



Title	雪冷熱利用による冷房方式に関する検討
Author(s)	半澤, 久; 持田, 徹; 長野, 克則 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 建築環境とエネルギー利用 . P1-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 33-37
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7139
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-7_p33-37.pdf



1-7

雪冷熱利用による冷房方式に関する検討

半澤 久 (株) 竹中工務店、持田 徹 (北海道大学大学院)、長野 克則 (北海道大学大学院)、
西原 潔 (株) 竹中工務店、中村 聡 (東急建設 (株))、関口 正博 ((株) 朝日工業社)

1.はじめに

雪は、我が国の国土の60%を占める積雪寒冷地域の都市などにおいてエネルギーと多大なコストをかけて処理する対象となっている。特に道路密度の高い都心部は除雪費用がかさみ、緊急度も高いのが現状である。

ところで、雪を利用する方法では、自然の冷蔵庫といえる氷室(ヒム)が知られている。しかし、都市部での大規模な建物や施設において、雪を積極的に利用し、そのエネルギーを取り出すことについての研究は、媚山ら^{1) 2)}の一連の研究が行われるまでは非常に少なかった。国外における雪冷熱利用の代表的なものには、プリンストン大学のアイスポンドやスウェーデンのサンドバル病院³⁾の雪冷房などがある。我が国でも、政府のエネルギー需給検討の場⁴⁾において、本年からバイオマスエネルギーとやらんで雪氷冷熱エネルギーが新エネルギーとして取り上げられた。

筆者ら^{5) 6)}は、雪を未利用エネルギーあるいは自然エネルギーとして位置付け、1999年より雪をエネルギー資源としてビルや公園などの地下に貯蔵し夏季の冷房への利用を検討してきた。また、貯雪(蓄熱)槽を冬季は融雪槽として利用すること等で多目的利用し、トータルコスト低減を図り、経済性を高めることも可能となる。

このように石油代替効果に寄与すると同時に、克雪に要する費用の削減も可能となるような雪利用システムの構築を目指した検討を行った結果を報告する。

2.雪冷熱多目的利用システムの概要

雪冷熱を蓄えて利用システムの基本概念を、季節毎の機能に基づいて概説する。

- ① 冬季：除雪された雪を融雪槽として利用可能な都心部地下等の貯雪槽に搬送・投入する。槽内の雪を、都市下水、コージェネレーション排熱など未利用エネルギーを併用して融かす。自区内処理により、雪の搬送経費やエネルギーが低減できる。
- ② 春季：融雪槽としての利用が終了した春先、貯雪槽に貯雪のため、雪を投入し、夏季の冷熱エネルギー利用に備えて期間蓄熱を行う。
- ③ 夏季：貯雪槽に蓄えた雪を徐々に融かし、その冷水を需要先(事務所、公共施設、ショッピングセンター等)に供給し、冷房熱源冷水で利用する。

このように、雪蓄熱槽を多目的に利用しながら、雪冷熱による冷房方式を構築するに当たって検討すべき項目を図-1に示す。次節では、雪利用の重要技術である雪蓄熱槽から効率的な採熱法の実験結果を示す。

