

連携記事

新千歳空港における雪冷熱供給事業の現状と今後への課題

Current Status and Future Trends for Snow Cool Supply Business at New Chitose Airport

今野乃光

Norimitsu Konno

セントラルリーシングシステム(株) 技術顧問
今野技術士事務所 代表

1 はじめに

東日本大震災を契機にエネルギー行政の見直しが喫緊課題となっている日本では、再生可能エネルギーの実用化促進は必須である(図1)。セントラルリーシングシステム株式会社(以下、CLS)はエコ・エアポートを目指す北海道空港株式会社(以下、HKK)の一翼として、北国ならではの技術である雪氷エネルギー(2002年、新エネルギーに登録)の商業規模での実用化普及に向けて基礎・実証技術開発を進めている。

この、雪氷利用技術は日本では古来より、低温貯蔵技術として極めて小規模・地域限定的に伝承されて来ているものの、昨今、環境調和型技術として改めて見直されて来ている技術でもある。現在、全国で約140ヶ所、道内では約65ヶ所で雪冷熱施設が稼働²⁾しており、地球温暖化防止対策施策として一定の役割を果たしている。

この雪冷熱利用システムには以下の方式がある。即ち、

1) 自然対流方式

所謂、雪室・氷室で空間内の雪氷による冷却で特別な送

風等の設備の装備は無い。

2) 直接熱交換冷風循環方式

雪氷等の冷熱源と冷蔵・冷房対象の間に空気等を送風等の設備を介して循環させる方法。

3) 熱交換冷水循環方式

低温融雪水から熱交換器を介して冷熱を回収し被冷房系の高温循環水を冷却する方式。新千歳空港の雪冷熱供給システムはこの方式である。

本稿ではCLSの雪冷熱供給事業参入経緯、事業実績および今後への課題等について紹介する。

2 雪冷熱事業参入の経緯

2.1 背景

新千歳空港雪冷熱供給事業は、国土交通省が冬期に行なう空港除排雪等の集雪を利用し、夏期における空港ターミナルビル等の冷房用として雪冷熱を供給するもので、石油等の化石エネルギーから「雪」と言う自然エネルギーへ代替するこ

		化石エネルギー		非化石エネルギー	
		枯渇エネルギー		再生可能エネルギー	
		普及段階		経済性から普及が不十分	
エネルギー源	実用化段階	石油 (8)<44> 天然ガス (28)<18> 石炭 (24)<22>	原子力※ (30)<10>	大規模水力 (9)<3> 地熱 (従来方式)	新エネルギー(1)<3> 地熱(バイナリー方式) 太陽光 太陽熱 風力 ※(雪氷熱利用) バイオマス発電・熱・燃料
	研究開発段階				※ 雪氷熱利用 波力発電 潮力発電 海洋温度差発電 宇宙太陽光 (SSPS)
		※) 安全対策見直し			
低炭素化社会構築					

図1 日本のエネルギー源の由来、属性と位置づけ
() 発電量比率 < > 1次エネルギー比率: 出典 エネルギー白書2009¹⁾

とにより省エネを図り、二酸化炭素の排出抑制を目的とした、国の環境施策の一つとしての事業公募に、平成21年3月CLSの応募が採択され、平成21年9月に着工、平成22年5月に営業運転を開始した。

国土交通省は平成19～20年にかけて、産学官連携重視指向の下で、クールプロジェクト（冬期における空港の除排雪による集積雪を、4月から9月の約半年の期間に段階的に融雪処理することで、防除雪氷起因のBODを低減し、更にここから出る融雪水を夏期空港ターミナルビル冷房用として活用することで、二酸化炭素排出量低減を目指す、一石二鳥の画期的なシステム開発）を展開した。

新千歳空港雪冷熱供給事業計画検討は、このクールプロジェクトの活動成果とSweden Sundsvallにおける先行事例を参考に企画・設計・施工の過程を踏み、当面120,000m³の除雪集積雪による冷熱17,900GJを回収し1,050tonの二酸化炭素発生を抑制し、次のステップで、除雪集積雪240,000m³として2,100tonの二酸化炭素発生抑制を目指すこととし現在に至っている。

