

雪氷・冷熱エネルギーの利用に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21

担当チーム：雪氷チーム

研究担当者：松澤 勝、伊東 靖彦、
上田 真代

【要旨】

近年、地球の温暖化とそれともなう様々な影響が懸念されるようになってきた。このため、資源やエネルギーの再利用やリサイクルを推進して循環型社会を構築することが必要となっている。

新エネルギー法では、雪氷熱エネルギーが新エネルギーとして位置づけられている。一方、道路除雪において運搬して多量の雪が堆積されているが、これらは未利用のままの状況にある。

これら多量未利用エネルギー源である除雪堆雪の利用を念頭に、土木分野での雪氷冷熱エネルギーの活用について、情報収集と基礎的検討を行った。

キーワード：地球温暖化、雪氷エネルギー、冷熱エネルギー

1 はじめに

近年、二酸化炭素など温室効果ガスの増加によって、地球の温暖化とそれともなう様々な影響が懸念されるようになってきた。このため、地球温暖化防止のため温室効果ガス、特に二酸化炭素を削減するため強く求められており、資源やエネルギーの再利用やリサイクルを推進して循環型社会を構築することが必要となっている。

新エネルギー法(新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(平成 14 年 1 月 25 日施行))では、石油代替エネルギーである新エネルギー利用等を円滑に進める必要があるとされ、バイオマスなどにならび、雪氷熱エネルギーが新エネルギーとして位置づけられ(表 1)、雪氷冷熱利用に対する期待は高くなっている。

表 1 新エネルギーの一覧

- | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">・ 動植物由来有機物(燃料製造、熱利用,発電)・ 太陽熱・ 海水、河川水その他の水の熱・ 雪又は氷の熱・ 地熱発電・ 風力発電・ 水力発電・ 太陽電池発電 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令(平成九年六月二十日政令第二百八号)による

土木分野においては、道路除雪において運搬した

多量の雪が堆積されているが、これらは未利用のまま冬期間保存され、自然の気温上昇によって春先に融雪している状況にある。

これら多量未利用エネルギー源である除雪堆雪の利用を念頭に、土木分野での雪氷冷熱エネルギーの活用について、情報収集と基礎的検討を行った。

2 基礎情報の収集

2.1 雪が保持するエネルギー

融雪時に雪に吸収される熱量 Q_M は、短波放射収支 Q_I 、長波放射収支 Q_L 、顕熱 Q_S 、潜熱 Q_E の和で示される(式 1)¹⁾。

$$Q_M = Q_I + Q_L + Q_S + Q_E \quad (1)$$

式(1)のうち、気温が高い場合の放射収支が吸収熱量に占める割合は相対的に小さく¹⁾、冷熱エネルギーとして利用されるのは、顕熱と潜熱となる。

顕熱は物質の温度変化に費やされる熱量であり、潜熱は雪から水への状態変化に費やされる熱量である。氷と水との状態変化で潜熱量は約 79.6kcal/kg である。夏期の気温(30℃)に対して雪温は 0℃ 附近であり、これが融雪して 30℃ まで上昇するとすれば、顕熱は 30kcal/kg となる。このため、冷熱利用用途で利用できる熱量としては、顕熱量よりも潜熱量の方が大きい。

2.2 利用可能量

排雪量の統計がないため国内の堆雪総量は不明で

あるが、その量は大きいものと思われる。たとえば札幌市内の雪堆積場の計画容量は約 1800 万 m³(約 600 万トン)であり、人口(190 万人)で割り返せば、おおよそ 9.5m³となり、道内では 5000 万 m³が潜在的に堆雪として存在すると考えられる。

排雪する箇所は市街地が多いこと、運搬距離が最適化することを考えれば、一般に雪堆積場は都心部に設けられることが望ましい。しかし確保が困難なことから、雪堆積場の設置箇所は次第に郊外部が多くなってきている³⁾。このため、雪堆積場を大都市の都心部で確保することは難しく、堆雪の利用を考えた場合その供給元は郊外部を想定せざるを得ない。