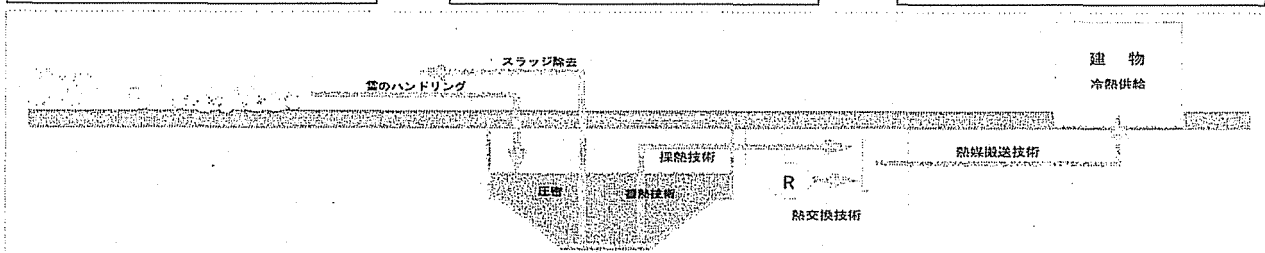
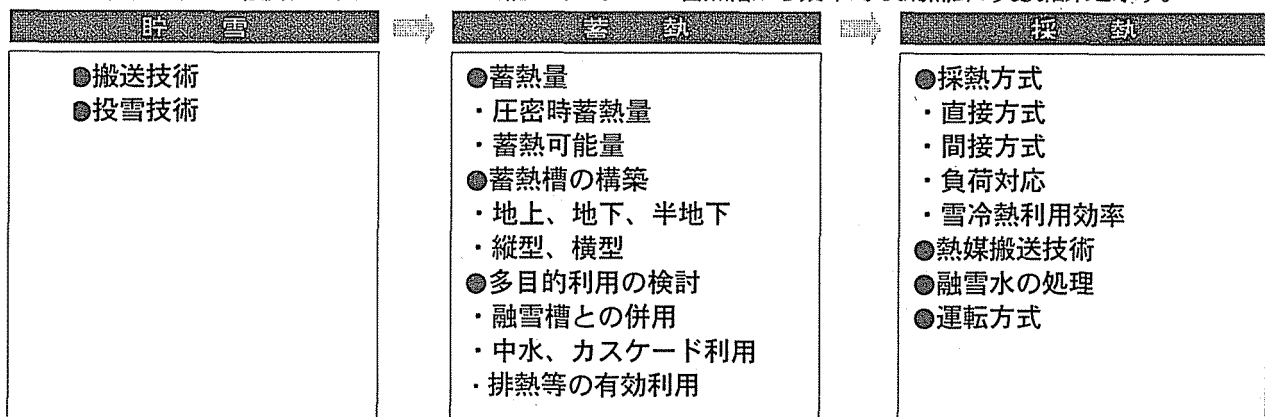


図-1 雪冷蓄熱多目的利用システムの概要と技術項目

3.貯雪槽からの採熱技術

フィールド実験ならびに実験室実験

雪蓄熱槽から効率よく採熱する手法、およびその諸条件を見出すため、フィールド実験と実験室実験を行った。採熱方式としては、融雪水を冷水として直接利用する直接採熱方式を念頭において実験を行った。

①フィールド実験

札幌市内の地下に図-2 に示す二重鋼管を埋設し、貯雪槽とした。槽底面から500mmの高さに6mm巾の格子を設置し、下部を冷水貯留スペースとした。雪と水との熱交換は、槽上部からの散水により行った。温度調整用水槽で水温調整した後、貯雪槽上部から散水する。散水した水は熱交換器からの還水を想定しており、貯雪槽を通った水は雪の融解潜熱により冷却され、貯雪槽下部の貯留スペースに溜まる。一定水量(100リットル)に達すると、吸い上げポンプで貯留スペース内の冷水を回収槽に回収した。

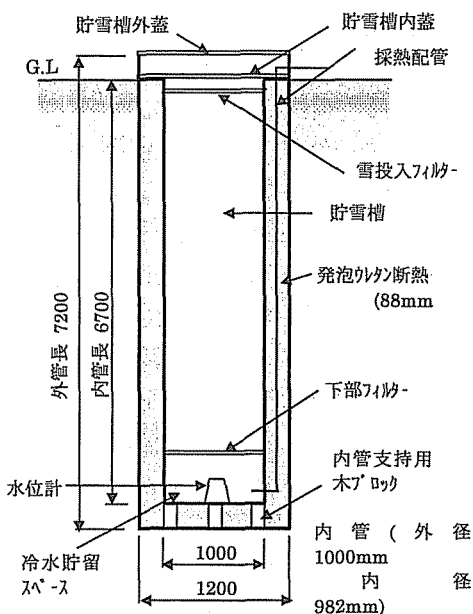


図-2 フィールド実験用貯雪槽概要図

実験は槽内の雪の密度が異なる2ケースで行った。実験条件を表-1 に示す。なお、雪の圧密による密度増加を図るため貯雪槽への投雪終了後1週間放置した後、採熱実験を行った。

