

換気廃熱を利用したロードヒーティングの開発に関する研究報告

本間 弘達 (伊藤組土建株式会社)
川本 清司 (有限会社北欧住宅研究所)
小山 正美 (NPOシックハウスを考える会)
佐々木 智介 (日本住環境株式会社)
岡本 勝 (株式会社アシスト企画)

2008.05.17
実測調査データ報告会 資料

Report of research: Development of Road heating System that reuses Energy losted by the Ventilation

K.Homma (Itogumi Construction Co.,Ltd.)
K.Kawamoto (Hokuoujutakukenyu Co.,Ltd.)
M.Oyama (Sick House Syndrome Association.)
T.Sasaki (Japan Energy Saving Housing Co.,Ltd.)
M.Okamoto (Assist Kikaku Co.,Ltd)

1 はじめに

積雪寒冷地において冬季に降った雪を除け、夏季と同様に生活することは、現代社会では当たり前のこととなりつつある。かつては、深い雪のなか、住宅の2階から出入りしていた時代もあったが、除雪機械、除雪技術の発達と、行政サービスの充実により、道路などに降り積もった雪はすぐに排雪され、あるいは、解かされ快適な生活ができるようになった。一般戸建住宅の前面の私有地内においては、個人負担での人力による除雪作業(雪かき)を行ったり、あるいは、ロードヒーティング、融雪機などの利用が一般的である。

少子高齢化が進み、雪かき作業が困難となる世帯が増加傾向にあることや、石油価格の高騰などにより、ロードヒーティングなどの運転コストが今後、増大傾向にあると予想されることから、本研究では建物の換気廃熱を有効利用したロードヒーティングシステムの開発を行う。本論においては、その概要と実証試験結果などについて報告する。

2 研究背景

2.1 住宅の換気廃熱

近年、シックハウス問題が社会問題となり、室内の空気汚染から人体の健康を守る目的で建築基準法が大幅に改正され2003年7月以降、住宅等の建物の居室において24時間換気装置の設置が義務付けられた。これにより建物に要求される換気量は大幅に増加した。

北海道において、木造住宅で24時間換気システムを稼働させた場合の各部位からの熱損失の割合についてFig. 1.1に示す。約3割の熱量が換気によって失われて

いることが判る。

従来、北海道における1シーズンあたりの暖房用灯油料金は約10万円といわれ、換気による熱損失の割合についても、これほど大きくなかったため、廃熱を利用することは、設備の設置費に対する費用対効果などの経済的な理由から、あまり積極的には、すすめられて来なかった。しかし、国際的に石油価格が高騰し、また、化石資源の枯渇問題や、石油消費による二酸化炭素発生などが引き起こすとされる地球温暖化の問題などが深刻化し、背景的状況は明らかに変わったといえる。

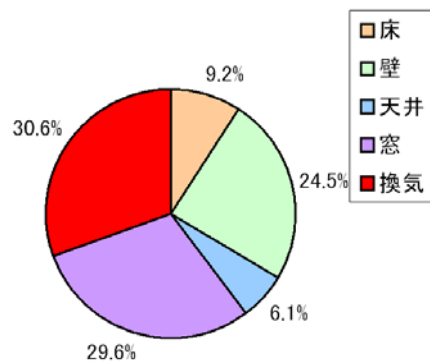


Fig. 1.1 北海道の木造2階建住宅からの熱損失

2.2 24時間換気システムの運用の問題

換気の目的は空気の清浄化であるが、直接、目に見えない効果であるため、一般ユーザーにとっては優先順位が低くなりがちである。とくに北海道のような寒冷地の冬季間では、外気温度が低いことから「入気が冷たく寒い」、あるいは、「電気代がもったいない」などといった理由から換気システムを停止させてしまっ

いる誤った運用がなされているケースも少なくない。その結果、室内空気汚染を引き起こし、シックハウス症候群の原因となっていることも十分考えられる。

換気システムの作動、および、ロードヒーティングシステムの作動が、融雪の必要条件であることから、本システムの開発は、この運用の問題の解決方法の一つにもなり得ると考える。

