

# 11.積雪によるローライザのコース偏位発生抑制法について

機上等技術領域 ※横山 尚志、朝倉 道弘、田嶋 裕久  
青森大学 中田 和一

## 1. はじめに

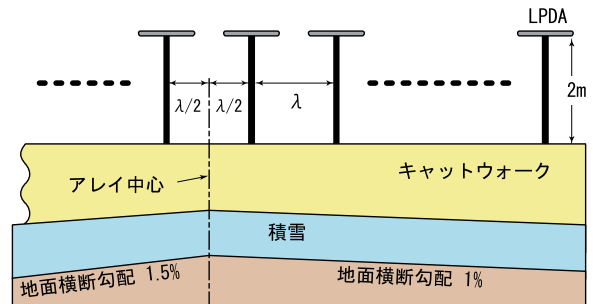
青森空港では 2007 年 3 月から CAT (Category) III の共用が開始された。そのため、2005 年に滑走路を 2500m から 3000m に、LLZ (Localizer) アンテナを 1 周波から 2 周波方式に、FFM (Far Field Monitor) を電波高度計用地に整備した。また、LPDA (Log Periodic Dipole Antenna) に付着する着雪・着氷除去のための台座 (キャットウオーク) が整備された。しかし、青森空港は、わが国で最も積雪量の多い空港である。2006 年の冬期、FFM の整備後に予想もしなかったコース偏位が観測された。本現象は、冬季の空港の運用にとって由々しい問題である。そこで、コース偏位の発生する反射面調査と除雪方法に関する種々の調査を行った。その結果、コース偏位の発生要因は、降雨又は日照による融雪であること、また、降雨によるコース偏位は、圧雪よりも新雪時に著しいこと、しかし、圧雪状態に管理しても降雨によるコース偏位は  $|\text{DDM}| \leq 4\mu\text{A}$  の ICAO (International Civil Aviation Organization) の規格値を逸脱する可能性がある<sup>(1)</sup>。そこで、平成 20 年度に、反射面の遮蔽構造体を使用したコース偏位抑制法についての評価を行った。本稿は研究成果の一部である。

本稿は、2 で積雪時の LLZ コース偏位量、3 で遮蔽フェンスを用いたコース偏位抑制法、4 で遮蔽フェンスによる長期安定性の評価結果について報告する。

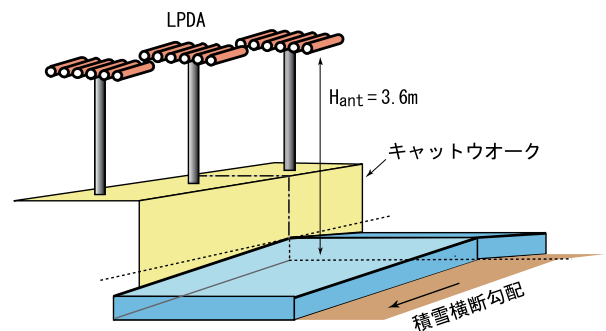
## 2. 積雪時の LLZ コース偏位量

### 2.1 LLZ アンテナ方式

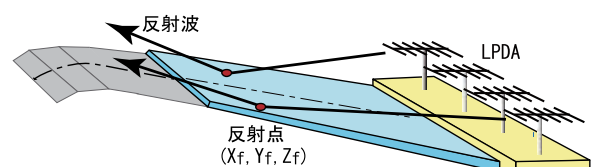
図 1 に示す LLZ アンテナと前方反射面を示す。LLZ アンテナは 2 周波 24 素子横型空中線である。2 周波方式は Dir (ディレクショナル) 系と CI (クリアランス) 系パターンを放射する。Dir 系は進入コース形成用で、周辺構造物



(a) 24素子LLZアンテナ正面図



(b) LLZアンテナ、地面及び積雪横断勾配側面図



(c) LLZ反射面の縦断勾配と積雪反射波

図 1 LLZアンテナと前方積雪反射面

からの影響を低減するため、1 周波と比べてコース方向に鋭いビームを形成する。一方、CI系はオフコース方向の輻射を極力抑圧して擬似コースが生じないパターンを形成する。アンテナ素子として広帯域の LPDA を用い、アンテナ高を地面から  $H_{ant}=3.6\text{m}$ 、キャットウオークの高さを  $1.6\text{m}$  にしている。また、図(b)、図(c)に示すように反射面には横断勾配と縦断勾配が付いている。横断勾配は  $A_h=1.0\% \sim 1.5\%$  で若干の左右非対称に、縦断勾配は LLZ

アンテナから 800m まで、 $A_s=0.5\%$  になっている。

## 2.2 積雪時のコース偏位

表1に17年度の積雪時のコース偏位を示す。1月12日と1月26日の豪雪時に著しいコース偏位が生じた。積雪は圧雪・除雪前の自然積雪状態である。FFMとF/I (Flight Inspection) を比較すると、FFMの地点に比べて遠方のコース偏位は増加の傾向を示している。積雪は $D_{sw} \geq 120\text{cm}$ と多く、気温は例年に比べて低温であった。

