

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560692

研究課題名(和文)新しい被覆材，軽量断熱テント，およびスノーキャノン導入による雪氷活用の低コスト化

研究課題名(英文) Cost saving of snow-and-ice utilization by introducing innovative sheets, light tents and snow cannons

研究代表者

濱田 靖弘 (Hamada, Yasuhiro)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40280846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：積雪寒冷地においては除排雪事業には多大な労力と費用が投入されている。雪堆積場等を冷熱資源の賦存先と捉え、エネルギー供給、食糧では備蓄・流通モデルへの適用を図ることにより日本のエネルギー自給率・食糧自給率の向上に寄与し得ると考えられる。本研究は、これまで雪氷資源活用の最も大きな課題・障害であった貯蔵コストの大幅な低減化を図ることを目的として、新しい被覆材，および簡易雪氷貯蔵庫を提案し、その有効性を実証したものである。また、利用地域の広範化とエネルギー供給のさらなる安定化をめざした寒冷大気による製雪方式の導入効果が高いことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A great deal of labor and expenses are cast into removing the snow in the snowy cold districts. Snow mounds have a potential as the cold energy resources. They can contribute to the improvement of the Japanese energy self-sufficiency ratio and self-sufficient rate of food by planning the application to storage and distribution. For the purpose of large reduction of the snow-and-ice storage cost that was the biggest problem for the snow-and-ice utilization, this study demonstrated the effectiveness of innovative sheets and light tents. In addition, it was verified that the introduction effect of snow cannons which produce the snow by using the cold outdoor air was high aiming at the enlargement of the utilization area and further stabilization of the energy supply.

研究分野：建築環境・設備，環境技術，エネルギー学

科研費の分科・細目：建築学，建築環境・設備

キーワード：雪氷資源 地域連携 スノーキャノン 抑制栽培

1. 研究開始当初の背景

寒冷地では冬期間に雪氷を貯蔵し、夏期に利用する手法が古くから実施されていた。雪氷は大きな冷熱を保有しており、この冷熱を夏期の冷房、農産物の貯蔵に利用できれば省エネルギー・二酸化炭素排出量削減に貢献し得る可能性を有している。雪を利用する方式については、古くから雪中貯蔵などが行われており、媚山らによる一連の研究、北欧における大規模な導入事例などが特筆される。当初は農作物の低温貯蔵を主な利用法として始まったが、最近では、事務所、集合住宅などの冷房に利用する技術が各地で注目を集めている。このような機運の高まりから、2002年の新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法の政令改正により、雪氷冷熱エネルギーが新エネルギーとして認定された。また、氷を利用する方式としては、古代より氷室などがあった。大規模な製氷およびその簡易保存を可能にするアイスポンドの研究開発、冬期の寒冷大気を利用して貯氷庫内の水を凍結させ、夏期に冷熱源として利用するアイスシェルトの研究開発が特筆される。

筆者らは、これまで雪冷房システムの高効率化、氷を利用した仮設冷房の研究を実施してきた。今後、さらに自然冷熱利用の普及・促進を図っていくためには、これらの高効率化技術を一層の低コストで実現させる必要があり、性能を保持した新しい低コスト貯蔵方式が求められている。また、現在普及している雪冷房技術は、自然に降った雪を利用するのが前提条件である。そのため、雪冷房技術を普及させる上で、十分な降雪のある地域に限定されることや、雪の搬送コストが高いこと、さらに、降雪量が少ない年には十分な雪が得られないという不安定な要素があること、などの制約と問題を抱えていた。本研究では、これらの問題の解決策として、人工製雪機の雪冷房への導入を取り上げるものである。

2. 研究の目的

積雪寒冷地においては除排雪事業には多大な労力と費用が投入されており、札幌市では年間約150億円に達している。雪堆積場等を冷熱資源の賦存先と捉え、エネルギー供給、食糧では備蓄・流通モデルへの適用を図ることにより日本のエネルギー自給率・食糧自給率の向上に寄与し得ると考えられる。

本研究は、これまで雪氷資源活用の最も大きな課題・障害であった貯蔵コストの大幅な低減化を図ることを目的として、新しい被覆材、および簡易雪氷貯蔵庫を提案し、その有効性を実証しようとするものである。また、利用地域の広範化とエネルギー供給のさらなる安定化をめざした寒冷大気による製雪方式の導入可能性について検討する。

