

空 港 除 雪 に 関 す る 一 考 察

—— ロードヒーティングシステムの適用 ——

正 員 清水浩志郎* 学生員 ○本 堂 直 和*
 学生員 笠 原 篤* 学生員 高 谷 俊 臣*
 学生員 吉 村 明*

1. 緒 言

最近北海道に於ける航空輸送は幹線、ローカル線とも目覚しい発展を遂げ、それに伴い冬期運航ダイヤ確保が大きな問題として注目されてきた。積雪寒冷地方に於ける除雪作業は鉄道、道路、空港を問わず冬期交通確保には不可欠なものである。特に鉄道、道路除雪の場合には強力な近代的機械を導入することにより、人力除雪の割合を減少し、車輛関係の小人数で短時間に遂行できるであろう。しかし空港除雪に関しては、将来如何に強力な近代的機械が導入されたとしても灯器付近など特定場所は相変らず人力除雪に頼らざるを得ない。航空輸送は気象など外部条件によって非常な制約を受ける。これら外部条件による冬期運航ダイヤの乱れは仕方ないとしても、除雪作業中の滑走路閉鎖による損失時間は極力減少しなければならない。

この研究では滑走路閉鎖時間の短縮、即ち人力除雪時間を減少ならしめるような除雪体系の確立に着眼し、昭和37年以来積雪寒冷地の融雪、凍結防止に広く使用されている電熱式ロードヒーティングシステムを空港除雪、特に人力に頼らざるを得ない特定場所に施工することにより、除雪能率の向上、冬期運航ダイヤの確保などを計り、その後除雪効果を算定するものである。尚、計画対象空港として積雪寒冷地方の代表的例として千歳空港に適用した。

2. 千歳空港の降雪状態

千歳は気象的にいって、札幌と苫小牧との中間的な型といえる。初雪はほぼ10月下旬にあり、根雪には11月中旬以降になる。また根雪が終るのは3月中旬頃である。

最深積雪は図1-1に示めたように、多くは1月、2月に現われる。積雪量に関してみれば、表1-1に示めすように30 cm以下の新積雪が99.9%を占め、そのうち5 cm以下の新積雪が83.6%を占めることから30 cm以上の大雪の頻度は極めて少なく、2.5 cm前後の積雪の頻度が大きいといえる。

又、時刻別、強度別の降雪の頻度を調べてみると、頻度の高い2.5 cm以下の降雪は、そのピークが午前3時であり、

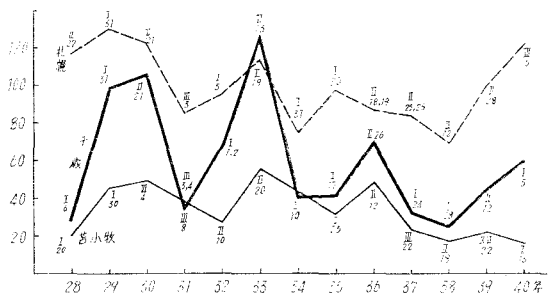


図1-1 積雪の深さの経年度変化 (札幌, 千歳, 苫小牧)

表1-1 新積雪の深さ(毎日)の階級別回数
(千歳航空気象台調べ)

(cm)	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計	%
0.0～ 2.5	97	170	154	144	152	55	772	74.7
2.6～ 5.0	8	19	25	19	16	5	92	8.9
5.1～ 7.5	3	8	18	13	10	1	53	5.1
7.6～10.0	2	6	14	12	4	0	38	3.7
10.1～12.5	0	6	5	6	5	0	22	2.1
12.6～15.0	5	5	8	2	2	1	23	2.2
15.1～17.5	0	3	4	2	0	0	11	1.1
17.6～20.0	5	1	1	0	2	0	4	0.4
20.1～22.5	2	2	0	0	1	0	3	0.3
22.6～26.0	0	2	2	2	2	0	8	0.8
25.1～27.5	0	0	2	0	2	0	4	0.4
27.6～30.0	0	0	0	1	0	0	2	0.2
30.0～5.00	0	0	1	0	0	0	1	0.1
合 計	117	222	235	201	196	62	1033	100
平均雪日数	117	222	261	223	218	69	1110	

