

舗装体冷却による歩道の熱収支とその快適性に関する研究

鶴岡市 建設部 都市計画課

1 研究の背景

鶴岡市の人口（合併前の行政区内人口）は、昭和45年から現在までほぼ10万人で推移しているが、この間、市街地面積はおよそ2倍に広がっている。その結果、中心市街地では低密化が進み、中心商店街には人通りがなくなって久しい。

中心市街地空洞化を交通計画の観点から改善するため、歩行回遊行動実態調査（サンプル数150）を実施したところ次の事がわかった。都心へのアプローチは自動車依存が70%と高く、その内、駐車して徒歩で回遊する人の割合が20%と低い。従って都心交通システムの現況は、自動車で用を足す「クルマ回遊型」である。

中心市街地に賑わいを取り戻すには、駐車して徒歩で街を回遊する「歩行回遊型」に転換する必要があり、そのためには歩行者空間の快適性を確保することが重要となる。

そこで本研究は、歩行者空間の熱環境に着目し、夏期には、30分で死に至るとされる火災時の限界放射照度の50%にまで達する現状を改善するための技術を開発し、それを多角的に評価することを目的に交通社会実験を実施した。

2 現況分析

夏の歩行者空間の現況を把握するため、年間を通じて最も人口が増加する旧盆に合わせ、気象計測と200サンプルのアンケート調査を実施した。

気象計測からは、日中の日射量は $1.2\text{kW}/\text{m}^2$ 付近に達すること、この時の路面温度は 50°C を超えることなどが得られた。また、アンケート調査からは、歩行時の暑さを負担に感じている人は8割に達し、どの世代でも同様であること。その内8割は、路面からの照り返しを不快に感じていることなどが得られた。これらの結果から、歩行者空間の熱環境を改善することは、歩行時の快適性を向上させる可能性が高いと予測するに至った。

3 技術開発及び課題

次に、歩行者空間の熱環境を改善する技術を検討した。従来は、街路樹の植栽、アーケードやポケットパークなどの休憩施設の整備が主体であり、近年では、散水や保水性舗装など、蒸発潜熱による温度低下を期待する技術も見られる。しかしこれらの技術は、歩行者が意識的に休憩施設を利用する場合や、降雨後一定の期間に限定されるなど、定量的な効果が期待できない。

そこで本研究では、融雪システムのヒートポンプを逆サイクルで運転し、舗装体を冷却する方法を考案した。

本研究に用いた融雪システムは、1次熱源を地下水とするヒートポンプで不凍液を加温し、これを舗装体内部に通水して舗装体の温度を上昇させるものである（図1）。このヒートポンプを、四方弁を介し逆サイクルで運転すると、冷却された不凍液が舗装体の熱を奪い、地下水に放熱するシステムとなる。即ち、歩行者空間の熱を定量的かつ確実に系外に排出することが可能となる（図2）。

