



予防保守を実施する。

(1) 融雪実験：2004年12月から1月まで、現用反射板の早朝除雪時に、改良型反射板も除雪する。これにより改良型反射板の積雪深は10cm以下の薄雪状態に維持された。

(2) 積雪実験：2月から3月の降雪期には、改良型反射板は除雪をしないことにした。その結果、期間中の積雪深は  $10\text{cm} \leq D_{sw} < 40\text{cm}$  であった。

また、反射板外周の積雪深は、図1に示すA地区反射面の除雪基準（30cm以下の圧雪除雪）の状態にした。

### 3. モニタ反射板の融雪変動の解析

本項では、モニタ反射板の舗装厚をパラメータとし、舗装表面の積雪融雪時のモニタ特性の変化を解析する。解析では、GPアンテナを3素子2周波アンテナ方式、融雪時の反射係数は分布定数理論<sup>(1)</sup>を用い、反射板の形状を無限平板として解析する。反射板の積雪やアスファルトコンクリートは電氣的に損失誘電体となり、複素誘電率  $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$  で表される。今回の解析では、損失項の虚数部は  $\epsilon'' = 0.05$  の一定とし、 $\epsilon'$  を変化させて融雪を模擬する。

#### 3.1 融雪時の反射係数の変化

図3に、アスファルト舗装の厚さ  $D_{as}$  をパラメータとし、反射板の雪4cmの融雪時の反射係数を示す。横軸は、 $\epsilon$  の実数部、 $\epsilon' = 1 \sim 20$  である。 $\epsilon'$  の始点は  $\epsilon' = 1$ （自由空間）、終点は  $\epsilon' = 20$ （水）である。また、 $\epsilon'$  と雪質の関係<sup>(2)</sup>は、新雪 ( $\epsilon' \approx 1.5$ ) → 解け出し ( $\epsilon' \approx 4$ ) → シャーベット状態 ( $\epsilon' > 6$ ) → 水 ( $\epsilon' > 10$ ) に相当する。縦軸は反射係数の実数部  $\Gamma'$  を示す。

舗装厚が  $D_{as} = 6\text{cm} \sim 10\text{cm}$  の場合、 $\Gamma'$  の変動が著しい。現用反射板の  $D_{as} = 6\text{cm}$  のとき、 $\epsilon' = 10$  で最小値  $\Gamma' = -0.56$  になる。これに対して、厚さが  $D_{as} = 18\text{cm}$ （改良型相当）になると、赤の実線に示すように  $\Gamma'$  の変動が最小化される。

図4に、アスファルト舗装の厚さ  $D_{as}$  をパラメータとし、融雪時の反射係数の極座標表示を示す。 $\epsilon' = 1 \sim 20$  の変化に対して反射係数が右回りでほぼ1回転する。 $D_{as} = 6\text{cm} \sim 10\text{cm}$  のとき、 $\Gamma$  は大きな楕円で変化する。改良型の  $D_{as} = 16\text{cm} \sim 18\text{cm}$  になると、 $\Gamma$  の変動は  $-0.98 \sim -0.95$  と減