(日界22時 1952年11月～1961年4月)

* 北海道大学工学部

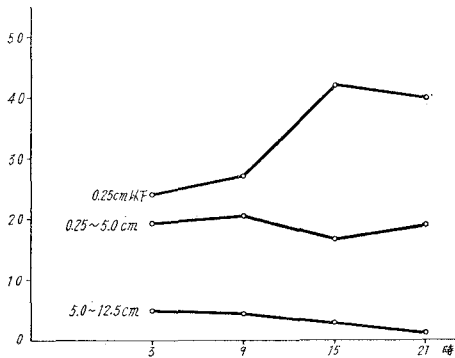


図1—2 時刻別、強度別、頻度
(千歳航空气象台調べ)

それ以上の強度の降雪は午前3時から9時にかけて多い。つまり降雪の頻度が高い時間帯は極く大ざっぱに言って、夕方から翌朝にかけてである。

以上、降雪の状況の概略を述べたが、ここにまとめると、除雪の必要な降雪は、時間的には、夕方から朝方にかけて多く、量的には2.5 cm以下のものが大部分であり、質的には初冬と春先の雪は湿雪が多く、1月、2月には乾雪が多い。従って降雪の種類は極めて複雑である。

3. 現在の空港除雪の方法

除雪方法を大別すると、次の3種類となろう。

1. 運搬除雪 2. 蓄積除雪 3. 高速除雪

市街地や郊外とは異なっていて、空港は除雪面積が集中している上に広いことや、短時間除雪を必要とするので、運搬除雪や蓄積除雪は、機械力や空港運用の面から、また、航空機の安全な離着陸を期すという面からも望ましくない。高速除雪の方法は降雪が始まり、積雪量が5 cmとなり次第に除雪を開始するという方法であり、現在の機械力を十分に活用した、安全性の高い、迅速な除雪方法で、空港除雪に最も適していると考えられる。

高速除雪は積雪量が一定基準(積雪5 cm)に達したらすぐに除雪を開始し、降雪が継続すれば除雪が終るまで、作業を行なう。この除雪作業は次の様な要領で行なわれる。

- 1) スノープラウが滑走路の中心線に沿って左側に除雪する。同時に誘導路、エプロンの除雪を始める。
- 2) スノープラウの後続車が前車の除雪した雪をさらに外側に除雪し、滑走路両側の滑走路灯の約2 m内側にウインドロウ(押寄せて形成した雪のうね)を形成する。
- 3) (1), (2)の作業中に人力により灯器まわりを除雪する。
- 4) 人力除雪の終わった灯器のまわりをモーターグレーダーが蛇行運転し、滑走路側のウインドロウまで除雪する。
- 5) 形成されたウインドロウをロータリー除雪車が滑走路の外側、約30 m遠くまで跳ね飛ばす。
- 6) 以上の作業を終ったモーターグレーダーが滑走路と

誘導路、誘導路とエプロンの接続部分を除雪する。

7) ゼロ・クリアランス(路面とプラウの下端との間隔をクリアランスといい、その間隔が0 cmの時をいう)を確保するためにモーター・スウィーパーが残雪を取り除く。

現在の除雪方法は機械除雪の形として一応確立されているが、人力がかなり投入されている。昭和38年度と同39年度には表-3・1のような人力が投入されている。

また、降雪量と除雪時間とは一次比例の関係があり、降雪量を X 、除雪時間を Y とすると、

$$Y = 1.42 X - 25$$

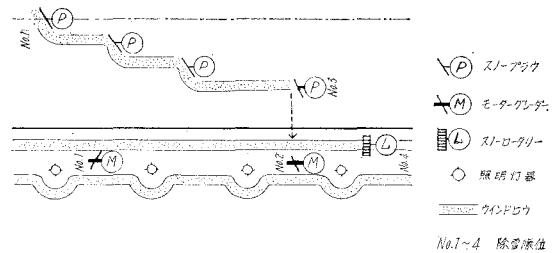


図3—1 除雪要領図
(千歳航空保安事務所調べ)