最大の課題は、系外に排出した熱に由来する「快適性」を歩行者が体感することであり、本研究ではこの課題をテーマに交通社会実験を実施した。

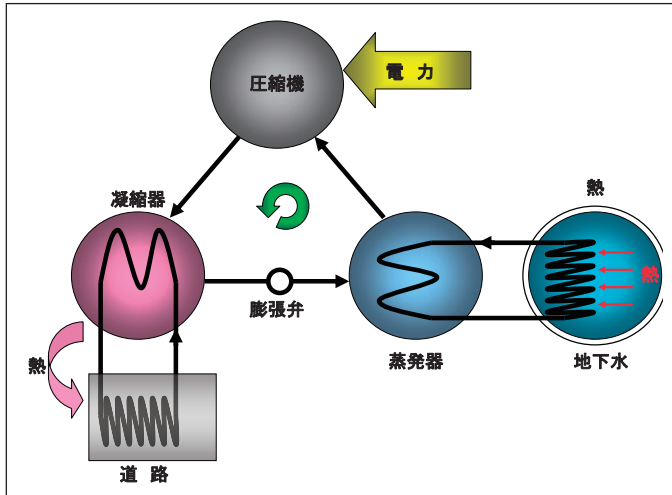


図1 融雪用ヒートポンプの仕組み

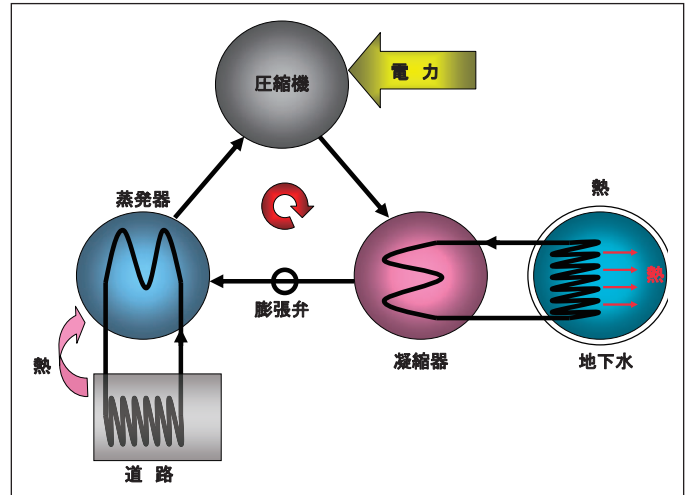


図2 逆回転したヒートポンプでの冷却の仕組み

4 交通社会実験

交通社会実験に用いた融雪システムは、定格電力 65kW の R404A 冷媒の圧縮機、地下水と冷媒の熱交換をする熱交換器、舗装体内に埋設したパイプ内を循環する不凍液と冷媒の熱交換をする熱交換器、歩道の路面から 93.5mm の深さに 2,839m² の面積で埋設した融雪パイプで構成される。社会実験では運転面積を 453.5m² とし圧縮機は 36.5kW で運転した。冷却した舗装体は、日なたの歩道、メッシュシートで日陰にした歩道、公園内の遊歩道の 3 種類とし、同じ舗装体構造の冷却しない路面を対照として用いた（図3）。社会実験は 8 月から 9 月にかけて実施し、冷却した歩道を広く市民に提供するとともに、気象測候と路面温度の測定、アンケート調査（10～70 歳代、180 サンプル）、サーモグラフィの撮影を行い、快適性の体感に関し評価した（図4～9）。



図3 交通社会実験現場



図4 冷却舗装日射部



図5 冷却舗装日陰部



図6 冷却舗装園路部



図7 対象舗装

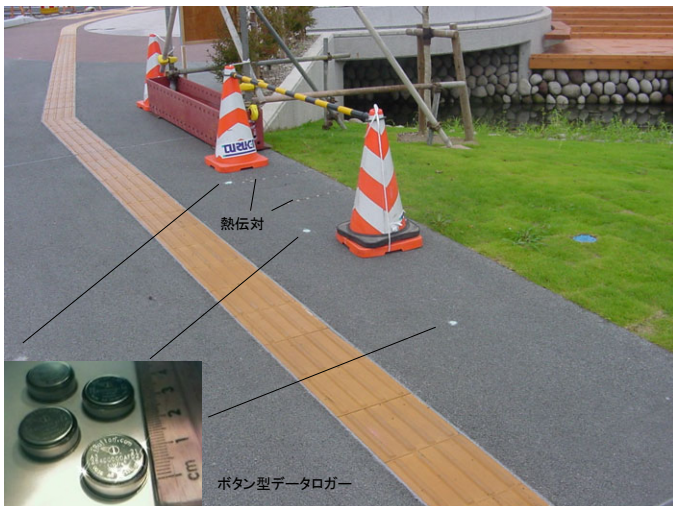


図8 路面温度測定装置



図9 気象側溝装置

社会実験の結果は次のとおりであった。

冷却した不凍液の通水により、50℃の路面温度は40℃に低下し、日陰では、32℃の路面温度が25℃に低下した。朝夕は路面温度が露点を下回るため結露し、打ち水と同様に水が蒸発する際に奪われる蒸発潜熱が舗装体の冷却を促進していた。

日陰では、冷房の効いた部屋に入った感覚となり、体験者の9割が効果があるとした。日なたでの10℃の低下は、日陰ほどには明確な違いを感じることはできなかったが、体験者の6割は効果があるとし

