

積雪寒冷地における雪氷冷熱及び温泉熱を利用した低炭素型社会モデル に関する実証実験と評価

Study on low-carbon business model using snow-and-ice resource and exhaust heat from hot spring

藤嶋 正紀 (ドーコン) 大塚 英典 (ドーコン)
阿部 公一 (ドーコン) 山崎 真也 (ドーコン)
菅原 淳 (ドーコン) 正会員 ○佐藤 貴季 (ドーコン)
正会員 濱田 靖弘 (北海道大学) 長田 勉 (国策建設)
小野 孝之 (国策建設) 橋本 良明 (国策建設)
正会員 窪田 英樹 (北海道大学)

Masatoshi FUJISHIMA*¹ Eisuke OTSUKA*¹ Koichi ABE*¹
Shinya YAMAZAKI*¹ Atsushi SUGAWARA*¹

Takaki Satoh*² Yasuhiro HAMADA*² Tsutomu NAGATA*³
Takayuki ONO*³ Yoshiaki HASHIMOTO*³ Hideki KUBOTA*²

*¹ Docon Co., Ltd. *² Hokkaido University *³ Kokusaku Kensetu Corporation

Synopsis: If snow and ice can be kept and utilized as cooling sources for space cooling and food storage, they will have possibility of energy conservation and CO₂ reduction. Thermal utilizations of snow and ice have been noticeable since the Law Concerning Special Measures to Promote the Use of New Energy was amended to add the use of them. First, this paper proposes the outline of low-carbon business model using snow-and-ice resource and exhaust heat from hot spring. Second, field experimental results are shown.

はじめに

現在世界中で地球温暖化対策としての化石燃料使用量・二酸化炭素排出量の削減が叫ばれ、これらを視野に入れた社会システムである「低炭素社会」の重要性が増してきている。日本でも二酸化炭素排出量削減目標が新たに決められ、新技術開発や既存技術の効率向上、新エネルギーの利用など様々な取り組みが必要不可欠となってきた。中でも自然エネルギーを有効利用しようとする場合、その地域の特性を生かした取り組みが重要となる。そこで本論文では「低炭素社会に向けた技術発掘・社会システム実証モデル事

業」の一つとして積雪寒冷地の特性を生かした低炭素型社会モデルの実証実験と評価を行う。まず、北海道弟子屈町における雪氷冷熱、及び温泉熱を利用した低炭素型社会モデルの概要について述べ、自然冷熱による製氷、及び温泉熱によるハウス栽培の実証実験について報告する。