表2に19年度の積雪時のコース偏位を示す。積雪評価を実施したが、積雪は圧雪状態のしまり雪 $\varepsilon' \approx 2.0$ であった<sup>(2)</sup>。表のコース偏位は数日間継続した。

表よりコース偏位の極性は $D_{sw} \leq 80\text{cm}$ では+DDMに、 $D_{sw} > 90\text{cm}$ では-DDMの傾向を示す。

図2は、コース偏位に寄与する反射面の積雪位置を明らかにするため、LLZアンテナ近傍から滑走路方向に10m幅の帯状に除雪・圧雪をしたときのFFMの指示値の変動範囲を示す。変動が大きいのは、近傍の0~10mと

表1 2006年積雪時の進入コース偏位

月/日	FFM指示値	Flight Inspection
1月12日	-15 $\mu\text{A}$	-----
1月20日	-1 $\mu\text{A}$	-5 $\mu\text{A}$
1月26日	-5 $\mu\text{A}$	-9 $\mu\text{A}$

表2 2008年積雪時の進入コース偏位

月/日	FFM指示値	天候, 積雪深 $D_{sw}$
1月22日	1.3~1.9 $\mu\text{A}$	圧雪 $D_{sw}=50\text{cm}$ 後に FFM=0.4~0.8 $\mu\text{A}$ に減少
2月11日~ 2月14日	-5~-2 $\mu\text{A}$	気温上昇、降雨 $D_{sw}=111\text{cm} \sim 118\text{cm}$
2月16日~ 2月23日	3~2 $\mu\text{A}$	$D_{sw}=80\text{cm}$

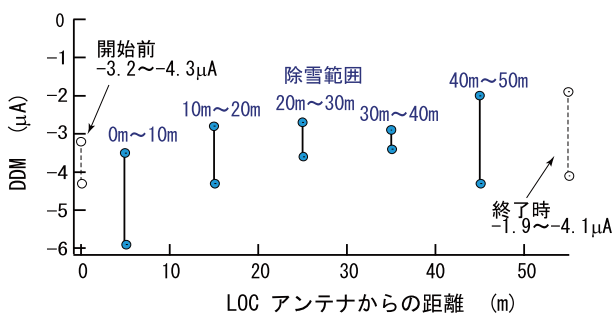


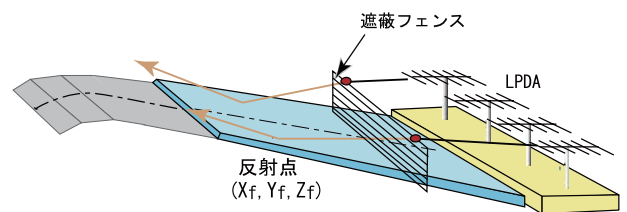
図2 2006年1月26日の帯状除雪によるコース変動

40m~50m の位置である。コースの変動は除雪によって生じた段差の壁による電波の壁面散乱の影響である。このことは、コース偏位に寄与する反射面が近傍 0~10m と 40m~50m 付近であり、かつ、表1と表2より、冬季の降雨によるコース偏位はLLZのコースアライメントの規定値 (CAT IIIでは $|DDM| \leq 4\mu\text{A}$ ) を逸脱する可能性がある。したがって、青森空港において冬季のCAT IIIを実施するには、除雪以外に何らかの防止手段を講じる必要がある<sup>(1)</sup>。

## 3. 遮蔽構造体を用いたコース偏位抑制法

### 3.1 遮蔽構造体の理論

LLZは左右対称のキャリヤ放射パターンと左右が逆位相のサイドバンド放射パターンで形成される。このため、進入コースから左右の空間信号は複素共役になる。コース上では虚数部が消去されて実数部のみとなる。しかし、LLZ反射面の積雪が、降雨等による融雪で左右非対称になると、積雪表面の反射係数が異なるのでコース上で虚数部が残留し、コース誤差を生じる。そこで、図3に示す遮蔽構造体(遮蔽フェンス)を用いたコース誤差消去法を提案する。その遮蔽フェンスはあくまでもLLZアンテナにとって障害物であるため、LLZの空間信号の対称性により、LLZア