表3—1 昭和38, 39年度 除雪に要した延人数

	昭和38年度	昭和39年度
降雪量 (cm)	328.5	391.5
延運転手数 (人)	398	396
延除雪人夫数 (人)	244	249
延雑役夫数 (人)	85	79
合計延人数 (人)	727	724

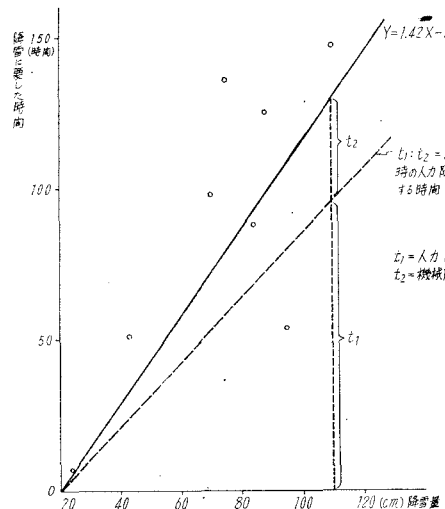


図3—2 月別降雪量と除雪時間の関係
(昭和38, 39年度)

となるが、雪の降り方や雪質によって、作業能率が変わってくるので、一概に結論は出せない。

しかし、降雪量が増加した場合には、現在のように人力除雪に多大の時間を費しているとするれば、除雪時の滑走路閉鎖時間は増加する一方である。それで人力除雪に費す時間が短縮された場合の除雪時間は極めて短時間になるということは注目せねばならない点である。

4. 現在の空港除雪の問題点の追求

千歳空港に於ける除雪方法の問題点を追求してみる。

誘導路の中心線灯（パンケーキ・ライト）の除雪については、中心線灯は舗装面より約3mm突き出ているので、モーターグレーダーやスノープラウ等の除雪車はクリアランスを0mmとすると、灯器を破損するばかりでなく、除雪車自体にも故障を生ぜしめることとなる。それ故に現在では7mmのクリアランスを取ったロータリー車により除雪が行なわれている。しかし、ゼロ・クリアランスではないので完全除雪出来ず、モータースウィーパーで除雪せねばならず、二重手間となり、時間のロスとなる。だが、中心線灯および誘導路灯の様な埋込型灯器の周囲の除雪は機械の大型化、能率向上、多量投入等により、問題は解消されよう。

誘導路灯（タキシューエイライト）についても中心線と同様な除雪法をとっている。しかし、自衛隊では人力除雪によっている。

滑走路灯（ランウェイライト）については、誘導路灯等とは異なり、地上約30cmも出ているので、完全に人力除雪に頼らざるを得ない。この部分を人力にて除雪するのに、全除雪所要時間のうち、4分の3ないし、3分の2を費していると推定される。従って、仮に1回の合計除雪時間が3時間必要であるとする、2時間前後が人力除雪に費されると見てよい。灯器類の除雪の問題点としては舗装面より突き出ていることであり、これが機械除雪を困難にしている。しかし、灯器の目的のためには人力除雪が妥当であろう。

滑走路と誘導路との接続部分は図4-1に示す部分が問題点となる。

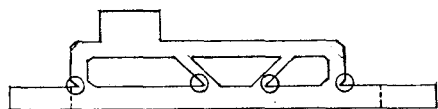


図4-1

この部分では、滑走路側からロータリー除雪車で除雪した雪が誘導路に入ることや、その逆の場合等が起り、除雪作業の能率を下げるほか、雪捨場の確保が難しい。また、その部分に雪の土手が出来ると、ジェット旅客機のエンジンが雪につかえることも起こる。着陸時の制動との関

係においても、誘導路の取付け部を拡張せねばならない。また、自衛隊のジェット戦闘機用拘束装置（アレスティングギヤ、クラッシュバリアー）が北側誘導路の滑走路取付け口のすぐわきにあるが、この部分は除雪車は入れないので、人力除雪にのみ依存しているため、この部分は一層時間がかかる。拘束装置関係では東側滑走路（民航はこの滑走路しか使用出来ない）の南北両端のオーバーラン部に、前述の2種の装置があり、その上、滑走路末端灯等もあり、全く除雪車は使用出来ないで、人力によって除雪をしている。