2.2 Sweden Sundsvall Hospital 先行事例調査

Sundsvall病院では1999年に敷地面積8,400m²（140m×60m）、貯雪能力60,000m³の雪堆積場が建設され、2000年から冷房利用プロジェクトが展開されている^{3,4)}（図2）。病院の最大冷房負荷は1,500kWで年間負荷は1,000MWh（3,600GJ）である。雪山底部には防水アスファルト製のピットがあり、雪山被覆にはウッドチップが使用され雪山自然融雪量を減少させている。またプロジェクトの技術的検証にはLulea工科大学のBo Nordell教授が参画されている。2000年～2005年の実績を基に2008年に掛けてシステム効率改善に向けた改修を実施している。（2009.07.09-11.現地調査実施）。

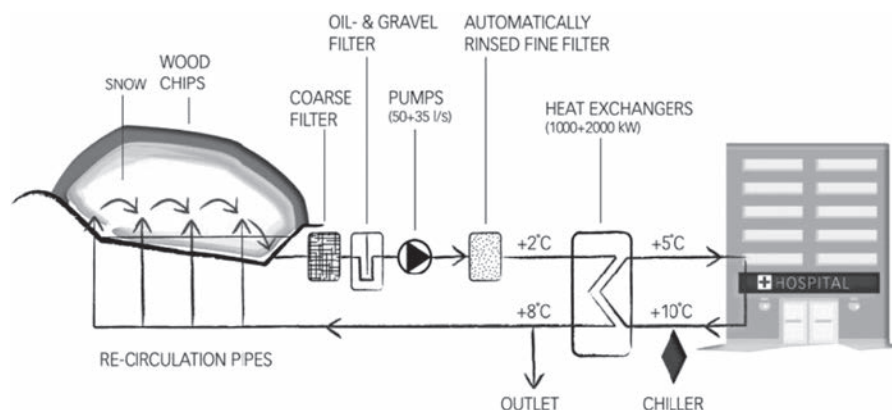


図2 Sweden Sundsvall Hospital の先行事例

3 新千歳空港における雪冷熱供給事業

3.1 雪冷熱供給システムの概要

空港駐機場（462,891m²）の防除雪氷剤（プロピレングリコール）で汚れた雪の空港周辺河川への流出によるBOD汚染を回避するべく、これを貯雪ピット（20000m²：100m×200m）に集め、遮熱シートで被覆し5月～9月までの間暫時保存・融雪しBODの低減を図り排水する。この間、貯雪ピットの底部より出る約3℃の融雪水から熱交換器を介して冷熱を回収し、これを空港ターミナルビルに供給し、ターミナルの熱を交換吸収した融雪水を約13℃で貯雪ピットに戻し再び冷水として循環するシステムである（図3）。

3.2 新千歳空港雪冷熱供給システムの特徴

本システムは、HKKが進める環境と人に優しい環境負荷低減型の「エコエアポート」の構築に呼応する諸施策の一つとして、温室効果ガスの削減（CO₂発生抑制）技術開発を視野に進めるものである。ここでは、新エネルギー源「雪」の活用システムの特徴と施設の概要を表1に、空調冷熱源機の