3 システムの設計と基礎試験

北海道札幌市における一般的な住宅用のロードヒーティングの設計負荷は $244\text{W}/\text{m}^2$ ($210\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)程度である。述べ床面積 140m^2 、換気対象容積 310m^3 の規模の木造2階建て住宅を想定した場合、 $0.5[\text{回}/\text{h}]$ の換気量 ($155\text{m}^3/\text{h}$)で排出される換気廃熱の12月から3月までの量は 1.68kWh と予想される。ただし、札幌の12月から3月の平均気温は -2.1°C 、平均室温を 23.0°C と仮定した。仮に、回収率 $0.8[-]$ で廃熱を利用できたとしても、一般的な設計負荷を用いた場合は、これだけの熱量では、 5.5m^2 の面積相当のロードヒーティングしか賄うことができず、この面積では小さすぎて実用的とはいえない。

しかし、一般的なロードヒーティングの運転は降雪時から雪が解けるまでの間であることから、雪を迅速に解かすような十分な負荷が求められるのに対し、24時間換気システムを利用する本システムは、常時運転しているため、舗装部分等に蓄熱されることが期待でき、もっと小さな設計負荷でも融雪が可能であると判断した。

設計するシステムをFig. 3.1に示す。第3種換気シ

テムをもつ住宅の換気ファンと排気口の間に、熱回収用の熱交換器を設置し、循環水（不凍液）回路により熱を融雪部まで伝搬させる。

本システムの作動と熱的特性などを確認するため、2007年3月に北海道小樽市の住宅において基礎試験を行った。この際のヒーティング面積は 4.14m^2 であり、換気量は $206\text{m}^3/\text{h}$ である。本試験により、この条件であれば、融雪部分の表面温度は 2.0°C 以上を維持し、融雪が問題なく実現されることが確認された。ただし、試験期間中の平均気温は -0.7°C であった。

この試験結果を元に、実際の住宅における融雪面積として現実的な 36m^2 の規模のシステムの設計を行う。

換気廃熱の回収効率を増すため、ダクトを更に分岐し熱交換器の数を2基から4基に増した。これにより、熱交換面積が増すほか、ダクト断面積が増すことで空気流速が小さくなり、空気と熱交換部との接触時間が増すことから熱交換効率の向上が期待できる。

また、循環水の流量を増すために、循環ポンプの能力を増し、融雪部のパイプの敷設ピッチを 150mm から 100mm へと変更した。さらに融雪部の回路数を6回路に分岐し、各回路内の循環水の流速を小さくし、熱交換効率を増す工夫を実施した。

それらの対策を実施したとしても、供給される熱量の絶対量が少ないことから、計算上、融雪熱量の不足が予想されたが、仮に融雪速度が通常のロードヒーティングよりも遅いとしても、それは許容できる条件であると判断し、実証実験へと踏み切った。融雪速度を速くすることを望むユーザーは、オプションで補助熱源を導入するか、融雪面積を縮小することで十分対応が

