新技術開発探訪

高温排熱の空気熱媒体融雪への適用

1.　はじめに

北陸地方における冬期の円滑な交通確保，除雪作業の効率化を図るために，消融雪設備は重要な役割を担っている。このような中，地下水の取水規制等の問題から，近年無散水融雪施設が多く採用されている現状にあり，さまざまなエネルギーを利用した融雪技術の開発が進められている。しかし既存の融雪技術は設備費用・維持管理費が高いことや，融雪に必要となる熱源が十分に採取できないなど問題点も多い。

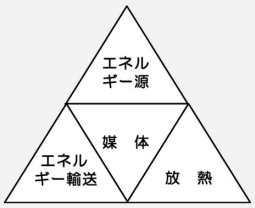
本研究では，北陸地方整備局金沢河川国道事務所管内金沢東部環状道路「月浦 IC」に設置されている，河川水加温散水消雪施設の加熱ボイラより排出される高温排気熱を利用した空気熱媒体の融雪施設を導入して，トータルコスト縮減とエネルギーの有効利用を目的とした試験を行った。

現地試験は，廃熱温度を48～80℃程度の３段階，送風量を最高950L/min/m^{2}までの３段階の合計９パターンの試験結果から，融雪効果の検証と廃熱温度と風量についての整理を行い，幅広い温度の排熱に対応する空気媒体融雪施設の可能性について検討を行ったものである。

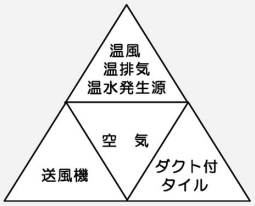
⑴　空気熱媒体融雪システムの概要

既存の無散水融雪設備の問題点として，舗装内に放熱管などの配管が敷設されている場合，放熱管より下に埋設されているライフライン等の維持管理が困難であることや，施設が老朽化すると配管から不凍液等の媒体が漏れるなどの課題があった。これらに対応するために開発したのが，配管レス化および無水化（不凍液を使用しない）を実現した空気熱媒体融雪システムである。

一般の融雪システムは，**図－１**に示す四つの要素から構成される。これを**図－２**のように空気熱媒体融雪システムに当てはめると，エネルギー源は，独立熱源により加熱した空気を利用する方法（独立型）と，ビル排気・ボイラー排気などさまざまな排熱の暖かい空気を利用する方法（排熱利用型）などが考えられ，排熱の有効利用に結びつけることが可能である。媒体は配管から漏れても



図－１　一般的な融雪システム基本４要素

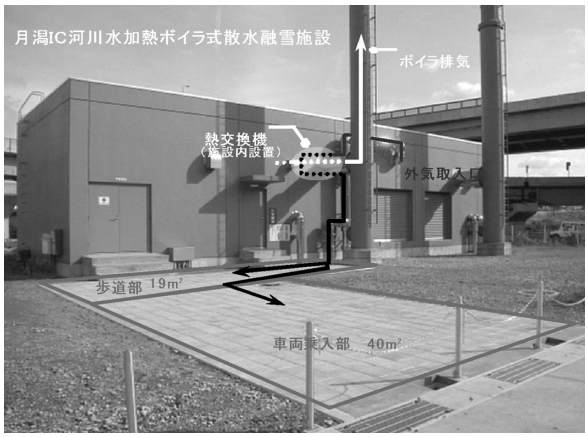


図－２　空気熱媒体融雪システム基本４要素

無害な空気，エネルギー輸送は送風機，放熱は維持管理が容易となるダクト付きタイルを使用する。

⑵　**月浦 IC 河川水加温散水施設への導入**

本システムは，北陸技術事務所と長岡技術科学大学，株式会社興和が共同開発を行ったもので，空気融雪 ACCESS として NETIS（新技術活用システム）の試行申請型に登録され，平成18年度に北陸地方整備局金沢河川国道事務所が金沢東部環状道路月浦 IC（石川県金沢市）に設置した河川水加温散水消雪施設に試行導入した。

