

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560545

研究課題名（和文） 機械空調に依存しない食糧備蓄を指向した自然冷熱による無動力氷点冷蔵システムの開発

研究課題名（英文） Development of a passive food storage system using renewable cold resources

研究代表者

濱田 靖弘 (HAMADA YASUHIRO)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40280846

研究成果の概要（和文）：本研究は、従来の機械空調に依存しない食糧備蓄を指向した自然冷熱による無動力冷蔵システムを開発することを目的としたものである。まず、無動力冷蔵システムの考え方を提示した。次いで、それぞれのシステムの数値解析ツールを開発し、積雪寒冷地における冬期の自然換気方式による製氷可能ポテンシャル、および通年実現可能な貯蔵温度レベルについて検証した。さらに、両システムの実用可能性に関する実証実験を実施し、食糧備蓄・流通モデルへの高い導入効果があることを提示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a passive food storage system by using renewable cold resources. First, two kinds of strategies for the passive storage were proposed. Second, the numerical analysis tool of each system was developed, and the ice production potential using the passive ventilation in winter and the appropriate temperature for the long term storage were evaluated. Furthermore, experiments and the feasibility evaluation verified the high introduction effect of the systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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，抑制栽培，食品貯蔵

1. 研究開始当初の背景

日本の積雪地帯の面積は国土の約半分を占めている。雪が降り積もることによって、雪国独特の文化や産業が育まれる一方、冬の生活や社会活動に大きな支障が生じている。これらの問題を克服するために、地域の特性に応じた様々な工夫が講じられてきた。寒冷地では冬期間に雪氷を貯蔵し、夏期に冷熱として利用する概念が古くから存在していた。

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や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。雪氷冷熱利用は1986年以降に試みられるようになり、それ以後、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。

筆者らは、再生可能エネルギーを利用した雪処理と雪氷冷熱の貯蔵を行うとともに、夏期の冷房に適用する複合システムの実測と評価、移動式高密度雪氷庫システムの導入による低コスト化の可能性について検討してきた。今後、さらに自然冷熱の普及・促進を図っていくためには、建物内の冷房のみに限定した場合、経済面で困難があるため、産業部門を対象に含めた新たなモデルを構築し、事業性を明らかにする必要があると考える。また、食糧・氷の備蓄施設の展開は、過疎化の進行する北海道においてこそ実現可能性が高く、日本全体の食糧自給率の向上に寄与する。

2. 研究の目的

日本の総合食糧自給率は約40%(平成17年)であり、穀物に限定した場合は30%を割る。これは主要先進国の中で最低の水準である。一方で、農産物の出荷は時期的に集中し、過剰生産物の廃棄、価格の急落を招く現状にある。価格安定の観点も含めた食糧の適切かつ効率的な備蓄、不測時における食糧安定供給の確保、周年安定供給を可能とする出荷体制の整備が求められている。

0~5℃域の低温環境を電気式冷凍機で具現する場合には、極めて低い成績係数での運転を強いられることから大規模で安価な食糧備蓄ができない。積雪寒冷地では、雪を利用した農産物貯蔵の試みは見られるが、毎年の雪氷庫への雪入れ作業に要する労力・コストの問題がある。また、冬期の冷熱をファンを利用して施設内に誘引し、製氷するアイスシェルタ方式もあるが、ファン動力が大きくなるのが難点である。

本研究は、従来の機械空調に依存しない食糧備蓄を指向した自然冷熱による無動力冷蔵システムを開発することを目的としたものである。まず、無動力冷蔵システムの考え方を提示する。次いで、それぞれのシステムの数値解析ツールを開発し、積雪寒冷地における冬期の自然換気方式による製氷可能ポテンシャル、および通年実現可能な貯蔵温度レベルについて検証する。さらに、両システムの実用可能性に関する実証実験を実施し、食糧備蓄・流通モデルへの適用をめざす。

