

2019年度(第19回)電子航法研究所発表会

1. GBAS VDB の覆域評価手法に関する検討

○毛塚 敦^{1) 3)} 齊藤 真二¹⁾

須賀 良介²⁾ 平井 翔太郎²⁾ 黒田 哲史²⁾ 橋本 修²⁾

1) 電子航法研究所 航法システム領域

2) 青山学院大学

3) 青山学院大学客員研究員

2019年6月6日 14:10～14:35



GBASとは

Ground-Based Augmentation System (地上型衛星航法補強システム) 次世代着陸誘導システム

精密進入着陸をサポート

- ・ GLS (GBAS Landing System) の略称も使用
- ・ 将来はカテゴリーⅢまで

地上側装置構成

- ・ 基準局
- ・ **VDB** (VHF Data Broadcast) 送信装置
- ・ データ処理装置

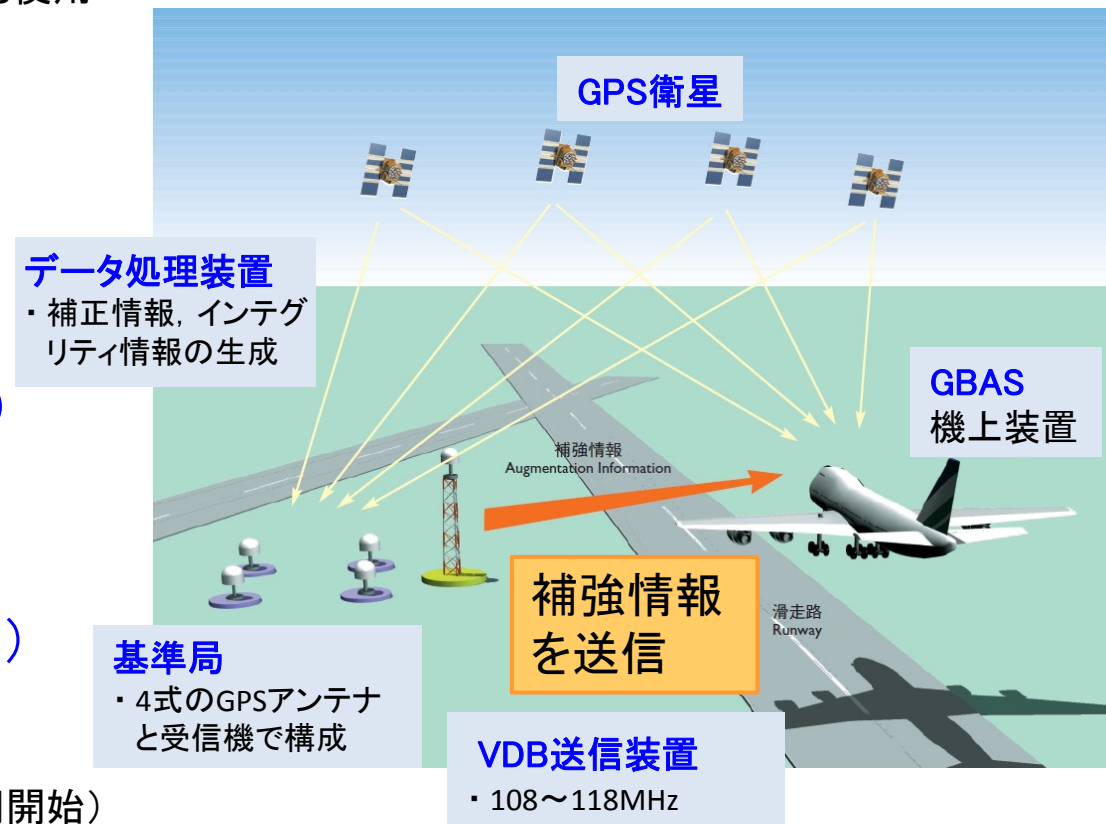
ICAO標準及び勧告方式 (SARPs)