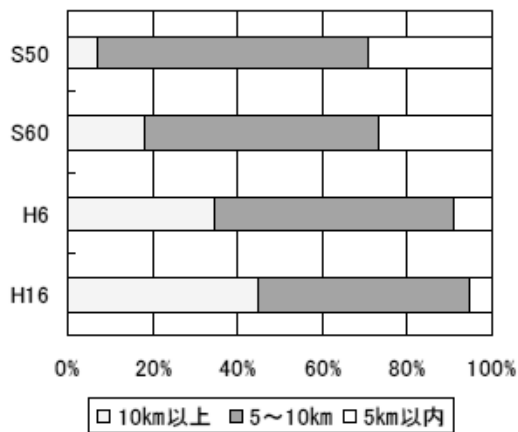


図 1 都心部から雪堆積場までの距離 (札幌市・箇所ベース)

2.1 利用事例

2.1.1 全般

全国の雪氷冷熱エネルギーの活用施設は 2004 年現在 103 施設⁴⁾、2008 年現在 123 施設²⁾であり増加傾向にある。

2008 年現在において、北海道での事例が 58 箇所と最も多く、以下新潟県(26 箇所)、山形県(16 箇所)となっている。上位 3 道県で全体の 8 割を占め、現在のところは地域による偏在が大きい。まだ雪氷冷熱利用については黎明期として位置づけられ、ノウハウや経験、人材、支援体制に地域偏在が存在し、古くから先行事例のある地域の利用が多い。

全国の雪氷利用量は 7 万トンあまりで、排雪量から比べれば少ない印象である。札幌市内の利用量は 5200 トンであり、除雪排雪全体に占める割合(利用率)はわずかに 0.09% である。

2.1.2 利用方法

冷熱源としては、雪を直接利用するもの他、氷

を用いるもの、地中熱(凍土)を利用するものの 3 種類がある。このうち、北海道で 18 件の氷や凍土利用による施設があるが他は、雪利用の施設である。凍土や氷を利用するためには低温が持続する必要があり、気候条件に適した地域は限られ、利用事例が少ないと見られる。また、雪は除雪排雪で集積し易いため、利用に適していることも雪利用が多い要因と思われる。

2.1.3 利用目的

利用目的では、農作物の低温貯蔵向けが大半を占め、その他に公共施設を中心に冷房用途に用いられている(図 2)。雪供給では道路除雪が主体であるが、利用側では土木分野はなく、農業や民生分野が主体である。

農産物貯蔵では、出荷時期をずらすために貯蔵することを目的に利用されている事例が多い。雪は低温多湿であり、雪を利用した低温貯蔵が、馬鈴薯の発芽抑制や米の乾燥防止に効果があることが判明している。これら農業分野の利用では、当然に郊外部となると考えられる。

一方、冷房用途では大型施設の冷房に用いられるため、市街地が中心となる。しかし大規模都市では一般に都心部には雪堆積場がなく、雪の供給箇所(雪堆積場)と冷熱需要のある市街地間は隣接しておらず、利用が難しい。現在、冷房用途で利用されている場所は、小規模な地方都市(集落)にある学校施設や公共施設が中心で、大都市での利用は大学等の研究用や実験用を除けばほとんどない。排雪の集積やその場所の確保が難しいこともその原因と思われる。市街地の範囲も小さく、雪の集積場所も中心地に確保し易いため、地方都市の方が公共施設の冷房に使用できるのではないかと思われる。

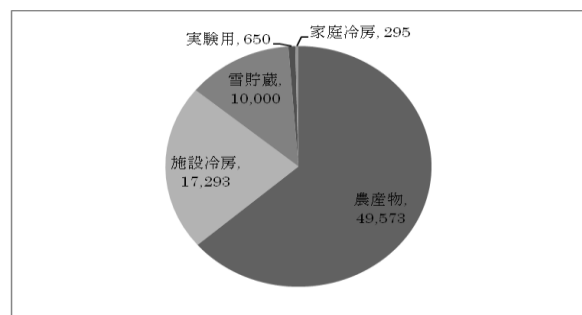


図 2 雪氷エネルギーの利用状況(単位:t)