3. 研究の方法

本研究では、具体的に以下の六項目について研究を進める。

①機械空調に依存しない二つの無動力冷蔵システムを提案する。一つは、冬期

間の冷気を建物内に自然換気方式により導入し、コンテナ容器で製氷を行い、北海道産の食糧を貯蔵する無動力・メンテナンスフリーのシステム(以下、アイスコンテナシステムと称する)である。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(以下、スノーマウンドと称する)内に貯蔵スペースを敷設し、大量の雪を貯蔵庫の断熱材として活用する『氷点』冷蔵システムである。

②無動力アイスコンテナ冷蔵システムにおける製氷ポテンシャルと冷蔵能力を解析するツールを開発し、寒冷地における本システムの導入効果を予測する。

③空き建物のリニューアル・コンバージョンによる実規模の無動力アイスコンテナ冷蔵システムの実証実験を行い、解析ツールの精度を検証するとともに、氷量の季節変動、冷蔵室内温湿度環境の評価を実施する。

④スノーマウンドの融解特性と冷蔵室内温湿度環境の解析ツールを開発し、北海道内各所に形成されるスノーマウンドにおける冷蔵可能期間を推計する。

⑤実際に排雪に利用される雪堆積場を冷蔵スペースを擁するスノーマウンドとして利用し、融解状況を把握するとともに、0℃付近の氷点冷蔵が達成し得るかどうか確認する。また、貯蔵庫躯体の所要強度について検討する。

⑥無動力冷蔵システムによりもたらされる冷却用燃料消費量、および二酸化炭素排出量の削減効果、冷蔵容量の大幅な増加による北海道の経済活性化、総合食糧自給率向上への寄与に関する導入可能性評価を実施する。

4. 研究成果

(1) 機械空調に依存しない食糧備蓄を指向した自然冷熱による無動力冷蔵システム概念設計

まず、食糧冷蔵用エネルギー消費量の現状評価、現状の農産物出荷体制の実態究明、食糧備蓄による自然冷熱需要ポテンシャルの推計を実施した。次いで、既往の機械空調に依存しない二つの無動力冷蔵システム概念を提案した。

(2) 無動力アイスコンテナ冷蔵システムの実験と解析

①ペリメータ部に製氷・貯氷空間を設ける方式であり、無動力アイスコンテナ冷蔵システム解析ツールを開発し、製氷ポテンシャルと冷蔵能力の解析を実施するとともに、製氷特性に関するラボ実験、無動力アイスコンテナ冷蔵システムの実証実験を行った。

②無動力アイスコンテナ冷蔵システム解析ツールによる実験時における外界気象データ等を用いた場合の計算結果と実証実験結果との比較を行い、本解析ツールの精度・再現性について検証した。

③貯氷庫内の水量の季節変動について分析した。また、貯蔵庫内の温湿度変動を実測し、特に夏期の温度制御能力を中心とした冷蔵品質について評価した。さらに、低温貯蔵庫で問題となり得る適正な湿度環境制御に関して、対象となる備蓄食糧の保存状態を定期的に観測するとともに、貯蔵期間の適正值について確認した。

(3) 無動力スノーマウンド氷点冷蔵システムの実験と解析

①スノーマウンドの融解特性と冷蔵室内温湿度環境の解析ツールを開発し、北海道内各所に形成されるスノーマウンドにおける冷蔵可能期間を推計した。実際に排雪に利用される雪堆積場を冷蔵スペースを擁するスノーマウンドとして利用し、融解状況を把握した。

②貯蔵スペース内の温度が 0℃付近に維持できているかについて、その氷点冷蔵品質の評価を実施した。特に、地盤熱流について詳細に分析を行い、貯蔵スペースの熱収支を実規模実験と数値解析の両面から検証した。また、備蓄食糧の保存状態を貯蔵庫空間内および雪中直埋設のそれぞれについて観測した。