1. 弟子屈町における雪氷冷熱及び温泉熱を利用した低炭素型社会モデル

北海道釧路支庁の弟子屈町は北海道遺産第一号に認定された摩周湖があり、川湯地区を中心に温泉地としても有名で、現在も多くの観光客が来訪してい

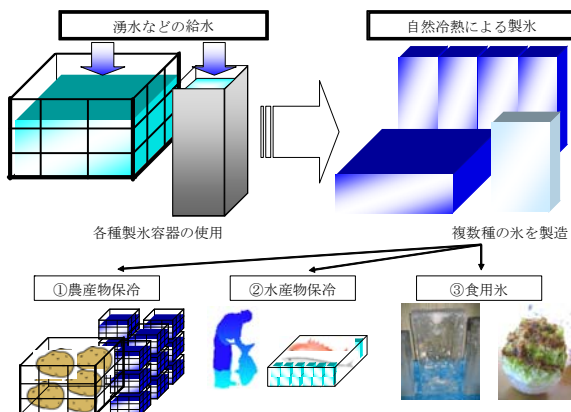


図-1 “しばれ”を活用した自然氷の製造、及び多目的利用の概念図

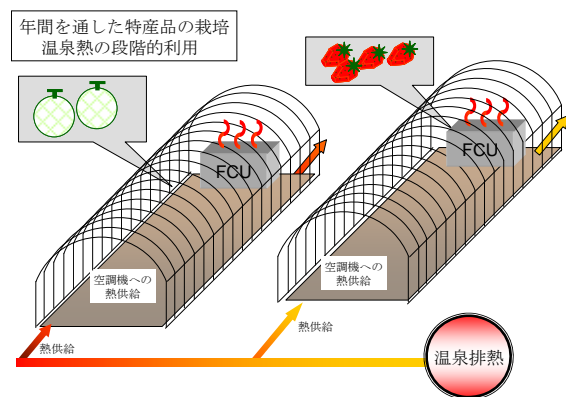


図-2 温泉排熱を利用したハウス栽培技術

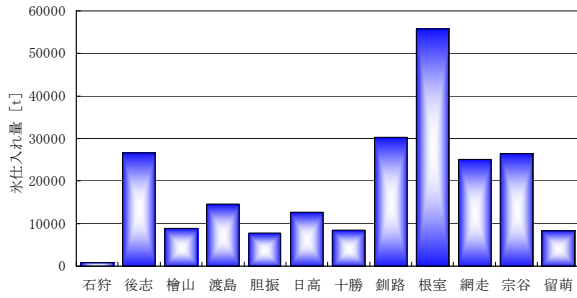


図-3 年間氷仕入れ量
表-1 選定栽培作物特性

	収穫時期(ハウス)	温度適応性	光適応性
ほうれんそう	3~5月	適温10~18℃	比較的日当たりが悪くても耐える
メロン	7月	日中25~28℃(最高30℃), 夜間18℃(最低15℃)	比較的日当たりの良い所を好む
イチゴ	通年	適温18~25℃(成熟時適温15~20℃)	比較的日当たりが悪くても耐える

る。積算寒度は川湯地区で 901 °C・day、弟子屈地区で 737 °C・day と北海道内でも特に寒冷な地域である。本モデルではこれらの特性を生かし、自然冷熱である冬の“しばれ”で作った自然氷の多目的利用、及び、温泉熱を利用した農業ハウスでの通年栽培を行うことにより、弟子屈町の主要産業である耕種農業の活性化を図り、かつ、農作物の低温貯蔵やハウス栽培で消費される電力や化石燃料に起因して発生する CO₂、エネルギー消費量の削減をめざす。

1. 1 “しばれ”を活用した自然氷の製造技術と低コスト保管技術の確立

前述の通り弟子屈町は少雪厳寒地であり、ファン動力などが無くとも、外気によって十分製氷が可能と考えられる。図-1に“しばれ”を活用した自然氷の製造、及び多目的利用の概念図を示す。冬期間使用しない農業用コンテナを含めた各種製氷容器を利用し、多目的利用をめざし用途に応じた複数種の氷を製造する。活用方法として以下の三つを視野に入れている。

(i) 農産物低温貯蔵

現状では余剰が発生している弟子屈主要作物である馬鈴薯を、6月ごろの端境期まで保冷

(ii) 水産物保冷水

最盛期に不足すると考えられる保冷水の供給

(iii) 食用氷(ミネラルブロックアイス)

「摩周湖」の知名度と寒冷な気候を活用したカーボンオフセット商品

1. 2 温泉熱を利用したハウス栽培技術の確立

弟子屈町は年平均気温 4.4℃、降雪量平年値 556



図-4 製氷容器

cm、日照時間平年値 1469 時間であり、作付けに適した季節が短く通年型農業が展開しにくい。

そこで同町に豊富に賦存する温泉排熱を、ハウス内の土壤暖房・暖房機への熱供給、及び、給湯・暖房などとカスケード利用することで、年間を通した特産品の栽培による農業経営の改善と、化石燃料を使用しない低炭素型ハウス栽培技術の確立をめざす(図-2)。

2. 市場性評価

今回の雪氷冷熱・温泉熱を利用したシステムの検討を行うにあたり、全国的なヒアリング調査を実施した。

2. 1 氷需要量調査

道内の製氷冷凍施設は 91 箇所、総生産能力約 2,000 t/日で全国一位であり、貯氷施設総容量 8 万 t (1施設当り概ね 700~800 t) である。工場における生産は 1 缶 135 kg の角氷が主で、-10~-20℃の温度状況下で製氷完了までに約 48 時間を要する。道内漁協ごとの氷仕入れ量を図-3 に示す。道内氷販売量は有効回答分のみで約 21 万 t、全道の氷消費量は約 35 万 t、内 9 割は水産関係で消費され、8~10 月の漁の最盛期に年間総量の 6~7 割使用される。その他 1 割は、飲食店・コンビニ販売・農産物用などである。これまでは需要期に道外から氷を取り寄せる状況があった。平均価格は 8 千~1 万円/t である。また、食用機械氷の価格が 3 万円~4 万円/t に対し、天然氷は 10 万円~13 万円/t と付加価値がついた価格で取引されている。