雪氷熱エネルギー活用事例集 4、2008 より作成

2.2 コスト

雪氷熱エネルギー活用事例集⁴⁾によれば、雪氷冷

熱エネルギーを活用した施設の総コストは、30年程度の施設耐用年数を基に比較したところ、一般的な電気冷房方式に比べて1.5倍から2.0倍程度かかる状況となっている。

関係するコンサルタントに対するヒアリングの結果、雪貯蔵スペースが大きく必要となるため、そのスペースに必要な躯体の造成費用が大きくなるのが主要因とのことであった。

既往施設は経済産業省及び関連団体からの補助や調査委託によって、設備額の1/2～1/3程度の公的支援を得て建設されており、これにより従来技術と同程度あるいは1割程度高い状況となっている。

雪氷冷熱エネルギーの普及には、コストの縮小やその負担主体をどうしていくか、地球温暖化対策全体のフレームとあわせる形で、議論していく必要がある。

2.3 技術的手法

2.3.1 冷熱源

冷熱源には、(1)雪を搬入、(2)氷を外気で製造、(3)氷を採取、(4)地中熱と熱交換の方法がある²⁾。

多くは(1)の雪を搬入する方法で、道路や構内を除雪した雪が用いられることが多い。容量の関係で、一旦野外貯蔵された後に搬入されるものもある。

(2)は、建物内のコンテナに水を張り、氷点下となった冷気を取り入れて氷を製造する方法であり、北海道の低温地で事例がある。低温の持続が短い気象条件では氷が製造できない課題がある。

(3)は、近傍に湖沼や河川が無いと利用しづらく、(4)の地中熱は研究的な事例が数例あるのみである。

このため雪氷冷熱エネルギーの利用においては、量の確保が容易な積雪利用の充実を優先することが望ましいと考えられる。

2.3.2 冷熱の貯蔵

雪氷利用では、冬に雪等を貯蔵し、雪や氷の状態を維持したままで夏まで保存し、夏に融解させて冷熱を利用することが基本となるため、夏まで状態変化無く保存させる技術が必要となる。

堆雪方法としては、建物内で貯蔵するものの外、屋外で堆積させ、使用状況に応じて搬入するものがある。

屋外堆雪の場合、温度変化や状態変化を逃減するため堆雪を断熱材で覆う方法が採られる。断熱材としては発泡スチロールのほか、バーク材⁵⁾、おがく

ず、靱殻が用いられている。

融雪によって堆雪形状も時間変化するため、断熱材に割れ目が生じ、堆雪が暴露することも多い。このため維持管理手間を逃減するため、断熱材には形状変化に追随するものが必要となる。

目的を満たし、断熱性能が高く、安価なものを目指して、その改良や新素材の研究も行われている。

2.3.3 冷熱供給方法

雪としての利用としては、(1)自然対流式、(2)冷水循環式、(3)冷風循環式の3種が用いられている。

自然対流方式は、特別に機器を設置せずに堆雪の中に空間を設けて、あるいは空間の上に雪を堆積させて冷却する方法で、雪室がこれにあたる。

融雪とともに雪の形状が変化し崩れやすくなり、融解水の処理がしづらい欠点があるが、施設が不要でコストも安い。内部湿度は100%に近い状態になり日持ちするため、伝統的に野菜等の貯蔵に使われてきた。

冷風循環式は送風機によって、冷熱供給源(貯雪氷)と野菜等の貯蔵庫(冷却対象物)の空気を循環させるもので、貯蔵物と離して雪を堆雪させるので、融解水の処理がし易く、形状の変化にも対応しやすい。貯蔵庫に湿気もそのまま運搬することになるので、主に野菜の貯蔵などで使われている。

冷水循環式は、室温より温度が低い融解水から冷熱を熱交換器で取り出して、循環水を冷却して冷房に用いるものである。施設冷房に使われている事例が多くみられる。雪から直接冷熱を取り出すことは、雪の融雪変化によるパイプとの空隙の形成によって、時間と共に熱交換が困難となるため、融解水からの熱交換のみが行われている。