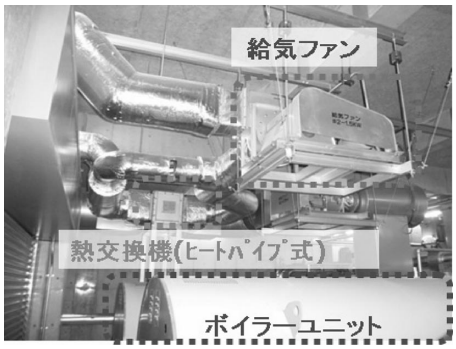


写真－１　月浦 IC 融雪施設全体

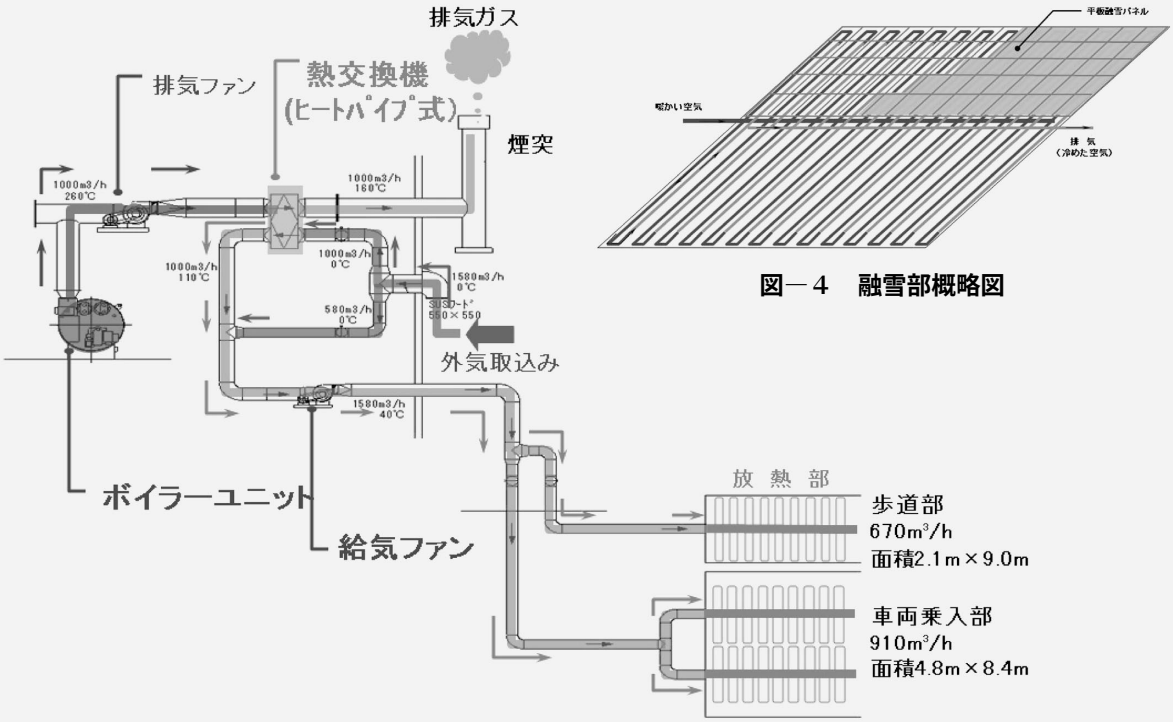
今回は，この施設の加熱ボイラの排気熱を利用するものとし，融雪個所は車両乗入部40m²，歩道部19m²に設置した。**写真－１，２**に施設写真を，**図－３**にその概念図を示す。

加熱ボイラからは最大260℃の硫黄酸化物を含んだ高温排気熱が排出されるが，大気物汚染防止法により排気ガスをそのまま融雪部に放出することが許されていないため，今回は，排気用煙突の間にヒートパイプ式熱交換機を設置し，外から取り入れた新鮮な空気と熱交換を行うとともに，融雪に適した温度に下げてから利用することとした。

温められた空気の熱輸送方法は，高温対応の給

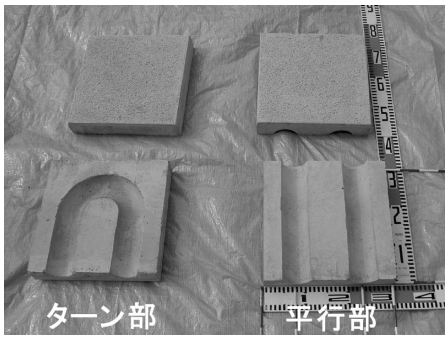


写真－２　施設内機器配置状況



図－３　排気熱利用型融雪システム

図－４　融雪部概略図



写真－３　平板融雪タイル

気ファンにより行うこととし，放熱部（**図－４**）はタイルに配管の役目を果たす半円の空洞（ϕ60 mm）を設けた，平板融雪タイル（**写真－３**）を組み合わせることにより，配管レス化，無水化を実現した。

平板融雪タイルは，空気熱媒体融雪システム用に開発したものであり，材質は熱伝導効率，かつ強度を保てるように高強度繊維補強コンクリートを使用した二次製品となっている。融雪タイルの敷設は，**写真－４**に示すとおり，敷きモルタルの上に融雪タイルを押し付け安定させ，タイルとタイルの間は今回，空気の漏れについて検証するため砂目地とコーキング材の２種類を施工した。

写真－４　平板融雪タイル施工状況

2.　実証試験評価

実証試験では，今後さまざまな温度の排熱利用による融雪施設の可能性を検証するため，送風量と加熱ボイラからの排熱を熱交換で**表－１**に示すように幅広く設定し，必要放熱量を求めるため，