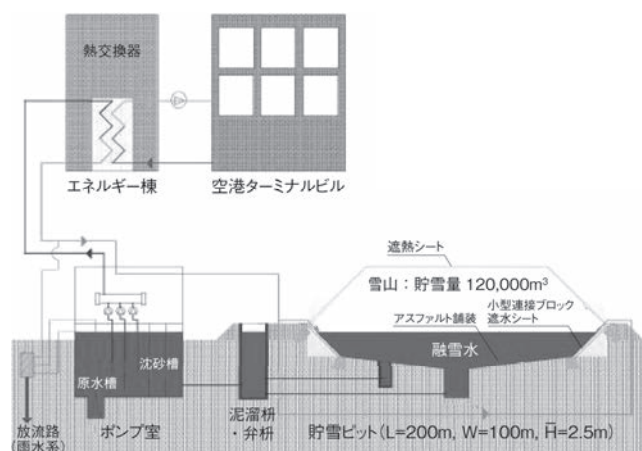


図3 新千歳空港の雪冷熱供給システム

構成を表2に示す。

本システムの主要ファクターでもある遮熱シートについて次の項で紹介する。

3.3 遮熱シートの採用

遮熱シートの機能・能力は特に重要である。表3に遮熱シートの性能を示した。

今回採用のシートは雪の自然融解を遅らせる高反射率のポリエチレン被覆材を使用し、上覆体と下覆体の間に発砲スチロール（厚さ50mm）断熱ボードを挟み込んだサンドイッチ構造で、熱貫流率 $K=0.6\text{w/m}^2\cdot\text{K}$ 以下であり、5月～9月の約150日間の雪の保存を可能としている。Sweden Sundsvallでも使われていたウッドチップ成形材については遮熱性能値は別として、空港の特殊性から飛散リスクを回避するべく採用を見送った経緯がある。図4に被覆材の融解特性の試算を示した。

3.4 体制

雪冷熱供給システムの運用にあたり、要素技術の高度化と実証実験の完遂も睨み、学識経験者との産学連携研究体制を構築した。即ち、産グループにはCLS、(株)北海道日建設計、国策建設(株)の3社、学グループには北海道大学、千歳科学技術大学、苫小牧工業高等専門学校等の3研究機関、加えて千歳市、苫小牧市との地域連携の体制を組み今日に至っている⁵⁻¹¹⁾。

表1 新千歳空港雪冷熱供給事業施設の概要

貯雪量	120,000m ³ (~240,000m ³)
貯雪ピット容量	50,000m ³ : 100m×200m×2.5m
主要設備	
貯雪ピット	防水アスファルト製
給水ポンプ	45kW 3台(~5台)
熱交換器	1,000 USRT1台(~2台)
雪冷熱供給能力	17,900GJ/年(~35,800GJ/年)
目標省エネルギー量	原油換算430kL/年(~860kL/年)
目標省CO2削減量	1,050ton/年(~2,100ton/年)
() は将来計画	

表2 新千歳空港の空調冷熱源機の構成

蒸気吸収式冷凍機	1,200 USRT×2基
	1,000 USRT×1基
ターボ式冷凍機	500 USRT×2基
計	4,400USRT
雪冷熱供給能力	1,000 USRT(=12.7GJ/hr)
合計	5,400USRT
	(雪冷熱比率18.5%)

表3 遮熱シートの性能

断熱性能	熱貫流率 $K=0.6\text{w/m}^2\cdot\text{K}$ 以下
反射率	80%以上
透光率	0.5%以下
リサイクル率	80%以上
上覆体の色	スノーホワイト/シルバー
上覆体の材質	PE(ポリエチレン)
断熱材の材質	発砲スチロール(t=50mm)

3.5 貯雪ピット雪山成形作業

5月から9月までの150日間、如何に雪を温存し有効利用できるかが重要テーマの一つである。集雪作業完了前後から被覆材敷設作業に向けた雪山成形作業を開始する。この雪山成形作業では台形状への仕上げ・平面の確保が、遮熱シート敷設作業効率・損傷防止と雪の安定保存に重要である。写真1に遮熱シート敷設後の貯雪ピット雪山と、写真2に遮熱シート敷設作業を紹介した。