散水量は採熱日数を30日/年、採熱時間を5時間/日、散水(還水)温度を10℃に想定し、槽容量から2.8リットル/minとした。1日の融雪量は雪層厚200mmに相当する。

安定状態における各回の回収水量は、ほぼ設定値の93~95リットルで、融雪水量(回収水量と散水量の差)、は約15.6リットルであった。この融雪量は、雪密度を0.55とすると1日当たりの融雪高さにして約360mmに相当する。

予定融雪高さ200mmより大きくなったのは、融雪による水量の増分を散水量に見込まなかったためと考えられる。

日平均回収水温は、ケース1では1日目が0.4℃、2日目が1.5℃、ケース2では1日目が0.4、2日目が0.5℃、3日目が0.6℃になった。例としてケース2の回収水温の経時変化を図-3 に示す。採熱量はケース1では、初日の採熱量は2.1Kwであったが、2日目は1.8Kwであったのに対して、ケース2では実験期間の3日間、ほぼ設定した熱量である1.9Kwであった。なお、融雪水による増加分は全採熱量の約15%であった。

ケース1では雪密度が小さいため、ケース2に比べて散水した水が滴下する部分の水みちが早くに大きくなり、雪は残っているものの十分な熱交換が行われなくなる。水が滴下する部分は融雪され、水みちが発達するが、滴下しない部分は楕形に残存するため、長期的効率的な冷熱採熱には散水方法等をさらに工夫する必要がある。

表-1 投雪雪の重量密度および採熱前の密度

	投雪日	雪+加水重量 (総重量)Kg	密度	
			投雪時	7日後
ケース1	2/24	1539.3+307.9 (1847.2)	0.32	0.43
ケース2	3/7	2702.7+540.5 (3243.2)	0.53	0.55

投雪方法：雪重量を投雪回毎に測定し、人力で投雪。
加水方法：雪層高さ2m毎に貯雪槽上部より、投雪重量の20%の水量を散水。

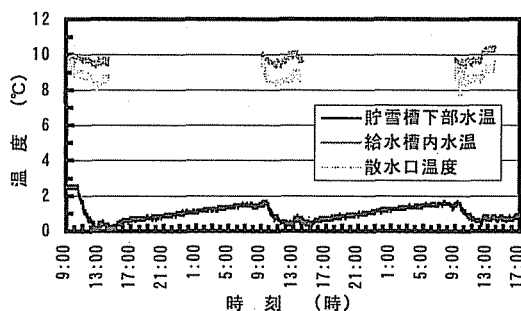


図-3 ケース2の水温変化

②実験室実験

フィールド実験の結果を踏まえ、冷水を連続的に取り出し、さらに貯雪量の多い初期から雪量の少なくなる終末期においても、ほとんど温度が一定となる採熱手法として、雪・水混合槽による採熱を考えた。この手法の有効性を確認するため、実験室実験を行った。実験は、図-4 に示す貯雪槽を温度制御された実験室内に設置し、人工雪を用いて行った。貯雪槽は、設定システム(次章参照)における貯雪槽の下部に設置する堰で区切られた

1ブロック部分を想定し模型化した。冷水の温度は、熱交換器の熱ロスを加味し5℃程度を目標とした。

実験は雪を槽上面まで詰め、採熱用水は、貯雪槽下部の1ヶ所(槽底面 40mm の高さ)から槽内に給水し、雪・水混合層を形成した後、雪層上部の出水口(槽底面から 200mm の高さ)から回収した。実験条件および実験ケースを表-2 に示す。槽への給水量をパラメータとして、採熱量や雪槽内の融雪状況の差異を測定、観察した。送水温度は熱交換器からの還水温度を想定し 10℃とした。