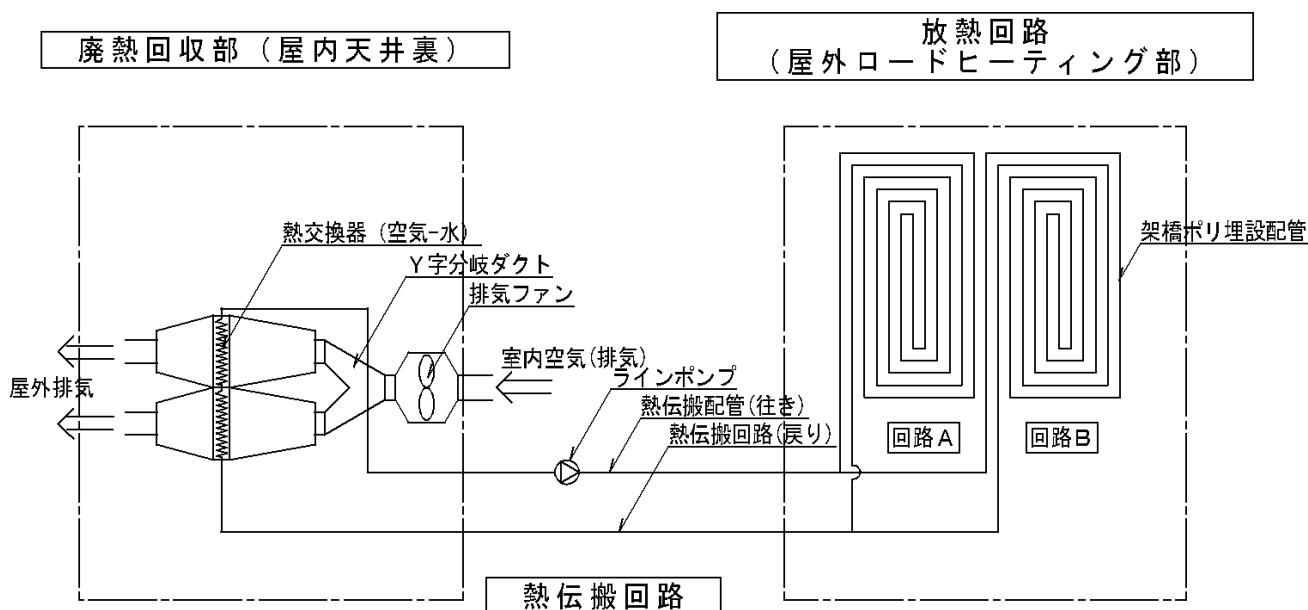


Fig. 3.1 ロードヒーティングのシステム図

可能であると判断したためである。

4 実証実験

2007年12月1日から2008年3月31日までの間、木造住宅に本システムを設置し、実証実験を行ったので、以下にその概要について示す。システム図を Fig. 4.1 に示す。

4.1 研究体系

- 研究主体 (有)北欧住宅研究所
- 共同研究 伊藤組土建(株)
- NEWソトダン住宅研究会
- 北方圏住宅研究会
- NPOシックハウスを考える会
- 日本住環境(株)
- (株)アシスト企画

4.2 実験住宅概要

- 所在地： 北海道札幌市手稲区山口 60
- 「明日風のまち」分譲住宅地内 アシスト企画 モデルハウス
- 構造： 木造2階建て

- 規模： 延床面積 ; 137.68 m²
- 換気対象容積 ; 309.07 m³
- ヒーティング面積 ; 36.00 m²
- 仕様： 換気；24時間計画換気システム（第3種換気）
- 断熱；軸間 100mm+外側 45mm
- 暖房；セントラル方式（オール電化温水器）全室パネル暖房