表－１　送風温度・送風量設定値

試験パターン			単位面積当たり送風量 (L/min/m²)	送り出し温度 (℃)
番号	送風量	温度設定		
1	1/3	低	310	48
2		中	310	59
3		高	310	73
4	2/3	低	600	50
5		中	630	60
6		高	590	80
7	全量	低	950	48
8		中	940	55
9		高	900	62

送り出し温度と送風量の関係について試験を行った。

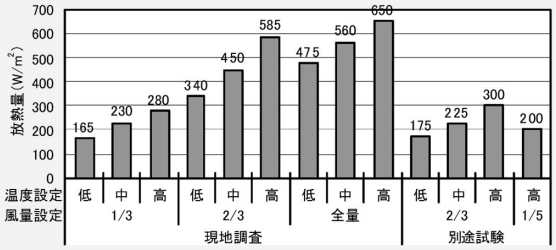
⑴　適応性評価

送出し温度と送風量を変えた場合のダクト内の空気の温度低下量（送出し部温度と吐出し部温度の差）より単位面積当たりの放熱量（**図－５**）を求めた。その結果，本システムにおいて165～650 W/m²までの範囲で熱量を得られることが確認でき，融雪に必要となる十分な熱量が得られた。

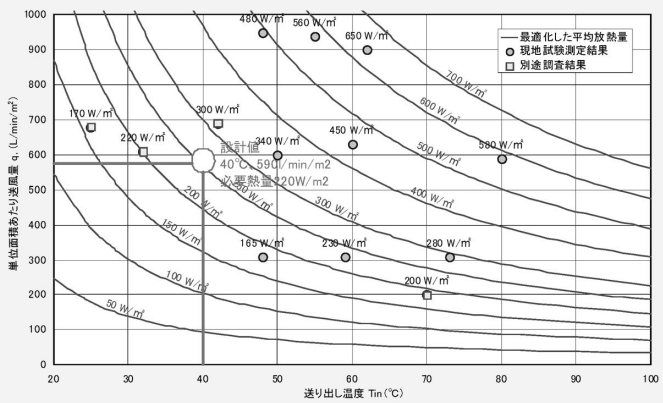
また，求められた放熱量から温度，風量，放熱量の相関図（**図－６**）を作成した。この相関図を作成することで，排熱源の排気温度と風量に対し，どの程度の融雪能力の空気媒体融雪施設を設置可能か判断することが可能となった。

⑵　融雪可能延長の検討

空気媒体を利用した融雪施設の問題点として，空気は温度が低下しやすいという特性がある。本融雪施設でも熱源から離れるほど送り出し温度は低くなり，末端部ほど放熱量が低下しやすい状況にある。しかし今回の実証試験の結果では**写真－**



図－５　平均放熱量

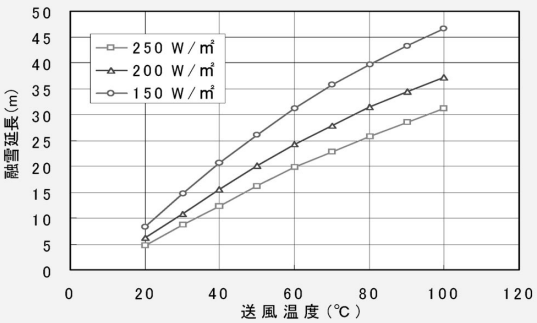


図－6　温度－風量－放熱量相関図

5に示すように融雪ムラがなく，末端部まで十分に融雪が行われていた。

この理由として，送風温度は末端部に向かって下がる一方ではあるが，送風量は圧力損失が少なくなる分末端部に向け多くなっており結果として概ね同じ放熱量となったと思われる。そのため，今後，融雪延長の長い融雪施設を設置する際においても，**図－6**に示した温度と風量のバランスを保てば均一な融雪が可能であると言える。ただし，必要熱量にも最低送風温度が存在し，また送風管の径によって送風量にも限界があることから，融雪延長にも限界はある。

写真－5　融雪状況



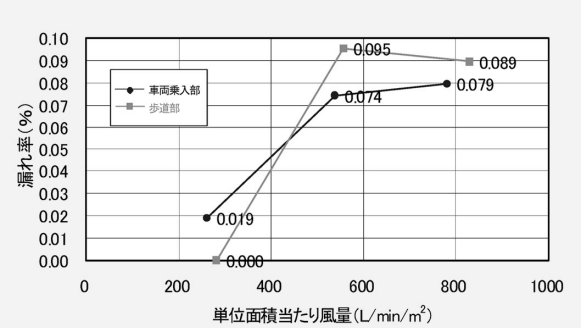
図－7　融雪可能延長

以上のことから，今回導入した施設同様に送風管径150mm（最大風速上限15m/s）の条件における必要熱量を変えた場合の融雪可能延長について試算を行った。**図－7**にその結果を示す。試算結果から融雪に必要な熱量（150～250W/m²）を得ようとすると，送出温度が40℃では12～21mまで，100℃であれば31～47mまでの延長に対応可能であることが試算結果よりわかった。