千歳空港の滑走路および誘導路のショルダーは非舗装で凍上が起り、ショルダー路面が凸凹となるため、除雪車は入れず、このショルダー部分は冬期間、除雪不能となるほか、融雪期等には排水が悪く灯器付近で、また誘導路の排水勾配がほとんどないためいたる所で、水浸し、アイスバーン形成が発生し、危険な状態が発生する。

エプロン部分では柱式照明灯が5基並列してあるため、これらの照明灯を中心として雪をエプロン外に押し出しているが、路雪量、エプロン面積の増大にともなって雪捨場の確保が難しくなる。また、照明灯器付近は人力除雪をしている。

現在の除雪車では路面の凹凸等により、ゼロ・クリアランスといえど完全に雪を除けない。これらの残雪が融けた後アイスバーンを形成することが多い。アイスバーンの除去は人力、除雪車輛をしても不可能である。航空機はアイスバーン上を滑走する時には非常に不安定である。

アイスバーンを防止する方法は現在では除雪直後にモータースウィーパーで残雪を除くのが一番よいとされている。

5. 千歳空港改修計画

昭和41年度よりの一連の千歳空港改修計画で、次に述べる事項の改修が計画され、実行に移っている。前節で述べた問題点の内、殆んどがこの改修により解決されると思われる。

1. 誘導路の重上げ、及び路面排水勾配の強化。
2. 誘導路取付け口の拡張。これは民航用の4本の誘導路の鋭角部分を廃しようというもの。
3. 誘導路の移設。現在の民航用北側誘導路を南側に約25m移設して、拘束装置との間隔をあげ、除雪をしやすくするため。
4. 民航用エプロンの拡大。現在6バースのエプロンを9バースに拡大する。
5. ショルダー部の舗装。
6. エプロン部の灯器のターミナルビルへの移設。

これらの実施により滑走路と誘導路接続部の除雪、融雪流水による凍結も以上によって解決された。それ故に空港除雪の問題点としては灯火回りの人力除雪にほかならない。

6. 空港除雪としてのロードヒーティングの応用

6-1 ロードヒーティングの一般的性質

現在用いられているロードヒーティングシステムはフレキシブルケーブルを発熱体とする方式が主であり、現時点では最も耐久性、価格、施工の難易等が他のヒーティングシステムと比した場合に抜群に優れているので、空港に導入する際に、この方式を用いるものとして考察する。さてこの方式を空港除雪法として採用したときに於ける除雪作業上の長短を以下に述べる。

6-1-1 除雪作業上の長所

一般向けのロードヒーティングの長所としてはいろいろあげられるが、空港除雪と限定した場合、次の14項目ととなる。

1. 施工部は除雪の為の人手を要せず、四六時中いつでも運転可能である。
2. 電気により路面を暖めるために維持が楽で保守作業が不要な上、故障も少なく寿命も長い。その上、万一故障の際は更换出来る。
3. 手動制御、自動制御の切換えが出来るほか、遠隔操作、ワンマンコントロールが出来る。特に自動制御では路面温度により作動するため、最適な運転が出来、路面温度検知装置のため、制御所では路面温度を常に監視出来る。これは非常に手動制御の際に役立つ。
4. 発熱ケーブルの加工が簡単な為、いかなる形にも施工出来るので、機械除雪の不可能な部分に有効である。
5. 機械除雪にありがちな路面や地上工作物を破損せず、それによる危険もなくなる。
6. 部分的に施工が可能な上、施工部分全体に同時に効果があるほか、性能が安定している。
7. 特に加熱を要する部分のみ運転可能である。
8. 雪を水に変えて処理するため、ゴミ等が残らず、雪捨場の確保もいらない。
9. 路面が無雪状態を保てるため滑らない。
10. 深夜時の余剰電力を安価にて使用出来る。
11. 地中の蓄熱作用により凍上を防ぐほか、経済運転も可能である。

12. 降雪量の多少や気温等から所要加熱電力量を求めるため、施工地に最適な融雪効果を得ることが可能である。
13. 施工は簡単で迅速に行なえる。又仕上がりの路面は一般のタワミ性舗装と変らない。
14. 実働時間、運転費用等の実体を把握しやすい。