Fig. 4.2 実験住宅（モデルハウス）

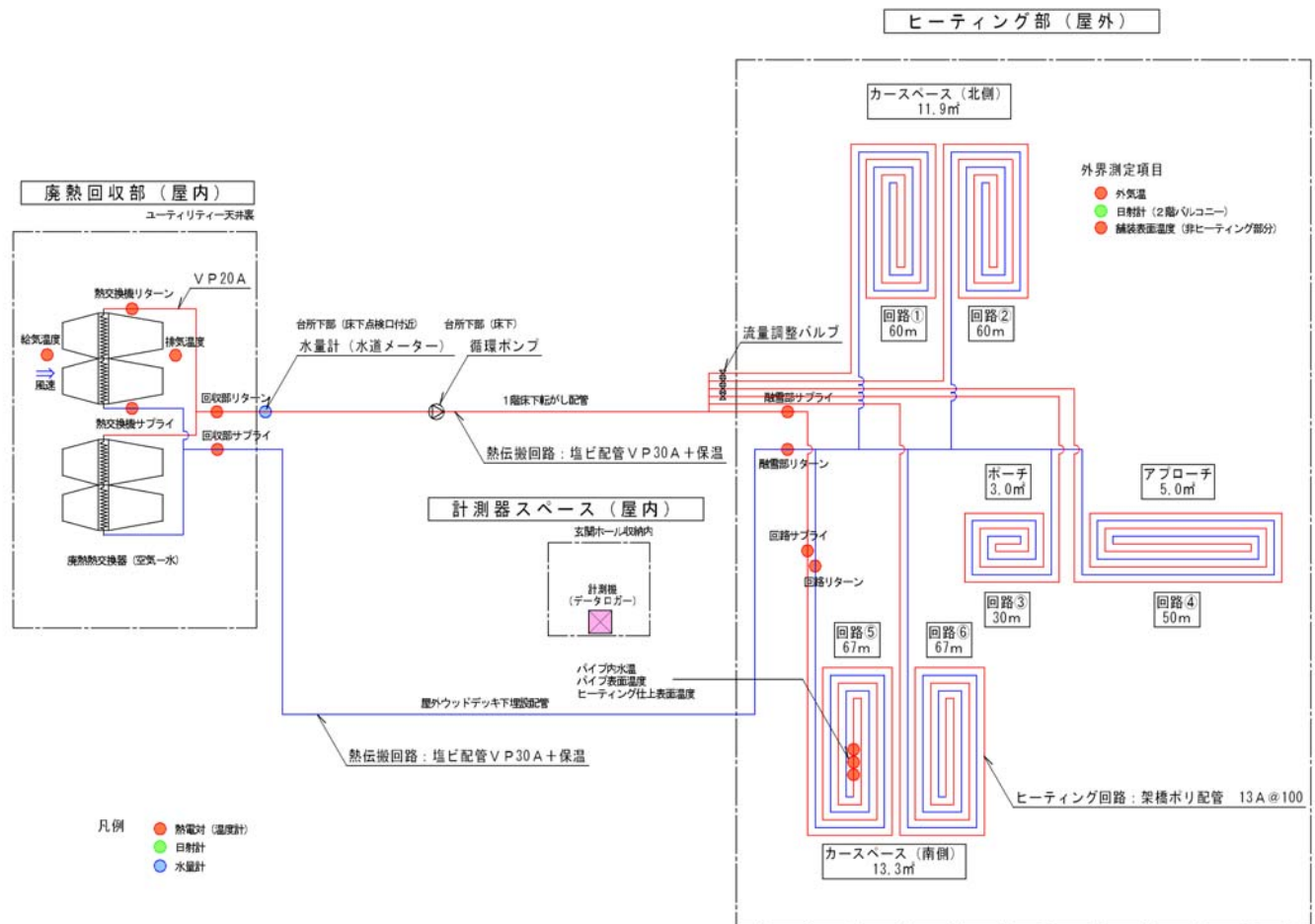


Fig. 4.1 実験住宅のロードヒーティングシステム図

4. 3 各部の仕様

4. 3. 1 廃熱回収部

廃熱回収部については、日本住環境社製セントラル換気システム（ルフロ 400DC）の排気管よりY字ダクトにより排気ダクトを2分岐し、さらに2箇所Y字ダクトにより合計4分岐を行い、それぞれ廃熱回収用の熱交換器（4台）を設置している。熱交換器内には、循環液（不凍液）が送水され、室内換気の排空気より熱回収を行う。天井内の熱交換ユニットを Fig. 4.3 示す。



Fig. 4.3 熱交換ユニット

4. 3. 2 熱伝搬部

1階天井裏の廃熱回収部より屋外の融雪部への温熱の輸送は、1階床下、および、一部屋外土中に埋設した硬質塩化ビニール製配管（VP40）による。結露防止のために保温材で被覆した。搬送動力として循環ポンプ（GRUNDFOS UPS 25-60 180, 消費電力100W）を設置した。

4. 3. 3 融雪部

融雪回路を6系統に分岐し、それぞれ架橋ポリエチレン管（15A）を100mmピッチで渦巻状に敷設した。配管下部は碎石敷込みの上、スチレン成型断熱材50mmを



Fig. 4.3 ヒーティング配管

敷き込み、ワイヤーメッシュに配管を固定した。融雪部の表面仕上げはアスファルト舗装である。

4. 4 実験データ測定

各部の温度、および、日射については実験期間中、10分間隔で自動計測を行った。循環水の流量、換気量についても都度、測定を実施した。また、融雪の状況について、降雪後、毎日、目視観察を実施した。以下に使用機器について示す。

熱電対：VT-6（12箇所）

日射計：横河電子機器製 H-205

記録計：データロガー（日置電機製 メリハイコガ-8422）

水量計：30A 水道用メーター

風量計：エアアップ 風量測定器 P-10

5 実験結果

北海道札幌地区の降雪量は平年並ではあったが、2月までに降った雪量が多く、3月はほとんど降雪が無く雪解けが例年に比べ早かった。数回ほど、雪が多量に降り積もった（いわゆる、どか雪）日があった。

ロードヒーティングにとって条件の最も不利な、外気温度が低く、降雪量が多い厳冬期では、1月24日～26日、2月12日～16日に、連日10cmを超える降雪があった。この時期の4週間（1月21日～2月17日）を例にとって実験結果を報告する。

4週間中の平均気温は、 -4.8°C であり平年より 0.1°C 低く、ほぼ平年並であった。平均降雪量は 5.8cm/day であり、最大降雪は1月24日の 30cm （現地実測値は 31cm ）であった。ただし、外気温については実測値、平年気温、および、降雪量については気象庁アメダスの観測データより引用した。

融雪の状況は、一般的な降雪時には通常の融雪を示したが、2日以上、降雪が続いた場合は、融雪に時間を



Fig. 5.1 融雪状況（2007.12.15）

要し、融雪の効果は明らかに確認はされるが、完全に雪が解けきるまでには、降雪終了の翌日までかかった。ただし、住宅使用者の感想では、舗装面が凍結していないので、雪かき作業が容易であり、どか雪が続いて降ることは、年に数回あるかどうかなので、問題とまらないレベルであるとのことであった。

