隔
 - 出発機と到着機順序を与えるシナリオ作成と計算機シミュレーション

謝辞



- 本研究を進めるにあたり, 航跡データのご提供等, ご協力を賜りました国土交通省航空局交通管制部の関係各位に感謝申し上げます。
- 成田国際空港の検討にあたり, ご協力を賜りました成田国際空港(株)の関係各位に感謝を申し上げます。

参照文献



- ICAO SARPs, Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume I: Radio Navigation Aids, 8th Edition, July 2023.
- 航空保安業務処理規程 第5管制業務処理規程, 国土交通省航空局, 2020年11月.
- ICAO EUR Doc 013: European guidance material on all weather operations at aerodromes
- P. Ladoux, “GBAS@Paris CDG study,” 18th International GBAS Working Group (IGWG/18), April 27, 2017.
- O. Weber, GLS CAT II with ISGS at Frankfurt (DFS), IGWG/21, Brussels, September 2022.
- 北河涉, 泊尚志, 荒谷太郎, “首都圏空港機能強化検討調査～成田国際空港について～(第35回運輸政策研究所研究報告会)”, 「運輸政策研究」, Vol. 17, No. 2, pp. 75-80, 2014年7月.
- 北河涉, 泊尚志, “「首都圏空港機能強化検討調査～成田国際空港について～」(第35回研究報告会報告)の補遺”, Vol.18 No.2, pp.80-85, 2015年7月.

低視程時のCAT-III GBAS運用 ICAO EUR Doc 13を参照した検討例



- フランス民間航空総局(DGAC; P. Ladoux [2017])
 - シャルルドゴール空港での低視程時のCAT-III GBAS導入効果について検討
 - GBAS非搭載機(ILS到着機)との混在を考慮した計算機シミュレーションを実施
 - GBAS搭載機の割合が90%にならないと滑走路処理機数の改善は難しい
 - ILS機, GLS機の混在への対応として, 航空機毎に管制間隔の目印を航空管制官に与える管制支援システムの必要性を指摘
- ドイツの航空管制サービスプロバイダー(DFS; O. Weber [2022])
 - フランクフルト空港でのCAT-II GBAS導入効果の事例検討
 - 着陸専用滑走路(RWY25R)を対象に計算機シミュレーションを実施
 - 交通流の特徴としては, 1日のうちに4つの到着機数のピーク時間
 - GBAS搭載率が60%以上で4つのピーク時間に対応可能との結果