以上の様にロードヒーティングシステムは非常に優れた長所をもっているので、この点を有効に生した施工がなされるべきであろう。

尚、舗装体及び舗装強度についてはこの研究で触れないことにする。

6-1-2 ロードヒーティングシステムの短所

次にロードヒーティングシステムの短所について述べてみよう。これらの欠点は空港に施工する場合に限らず、一般的なものである。

1. 電力料金、特に電力基本料金の占める割合が高く、不稼動時にも徴収される為に、非常に高い。
2. ケーブル、給電設備等、施工費が高い。
3. 剛性舗装を舗装材に用いた例は殆んどない。即ち、コンクリート等の破損により、ケーブルがセン断されるおそれがある。
4. 大電力が必要の為に、専用の変電設備を必要とする。
5. 降雪時以外には遊休設備となる。
6. 耐久性、耐熱性、耐油性の舗装材を必要とする。
7. 融雪流水の処理が必要である。又、融雪水により、加熱路面と非加熱路面との境界で凍結が起きやすい。
8. 施工が不完全の場合、耐久性が著しく減少する。

以上が欠点であるが大部分は金銭的なものであるから、解決のつくものが多い。

6-2 ロードヒーティングシステムの融雪能力

ロードヒーティングシステムによる融雪は次の3段階に分類される。

1. 降雪は一時堆積し、降雪終了後に融ける。つまり融雪能力が不十分な場合である。
2. 降雪は一部融解して、ジャム状（スノージャム）になる。
3. 降雪は瞬時に融ける。

の3通りとなる。

一般に 1 m^2 当りの必要加熱量は、W. P. Chapman の公式¹⁾によって求めることが可能であるが、現段階では路面温度、風速等のデーターを入手するのは不可能である。しかし、北海道路面融雪共同研究会が昭和38年～39年に行なった一連の実験より大体の所要電力量が求められる。図1-1から判断して千歳では札幌よりも気候的条件が良いと言えるから、札幌での施工を千歳で当てはめてよい。前記の3種の融雪状態と必要電力量とを表にすると表6-2-1となる。

表 6-2-1

状 態	所要電力量 (W/m ²)
1 の 状 態	200～235
2 の 状 態	235～250
3 の 状 態	250～300

この値で千歳に施工した場合、十分な能力を発揮すると推測される。

6-3 空港除雪の場合の施工

この研究で例として扱っている千歳空港は軍民共用の空

港であるために、施工に於いてもその点を考慮する。前節で述べた融雪能力より、前章の空港除雪の障害部に施工する場合での所要電力量を割り出して表 6-3-1 とする。

ここで拘束装置部は一般の民間空港には必要ないものであるために、別に計算する。

ここで各灯器について述べると、滑走路灯は地上に突き出ているので、1m×2mの施工面積とし、誘導路灯及び進入路灯は前にも触れた様に地上数mmしか突き出していないので、機械除雪の為に最低必要限と思われる1m×1mの面積に施工するとした。又、現在民航側使用部分の誘導

表 6-3-1

施 工 個 所		所要電力量 (W/m ²)	施 工 面 積 (m)	電 力 量 (kW)	摘 要
滑 走 路 灯 部		250	162	40.5	1 m×2 m×81 カ所
誘 導 路 灯 部		250	80	20.0	1 m×1 m×80 カ所
進 入 路 灯 部		250	45	11.25	1 m×5 m×9 カ所
滑 走 路 末 端 灯 部		250	80	20.0	2 m×10 m×4 カ所
小 計			367	91.75	
自衛隊関係	拘 束 装 置 部	280	180	50.4	1 m×45 m×4 カ所
	地上工作物のない部分	235	1,350	317.25	15 m×45 m×2 カ所
	小 計		1,530	367.65	
総 計			1,897	459.4	