2. 2 農産物

北海道内では、トマト・メロン・葉茎類・アスパラなどの温泉熱による栽培事例がある。各種栽培作物の調査を行い、作物特性と地元の意向を考慮し、イチゴ・ホウレンソウとメロンを今回の栽培作物に選定した(表-1)。



図-5 製氷状況（左から 1t , 135t , 2t コンテナ）



図-6 製氷状況（左から 1t , 135t , 2t コンテナ）

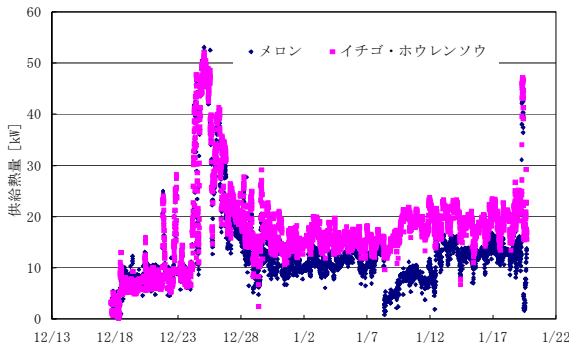


図-7 供給熱量

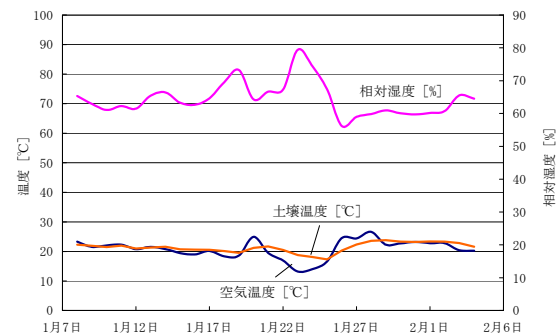


図-8 温湿度・土壤温度推移

3. 実証実験概要

3. 1 各種容器製氷実験

今回実験で用いる製氷容器を図-4に示す。①内寸 1720 mm×1060 mm×1300 mm、内袋を敷布したコンテナ、②1 t 鋼製容器、③135 kg 容器^{1), 2)}の三種類であり、①は農作物保冷用、②・③は水産物保冷・食用透明水を想定している。

3. 2 温泉熱によるハウス栽培

実験に使用するビニールハウスは外寸 6110 mm×5300 mm、栽培面積約 24 m²のイチゴ・ホウレンソウを栽培するハウス、及び外寸 6120 mm×5000、栽培面積約 23 m²のメロンを栽培するハウスの二つがある。約 60°Cの温泉排熱を、ファンコイルユニット（暖房能力 9.53 kW）2 台への熱源、及び土壤加

温に使用している。土壤温度、空気温湿度、排湯の往き・還り温度、流量、外気温湿度などをデータロガーによって 10 分間隔で測定を行っている。

4. 実験結果

4. 1 各種容器製氷実験

図-5に各種容器の製氷状況を示す。1月中旬から製氷を開始し、それぞれ順調に製氷が進行しており、135 kg、1 t 容器の脱缶^{1), 2)}も複数回行っている。いずれの容器も概ね予測通りに製氷が進んでいる。

4. 2 温泉熱によるハウス栽培

図-6に各種作物の生育状況を、図-7にハウスへの供給熱量を示す。温泉排湯の流量は 0.7 m³/h であり、概ね 10~20 kW 付近で推移している。

表-2 保管庫概要

保管庫規模	10.9 m×12.1 m×8.4 m半円ドーム型
断熱仕様	発泡断熱材 120 mm
貯水量	48.6 t(コンテナ三段積み)
保管場所	弟子屈町川湯地区

表-3 糖度測定結果

No	検体名	試料採取日	糖度
1	20100120じゃがいも	平成22年1月20日	7.7度
2	20100210じゃがいも	平成22年2月10日	8.6度
3	20100226じゃがいも	平成22年2月26日	10.2度
4	20100310じゃがいも	平成22年3月10日	9.1度
5	20100320じゃがいも	平成22年3月20日	9.7度