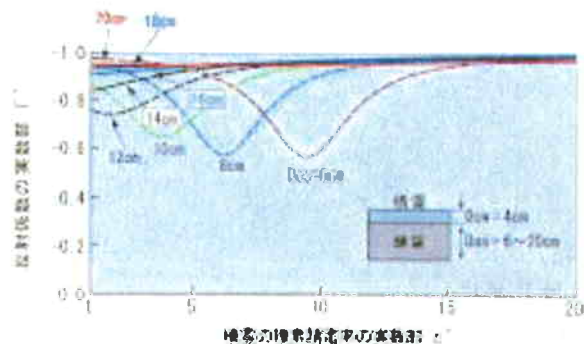


図3 反射係数の実数部の変化

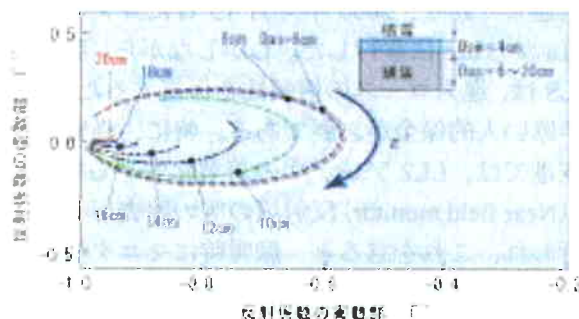


図4 反射板の舗装厚に対する融雪時の反射係数の変化

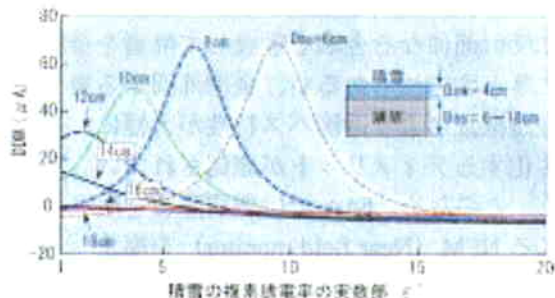


図5 反射板の舗装の厚さ  $D_{as}$  を変えて、その上の積雪  $D_{sw} = 4\text{cm}$  の融雪時の DDM 特性

少し、融雪時の反射係数は著しく安定化する。

#### 3.2 融雪時のモニタ指示値の変化

図5に、反射板のアスファルト舗装の厚さをパラメータとし、融雪時のモニタ指示値の変化を示す。図の横軸は、 $\epsilon$  の実数部、 $\epsilon' = 1 \sim 20$  である。縦軸の融雪変動が発生するのは、舗装厚が  $D_{as} = 6\text{cm}, 8\text{cm}, 10\text{cm}$  の場合である。これに対して、 $D_{as} = 16\text{cm} \sim 18\text{cm}$  になると融雪変動が無くなる。

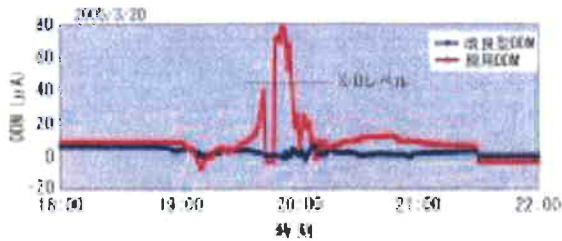


図6 融雪変動



図7 現用反射板の除雪作業

#### 4. 比較実験結果

##### 4.1 融雪時の実験結果

図6に融雪比較実験の実験結果を示す。赤実線が現用反射板で、青実線が改良型の場合である。19:00まで $D_{sw} < 10\text{cm}$ の降雪であったが、外気温の上昇で9:00には雪から雨に変わった。

(1) 赤実線（現用反射板）の融雪変動は、19:10（ $-8\mu\text{A}$ ）から始まり、降雨の沈降に伴い19:35頃から急激な変動に変わり、 $80\mu\text{A}$ の最大変化は19:55頃、20:15には融水の排出で正常値に戻る。モニタのS/D（system shut down）レベルは $\pm 45\mu\text{A}$ である。

(2) 青実線（改良型）の場合、全体に $5\mu\text{A}$ 以下で、殆ど変動が生じない。現用との変動減少率を求めると $p_w \approx 5/80 = 1/16$ になる。

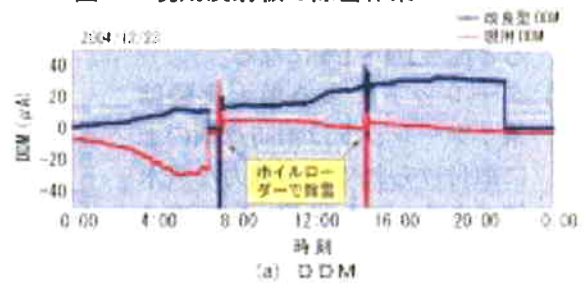
図7に現用反射板の除雪作業例を示す。反射点付近の融雪を残らず除去する作業である。本項の変動は降雨による融雪であったが、大半は日照による薄雪の融雪で発生し、多い場合、日に数回も図の保全作業が行われる。

##### 4.2 積雪深の実験結果

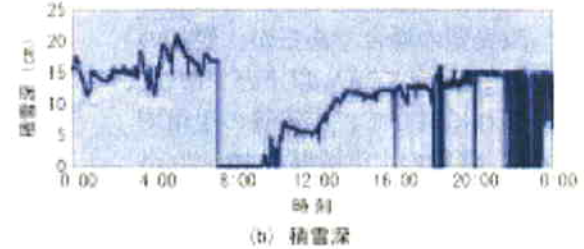
図8に積雪深が変化したときの実験結果を示す。赤の実線が現用反射板、青実線が改良型である。

(1) 赤実線では、0:00~6:00の間に $-7 \sim -35\mu\text{A}$ の変動が生じている。これが現用反射板の積雪深が変化したときの初期変動の特徴で、融雪変動とは異なる。放置すると、+側に転じてS/Dに至る変動が生じる。図では、それを防止するため、6:40~7:10に電源を落とし、ホイロードによる早朝除雪を行っている。

(2) 青実線は、除雪時間帯に車両の影響による変動が生じているが、全体に積雪深に比例して緩やかに変化している。これが改良型反射板の積雪深変動の特徴で、 $D_{sw} \leq 30\text{cm}$ まで除雪せずに放置することができる。図9に、改



(a) DSW



(b) 積雪深

図8 積雪変動

良型反射板の隅に設置した積雪深計を示す。

図8(b)の積雪深は図9のようにして計測した。

##### 4.3 散水実験結果

融雪以外にも大粒で叩きつけるような降雨のときにS/Dが発生する。このため散水時の比較実験を行った。実験は降雨のように一定の雨量を反射板全体に散水することは不可能である。