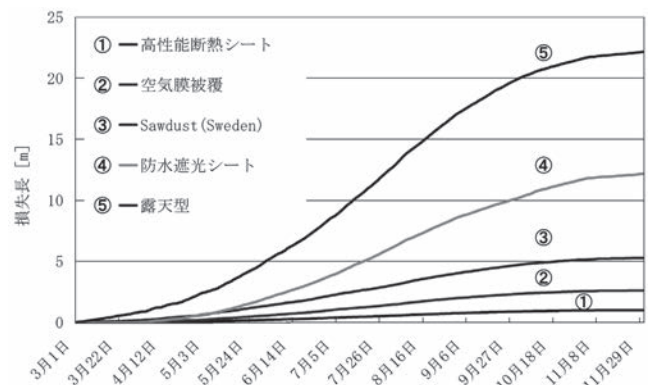


図4 各種被覆材融解特性の比較



写真1 遮熱シート敷設後の貯雪ピット雪山



写真2 遮熱シート敷設作業

3.6 操業実績

立ち上げ初年度の平成22年度は設備初期トラブル対応に追われた年で、長期安定型の操業データは得られていない。ここでは平成23年度操業実績を中心に紹介する。表4、5に第2年度（平成23年度）の事業展開全体工程と主要操業実績諸元を示した。この年の降雪量は平年並みながら、貯雪量は計画値120,000m³に対して実績値76,000m³、対計画63.3%（平成22年度75,000m³）での操業開始となった。雪冷熱供給システムの運用にあたっては、「事業性の確保」を最優先課題として取り組んでいる。5月11日に試運転を開始し9月15日までの間、冷熱供給を実施し、回収冷熱量は約8,200GJ（平成22年度5,000GJ）で、雪不足を加味した実効冷熱回収率は72.2%であった。図5に月間回収冷熱量推移を、図6に7月27日の冷熱回収システム出力を操業データの一例として示した。現在までの実績データより当初目標の最大冷却能力1000USRT（＝12.7GJ/hr）はクリアできる見込みである。また、冷熱回収量実績約8,200GJ/年から省エネA重油換算量は約210kL（＝8,200GJ×0.0256kL/GJ）、CO₂発生削減量はA重油の排出係数を0.0189T-C/GJ¹²⁾として求めると約568T-CO₂（＝8,200GJ×0.0189×44/12）となる。

表4 第2年度（平成23年度）事業展開全体工程

12月10日～3月25日	集雪・雪山成形
3月16日～4月5日	断熱シート布設
5月11日	試運転開始
5月14日～9月15日	冷熱回収本運用期間
9月16日～29日	断熱シート撤去

表5 第2年度（平成23年度）主な操業実績諸元

貯雪量	(m ³)	76,000
冷熱回収量	(GJ)	8,200
能力	(Kw)	3,300
降雨量	(mm)	750
雪山損失長	(cm/d)	1.7

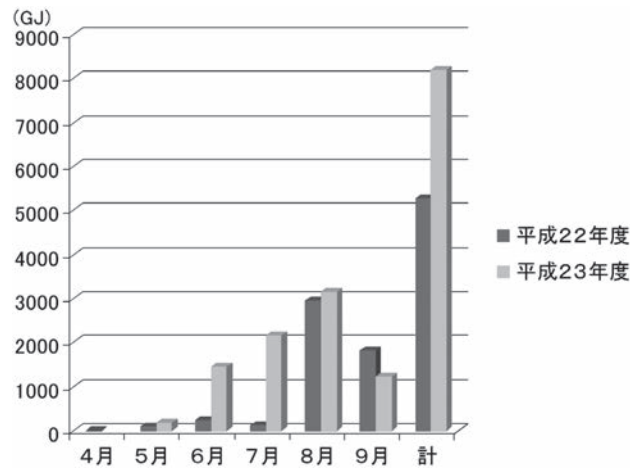


図5 月間回収冷熱量推移

4 雪冷熱供給事業に関する今後の課題

平成24年のシステム運用開始後3年目の現時点における、過去2年間の運用実績を基にした今後への検討課題を以下に紹介した。

4.1 雪山成形作業の労働負荷軽減対策

本システムの特徴は前述の如く高性能遮熱シートの使用である。ここでは、現状約700枚（4m×8m）のシートの繋ぎ合わせと飛散防止用ウェートホースの取付に、鳩目穴を介した編み上げ状の繋ぎ込み作業が必要であり、簡易脱着可能な留め具の開発検討が課題である。

4.2 冷熱回収効率の向上

平成23年度の実効冷熱回収率は72.2%で約28%弱の効率ロスが残る実態である。このロス内訳は、雨水の混入に伴うロス、その他貯雪ピット・原水槽および熱交換機（エネルギー棟）までの約700mの地下埋設配管部からの伝熱ロス等となる。この中で雨水については現在貯雪ピットの20,000m²が全面受け皿となっていることに起因しており、雨水排水等対策検討が急がれる現状である。