各ケースとも出口温度は、初期ではほぼ雪温の0℃であるが、給水開始後に約4℃に上昇する。出口水温が4℃程度に上昇した後の温度変化は、ケース A, B では約2℃の幅で短時間に上昇降下を繰り返すが、ケース C, D ではこのような上昇降下は見られない。代表例として、図-5 にケース B, C の槽入り口と出口の水温の経時変化を示す。送水量が比較的少ないケースでは、雪と水の熱交換の繰り返しによる温度変動が出口水温の変化に現れていると考えられる。また、上部温度が低く下部温度が高くなっており、不安定な温度分布の下で熱交換が行われている。

一方、流量が多いケースでは、給水口を出る流速が速いため、出口までのショートカットが形成され、雪との熱交換が十分に行われないことから温度変動が小さいと考えられる。

採熱温度として有効な温度を6℃として、出口水温が6℃に達するまでの各ケースの採熱量等を算出した結果を表-3 に示す。採熱可能時間(出口水温が6℃になるまでの時間)は、ケース A では約18時間であるのに対し、ケース D では約25分で、ケース A の1/40である。採熱可能時間が短いためケース C, D では単位時間当たりの採熱量は多いが、採熱量の総量は少なくなる。

前述した様に、送水量が多いほどショートカットする流路が形成されやすいため、ケース C, D では雪の利用効率(採熱量/初期保有潜熱量)は低く、ケース A では

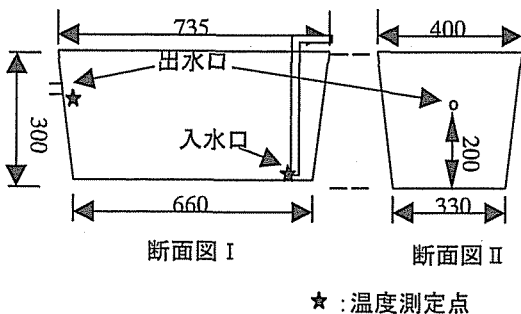


図-4 実験室実験用貯雪槽概要図

表-2 実験条件および実験ケース

ケース	給水量 (L/分)	他の条件
A	0.50	槽容積: 76.4L 雪密度: 0.6 給水管径: 12mm 周囲温度: 0℃
B	1.45	
C	4.00	
D	6.25	

約80%の雪から有効な採熱ができたのに対して、ケース D の雪利用率は約30%である。雪利用率はケース A と B の差に比べて、ケース B とケース C, D の差が大きく、ケース B と C の間に利用率が大きく低下する槽内流速があると推定される。このことから、雪・水混合槽による採熱方法は、雪槽のボリュームや形状に対して適正な採熱量を設定することにより、長期的、効率的な採熱が可能であると考えられる。

フィールド実験および実験室実験の結果、長期的かつ安定した採熱方法としては、上部散水等と雪・水混合方式を併用した採熱方法が有効であり、現実的なシステムを設計するための数値として、定量化できていない部分が残されているものの、空調用冷熱として雪冷熱を効率よく採熱できることが確認できた。

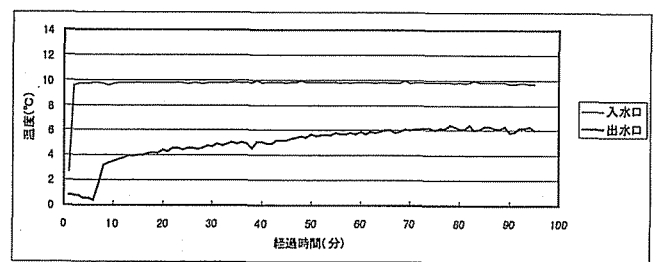
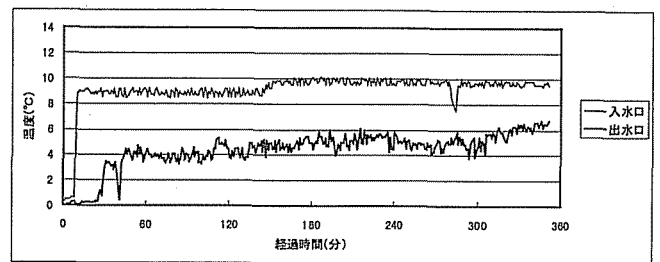