た。このとき撮影したサーモグラフでは、路面が芝生と同じ温度になっており、歩行者が照り返しを受けていないことがわかった（図10～13）。

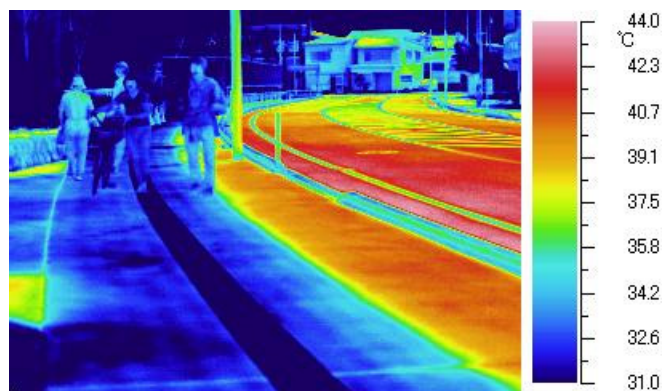


図10 日射部サーモグラフ

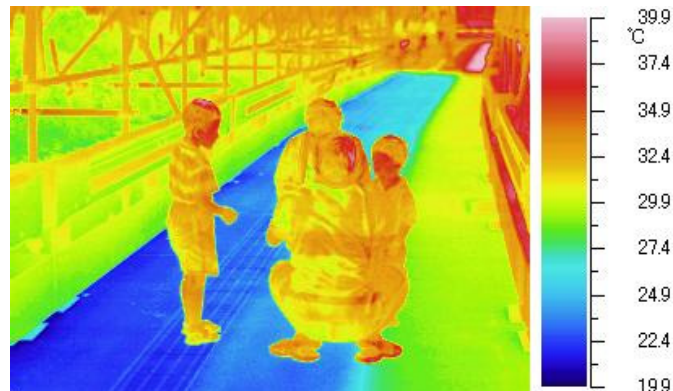


図11 日陰部サーモグラフ



図12 発生する結露

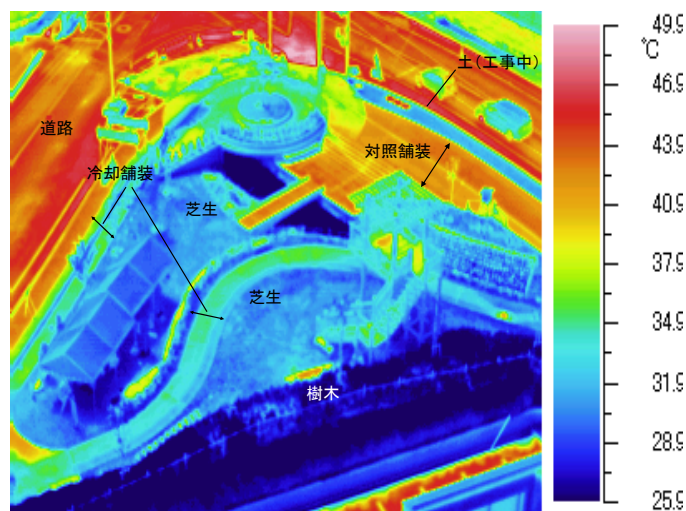


図13 全体のサーモグラフ

5 評価

1) 技術評価

本研究で考案した舗装体冷却システムは、発明の名称「構造体温度調節システム」として平成19年5月に特許を取得した。その際比較された従来の技術は、「開粒度アスファルトの空隙に保水性を付加した舗装体」及び「水分保留層を備えた舗装体またはこれに給水装置を付属した舗装体」である。いずれも雨水を舗装体内に貯留し、晴天時に貯留した水分の蒸発潜熱により舗装体の温度上昇を抑える技術である。しかしこれらの技術は、降雨がない状態が続くと蒸発潜熱が得られなくなること、給水装置を用いるにしても水分保留層に水分がなくなった状態を判定することが難しいこと、また路面が濡れるため交通安全上問題があること、常時給水するのであれば水分保留層を持つ意味がなくなることなどの問題を有している。これに対し本研究のシステムは、降雨がない状態が続いても効果的に構造体の温度上昇を抑えることができ、交通安全上もなんら問題のない新技術として評価された。温度調節の仕組みは、構造体内部に通水する不凍液の温度を制御するものであるが、構造体を冷却するだけでなく、構造体に冷熱を蓄熱すること、結露を保留させ蒸発潜熱で温度上昇を抑えるなど、コストを考慮した運転も可能である。