- ・ カテゴリーⅠ (GAST-C): 2001年発効
- ・ カテゴリーⅢ (GAST-D): 2018年発効

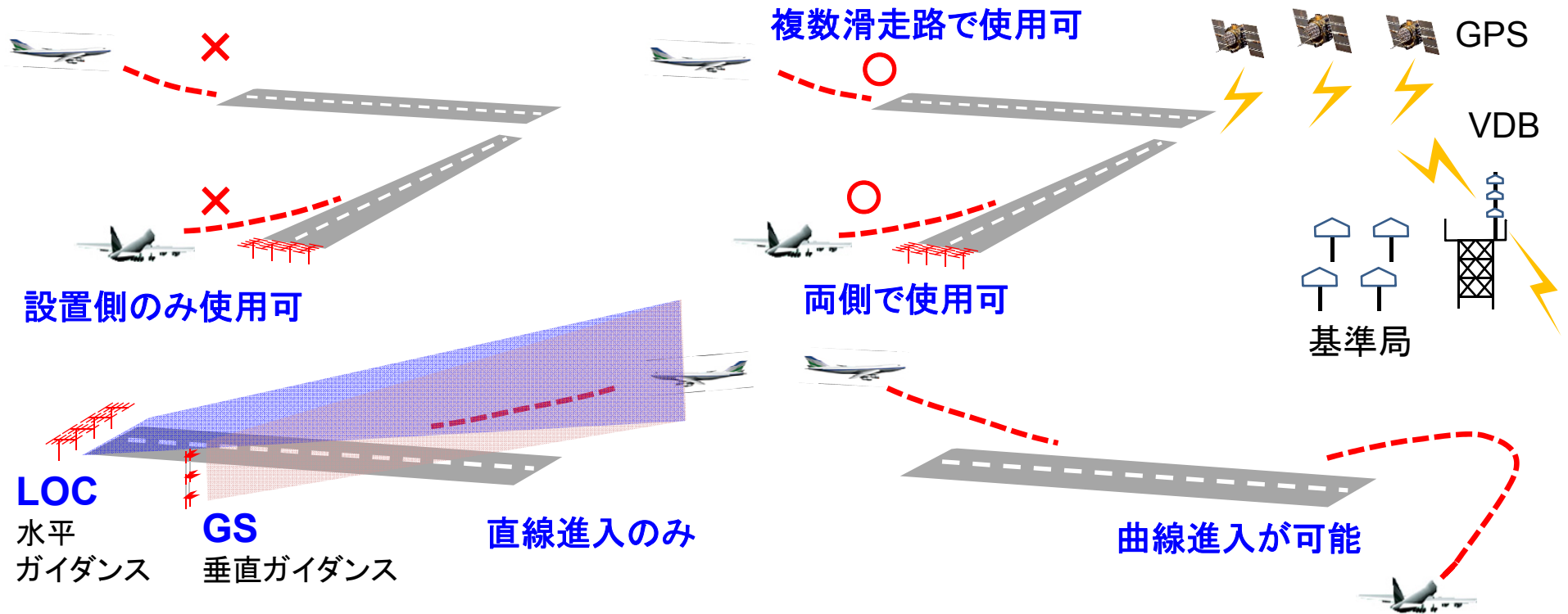
地上設備導入状況 (カテゴリーⅠ)

- < 海外 > ニューアーク、ヒューストン、フランクフルト、シドニー 他
- < 国内 > 羽田に初号機 (2020年度運用開始)

装置構成 (地上側・機上側)



GBAS導入のメリット（ILSとの比較）



ILS

- 設置側のみ使用可
- 直線進入
- クリティカル・センシティブエリアの保護が必要
- 障害物件により進入経路が乱れる（地形, 先行機）

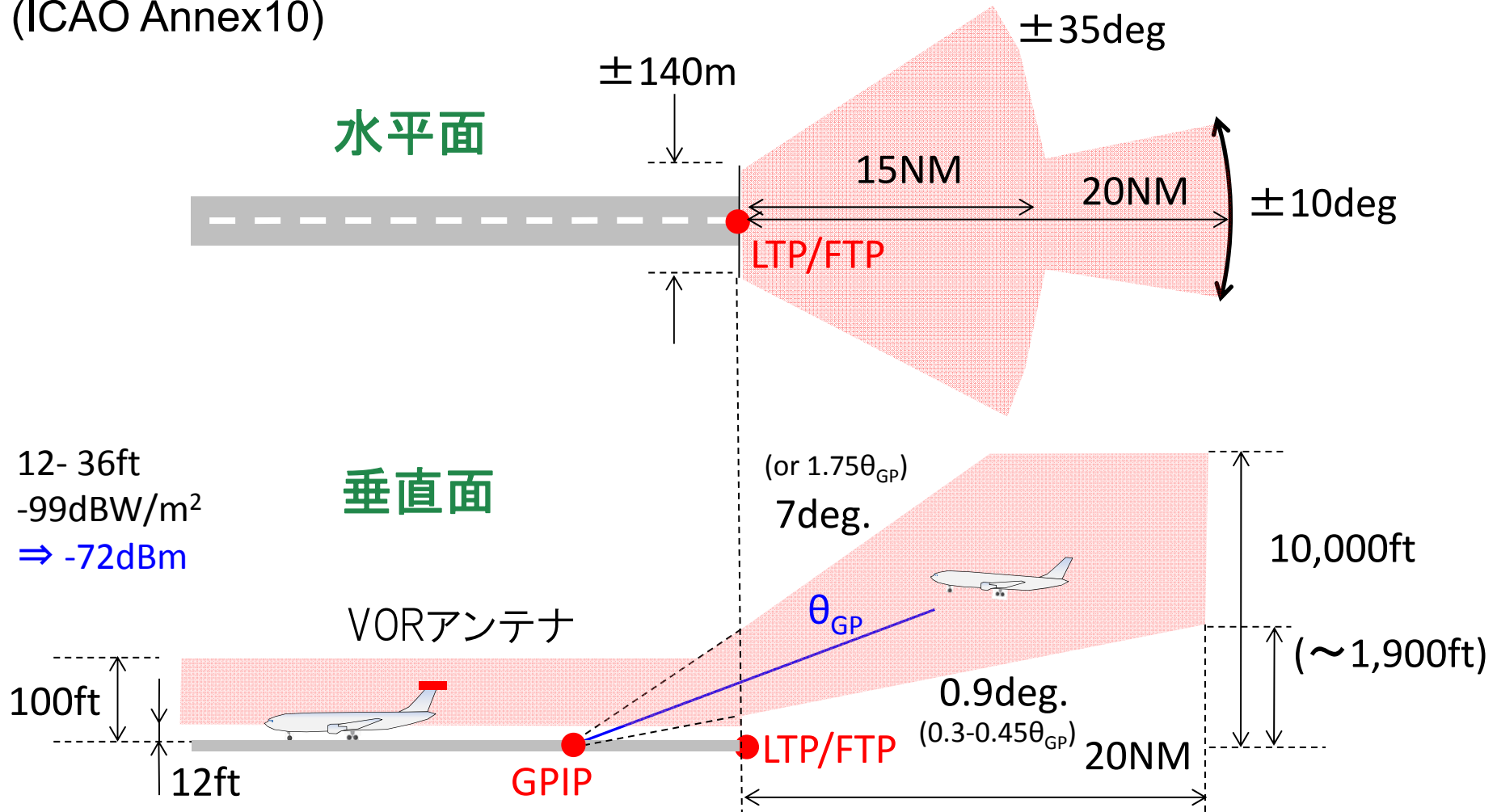
GBAS

- 滑走路両側、複数滑走路で使用可
- 曲線進入が可能
- 高角度での進入が可能
- 設置コストの低減（カウンターポイズおよび土地造成不要、設置制限緩和）

⇒ 導入のメリット

VDBの覆域

GBAS Service Volume
(ICAO Annex10)