路灯は、前述の様にスウィーパーをもって除雪しているので特に必要としないが、除雪作業を要しない降雪量の際にロードヒーティングの運転が最適であるから施工をするべきであろう。しかし、この研究では空港現状から判断して人力除雪を皆無にするのが先決と考えて自衛隊の管理している第一除雪優先順位にある部分の誘導路のみに施工することとした。従って、スウィーパーによる機械除雪とロードヒーティングとの対照を述べるべきであって、それにより経済的見地等からいずれが優秀かを判断すべきであろう。しかし、十分なデータと時間を無かったために省いた。進入路灯については、この研究の対照の東側滑走路の南側過走帯(オーバーラン)にのみ設けてあり、灯列間隔は30m 1列に5灯あり、埋込式灯火なので、1m×5mを施工することにした。滑走路末端灯は滑走路灯と同様に地上に突き出ている上、滑走路末端に一列に片側4灯あるため、両端計4箇所を2m×10mの施工面積とした。拘束装置部分はワイヤー等に熱が吸収されるので、加熱電力量を多少高め280 W/m²とした。これによってワイヤー等の着雪もなくなるものと推測される。地上工作物のない部分では235 W/m²としてある。この部分は拘束装置間(アレスティングギャとクラッシュバリアの間)で機械除雪不能であるため施工したものである。

以上拘束装置部は民間空港に不要なもので別に記載してある。

6-4 排水問題

5章で述べた千歳空港改修計画によると、ショルダー部

を舗装することにより、排水の不良が解消されよう。すると滑走路灯、誘導路灯及び進入灯、滑走路末端灯の各灯火部では排水を考慮しない。拘束装置部では施工面積から判断しても、相当量の流水を生ずる。それで集水穴を2m間隔に設け地中1m 迄導水バルブを埋込む。札幌での凍結深度は80 cmと考えられるので1mと定めた。

千歳空港の場合地質が火山灰土なのでこの方法で完全である。しかし他の空港で側溝を利用すべきであり、側溝にもヒーティングシステムを適用することは当然である。

6-5 施 工 工 事

ケーブルのロードヒーティングシステムでは所要加熱量と単位長さ当りケーブル発熱量より、1m²当りのケーブル長が求まり、ピッチ(発熱線間隔)が定まる。その場合の施工は図 6-5-1 に示めす。施工面積が大きい時に向く。図 6-5-2 は施工面積が小さい時に製造元の工場で所要加熱量と施工形状及び施工面積を予め合わせてユニットタイプとしたものである。これは製造元に発注の際に加工してもらえるために、現場での作業を著しく減らすので優れている。それで各灯火部分には後者の方法を採用し、拘束装置の235 W/m²の部分に前者の方法をとる。

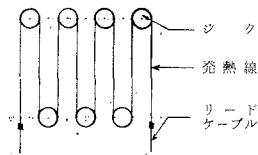


図 6-5-1

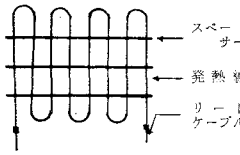


図 6-5-2

6-6 舗装体

現在用いられている舗装体構造の内、車道用の構成を図6-6-1に示す。これは北大菅原照雄工学部教授の案によるものである。前に述べたが剛性舗装は殆んど用いていない。

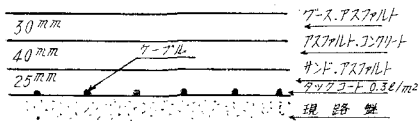


図 6-6-1

6-7 自動制御方式

自動制御方式は予め加熱部路面に白金抵抗体スイッチ(白金の温度によって抵抗が変化する性質を利用したスイッチ)を埋め込むことによってなされる。又抵抗値を制御所で知ることによって路面温度の監視も可能である。

7. 電力関係

ロードヒーティング施工計画面積と所要電力との関係は前述した如くで、施工面積とその所要電力は表6-3-1で示した通り千歳空港民間部関係 367 m²-91.75 kW、自衛隊関係、530 m²-459.4 kW である。ロードヒーティング施工工法はロードヒティング埋設場所及び舗装構造により異なるが現行舗装と大差ないものと仮定し車道の施工工法に準ずるものとする。ロードヒーティングの施設費は発熱線代及び配電代、土木工事費、電源工事費に大別される。電源工事費は施工面積の大小及び施工場所によって相当差異が生じてくるのでここでは除くことにする。この研究では昭和40年度施工の一般車道のロードヒーティングを基に算出することにした。発熱線代及び付属機器(配電函とスイッチ類を含む)、土木工事費の単位面積当りの価格は次の表のようになる。