4.3 雪不足対策検討

新千歳空港においては雪冷熱供給システム立ち上げ後、2年連続して集雪量は約75～76,000m³で、当初予定の120,000m³の確保が未達であった。本システムは再生可能エネルギーの中でもエネルギー変換係数の小さな雪氷が主体であり、商用規模での活用には大量の雪氷の確保が必要となる。この雪不足は当該事業経営には最大の障害因子であり、気象変動に左右されない対策が必須である。Sweden Sundsvallにおける先行事例にもある、人工雪製造での不足

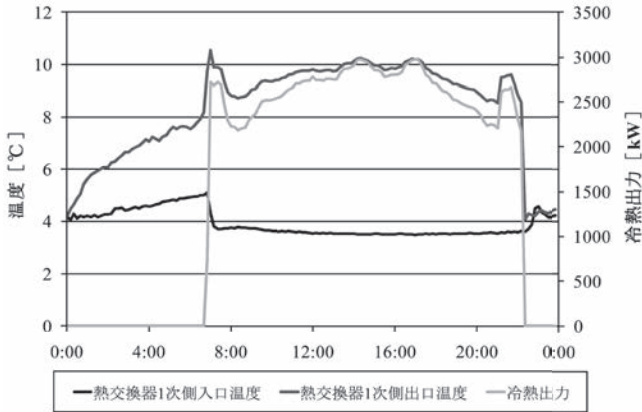


図6 雪冷熱供給システム冷熱回収出力（平成23年7月27日）

分の充当等が考えられるものの、ここにもコスト問題があり事業性・経済性の安定確保に資する補完技術として、低価格人工雪氷製造技術の確立・実用化が急ぎたい課題と考えている。

4.4 今後の技術基盤高度化への課題

1) スケールファクター

雪冷熱供給技術の高度化、汎用化技術の確立にスケールファクターの壁がある。縦100m・横200m・深さ2.5mの貯雪ピット内の雪融解反応と言うプリミティブな現象に、120,000～240,000m³の未知のスケールファクターを重ねた時に、雪が解け進む仕組みやその状態変化について、机上ではなく実際のフィールドでこれを定量化することができていない。経済性評価と実運用条件フィッティング等の解析を進め、先達でもあるSweden Sundsvallとの技術交流・情報交換を進めスケールファクターの壁を超えることが大きな課題である。

2) エンタルピーからエクセルギーへ視点の切替え

エコエアーポートを目指す新千歳空港では、これまでの重油を道内天然ガスに置換し、さらにコージェネレーション発電設備の導入に併せ、空港ターミナルのエネルギー一元管理システムを構築し、大幅な省エネを達成している。一方、更なる省エネ推進にはエネルギーの「量」に相当するエンタルピーから、「質」に相当するエクセルギーの視点への転換も不可欠である¹³⁾。図7にエンタルピーとエクセルギーの違いを示す。雪氷利用とは、冬場は環境温度と等しくエクセルギーが0の雪氷を、夏場まで貯蔵することでエクセルギーを生み出し、利用することに他ならない。現在、新千歳空港ではエクセルギーの観点から、空港ターミナルビルのエネルギーフローを見直し、雪冷熱との組み合わせで更なる省エネを目指すべく基礎検討を進めている。