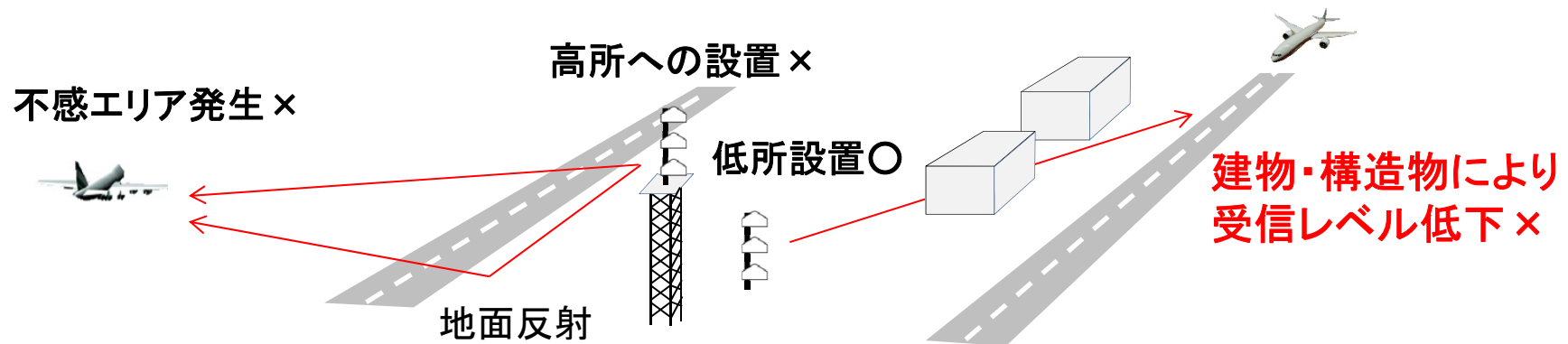


自動着陸とロールアウトをサポートするため、滑走路にも覆域を形成

VDBアンテナ設置における課題

- ▶ 高所に設置すると地面反射により上空に不感地帯が発生
- ▶ 1つのVDBアンテナにより複数の滑走路上にサービスを形成

⇒ 空港建物による滑走路上受信レベル低下の高精度な評価が必要



滑走路上電界分布の電磁界解析による評価が必要
(電磁界解析の精度要件も明らかにする)

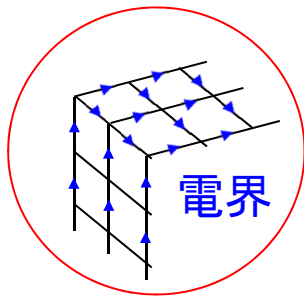
VDB空港面覆域の電磁界解析における課題

高精度電磁界解析手法

(フルウェーブ解析手法)

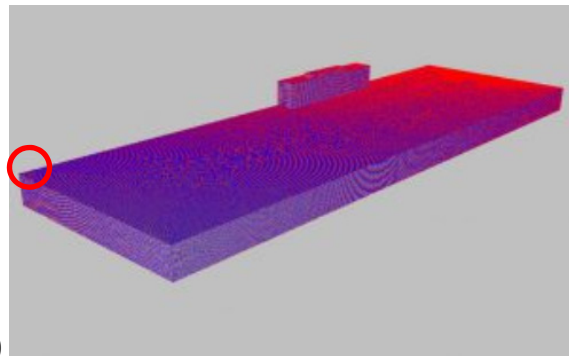
- 複雑な構造における電波の振る舞いを計算できる
- 有限要素法、FDTD法、モーメント法

課題: 計算時間と計算メモリを必要



(例) FDTD法

メッシュサイズ: 波長/10



引用: <https://www.navblue.aero/product/elise-by-navblue/>

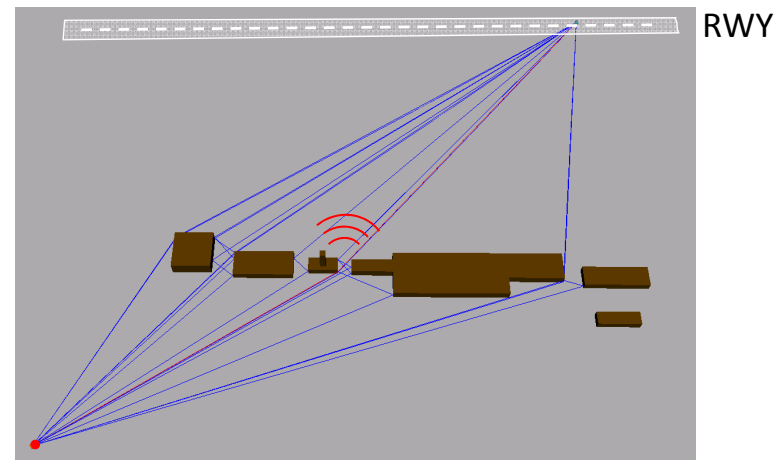
VHF帯(100MHz)では
メッシュサイズ: 30cm
⇒ 空港3kmは1万メッシュ