(a) LLZ反射面の隠蔽フェンス



(b) 隠蔽フェンス工事写真

図3 LLZ積雪反射面の遮蔽構造体

ンテナと平行に遮蔽フェンスを設置することによって遮蔽フェンス上部で生じる回折波が左右対称になるので、積雪反射によるコース誤差が軽減される。

### 3.2 遮蔽フェンスの構造

図3に、今回、設置した遮蔽フェンスを示す。遮蔽フェンスの設置条件は、LLZアンテナからの距離を  $x_{fn}=55m$ 、高さを  $h_{fn}=2.5m$ 、横幅を  $w_{fn}=60m$  である。写真に示すように、当初、取り外しが容易なパネル型フェンスを設置した。この方式はテンションを分散でき、かつ、軟弱地盤での架設工事に適した構造体であり、滑走路末端から 1/50 の進入表面を満足する。

### 3.3 遮蔽フェンスの効果の解析結果

図4に遮蔽フェンスの有・無のときのコース偏位の解析結果を示す。図(a)に誘電率の測定点、遮蔽フェンスの設置位置を示す。図(b)に除雪による左右非対称の積雪深と誘電率の測定結果を示す。図(c)の黒実線は遮蔽フェンスを置かない場合で、コース誤差が  $DDM \leq 4\mu A$  になるが、FFMの設置位置(2NM)でDDMが最小になる。遮蔽フェンスを設置すると、コース誤差が  $|DDM| \leq 0.5\mu A$  に抑えられ、地面反射の影響が抑圧される。

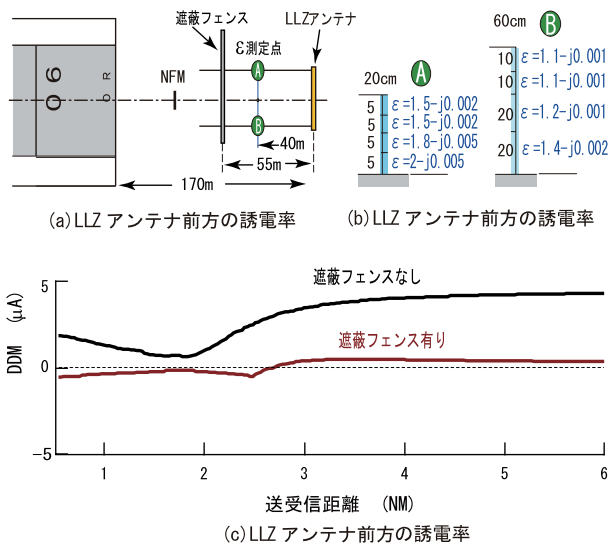


図4 遮蔽フェンス有無による積雪時のコース偏位

## 4. 遮蔽フェンスによる進入コース安定性

### 4.1 遮蔽フェンスの長期評価

図5に遮蔽フェンスによるFFMの安定性の試験結果を示す。図(a)は1月、図(b)は2月、図(c)は3月の実験結果である。1月から2月24日までパネル型フェンスを用いたが、2月24日からワイヤー型フェンスに改修した。パネル型フェンスでは、フェンスの滑走路側の遮蔽領域で電界が波状的に変化する。これは障子形パネルの接合面に生じた1~3mmの隙間によって電波の漏れが生じ、フェンスの回折波との干渉によるものである。そこで、ワイヤーを上下10cm間隔とし、60m横に張るワイヤー型フェンスに改修した。

図(a)、図(b)では、 $DDM \approx -2\mu A \sim +1\mu A$  の長期変動とスパイク状の短期変動が生じている。しかし、ワイヤー型フェンスに改修した2月