表 7-1 (単位 円/m²)

ケーブル代	機 器	土 木 工 事 費	配電線 その他	計
2,300	1,800	2,000	1,000	7,100

従って施工面積に対する費用は

民間関係: 367 m² × 7,100 円/m² = 2,605,700 円
自衛隊関係: 1,530 m² × 7,100 円/m² = 10,863,000 円
計 : 1,897 m² × 7,100 円/m² = 13,468,700 円

である。また電源開閉操作は外気温による自動操作方式を採用し、且つ電力を有効に使用するため降雪検知操作及び路面水分検知操作を具備するのが適当と考えられる。この場合には多少金額の増加を考慮しなければならない。

次にロードヒーティングの年間電力料金を以下の設定条

件で算出する。所要電力は表6-3-1から 459.4 kW と定める(季節需要)、使用期間は昭和 38 年~39 年度の資料によれば 12 月から翌年 3 月迄の 4 カ月間で十分である。使用時間はその年の気温と降雪量など気象条件に影響されるところが大であるが前述したように 550 時間とする。力率^{*2}は 100% とする。

A. 需要電力料(基本料金)

需要電力料は次式によって算出される。

{所要電力 × 電力単位当り基本料金 × (1-割引率)} × 使用期間 (7-1)

(7-1) 式から計算すると

民間関係: {91.75 kW × 410 円/kW × (1-0.15)} × 4 カ月
+ {91.75 kW × 410 円/kW × (1-0.6)} × 8 カ月
= 127,900 円 + 120,400 円 ÷ 248,300 円
自衛隊関係: {367.65 kW × 410 円/kW × (1-0.15)} × 4 カ月
+ {367.65 kW × 410 円/kW × (1-0.6)} × 8 カ月
= 512,500 円 + 482,400 円 ÷ 994,900 円
計 : 248,300 円 + 994,900 円 = 1,243,200 円 (A)

となる。

B. 電力量料金(使用料金)

電力量料金は次式によって算出される。

所要電力 × 使用時間 × 単位時間当り使用料金 (7-2)

(7-2) 式から

民間関係: 91.75 kW × 550 H × 3.6 円/kWH
= 181,700 円
自衛隊関係: 367.65 kW × 550 H × 3.6 円/kWH
= 727,900 円
計 : 181,700 円 + 727,900 円 = 909,600 円 (B)

従って年間電力料金は A+B = 1,243,200 円 + 909,600 円 = 2,152,800 円 これに電気税 7% を加算すると
2,152,800 円 × 1.07 ÷ 2,303,500 円 となる。

以上から 1897 m² の施工面積をロードヒーティング化した際の施設費は 13,468,700 円、年間電力料金は 2,303,500 円、計 15,772,200 円、この内施設費は布設時のみで翌年からは、電力料金 2,303,500 円で済むことになる。自衛隊関係部分を除いて考えるならば、施設費が 2,605,700 円、年間電力料金が 460,100 円、計 3,065,800 円となる。

8. 現行除雪との比較

すでに述べたように現在の除雪は機械力と人力に頼らざるを得なく、5 cm 以上の積雪があると除雪を開始しなければならない。この間勿論滑走路は閉鎖される。滑走路の除雪は機械力で実施されているが灯器廻りは機械力と人力の共用でなされている。灯器自体が路面から少々隆起しているため灯器廻りの除雪にはモータースウィーパーの如き除

雪車でなければならない。それでも灯器破損の恐れは免れない。滑走路の除雪、灯器廻りの除雪が完了して初めて滑走路の閉鎖が解除される。このような危険性を伴う非能率的方法で作業しなければならぬため閉鎖が解除されるまでには3時間半の長きを要する。従って灯器の廻りを中心とした非能率的な場所にロードヒーティングを導入することにより作業を速やかにし滑走路閉鎖時間を短縮することになる。除雪時間の短縮、即ち滑走路閉鎖時間の短縮が除雪効果なのである。小川博三北大工学部教授の道路除雪の経済効果算定理論式を用いればロードヒーティング導入により滑走路閉鎖時間の短縮によって生ずる効果については

a) 航空機利用者側の受ける利益

b) 航空機運営者側の受ける利益

に分けることが出来る。これらの利益が先に述べたロードヒーティング施設費、維持費に見合うものであればよい。

a) については利用者が旅行するのは生産活動のため行なう行動と見なすことが出来るので次の式でその利益を算定し得る。

$$P \times n \times T \quad (8-1)$$

但し P = 旅客1人当りの生産性 (円/人/分)

n = 対象とする路線区間通過人数 (人)