レイトレース法 (幾何光学近似)

- 電波の伝搬を光線近似で扱い、建物による電波の反射・回折を計算
- 高精度電磁界解析に比べて、計算時間とメモリが少ない

課題: 建物構造が小さい場合には電波の波動的な振る舞いにより光学近似に誤差が発生



建物寸法や間隙が数波長で大きく劣化
VHF帯(100MHz)では数波長は10m程度

運用に向けた覆域評価法の研究内容

検討1 新たな高精度電波伝搬解析手法の開発(青山学院大学)

目的:汎用PCにて高精度な電磁界解析を可能とする

ケース1: VDBアンテナがターミナルビル付近に設置された場合

高精度電磁界解析方法とレイトレース法をハイブリッド(手法1)

ケース2: VDBアンテナと滑走路間に建物が存在する場合

数波長以下となる建物間部分に放射積分を適用(手法2)

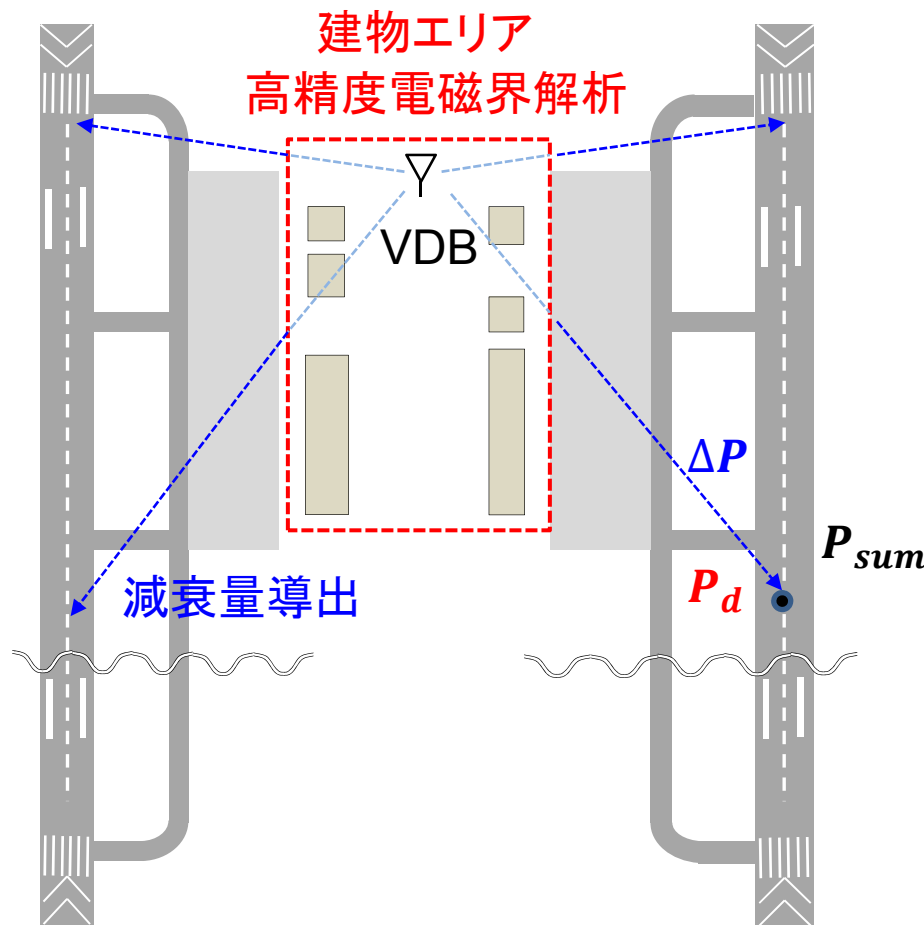
検討2 電波伝搬解析の精度要件(ENRI)

目的:電磁界解析の際の精度要件を提供

覆域劣化がGBAS運用へ与える影響の調査・検証

検討1 新たな電磁界解析方法 1

ケース1: VDBアンテナがターミナルビル付近に設置された場合



空港面の特徴に着目

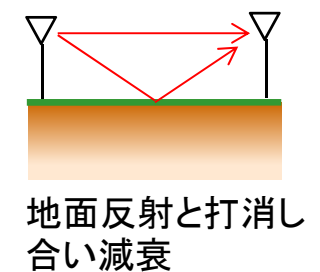
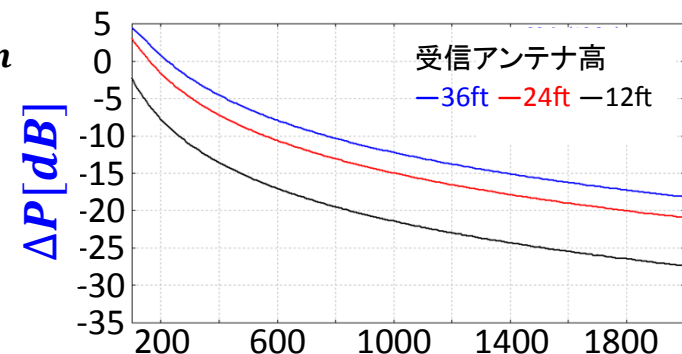
- a) 建物は比較的狭いエリアに密集
- b) 上記以外には建物が存在しない (地形の起伏のみ)