3. 研究の方法

(1) 雪氷の長期保温性能を確保し、大幅な

低コスト化を図るための二つの貯雪方式の概念を提案する。一つは、従来のペイバックタイムが100年以上であったコンクリート造、15~20年程度の鋼製の雪氷庫建設の常識からの脱却を図った断熱テント方式による簡易雪氷庫(以下、軽量高断熱テントと称する)。もう一つは、冬期間に除排雪により各所に形成される雪堆積場を新しい低コスト被覆材で長期保管可能とする方式(以下、シート等被覆型スノーマウンドと称する)である。

(2) 人工製雪機(以下、スノーキャノンと称する)を利用して雪冷房用の製雪を行う方式を提案する。寒冷大気により安価かつ高効率に雪量を確保することによって、大型雪冷房事業に関しても自然降雪量の少ない年においても十分なエネルギー供給を確保する。さらに、移動式のスノーキャノンを開発することによって、適用可能地域の広範化を図る。

(3) 食糧の周年安定供給を可能とする出荷体制の構築をめざして雪氷資源を活用したビニルハウス栽培技術、食糧の適切かつ効率的な備蓄手法の低コスト化を図る。日本国内において多くの地域に賦存する温泉の排湯などとの複合利用を導入することによって冷熱併給が可能なシステムとする。

(4) 軽量高断熱テント、スノーマウンド被覆材の貯蔵性能を評価するための解析ツールを開発するとともに、実験により雪氷融解量の計測を行い、解析ツールの精度を検証する。提案した各種保温方式に関して断熱性能、ペイバックタイムの観点から技術評価を実施するとともに、大型雪冷房事業等への導入効果フィージビリティスタディを検討する。

(5) スノーキャノン、ビニルハウス冷熱供給栽培技術評価のためのそれぞれの解析ツールを開発するとともに、製雪、栽培に関する実証実験を行い、解析ツールの精度を検証する。全世界を対象としたスノーキャノン製雪シミュレーションを実施し、ビニルハウス栽培技術指針を構築を図る。

(6) 事業採算性を目的関数とした提案技術の評価を実施する。低コスト雪氷保管技術、人工製雪技術、ビニルハウス冷熱供給栽培技術を、それぞれ個別に、さらには複合的に適用した場合の相乗効果について実施する。

4. 研究成果

(1) 新しい低コスト雪氷保管技術の開発と評価

革新的低コスト化をめざした新しい貯雪方式の提案、低コスト雪氷保管技術の解析ツールの開発、を実施した。次いで、低コスト雪氷保管技術の性能実験を実施した；コンクリート造、鋼製によらない断熱テント方式による簡易雪氷庫(軽量高断熱テント)、新し

い低コスト被覆材による長期保管方式(シート等被覆型スノーマウンド). 具体的には, 露天型, 防水遮光被覆材, Sawdust, 空気膜断熱被覆材, 高性能断熱被覆材等を取り上げ, それらの解析ツールに基づき, 被覆材のコスト, 耐久性, 保温性能の観点から新たな方式を提案した.

各種保温方式(露天型, 防水遮光シート, おがくず, 空気膜被覆)の断熱性能評価を実施し, 高性能断熱シートによる新たな方式の優位性を実験と解析から確認すると同時に, 経済性評価に関しては実用性の高いコストの見通しを明らかにした.

各種高密度需要施設における大規模スノーマウンド被覆材によるシステム設計手法を構築した.

(2) スノーキャノン冷熱供給システムの導入可能性

既存人工降雪機による雪物性, 製雪能力を実験と解析の両面から検討し, 現状におけるポテンシャルマップを作成した. 雪質, 移動性, 一次エネルギー換算成績係数などの多角的な視点から, 新たに冷熱利用に適した機能性あるスノーキャノン提案した.

スノーキャノン解析ツールを詳細型と簡易型のそれぞれについて開発するとともに, スノーキャノンによる生成雪の物性評価を行い, その有効性を示した.

自然融解を考慮した最終成績係数の評価を実施し, その導入効果を明らかにした.

(3) ビニルハウス冷熱供給栽培技術

抑制栽培において重要な制御項目として室内気温, 浅層土壌温度がある. これらを適正に冷却する冷熱供給方式について検討した. 各種農産物等の付加価値, 適正温度範囲の調査を実施し, 積雪寒冷地域の地域別適用農産物の絞込みを実施した. 冷熱供給状況と各種温度分布等を評価するための解析ツールを開発し, 需要家に応じた冷熱供給システムの設計手法として援用した.