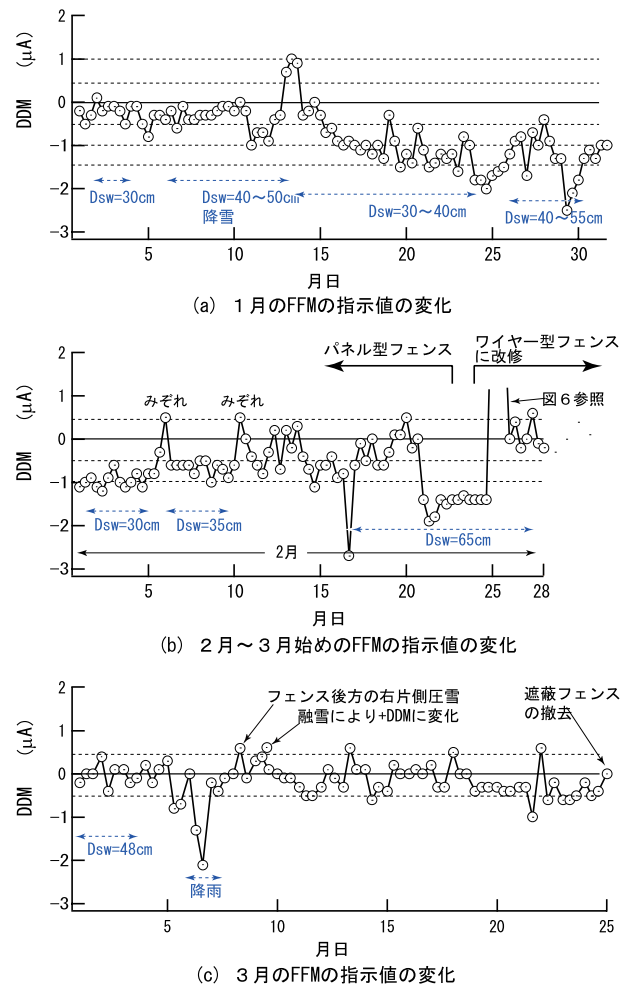


図5 2008年1月~3月のFFM-1の変化

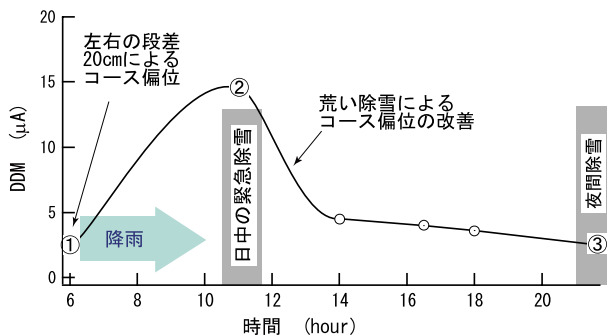


図6 LLZ近傍の段差と降雨によるコース偏位と平坦除雪によるコース偏位の軽減

24日以降では、長期変動が FFM の定常変化 ( $|DDM| \leq 0.5 \mu A$ ) にまで減少した。なお、表1と表2のコース偏位は長期変動であるので、遮蔽フェンスを用いればその発生を防止できたと考えられる。スパイク状の短期変動は、図に示すみぞれや3月7日の降雨によるもので、ワイヤー型フェンス改修後にも  $DDM \leq 2 \mu A \sim 2.5 \mu A$  の変動が発生する。

#### 4.2 近傍積雪面の段差による影響

図6は、図5(b)の2月25日のコース変化を示す。

図①のコース変化は積雪量が少なく、コース偏位も低レベルであったので、LLZから遮蔽フェンスまでの積雪に左右20cmの段差を付けた場合である。

②は翌朝の降雨によって著しいコース偏位が発生した。許容値を逸脱する恐れがあるため、LLZ前方の段差を平坦にする緊急除雪を実施した。その結果、数時間後には  $DDM = 3.5 \mu A$  まで減少した。このようなコース変化はワイヤー型フェンスを設置してあるので積雪反射面の影響ではない。むしろ、アンテナ根元の積雪との結合によってLPDA放射パターンが変化する現象である。

③はLLZ近傍積雪面に、緊急除雪後10cm程の段差が生じていたので、夜間、念入りに除雪を行い平坦にした。その結果、 $DDM = 2.2 \sim 2.8 \mu A$  に減少した。

積雪の左右の段差は、人為的に付与したもので通常の積雪面は平坦であるから本件のような著しい変動は運用時に生じることはない。LLZ近傍の除雪は特に念入りに行う必要があ

る。

## 5. まとめ

降雨による積雪の融雪によるLLZのコース誤差改善を目的とした遮蔽構造体を提案し、その評価結果について述べた。

(ア) 遮蔽フェンスを設置しない場合、FFMに降雨・融雪による短期変動と長期変動が生じる。長期変動は反射面の雪質の左右非対称性により  $|DDM| \leq 15 \mu A$  のコース誤差が生じるが、遮蔽フェンスを用いれば、長期変動がFFMの定常状態にまで抑圧される。

(イ) 一方、短期変動はアンテナ根元の積雪との結合によるLPDA放射パターンの変化によるもので、今回の評価により  $|DDM| \leq 2.5 \mu A$  のコース誤差を生じることが確認された。この成分は遮蔽フェンスを用いても除去できない近傍界の現象である。

(ウ) 短期変動はCATIIIのコースアライメント ( $|DDM| \leq 4 \mu A$ ) に肉薄するが、降雨後に発生するため、降雨時にカテゴリダウンをする等の運用上の措置を講ずれば冬季CATIII実施の可能性も考えられる。

(エ) 短期変動の低減方法としては、①LLZアンテナ直下～10mの区間を定めて、降雨・融雪時に20～30cm以下の除雪と遮蔽フェンスを併用する方法、②除雪の代わりにLLZアンテナ直下～10mの区間に水槽を設けて雪を溶かす方法、③LLZアンテナと遮蔽フェンスの間にワイヤープレーンを張る方法等がある。今後、十分に検討する必要がある。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力を頂いた東京航空局及び青森空港出張所の担当各位に厚く感謝します。

## 参考文献

- (1) 横山他：“青森空港の積雪によるLLZのコース偏位”，第8回電子航法研究所研究講演概要，pp.95-100，June2008.
- (2) 鈴木道也：雪氷電波・光工学，昭晃堂1987