複雑な建物エリアを高精度電磁界解析し、このエリアからの放射パターンを算出 $P_d [dBm]$

+

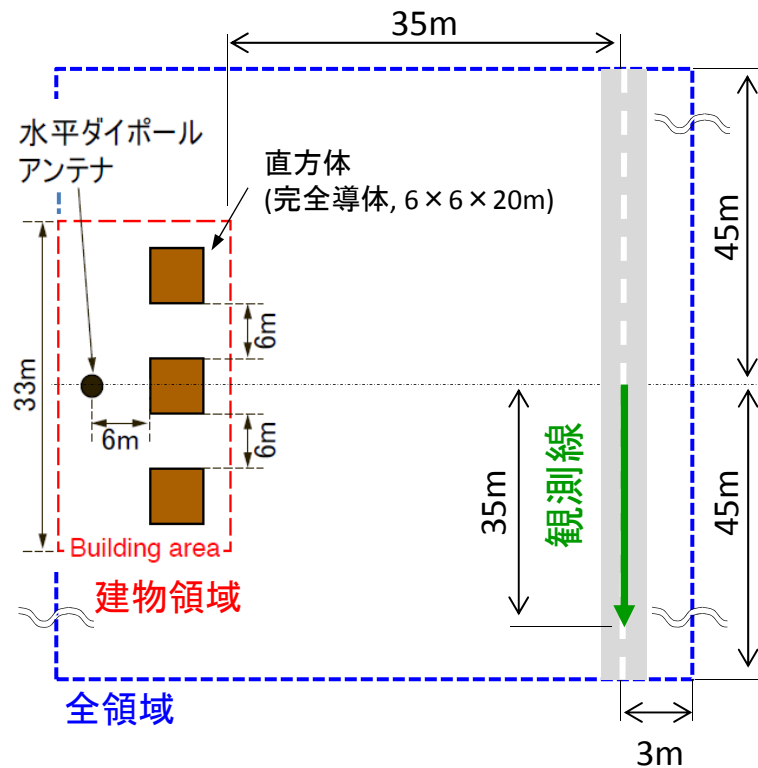
地形の起伏(地面反射)による減衰をレイトレース等により算出 $\Delta P [dB]$



滑走路上の電界レベル $P_{sum} [dBm] = P_d [dBm] + \Delta P [dB]$

検討1 新たな電磁界解析方法 1

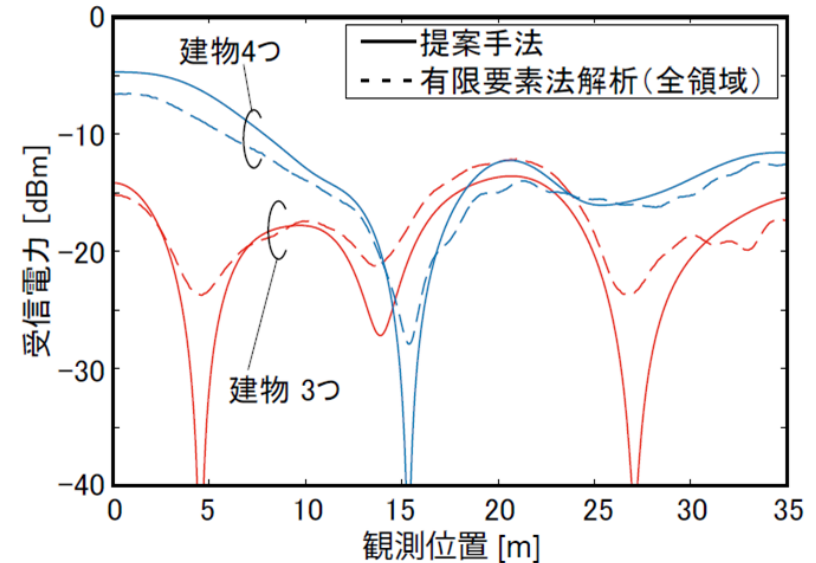
評価結果の一例 (出典元: 文献[4])



提案手法と全領域高精度電磁界解析を比較
(有効性確認)