最大降雪日を含む厳冬期の1週間（1月21日～1月27日）を例にとり、その週変動、および、最大降雪日の日変動をそれぞれ Fig. 5. 2, Fig. 5. 3 に示す。Fig. 5. 2 では、晴天日である1月22日～23日と、降雪日である1月24日～26日とで、各部の温度推移の傾向の差が判る。晴天日では日射の影響を受け、各温度が上昇するが、降雪日では、ほぼ一定を示す。また、外気温度には、それほど大きな影響を受けていないことが判る。24日から26日にかけての外気温度の平均値は、 -5.9°C であるのに対し、融雪部のアスファルト表面温度の平均は 2.1°C であり、最低時でも 1.5°C を示し、舗装表面では常に融雪がなされ、かつ、舗装面が凍結することはないことが実証された。

Fig. 5. 3 より、廃熱回収部から供給される温められた循環水が、融雪部に供給されるまでに僅かではあるが水温上昇を起していることが判る。これは実験住宅の床下部分が断熱ラインの内側部分にあり、床下温度が室温に近いために、床下空気から熱を奪ったため、および、循環ポンプによる発熱のためである。同様に、融雪部で放熱後の循環水が熱回収部に至るまでの間に土中の熱を奪い、僅かに水温上昇がみられた。

厳冬期4週間のデータでは、融雪部への供給水温が平均で 6.8°C 、融雪部からのリターン水温が平均で 4.4°C であり、温度差 ΔT_w は 2.4°C であった。循環流量は $0.56\text{m}^3/\text{h}$ ($9.41\text{L}/\text{min}$) であったから、放熱量は 1.58kW 、単位面積あたりの放熱量は $43.9\text{W}/\text{m}^2$ であった。

また、配管が床下から奪う熱量は 0.24kW 、土中から奪う熱量は 0.12kW 、設備機器（循環ポンプ）の発熱量は 0.10kW であった。

6 本システムの評価

6. 1 熱回収の効率

厳冬期の換気空気温度（≒室内温度）は平均で 24.5°C 、屋外排気温度は平均で 8.4°C であり、その際の換気流量は $201.25\text{m}^3/\text{h}$ であったので、換気回収熱量は 1.12kW である。ただし、空気の比熱を $0.24\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ 、空気の比重を $0.00129\text{kg}/\text{kg}$ 、空気の密度を $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ とした。廃熱の回収効率は $0.57[-]$ であった。

この回収効率を増すため、熱伝搬回路の循環ポンプの能力を増し、 $0.77\text{m}^3/\text{h}$ ($12.9\text{L}/\text{min}$) としたところ、効率は $0.64[-]$ まで上昇した。

6. 2 システムの効率

本実証試験装置の性能を評価するため、動作係数 (COP) を次式により算定する。

$$\text{COP} = Q / Q_i \quad \dots (1)$$

ここで、 Q : 熱出力 [W]
 Q_i : 消費電力 [W]

本システムにおける厳冬期の放熱部出力は 1.58kW であり、伝搬回路のポンプ消費電力は $100[\text{W}]$ である。したがって、本装置の COP は $15.8[-]$ に達する。

6. 3 経済評価

本システムと同等量の熱量を一般的な灯油ボイラーによるロードヒーティングシステムにより発生させたと仮定し、コスト試算を行う。灯油の発熱量を $8240\text{kcal}/\text{L}$ 、灯油ボイラーの熱効率を $0.9[-]$ とすると、同4週間で想定される灯油消費量は $123\text{L}/4\text{Week}$ である。灯油価格を $98.8\text{円}/\text{L}^1$ とすると、灯油のランニングコストは $13047\text{円}/\text{月}$ である。循環ポンプの運転のためのランニングコストは、従量電気料金単価を $24.15\text{円}/\text{kWh}^2$ とすると $1739\text{円}/\text{月}$ であり、合計ランニングコストは $14786\text{円}/\text{月}$ となる。ここで、循環ポンプについては、本システムを採用した場合でも、灯油式を採用した場合と同等の装置を要するので、本システムを導入した際のランニングコストの節約部分は、前者のみの $13047\text{円}/\text{月}$ となる。