図-5 水温の経時変化(上:ケースB、下:ケースC)

表-3 各ケースの採熱量と雪利用率

ケース	採熱時間 (分)	全体採熱量 (Kcal)	単位時間採熱量 (Kcal/分)	雪利用率
A	1080	2422.6	2.2	78.7
B	313	2245.6	7.2	73.0
C	64	1351.4	21.1	43.9
D	26	854.4	32.9	27.8

4. ケーススタディ（雪冷熱利用によるビルの冷房）

ここでは雪蓄熱槽の雪冷熱で冷房を行う場合のケーススタディー結果を示す。検討条件は次のとおりである。

- ・建物用途：事務所ビル、延床面積：30,000 m²（基準階面積 2,500 m²、空調対象面積 2,000 m²）
- ・貯雪槽：20,000 m³ 多目的槽として地下階に設置
- ・多目的利用：夏季冷房、冬季融雪（4000 m³/日で 60 日間）

①貯雪方法

貯雪槽内に 220kW 級ロータリー除雪車を搬入し、槽内で雪投入口から落とされた雪を 3 回送り順次奥から堆積していく。

②蓄熱方法

貯雪槽（多目的槽）の断熱条件を以下のように設定し、地下構造として設計する。

上スラブ：全て断熱、床面：断熱無し、他水槽との壁：全て断熱、外壁：外部接触面は土層とし、上スラブより 3m のみ断熱

蓄熱、融雪槽として利用可能な 50m × 50m ×（高さ）14m の貯雪槽（多目的槽）を設定した。

冬季に融雪槽として使用する時は、コージェネレーション排熱の利用、融雪水のカスケード利用などをおこなう。

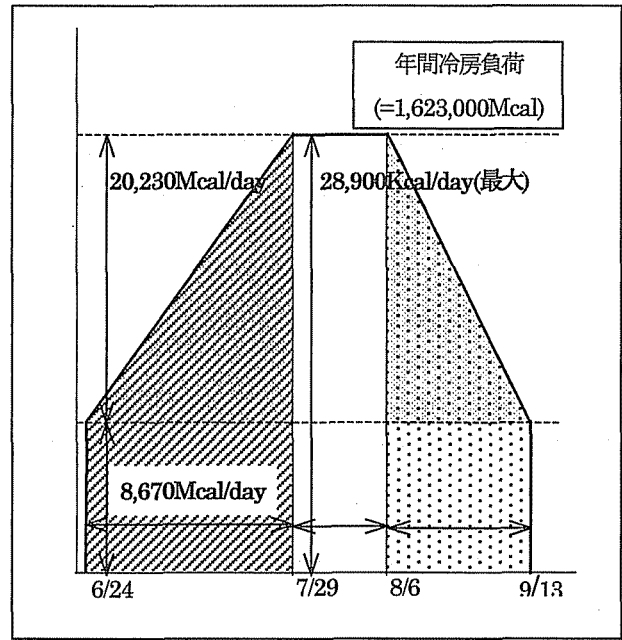


図-6 年間冷房負荷の割当

③採熱方法

雪からの冷熱の採り出し方法については、雪との熱交換が最も確実に簡単な方法であり、またより効率的な熱のカスケード利用が可能となる、直接採熱によるワンウェー方式とした。