⇒ 実際よりも小さい空港を想定し、検証

有限要素法: 高精度電磁界解析



建物数が3つ, 4つの場合でも提案
方法は全体を高精度電磁界解析
した結果と概ね一致

⇒ 有効性を確認

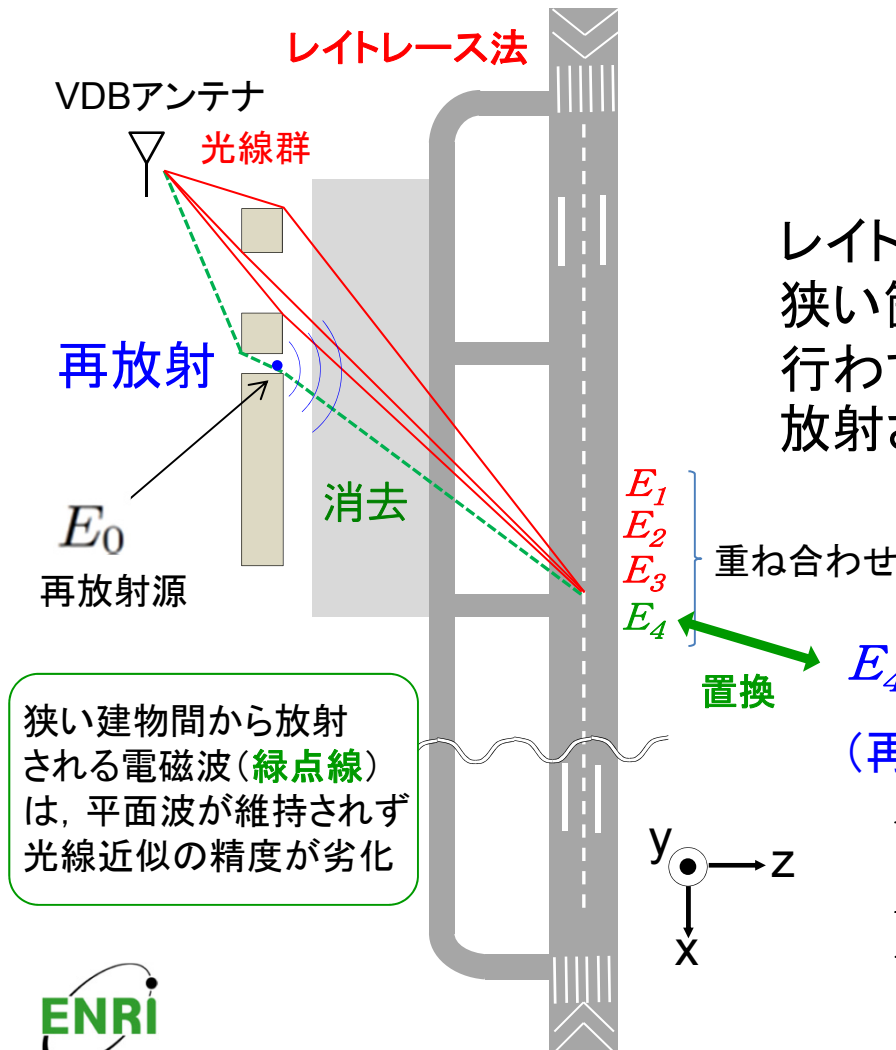
検討1 新たな電磁界解析方法 2

ケース2: VDBアンテナと滑走路間に建物が存在する場合

空港面の特徴に着目 建物が一列に配置



レイトレース法で各光線を求めた後、建物間隔が狭い箇所については、受信点での重ね合わせを行わず、別途再放射波源を導出し、建物間から再放射された電磁界を重ね合わせ



狭い建物間から放射される電磁波(緑点線)は、平面波が維持されず光線近似の精度が劣化

$$E_4' = -jk \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} E_0 e^{jkysin\theta} dx dy \quad (1)$$

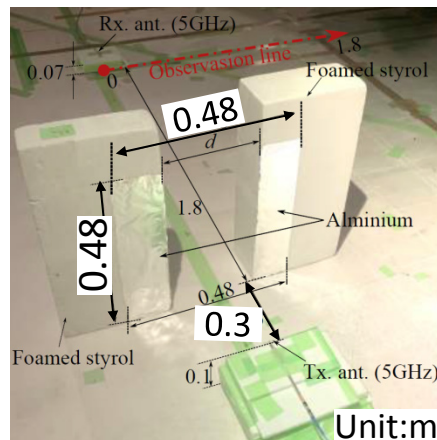
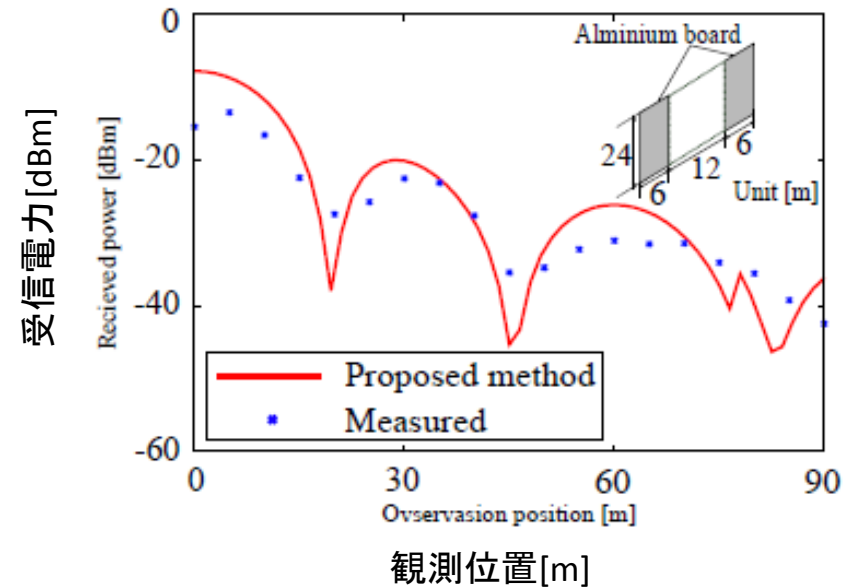
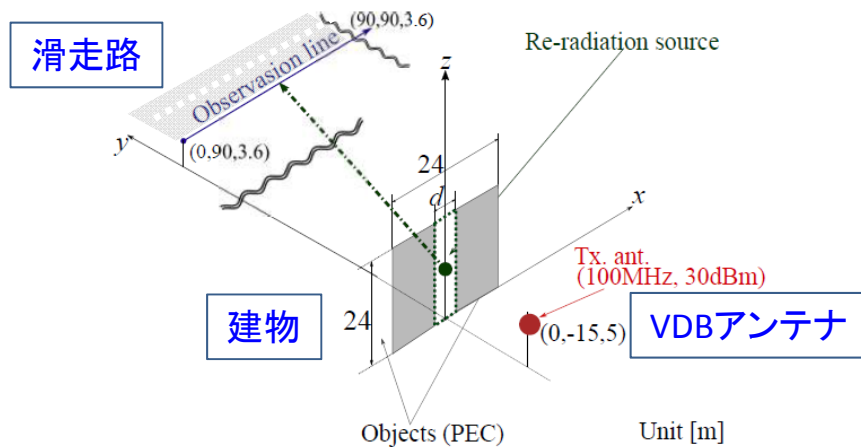
(再放射)