ビニルハウス冷熱供給栽培の実験を行い, 栽培作物の品質評価と省エネルギー性評価を実施し, 低負荷で付加価値が高い農産物出荷への可能性を示した.

温泉排熱等とのハイブリッド化効果の検証を定量的に実施し, 導入可能性の高い地域選定を行った.

(4) 実用化への総合評価

実証実験に基づく寒冷地全域にわたる低コスト雪氷保管技術の広域シミュレーションを実施するとともに, スノーキャノン冷熱供給システム導入による冷却用燃料消費量・二酸化炭素排出量の削減効果を試算し, 導入効果が高いことを示した.

ビニルハウスによる冷熱供給栽培技術による経済効果, および総合食糧自給率向上への寄与の試算を実施した. 次いで, 大規模流

通モデル, 広域複合利用モデル, 多目的事業展開の導入可能性が高いことを明らかにした.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 23 件)

1. Y. Hamada, T. Nagata, H. Kubota, T. Ono and R. Musha: Development and characteristics of a method for self-contained ice production using cold outdoor air in winter, Energy, (In press), 査読有, DOI: 10.1016/j.energy.2014.01.091
2. H. Kubota, K. Kuwabara and Y. Hamada: Prediction of mean skin temperature for use as a heat strain scale by introducing an equation for sweating efficiency, International Journal of Biometeorology, (In press), 査読有, DOI: 10.1007_s00484-013-0763-7
3. H. Kubota, K. Kuwabara and Y. Hamada: The development and initial validation of a virtual dripping sweat rate and a clothing wetness ratio for use in predictive heat strain models, International Journal of Biometeorology, (In press), 査読有, DOI: 10.1007/s00484-013-0736-x
4. Yuichi Sugihara, Hideto Ueno, Toshiyuki Hirata and Hajime Araki. Hairy Vetch Derived-N Uptake by Tomato Grown in a Pot Containing Fast- and Slow-release N Fertilizer. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 83 (2) (In press, 2014. April), 査読有
5. Tatsuya Higashi, Mu Yunghui, Masakazu Komatsuzaki, Shigenori

- Miura, Toshiyuki Hirata, Hajime Araki, Nobuhiro Kaneko, Hiroyuki Ohta. Tillage and cover crop species affect soil organic carbon in Andosol, Kanto, Japan. Soil and Tillage Research. 138.64-72. 2014年 3月, 査読有
6. Jishi, T. and H. Araki. 2013年 4月, Effects of Long-term Storage of One-year-old Rootstocks in Snow Mound on the Sugar Contents of Storage Roots and White Spear Yield of Asparagus. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 82 (2): 138-144. 2013, 査読有
 7. Araki H. and T. Fijii. Effect of No-Tillage and Hairy Vetch Mulch on Soil Properties and Tomato Yield in Plastic Greenhouse. Japan. J. Farm Work Res.48: 11-20, 2013, 査読有
 8. Sugihara Y., H. Ueno, T. Hirata and H. Araki. Uptake and Distribution of Nitrogen Derived from Hairy Vetch Used as a Cover Crop by Tomato Plant. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 82: 30-38. 2013, 査読有
 9. 長田 勉・濱田靖弘・武者亮佑・小野孝之・衛藤武志・山田則行・窪田英樹: スノーマウンドによる雪氷資源活用と被覆材断熱性能評価に関する研究, エネルギー・資源, 33-6(2012-11), pp.15~20, 査読有
 10. 濱田靖弘・田口 隆・大江忠雄・中野恭一・岩宮正治・柿山純一郎・窪田英樹: 寒冷大気を活用した製氷方式の省エネルギー性・経済性に関するフィージビリティスタディ, 空気調和・衛生工学会論文集, 188(2012-11), pp.1~7, 査読有
 11. Y. Hamada, T. Nagata, H. Kubota, T. Ono and Y. Hashimoto: Study on a snow storage system in a renovated space, Renewable Energy, 41(May, 2012), pp.401~406, 査読有, DOI: 10.1016/j.renene.2011.11.012
 12. 平田聡之・永山 毅・荒木 肇. 北海道の春コムギーカーボクロップ輪作体系におけるバイオマス生産と窒素吸収. 農作業研究 47:127-137. 2012, 査読有
 13. 藤原沙弥香・荒木 肇・地子 立・藤井賢彦. 温泉地における CO2 排出量低減の可能性: 北海道・流山温泉と夕張温泉における未利用エネルギーの利用促進に向けたコーススタディ. 日本 LCA 学会誌 8:356-369. 2012, 査読有
 14. Araki H., H. Nakano, S. Takamushi, S. Ichikawa, T. Jishi and Y. Hoshino. S. Yamagata, M. Kamide, Y. Yamakoshi and A. Yamada. Evaluation of asparagus fern and rhizome residues as bio-energy source. Acta Horticulturae 950:201-206. 2012, 査読有
 15. Araki H., A.K.M. G. Sarwar, H. Nakano, S. Takamushi, S. Ichikawa, T. Jishi and Y. Hoshino. Biomass production and yield of recent asparagus cultivars in snow cover region, Hokkaido, Japan: 3rd IACT report. Acta Horticulturae 950:195-200. 2012, 査読有
 16. Araki H., A.K.M. G. Sarwar, T. Hirata and Y. Hoshino. Weed control, carbon storage and yield in asparagus field with living mulch. Acta Horticulturae 950:189-194. 2012, 査読有
 17. Jishi, T., T. Maeda, Y. Siga and H.