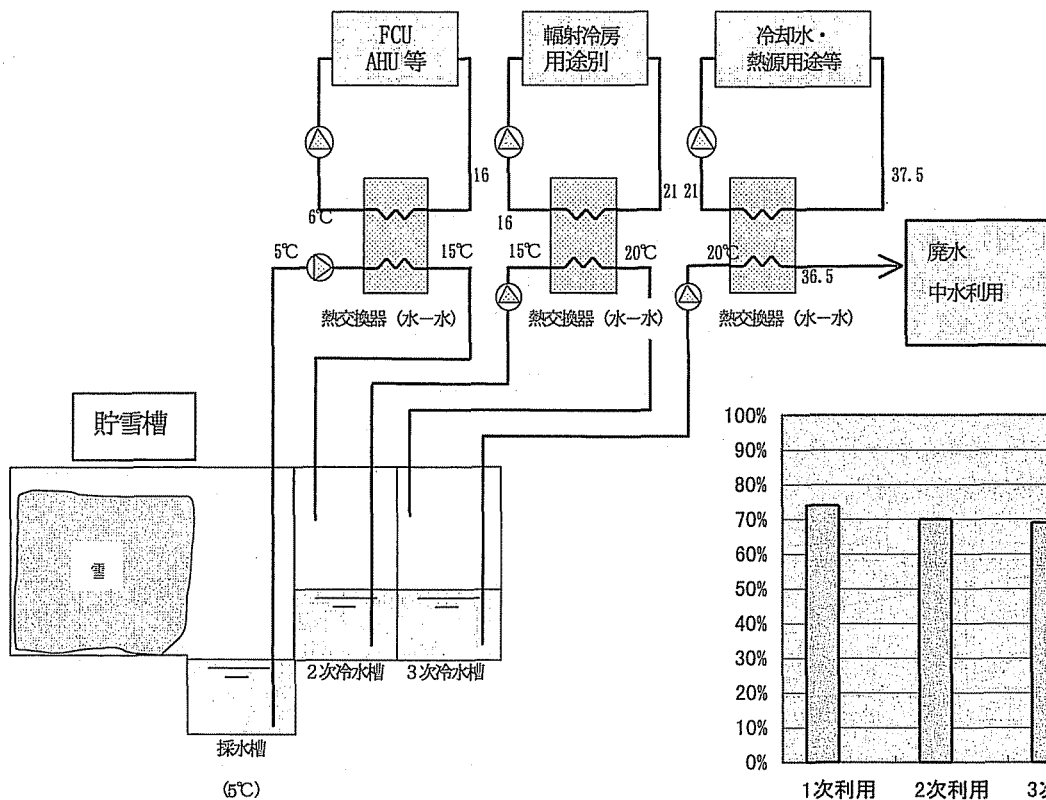


図-7 融雪水のカスケード利用

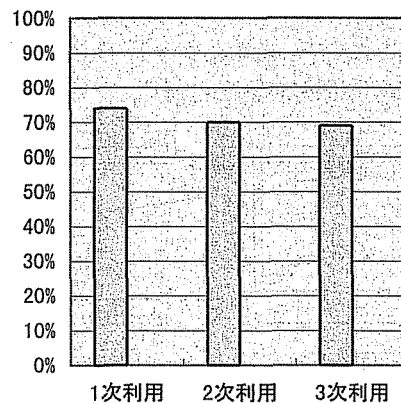


図-8 エネルギー消費量比率 (%) (対標準対比)

また、還水の一部を貯雪槽に散水し、水平水流式を堰で区切って多段に組み込み、雪と還水の接触を長時間保ちより安定した冷水温度を確保できるように貯雪槽の下部構造に工夫を加えた。熱の供給方式は、供給水量、送水温度が一定の条件で検討し、2次側負荷変動の影響を受けないこと、融雪水の利用効率をより高めることなどから、ベースロード対応とし、冷熱供給期間を冷房期間と設定し設計した。検討対象地域は札幌とした。

冷房日負荷：時間当り最大負荷 2,705Mcal/h (=装置負荷)、日最大負荷 28,900Mcal/日となり、年間の全負荷相当運転を600時間とすると、1,623,000Mcal/年となる。

冷房運転に関する試算結果では、冷房対象期間が82日間、多目的槽利用可能期間が69日間、冷房初日の融雪量は94m³、最大日融雪量が194m³を得た。図-6に年間冷房負荷の割当を示す。