③スノーマウンド内に設ける貯蔵庫躯体に関しては、各部位のひずみ値等を詳細に測定し、求められる所要強度を明らかにした。

(4) 機械空調に依存しない食糧備蓄を指向した自然冷熱による無動力冷蔵システムの総合評価

①実証実験により得られたデータに基づき、寒冷地全域にわたる二つのシステムにおけるそれぞれの無動力冷蔵ポテンシャルに関して広域シミュレーションを実施した。

②無動力冷蔵システムを導入することによって期待される冷却用燃料消費量・二酸化炭素排出量の削減効果について試算した。

③冷蔵容量の増加により、北海道内の農産物供給量の増大が見込まれるなど大きな経済効果、総合食糧自給率向上への寄与が期待される。これについて現況、潜在的需要量の試算結果に基づきその見通しを示した。

④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評価を実施した。大規模スノーマウンドのエネルギー・資源モデルを開発し、解析を実施するとともに、地域連携によって共有スノーマウンドを構築した場合のポテンシャルを評価するとともに、潜在的需要を推計し、大規模流通モデルの可能性を検討した。

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 17 件)

① Yukiko Kashihara, Koichi Shinoda,

Naho Murata, Hajime Araki and Yoichiro Hoshino : 「Evaluation of the horticultural traits of genus *Alstroemeria* L. and genus *Bomarea* Mirb. (Alstroemeriaceae)」 *Turkish Journal of Botany*, (In press), 査読有

② 濱田靖弘・長田 勉・佐藤貴季・牧野孝男・窪田英樹・小野孝之・橋本良明 : 寒冷大気を活用した自立型簡易製氷法の開発とその特性, *日本雪工学会誌*, 27-1 (2011-1), pp. 3~10, 査読有

③ 濱田靖弘・長田 勉・佐藤貴季・窪田英樹・橋本良明・小野孝之 : 貯雪デグリーデー法による雪氷庫容量の簡易推定に関する研究, *エネルギー・資源*, 31-5 (2010-9), pp. 1~5, 査読有

④ Yukiko Kashihara, Tomonari Hirano, Naho Murata, Koichi Shinoda, Hajime Araki and Yoichiro Hoshino : 「 Evaluation of pre-fertilization barriers by observation of pollen tube growth and attempts for overcoming post-fertilization barriers in intergeneric hybridization between *Alstroemeria* and *Bomarea* by ovule culture 」 *Acta Horticulturae*, 855:159-164. 2010, 査読有

⑤ Sarwar, A.K.M. Golam, Hoshino, Y. and Araki, H. Pollen morphology and infrageneric classification of *Alstroemeria* L. (Alstroemeriaceae) *Grana*, 49: 4, 227-242. 2010, 査読有

⑥ Miyashita T, Araki H., Hoshino Y.

Ploidy distribution and DNA content variations of *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) in Japan. *Plant Journal of Research* Springer, Online first 版 2010 年 4 月 27 日 オンライン掲載済 DOI 10.1007/s10265-010-0341-6, 2010, 査読有

- ⑦ Y. Hamada, H. Kubota, M. Nakamura, K. Kudo and Y. Hashimoto : Experiments and evaluation of a mobile high-density snow storage system, *Energy and Buildings*, 42-2(Feb., 2010), pp.178~182, 査読有
- ⑧ ARAKI, H., S. Hane, Y. Hoshino and T. Hirata Cover crop use in tomato production in plastic high tunnel. *Hort. Environ. Biotechnol.* 50(4)324-328. 2009, 査読有
- ⑨ 濱田靖弘・工藤一博・佐藤貴季・窪田英樹・橋本良明：移動式高密度雪氷庫システムの貯雪特性と省エネルギー性に関する研究, *空気調和・衛生工学会論文集*, 153(2009-12), pp. 37~44, 査読有
- ⑩ 麓 耕二・濱田靖弘・川南 剛：自然冷熱利用を利用した透明氷生成装置の開発（その2）氷層崩壊挙動の把握, *寒地技術論文・報告集*, 25(2009-11), pp. 179~183, 査読有
- ⑪ 長田 勉・濱田靖弘・伊藤祐輝・窪田英樹・小野孝之・橋本良明：氷を利用した仮設冷房システムに関する研究, *日本冷凍空調学会論文集*, 26-1(2009-3), pp. 15~23, 査読有
- ⑫ 堀元栄枝・藤井義晴・荒木 肇, ヘアリーベッチ導入水田における中苗