⑶　平板融雪タイルからの空気漏れ調査

融雪タイルは，開発目的である埋設ライフラインのメンテナンスを容易にするために，撤去と再利用が簡単に行えることを前提としており，インターロッキング舗装のように，目地材についても砂目地が一般的である。

しかし，空気熱媒体融雪施設は，空気漏れが生じると，融雪状況にも悪影響を与えてしまうため，今回の調査では，融雪施設内の歩道部に砂目地，車両乗入部には止水性の高いコーキング材目地を施し，空気漏れ量について確認を行った。調査結果を**図－8**に示す。

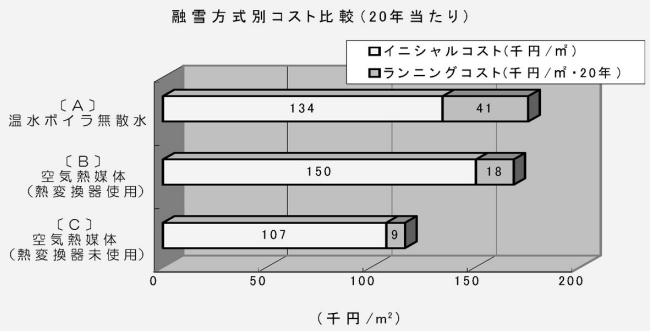


図－8　送風量と漏れ率

空気の漏れ量は，送風量が増えるほど増加し，砂目地を施した歩道部において，最大で全体送風量の約1/1,000程度，放熱量に与える影響を計算すると0.2W/m²のロスと融雪能力に与える影響はわずかであることがわかった。

3.　コスト評価

試行導入した空気熱媒体融雪施設と，既設の温水散水融雪施設におけるコスト比較結果を**図－9**に示す。



図－9　コスト比較結果

⑴　**イニシャルコスト**

今回のようにボイラからの排気ガスを使用する場合の空気熱媒体融雪施設では，熱交換機を使用したことから，温水散水融雪施設と比較し＋12%（B/A）程度割高となった。しかし，利用する熱源によっては，熱交換機を使用せず利用できるクリーンな熱源もあることから，熱交換機を使用しない条件で試算すると－20%（C/A）と大幅にイニシャルコストを抑えることも可能となる。

⑵　**ランニングコスト**

排熱を利用することから，従来のようにボイラーの燃料費が不要となり，必要な経費は電動ファンの電気使用料のみとなる。今回の場合の比較では－57%(B/A)に縮減できる。さらに熱交換機を使用しない条件で比較すると，排気用ファン１台分が不要となり電気使用料もさらに縮減され－78%（C/A）と大幅に縮減される。

⑶　**トータルコスト**

トータルコストを20年間で比較すると，今回導入した空気熱媒体融雪施設のイニシャルコストは既設の温水散水融雪より多額となるものの，20年間のランニングコストは大幅に縮減され，トータルコストで－４%(B/A)程度縮減される。さらに熱交換機を使用しない条件の場合はイニシャル・ランニングコストとも大幅に縮減されるため，トータルで－34%(C/A)のコスト縮減が期待される。

4.　まとめ

これまでの無散水融雪施設は，不凍液等の媒体が配管の腐食などから漏れ出すことや，舗装下配管が敷設されているとライフラインの維持管理も困難であるという課題を抱えていたが，本システムの開発により，配管レス化および無水化を実現させることができる。

また，今回，月浦 IC 河川水加温散水施設へ試行導入し，実証試験を行った結果から，空気温度を最高80℃，風量最高950L/min/m²までの間で調整し165W/m²から最大で650W/m²までの放熱量を得られることが確認できた。なお，温度―送風量―放熱量の相関図を作成することにより今後，さまざまな幅広い温度の排熱に対応する空気熱媒体融雪施設の検討が可能となり，歩道沿道のビルや公共施設等からの排気熱有効利用による融雪施設の普及が期待される。

5.　あとがき

今後さまざまな熱源を利用した空気媒体融雪施設の普及の可能性があるが，設計方法等が存在しない状況である。そのため，試験施工などを通じて「路面・消融雪施設等設計要領」への反映を図る必要がある。最後に本検討の実施に当たり調査等にご協力いただいた多数の関係者，試行現場を提供いただいた金沢河川国道事務所に感謝する。

国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所　機械課　機械課長　本間　政幸
機械設計係長　小林　弘郎
機械設計係主任　畑山　啓