④融雪水利用

雪の持つ冷熱量を最大限に利用するため、図-7に示すように3段階のカスケード利用を検討した。

貯雪槽で融雪された冷水(1次冷水)を採熱槽に貯め、熱交換器を介し外調機、空調機の冷熱として利用し、15℃程度に昇温した冷水を2次冷水槽に導入する。2次冷水は床冷房等の放射冷房、電算機用ドライコイルなどの冷熱源として利用する。2次冷水として利用された後、3次冷水として冷却水、ヒートポンプ用熱源水として利用し最終的には35~40℃まで昇温して使い切る。

⑤省エネルギー効果

今回対象とした事務所ビルの場合、冷温水発生機のみで冷熱を発生させる場合を標準システムとし、雪を利用した場合との比較をすると図-8のように対標準システムで26%~31%のエネルギー削減効果が期待できる。

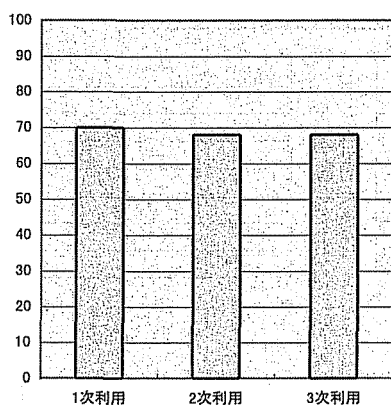


図-9 CO₂の排出量(対標準システム比率)

⑥環境効果

前述の省エネルギー効果の比較と同様にCO₂排出量を比較すると、図-9に示すように雪冷房により対標準システムで年間約30%のCO₂排出削減が期待できる。これは約220t-CO₂に相当する。

5.おわりに

ここで紹介したのは、単独ビルへの冷房と冬季の融雪を組合せたケースである。このケースの環境負荷低減効果は、除雪した雪をトラックで郊外の雪捨て場へ搬送時の燃料削減分と雪冷房エネルギーによる年間の環境負荷低減効果は、原油換算で約200t(リットル)・(トリス千本分)、CO₂排出量削減効果は、約530tと推算された。

今回紹介した雪冷熱利用システムは、克雪と利雪の融合を目指すものであるが、地球環境保全に対しても効果があることが確認された。このことより、積雪の多い地域の都市部において十分に検討に値する技術と考えられる。このような雪冷熱利用システムの実現に向けて、更に詳細な技術的、経済的検討を進めていきたい。

最後に、この検討結果は経済産業省の機械工業振興資金の補助金を受け、(財)エンジニアリング振興協会において、(株)竹中工務店、東急建設(株)、(株)竹中土木、(株)朝日工業社の4社が中心で行った調査研究の成果であることを付記する。更に本調査研究に対して貴重な助言・ご協力を頂きました本調査研究委員会関係各位に、深く感謝致します。

参考文献・引用文献

- 1) 媚山政良：雪熱源冷房の設計と事例紹介、クリーンエネルギー、2000.12
- 2) 媚山政良ら：雪-空気直接熱交換方式雪冷房システムの開発-実証実験(中間報告)-、第5回環境工学総合シンポジウム '95 講演論文集、日本機械学会、1995
- 3) IEA ANNEX 8(Phase Change Material and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage) The Tenth Experts' Meeting, 1999, June
<http://www.sb.luth.se/vatten/projects/iea/principle.pdf>
<http://www.sb.luth.se/vatten/projects/iea/ax14suph.html>
- 4) 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会：新エネルギー部会報告書(案)、2001年6月
- 5) 中村ら：雪を用いた地下冷熱蓄熱に関する実験(第2報 採熱実験)、空気調和・衛生工学会学術講演会、2000年9月
- 6) 中村ら：雪を用いた地下冷熱蓄熱に関する実験(第3報 採熱実験その2)、空気調和・衛生工学会学術講演会、2001年9月(投稿中)