移植された稲の生育と収量. *農作業研究* 43:199-205. 2008, 査読有

- ⑬ Yakuwa T., T. Harada, N. Kasai, N. Inoue, K. Yamabuki, Y. Minagawa, T. Maeda, H. Tamura and H. Araki. Breeding of All Male Cultivar 'Yujiro' in Hokkaido, Cool and Snow Covered Region in Japan. *Acta Horticulturae* 776:403-410. 2008, 査読有
- ⑭ ARAKI, H. and H. Tamura. Weed Control and Field Management with Barley Living Mulch in Asparagus Production. *Acta Horticulturae* 776:51-54. 2008, 査読有
- ⑮ 溝口光男・鈴木邦康・大築和夫・小野孝之・長田 勉ら：雪堆積場の雪山底部に設置する貯蔵庫の強度確認に関する基礎実験（その2）, *寒地技術論文・報告集*, 24(2008-11), pp. 194~199, 査読有
- ⑯ 麓 耕二・濱田靖弘・川南 剛：自然冷熱利用による円筒型透明氷の生成に関する研究, *寒地技術論文・報告集*, 24(2008-11), pp. 189~193, 査読有
- ⑰ 長田 勉・濱田靖弘・笠原敬太・中村真人・窪田英樹・小野孝之・橋本良明：空間改修型雪氷庫システムに関する研究, *日本冷凍空調学会論文集*, 25-3(2008-9), pp. 253~260, 査読有

[学会発表] (計 48 件)

- ① 濱田靖弘：雪氷資源活用に関する近年の動向と課題, *グリーン冷房システム普及推進フォーラム基調講演* (2010-8. 30), 石狩商工会館 (石狩)

- ② 濱田靖弘：データセンターにおける自然エネルギーに関する近年の動向と課題，富士通フォーラム2010招待講演(2010-5.14)，東京国際フォーラム(東京)
- ③ 濱田靖弘：自然エネルギー製氷・蓄熱および水利用システムの構築に向けて，日本学術会議第24回環境工学連合講演会招待講演(2010-4.15)，日本学術会議(東京)
- ④ 濱田靖弘：雪氷資源・外気冷熱活用に関する近年の動向と課題，石狩グリーンデータセンターシンポジウム基調講演(2009-10.1)，ガトーキングダム札幌(札幌)
- ⑤ 濱田靖弘：雪氷資源活用に関する近年の動向と課題，日本熱供給事業協会第15回技術シンポジウム特別講演(2008-10.23)，札幌グランドホテル(札幌)
- ⑥ 濱田靖弘：自然エネルギー製氷，蓄熱及び水利用システム開発，空気調和・衛生工学会大会ワークショップ“地球環境を考える”招待講演(2008-8.28)，立命館大学(草津)
- ⑦ Y. Hamada：Snow and ice utilization systems in Japan，2008 Korea Engineering and Consulting Association Seminar, Invited Lecture, (Jul. 25, 2008), Rusutsu Resort Hotel (Rusutsu)
- ⑧ Y. Hamada：Realized applications on snow and ice utilization systems in Japan，G8 Hokkaido Toyako Summit International Symposium on Snow-and-ice Cryogenic Energy，Invited Lecture, (Jul. 2, 2008)，Hotel Okura Sapporo (Sapporo)

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・准教授
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