2) 熱収支

実験結果より、日射熱量を100%として舗装体が発する熱収支モデルを取ると、太陽から与えられた熱

は、反射熱、放射熱、滞留熱としてその 91.5% が舗装体から歩行者に照射され、残りの熱は舗装体が吸収していた。冷却舗装では、放射熱と滞留熱が減り、舗装体に吸収される熱は 8.5% から 30% に増加する。この、30% から元々吸収していた 8.5% を差し引いた 21.5% の熱が、理論上不凍液を介して地下水に捨てられる。実験中の日射量は平均 $1,100\text{W}/\text{m}^2$ であったので、不凍液を介して地下水に放熱された熱はおよそ $240\text{W}/\text{m}^2$ と算出される（図 14）。

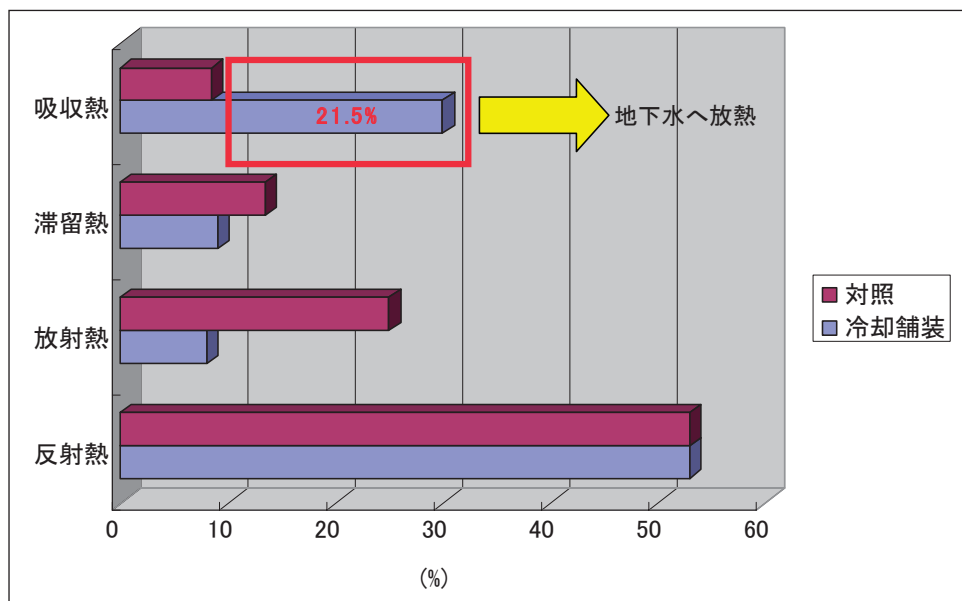


図 14 歩道の熱収支

3) 経済評価

社会実験で冷却した面積は 453.5m^2 、舗装体に与えた冷却熱量は平均 144kW 、このときヒートポンプの圧縮機に要した電力は 36.5kW であった。 1m^2 当たりでは、 80W の電力を使い約 320W の冷熱を舗装体に加え 240W の熱を舗装体から奪ったことになる（図 15）。