- E_0 : 再放射源の複素電界
- d : 建物間距離
- h : 建物高さ
- r : 再放射位置から滑走路受信用点までの距離
- θ : 建物正面方向と滑走路受信用点間の角度



検討1 新たな電磁界解析方法 2

評価結果の一例 (出典元: 文献[5])



スケールモデル実験の様子(100MHz→5GHz)

- スケールモデル実験にて評価
- 初期検討を実施
 - ・ 建物⇒金属板
 - ・ 再放射波源電力は別途計算(有限要素法)
- 提案方法と測定結果は概ね一致
⇒提案方法の有効性を確認

検討2 電波伝搬解析の精度要件

- 1) アンテナ設置場所検討で電磁界解析を使用する際の精度要件を提供
- 2) 実際に覆域内において受信電力が低下・瞬断した際にGBAS機上装置へどのような影響を与えるかを把握することは運用およびアンテナ設置上重要

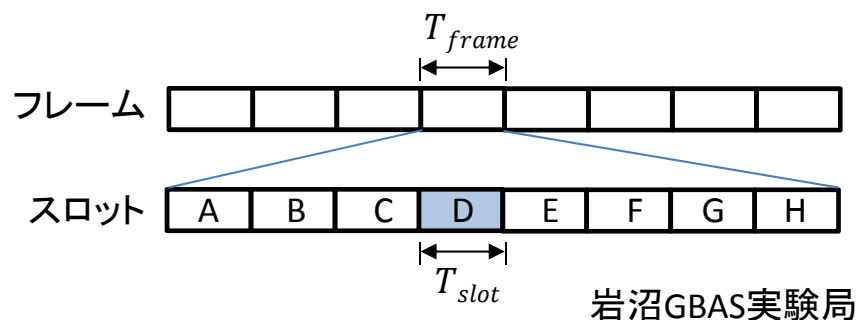
タイプ	メッセージ内容	送信頻度
TYPE1	擬似距離補正值	0.5秒
TYPE2	GBAS関連データ	10秒
TYPE4	FASデータ	10秒

ICAO SARPs ANNEX10

3.6.8.3.4 Message loss

3.6.8.3.4.1 3.5秒の間に受信機がTYPE1メッセージを受信できない場合は警報を発生(GAST-C)

(GAST-D 1.5秒, 200ft以下)



T_{frame} : 0.5 sec

T_{slot} : 0.0625sec (最大)

タイプ1メッセージ欠落に起因する
警報発生確率(GAST-C)定式化

$$\varphi = \frac{1}{T_{frame}} t_{out} - \frac{6T_{frame} - T_{slot}}{T_{frame}} \quad (2)$$