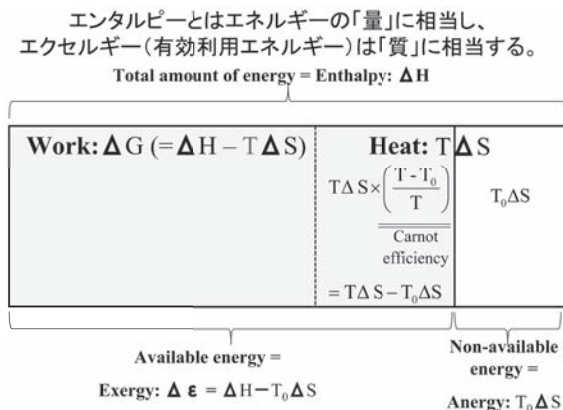


図7 エンタルピーとエクセルギーの違い

通常エクセルギー量は温度、圧力、大気組成の環境条件を設定することにより、はじめて絶対値を評価できる。これまでの工業的高温プロセスのエクセルギー評価では25℃、1気圧、水蒸気飽和の大気組成で一定不変として取り扱ってきた。なぜならば高炉やセメントプロセスの評価においては、環境温度が及ぼす影響は小さいとして無視できたからである。しかし、雪冷熱ではそのエクセルギーは季節によって変動する環境条件を導入して、その値を明確に評価する必要がある。これにより雪は真夏に利用するほど価値が高いことを定量的に評価することができる。一方、雪を保持する間に熱損失によりその量は減少していくことから、エネルギーの質と量の両者を考慮して操業条件を決定することが重要である。具体的にはエクセルギーの損失が最小になるように操業条件を最適化すべく、その方法論の確立に期待が寄せられている。エクセルギー評価は経済性とも正の相関があるため、詳細なコスト計算とは別に実施されるべきであると考えたい。

これらの課題解決を糧として先進のエコエアーポート実現を期待している处である。

5 おわりに

ここでは新千歳空港で展開した2年間の雪冷熱供給事業について、取り組みの一部を紹介した。しかし、事業性を左右するシステムの定量評価を始め、降雪量、降雨量等自然環境変動への対応技術開発については十分とは言えない現状である。山積する将来課題については再生可能エネルギーの実用化促進が喫緊の課題である状況も視野に、それぞれについて単純化・定式化することも一助として推考を重ねてみたい。また、北国寒冷地の厳冬・厳寒由来自然エネルギー「雪・氷」からの冷熱利用の可能性、発展性についても、国内外からの情報収集も含め、3年目の操業で更なる基礎データの収集・検討に注力している处である。

北海道から全世界に発信できる、低炭素化社会実現を支える新しい環境技術の一つとして、雪氷冷熱活用技術の発展に期待したい。

謝 辞

この雪冷熱供給事業展開に、産学連携指向の下で、北海道大学大学院工学研究院教授 秋山友宏氏、准教授 濱田靖弘氏、大学院生 能村貴宏氏、千歳科学技術大学総合光科学部教授 吉田淳一氏、山林由明氏、苫小牧工業高等専門学校機械工学科教授 菊田和重氏、准教授 小藪榮太郎氏には貴重なご指導ご助言を戴いた。この紙面を借り御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) エネルギー白書2009, 経済産業省資源エネルギー庁
- 2) 雪氷熱エネルギー活用事例集4改訂版, 経済産業省北海道経済産業局, (2000)
- 3) K.Skogsberg and B.Nodell : Cold Regions Science and Technology, 32 (2001) , 63-70.
- 4) K.Skogsberg : Cold Regions Science and Technology, 34 (2002) , 135-142.
- 5) A.Kaizawa, N.Maruoka, A.Kawai, H.Kamano, T.Jozuka, T.Senda and T.Akiyama : Heat and Mass Transfer, 44 (2008) , 763-769.
- 6) T.Nomura, N.Okinaka and T.Akiyama : Materials Chemistry and Physics, 115 (2009) , 846-850.
- 7) Y.Hamada, H.Kubota, M.Nakamura, K.Kudo and Y.Hashimoto : Energy and Buildings, 42-2.
- 8) Y.Yamabayashi, M.Koga and S.Okamoto : IEICE Transactions on Communications, 83-B (2000) 10, 2210-2215.
- 9) 吉田淳一, 綿貫周, 池田弘治, 緒方直哉 : Proc.SPIE, Vol.5724, 234-241.
- 10) 菊田和重, 田部豊, 近久武美 : 第20回内燃機関シンポジウム, 283-288.
- 11) 小薮榮太郎, 築地徹浩, 松村義人, 佐藤泰造 : 日本冷凍空調学会論文集, 22 (2005) 2, 145-152.
- 12) 2011ビル省エネ手帳, (財) 省エネルギーセンター, 参考資料, 156-158.
- 13) 葛西栄輝, 秋山友宏 : 物質・エネルギー再生の科学と工学, 共立出版, (2006)

(2012年3月30日受付)