- Araki. Winter production of white asparagus from one-year old rootstocks by forcing culture. Acta Horticulturae 950:27-32. 2012, 査読有
18. 小松崎将一・菅沼香澄・荒木 肇 夏作カバー クロップの生育と多変量解析による特性分類の検討 農作業研究 47:55-65. 2012, 査読有
19. Nakamoto T, Komatsuzaki M, Hirata T and Araki H. Effects of tillage and winter cover cropping on microbial substrate-induced respiration and soil aggregation in two Japanese fields. Soil Sci. Plant Nutr. 58:70-82.2012, 査読有
20. 地子立・午来博・門傳千香子・荒木 肇 北海道オホーツク地域のグリーンアスパラガス伏せ込み促成栽培における10月掘り1年生株の若茎収量 園芸学研究 11:491-495. 2012, 査読有
21. Maeda T, Jishi T, Honda K, Araki H, Suzuki T and Suzuki M. Effects of Blanching Method on Sugar and Protodioscin Contents of White Asparagus Spears. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81:166-170. 2012, 査読有
22. Jishi T., T. Maeda and H Araki. Comparison of External Quality and Hardness of White Asparagus Spears Produced by Two Different Blanching Methods. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81:54-59. 2011, 査読有
23. Y. Hamada, T. Nagata, H. Kubota, T. Ono and Y. Hashimoto: Development of an ice container system for temporary space cooling, Cold Regions Science and Technology, 68-3(Sep., 2011), pp.106~112, 査読有, DOI: 10.1016/j.coldregions.2011.06.001
- [学会発表](計61件)
1. 濱田靖弘: 非常時に備える電気・冷熱エネルギーの生成・貯蔵・利用技術, 空気調和・衛生工学会東北支部第3回学術・技術報告会招待講演(2014-3.18), ユアテック(仙台)
2. 濱田靖弘: 地域熱エネルギーの直接利用の現状と課題, 弟子屈自然再生可能エネルギー活用講演会招待講演(2013-1.15), 弟子屈町役場(弟子屈)
3. 濱田靖弘: 一次産業における地域熱エネルギーの直接利用, 日本農作業学会秋季大会招待講演(2012-11.22), 北海道大学(札幌)
4. 濱田靖弘: 次世代分散型電源と自然冷熱エネルギー利用に関する近年の動向, サステナビリティサイエンスコンソーシアム研究集会“震災復興とサステナビリティ学の役割 将来のエネルギー・食糧のグランドデザイン”招待講演(2011-6.10) 北海道大学(札幌)
6. 研究組織
- (1)研究代表者
濱田 靖弘 (HAMADA YASUHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40280846
- (2)研究分担者
荒木 肇 (ARAKI HAJIME)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号: 30183148
- (3)連携研究者
溝口 光男 (MIZOGUCHI MITSUO)
室蘭工業大学・工学部・教授
研究者番号: 80166040
麓 耕二 (FUMOTO KOJI)
弘前大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 50259785