3 冷熱利用における課題

3.1 冷熱需要

除雪堆雪を利用するにあたって、まず課題となるものはその冷熱エネルギーの需要、すなわち利用方法である。

道路除雪によって冷熱の莫大な供給が出来ると考えられるが、道路分野では冷熱エネルギーを必要とする事例は無く、研究あるいは事業を進めるにあたって、冷熱需要の確保が大きな課題である。

現状は冷熱利用にあたって需要側の他分野との連携もしくは新たな需要の創出が必要となる。また、需要側でも農作物の保存が過半であり、その他への

利用の拡大が望まれる。

3.2 敷地利用

雪堆積場は大都市の場合、グラウンドや河川敷など堆雪以外に用いられることが主目的の箇所も多く、夏期まで貯雪出来ない箇所も多い。また、造成地など将来的に雪堆積場として利用できない箇所もあり、恒久施設の設置が困難な箇所も多い。

このため、冷熱エネルギーの利用においては通年で雪堆積場として利用できる箇所で、かつ需要のある箇所となり、地方都市(集落)で展開を進めていくことが適当と思われる。

3.3 コスト

現状では、既往の冷房施設に比べてコストが高い場合が多い。コストのうち、施設躯体の影響が大きいことから、従来手法では大きなコスト縮減は難しい状況にある。

現在補助金が投入されている状況であるが、新エネルギー転換への社会的負担をどう分担すべきかについても議論が必要である。

さらに、冷熱利用では道路等の排雪を利用することになるが、公的に収集した堆雪が生み出した冷熱に対する価格設定(費用負担)が課題として挙げられる。

3.4 熱利用の効率化

冷熱利用においては、冷熱を夏期まで半年間貯蔵する必要がある。よって、不必要に融雪されないよう、熱効率を上げる方法は重要な課題である。

特に野外貯蔵においては、様々な素材が断熱材として用いられているが、冷熱利用の拡大とともに安価な素材のニーズが高まると思われる。

3.5 冷媒体の輸送

現在、冷熱エネルギーの利用箇所では、冷熱源の貯蔵箇所と利用箇所は同一か、もしくは隣接した状態で行われている。

最近、沼田町では夏期に貯蔵していた雪の販売をはじめたが、今後冷熱利用の拡大に伴って貯蔵箇所と利用箇所が離れてしまうケースが増えると予想される。最近雪輸送の研究事例は少ないが⁶⁷⁾、冷熱を効率的に輸送するニーズは、再び高まると思われる。

4 今後の方向性

いくつかの課題はあるものの、既に農作物の貯蔵や公的施設の冷房用途として、雪氷冷熱エネルギーの利用については、実用段階に入っている。既に先行研究や施工事例も多くあり、土木研究所として取り組む場合に、それを踏まえた上で課題設定が必要となる。

さらに道路分野では排雪により冷熱源となる堆雪は多く確保できるものの、冷熱の需要は乏しく、現状においては研究成果の活用の面において、その需要も相対的に低いものと考えられる。

参考文献等

- 1) 小野延雄・石川信敬・新井正・若土正暁・青田昌秋：基礎雪氷学講座VI雪氷水文現象，古今書院，1994
- 2) 北海道経済産業局：雪氷熱エネルギー活用事例集4，2008
- 3) 札幌市雪対策室：札幌市冬のみちづくりプラン，2009
- 4) 北海道経済産業局：雪氷熱エネルギー活用事例集3，2006
- 5) 佐々木賢知・媚山政良・岸浪紘機・矢野潔・伊東宏城：雪山横穴空洞式熱交換システムの開発に関する研究，日本雪工学会誌，23(1)，13-22，2007
- 6) 小林俊市・野原以左武：雪氷混相の雪輸送について-雪氷かくはんおよび雪氷分離-，第7回雪害防災研究発表会，pp44-49，国立防災科学技術センター雪害実験研究所，1982
- 7) 石本敬志・金田安弘：空気による雪の輸送II，寒地技術論文・報告集，7，pp309-314，1991