イニシャルコストについては、本システムを採用した場合、灯油ボイラーが不要となるが、熱交換ユニットの設置が必要となり、熱伝搬のための配管ルートも長くなると予想されることから相殺され、ほぼ同等となる。ボイラーの設置スペース、灯油タンクの設置スペースが不要となるなどの空間的なメリットはある。

6. 4 環境評価

コスト試算と同様に仮定し、灯油消費による CO_2 発生量原単位を $2.51\text{kg}/\text{L}$ とすると、灯油消費による CO_2 発生量は $265.2\text{kg}/\text{月}$ である。また、循環ポンプの運転による CO_2 発生量は、電力消費による CO_2 発生量原単位を $0.479\text{kg}/\text{kWh}^3$ とすると $32.2\text{kg}/\text{月}$ となり、合計 CO_2 発生量は $297.4\text{kg}/\text{月}$ となる。ここで、上記同様、循環ポンプ相当分は相殺されるため、本システムを導入した際の CO_2 削減量は $265.2\text{kg}/\text{月}$ となる。

6. 5 シックハウス対策

本システムは、24時間換気システムの運転と循環ポンプの運転が融雪の必要条件であり、かつ、上述のようにランニングコストが僅かであることから、ユーザー

が換気システムを停止させてしまうといった誤った運用を防ぐことに繋がると考える。その結果として、本システムの導入は、間接的にシックハウス対策になると考える。

7 考察

今回の実証実験により、本実験に用いたものと同等規模のロードヒーティングを北海道札幌地区の第3種換気システムを持つ木造住宅に導入した場合、通常のロードヒーティングに比べ、融雪速度が遅いものの、問題なく運用がなされることが実証された。

融雪速度にこだわらなければ、上述のように環境にも優しく、低コストで運転可能、かつ、シックハウス対策という副次効果をも有する優れたシステムであると自負する。

ユーザーによっては、融雪速度が遅いことは容認できない条件である場合もあると考えられるが、その場合は、いわゆるオプション的に、他の熱源をバックアップに用意するか、あるいは、融雪面積を縮小することで対応が可能であると考えられる。

本実験では、融雪部での放熱量は一般のロードヒーティングの設計負荷の18%程度であり、非降雪時（通常のロードヒーティングの非運転時）における舗装部分への蓄熱効果が大きいことが判った。このことから、蓄熱量をさらに増すために、融雪部下部に敷設した断熱材を取りやめることも効果的であると考えられる。設置コスト削減にも繋がり、対策効果が期待できる。

なお、本実験での放熱量のうち、融雪に利用された熱量は、単位面積あたり12.46W/m²であり、放熱量の28.3%であった。つまり、残りの71.7%は外界に放熱された部分であり、前者はその地域の降雪量、後者はその地域の外気温度に大きく支配される部分である。これらの値を参考に、他地域において本システムを導入する際の指標とすることが可能と考える。

今後の課題として、運転コストをさらに低減させるため、融雪電力の使用など、電気契約上の工夫も考えられるが、運転時間等に制約もあるため、慎重に検討していきたい。

また、今後の展開として、換気廃熱のロードヒーティング熱源への利用以外にも、ビルの屋上笠木や開口部周囲の雪庇予防対策への利用、あるいは、ルーフトレイン周囲や、スノーダクトなどの凍結防止などへの利用についても研究を拡大していきたい。

8 おわりに

本研究では、これまで捨てられていた住宅の損失エネルギーの3割にもおよぶ換気廃熱について、低コストで有効に利用する方法の一例を開発し示した。その結果、6割を回収することに成功し、屋外融雪に利用することができた。

また、本システム導入により、様々なメリットがあることが判った。今後、本システムが普及し、さらに低コスト化し、ますます環境に貢献していけることを切に願う。

本年は、北海道洞爺湖サミットが開催される年である。これを契機に、北海道の環境について、より深く考えていきたい。

謝辞

本論執筆にあたり、多数の方々にも多大なる御協力を戴いた。とくに、共同研究者であるNEWソトダン住宅研究会、北方圏住宅研究会、NPOシックハウスを考える会の北海道支部の皆様にも多大なる御協力を戴いた。また、実験装置製作にあたり、アシストホームの皆様、小野設備の皆様を初めとする多くの方々から御指導御協力を得た。ここに深く謝意を表す次第である。

参考文献（引用）

- 1) 北海道経済産業省公表 北海道地区の灯油配達価格（2008年1月、ローリー車による）、2008.4
- 2) 北海道電力 従量電灯B契約 電力量料金（2008.4現在）による
- 3) 北海道電力 CO₂排出量原単位、2006年度