T = 除雪によって滑走路閉鎖が短縮した時間 (分)

誰もが比較的高価な運賃を費して飛行機を利用するかと言えばそうではなく、消費する時間の生産性と運賃との比較によって無意識の内にその選択がなされているわけである。高級交通機関である飛行機によって節約される時間の生産性は高いものである。具体的に云うならば所得の多い人は単位時間当りの生産性の高い交通機関を利用するのである。しかしこの生産性は個人によって違い、機内でのアンケート調査の資料も出ているが正確な信頼できる数値を与えるにはほど遠い。旅客数は38年度、39年度の平均値を算出すると全座席数の約75%と考えられる。

更に積雪による飛行機の遅延時間を算出することは少々困難である。しかし巨視的に見るならばロードヒーティング導入による遅延時間の短縮による利用者の受ける利益は式(8-1)で与えられる。

また b) については次式でその利益が算定される。

$$(A+B+C+D) \times T \quad (8-2)$$

但し A = 飛行機償却費 (円/分)

B = 飛行機修繕費 (円/分)

C = 営業費 (円/分)

D = 燃料油費 (円/分)

T = ロードヒーティング化により飛行機の遅れが短縮した時間 (分)

式(8-2)に於いて A, B, C は固定費であり、 D は変動費である。飛行機の遅延には除雪のため、ある空港で待機して

いる場合、或いは上空で停滞したり、引きかえす場合が考えられる。前者の場合は変動費を零と考えてよいので式(8-2)は

$$(A+B+C) \times T \quad (8-3)$$

と書くことが出来る。この研究では除雪による飛行機の遅れのみを取り扱っているため前者に属し、式(8-3)によって利益が算定される。飛行機の運行如何にかかわらず業務費の給料は支払われ、飛行機は刻一刻償却されていると見なすことが出来る。従って時間短縮による運営者側の受ける利益は式(8-2)、或いは式(8-3)で表わすことができる。ロードヒーティングの導入により上記 a), b) の効果は勿論のこと、これに機械除雪に投入される工事費の減少、或いは交通の要素である安全性、迅速性、そして冬期運行確保の効果を考えるならばロードヒーティングの果す役割はますます増大し、冬期積雪地方の空港に広く活用されるべきであろう。

9. 結 論

この研究では積雪寒冷地方に於ける空港除雪体系確立の一例として千歳空港をとり上げ、滑走路閉鎖の基となっている人力除雪時間を極力減少せしめ、最も経済的除雪方法を確立し、除雪能率の向上、冬期連航ダイヤの確保を計るために、人力除雪個所にロードヒーティングシステムを採用することについて考察した。

その結果、滑走路閉鎖時間を大幅に減少出来、上記目的は達せられ、除雪上の経済効果は著しく高められる。

注 *1) 佐藤、他3名：古河電工時報第36号、昭和39年10月、札幌に於けるロードヒーティング参照

*2) 力率100%とは内部ロスがなく、電力が全て有効に働いたときをいう。

終りに、この研究に対して終始ご指導賜った北海道大学小川博三教授、菅原照雄教授、同五十嵐日出夫助教授、ならびに資料を提供下さった千歳航空保安事務所、古河電気工業(株)札幌支店、北海道電力(株)札幌支店、日本航空(株)札幌営業所の方々に心から感謝の意を表します。

参考文献および資料

- 1) 小川博三：積雪地域の開発と除雪による道路交通確保の効果について、交通学研究、1964年、日本交通学会。
- 2) 佐藤、その他3名：札幌に於けるロードヒーティング、古河電工時報第36号、昭和39年12月、古河電気工業株式会社。
- 3) 菅原照雄：ロードヒーティングの現状と将来。
- 4) 日本航空株式会社営業部：日航国内線路別客層、日本航空株式会社。