図-8 にハウス（メロン）内土壌温度と空気温度の関係を示す。土壌温度 25℃付近で安定して推移しており、生育には良好な結果と考えられる。

5. 農作物の保管技術の実証・導入の検討

5. 1 保管実験

弟子屈町の主要農作物に馬鈴しょがある。今回、芋保管庫にて4. 1で製氷を行った①コンテナ容器40基を用いた馬鈴しょの保管実験を行った。表-2に保管庫概要を示す。貯水量は約49 t、コンテナ数は45基3段積みである（製氷コンテナ40基、雪コンテナ5基）。氷を活用して保管した場合の「食味」について、糖度測定を今後も継続して実施する予定である（表-3）。

5. 2 保管庫環境解析

既報³⁾と同様の手法により、保管庫内温度、及び氷の融解解析を行った。結果を図-9, 10に示す。7月まで5℃程度を維持し、氷は8月末に融解するという結果となった。

まとめ

- 1) 弟子屈町における雪冰冷熱及び温泉熱を利用した低炭素型社会モデルの概要について述べた。地域の特性を生かし、自然冷熱による製氷、温泉熱によるハウス栽培などを行うことにより、地域の発展に寄与するとともに化石燃料使用量削減、二酸化炭素排出量削減を実現する。
- 2) 大規模なヒアリング調査を行い、氷需要量、栽培農作物選定のための情報を把握した。
- 3) 各種容器による製氷実験、温泉熱によるハウス栽培実験の概要、及び、実験結果について示した。現在も実験を実施中であり、製氷状況、作物の生育状況ともに良好な結果が得られている。今後もより詳細な評価を行う。

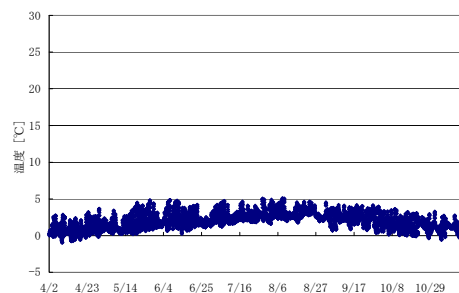


図-9 保管庫温度推移解析結果

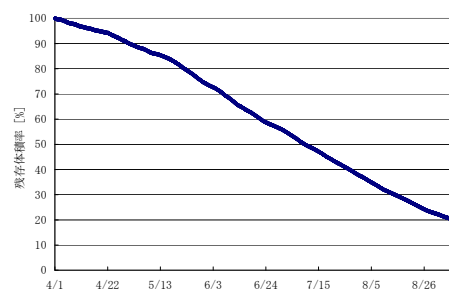


図-10 氷体積率推移

【記号一覧】

T_a : 庫内温度 (K), K_{ai} : 壁面 i の熱貫流率 (W/m^2K), A_{wai} : 壁面 i の総面積 (m^2), N_a : コンテナの個数 (個), h : 氷表面の総合熱伝達率 (W/m^2K), r_o : 完成時の氷厚 (m), h_{wa} : コンテナ内の水の対流熱伝達率 (W/m^2K), R_w : コンテナの熱抵抗 (m^2K/W), Q_{ga} : 土壌からの浸入熱流量 (W), SAT_{ai} : 相当外気温度(K), c_p : 空気の定圧比熱 ($W/kg/K$), ρ_{air} : 空気の密度 (kg/m^3), n_a : 貯氷庫 A の換気回数 (回/h), V_a : 貯氷庫 A の容積 (m^3)

謝辞

本研究は、「平成 21 年度低炭素社会に向けた技術発掘・社会システム実証モデル事業（経済産業省）」により進めている。弟子屈建設業協会、摩周湖農業協同組合、(社)摩周湖観光協会、株式会社双日総合研究所、弟子屈町、北海道釧路農業改良普及センターの関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 伊藤祐輝ら：地域連携による共有雪堆積場の広域複合利用モデルに関する研究（第3報）製氷サイクルに関する実験，空気調和・衛生工学会北海道支部第40回学術講演会論文集（2006-3），pp219～222
- 2) 伊藤祐輝ら：地域連携による共有雪堆積場の広域複合利用モデルに関する研究（第4報）製氷サイクルの実証実験，空気調和・衛生工学会北海道支部第42回学術講演会論文集（2008-3），pp167～170
- 3) 伊藤祐輝ら：自然冷熱による食糧冷蔵用アイスコンテナシステムに関する研究（第1報）システム概要と北海道内における導入可能性の解析，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（2008-8）pp889～892