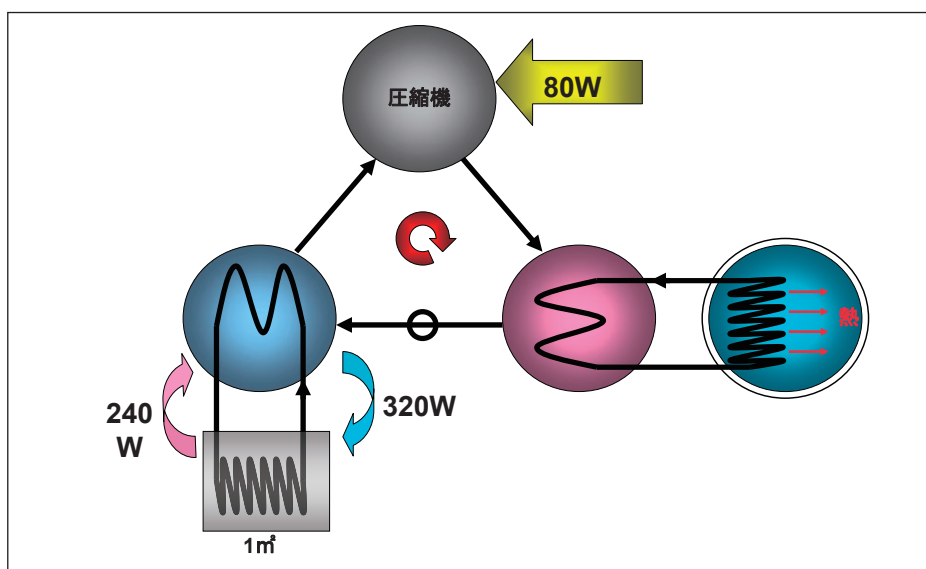


図 15 冷却時のエネルギー収支

舗装体に与えた冷熱 $320\text{W}/\text{m}^2$ は、融雪に必要な熱量の 1.6 ~ 2.5 倍であったが（図 16）、本実験は体感できる「快適性」をテーマとしてシステムの上限で運転を行っており、蓄冷熱や間欠運転による省力化は今後の課題としたい。しかしながらこの実験においても、夜間運転による冷蓄熱、結露による蒸発潜熱による効果は確認されていることから、省力化の可能性は大きいものと予測される。

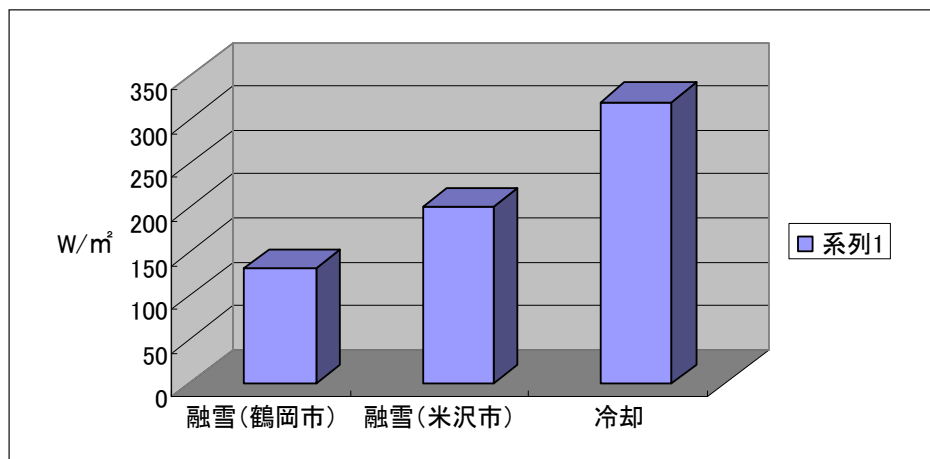


図 16 要するエネルギーの比較

ヒートポンプを逆サイクルで運転するために必要な四方弁は、工場製作時に取り付ければヒートポンプの価格に影響を及ぼすものではないが、既存のヒートポンプに取り付ける場合は、部品の輸送、技術者の派遣、施工等で100万円近い費用が必要となる(図17)。



図 17 逆回転を可能にする四方弁

6 おわりに

本研究は平成14・15年度の2ヵ年で実施した事業である。地球温暖化が進行していると言われる中、都市熱を確実に系外に排出できる技術として一定の評価をいただき、エネルギー・資源学会、日本技術士会、日刊工業新聞などで発表・講演を行なって来た。

研究に当たっては、早稲田大学浅野研究室、東北公益文科大学東浦教授、白助手、独立行政法人土木研究所、株式会社前川製作所(いずれも当時)の方々にご協力頂いたこと、国土交通省道路局、同東北地方整備局、同酒田河川国道事務所に助成いただいたことを記し謝意を表する。