t_{out} : 瞬断時間

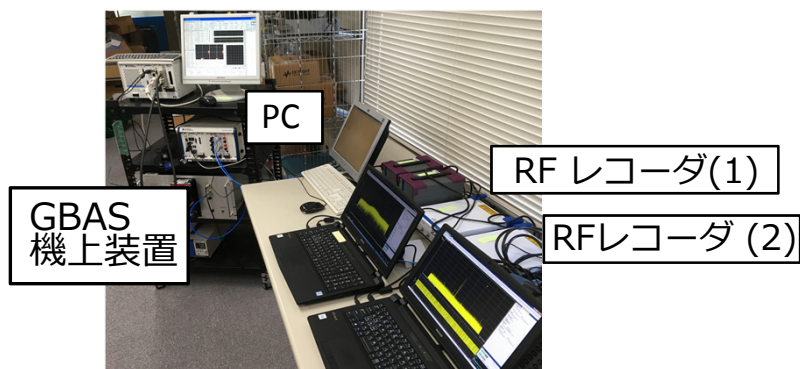
2.9375sec以上の瞬断で警報が発生

検討2 電波伝搬解析の精度要件

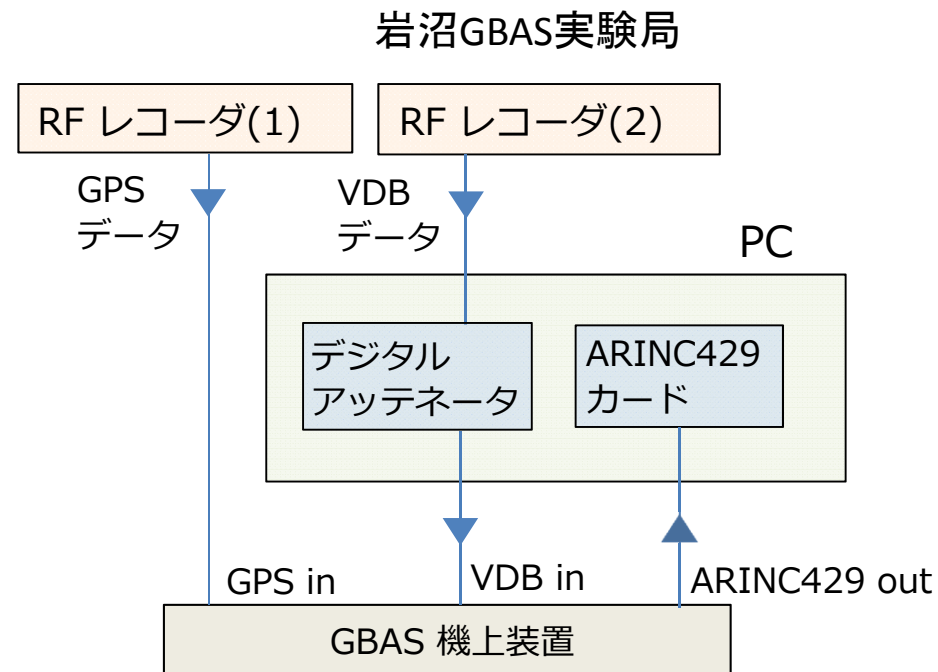
機上装置による検証

＜実機での検証＞

- RFレコーダを用いてGPSデータとVDBデータを記録(同期)、実験室にて再生
- デジタルアッテネータを用いて時間軸での受信電力低下(覆域の劣化)を模擬



測定の様子

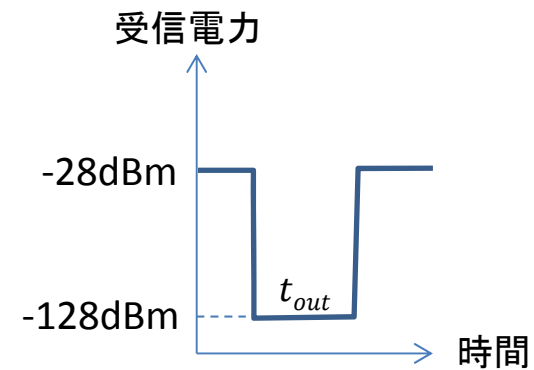
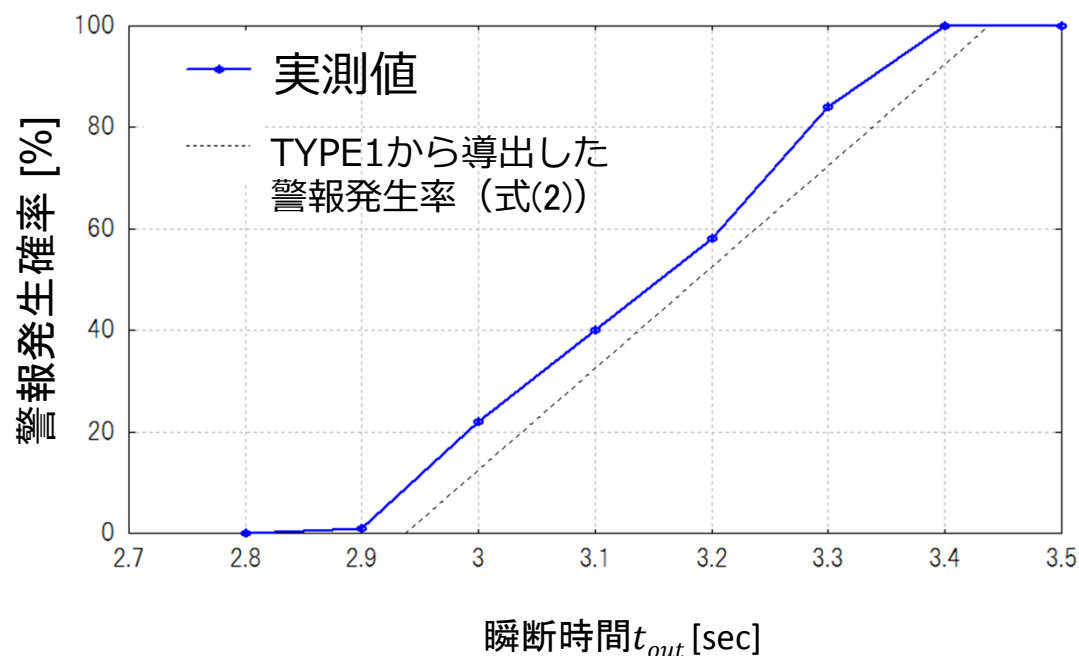


測定系

警報出力発生率を実機にて調査

検討2 電波伝搬解析の精度要件

受信電力瞬断時間と警報発生率



- ・ 2.9秒以上の瞬断で警報が発生
- ・ 3.4秒で100%の警報発生 (TYPE1)

- 瞬断による警報発生はTYPE1メッセージの消失が支配的
- 2.9秒以上の瞬断が発生する可能性がある部分においては電磁界解析精度が必要
⇒ e.g. 閾値(-72dBm)付近のレベルが2.9秒以上の場合

まとめと課題

まとめ

国内空港へのGBAS普及に向けた運用課題の一つであるVDBアンテナ設置技術に関し

検討1: 滑走路VDB覆域を電磁界解析する際の課題を解決する新たな電波伝搬解析方法を考案し、基本動作を確認

ケース1: VDBアンテナがターミナルビル付近に設置された場合(手法1)
建物密集エリアのみ高精度電磁界解析し、レイトレースによる減衰と合成

ケース2: VDBアンテナと滑走路間に建物が存在する場合(手法2)
レイトレースの精度が劣化する狭い隙間を別途放射積分により算出・合成

検討2: 上記電波伝搬解析時の精度要件の調査

⇒ 2.9秒以上の瞬断が発生する環境下(=覆域劣化)での電磁界解析において精度が必要

課題

- ◆ 実際の空港への適用し、評価手法の有効性を検証
- ◆ 覆域劣化の許容範囲を明確にし、電磁界解析および運用のための指針を提供

ご清聴ありがとうございました

Q & A