そこで、図10に示すようにGPアンテナ中素子と上素子反射点付近に放水する実験を行った。

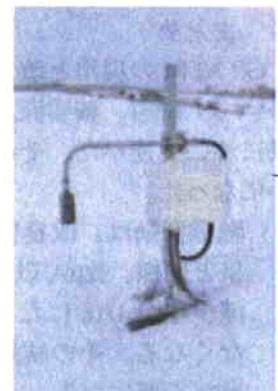


図9 反射面の積雪深測定

図11に散水の比較実験結果を示す。

- (1) 改良型反射板：図(a)の青実線が改良型の実験データで、散水箇所を前半分が上素子反射点、後半分が中素子反射点の場合である。周期的な変動が散水変動で、変動の上下振幅は  $6\mu\text{A}$  以下である。
- (2) 現用反射板：図(a)の赤実線が現用の実験データで、散水箇所を前半分が上素子反射点、後半分が中素子反射点の場合である。現用の場合、変動周期は上素子反射点で  $35\mu\text{A}$  に、中素子反射点で  $24\mu\text{A}$  に増加する。(1)と(2)の比から変動減少率を求めると  $\rho_w \approx 1/4 \sim 1/6$  になる。
- (3) ターレットによる散水実験結果：ターレットは消防車両の上に取付けられている強力な放水銃である。これを用いて下素子反射点付近に散水したときの実験結果を図(b)に示す。青実線が改良型の場合であるが、変動の上下振幅は  $3\mu\text{A}$  以下と少ない。これに対して、赤実線の現用では、変動の上下振幅が  $10 \sim 20\mu\text{A}$  に増加している。比較実験結果から変動減少率を求めると  $\rho_w \approx 1/5$  になる。



図10 散水実験状況

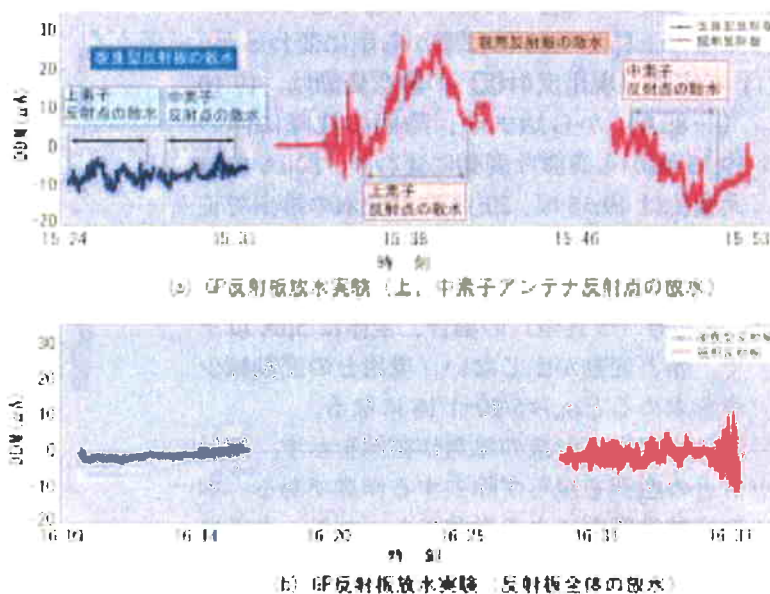


図11 GP反射板に散水したときのDDM測定

### 5. まとめ

GP NFMの現用と改良型反射板の比較実験について、融雪、積雪深及び降雨模擬等の実験結果について述べた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 融雪変動は、改良型反射板の場合、解析結果と同様、数 $\mu\text{A}$ 以下に、現用に対する変動減少率が  $1/16$  になり、融雪時の変動が生じなくなる。その結果、管技官の融雪除雪作業が不要になる。
- (2) 積雪深変動は、改良型反射板の場合、積雪深とほぼ比例してゆっくりと直線的に変動する。このため、積雪  $30\text{cm}$  まで除雪せずに放置することができる。
- (3) 散水実験の結果、改良型反射板の場合、現用との変動減少率が  $1/4 \sim 1/6$  になる。その後、2005年に、改良型反射板は青森空港

と千歳空港に整備され、現在、試験運用が行われている。今後は、反射板の面積の最小化、NFMアンテナレドームのみぞれ等の着雪防止、舗装の吸湿・劣化状態を診断するための監視装置の実用化技術の研究が課題である。

### 謝辞

比較実験の実施に際して、終始ご協力を頂いた航空局管制保安部、東京航空局無線課及び青森空港管制技術官などの担当各位に感謝の意を表します。

### 文献

- (1) 橋本修、電波吸収体入門、森北出版、1997、pp.26-41
- (2) 鈴木道也、雪氷電波・光工学、昭晃堂 1987