

イチゴ栽培ハウスの雪冷房実験について

報告者 小野寺 聡 (西和賀町雪国文化研究所)

1.はじめに

栽培される品種は四季成り性である。春から秋にかけて連続的に開花するので収穫期間が長いが、一般的に真夏の高温によって花芽分化が抑制され、初秋に開花が減少する傾向がある。したがって、夏の高温期に株の冷却ができれば秋の生産量向上が期待できる。この事業では、冬場の除排雪で投棄される雪を、イチゴ栽培ハウスの近傍に雪山として保存して、夏に雪冷房を行い、その実用性を見出そうとするものである。



実験は岩手県西和賀町沢内字猿橋地内の農地でイチゴの高設栽培を行っている近藤氏が主体となり、平成22年秋より準備をして、翌23年秋までの1年をかけて行った。

雪国文化研究所は、この実験のデータ測定および分析を担当したので報告する。

2.雪冷房システムの概要

雪を冷熱源とする冷房システムには、融雪水または雪で冷却した水を用いてファンコイルユニットなどで冷風を得る「熱交換冷水循環方式」と、雪で空気を直接冷却して送風機で循環させる「直接熱交換方式」および「自然対流方式」がある。

このたびの事例のように農地において園芸ハウスの冷房を行う場合、敷設および撤去が簡単であることや、低コストという点で、貯雪と送風機およびダクトのみで実施できる直接熱交換方式を採用した。

雪の貯蔵は角錐台形に雪を積み上げてパーク材(杉材の樹皮)30cmの厚さで断熱をすることとした。この雪山を堆積する前に、冷気取出し用(直径25cm)と、初期の外気導入用(直径4cm)の塩ビ管を敷設した。

参考となる先進事例として2005年に北海道豊浦町で室蘭工大の佐々木賢知氏らが行ったイチゴ育苗ハウスの雪冷房があることから、同氏に助言をいただいて以下の熱設計を行った。

冷房条件は、冷房のため側壁を閉鎖して外気通風を遮断すると、日射がある時間帯の園芸ハウスの熱負荷はとても大きいこと、受粉にミツバチを使っていることなどを考慮した



結果、日没後に外気温が低下してハウス内気度も下がる 21 時から運転を始めて、日の出前 4 時までの 7 時間のうち、ハウス内気温が 20℃を超えたら送風機を運転して 20℃以下とする夜間冷房とする。

冷房面積はイチゴ栽培ハウス 324 m²×5 棟とし、先進事例より推定して、冷房負荷を 1 棟あたり 5.0kW、風量を 1 棟あたり 2,400 m³/h と見積もった。

計算に用いた現地の温度や湿度の条件は、2009 年に実測した温度湿度データがあるので、これをもとに、2009 年は平均的な年より約 1℃ほど低温傾向があったことから実測値プラス 1℃で計算した。

計算結果は、運転時間が 251 時間、雪山負荷が 110GJ (5 棟合計)、1 棟あたりの雪山負荷は 22GJ となった。冷房に必要な雪の量は、雪の融解潜熱=335MJ/ton として、雪需要量=110GJ÷335MJ=328ton となり、雪の密度 0.65 t/m³として 505 m³となる。

3. 雪の保存

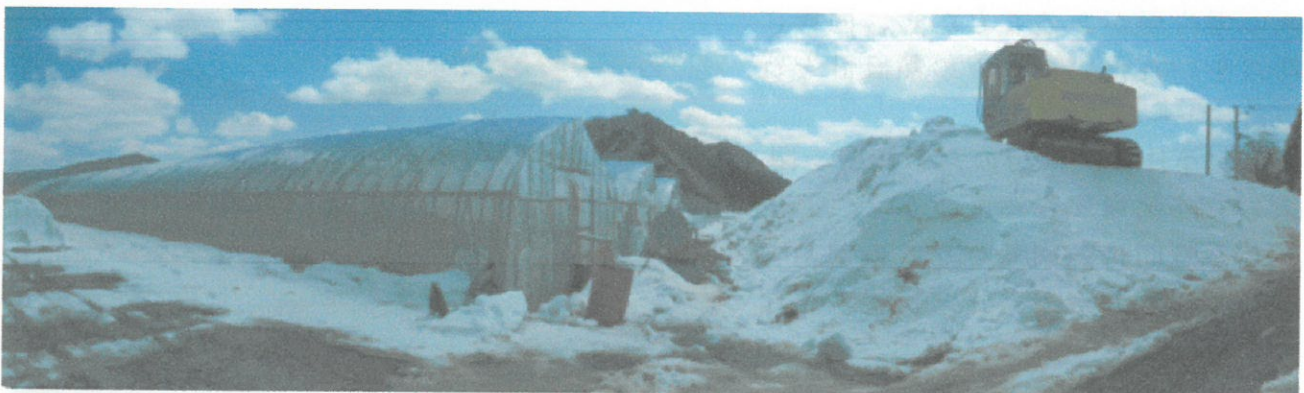
冷房の冷熱源となる雪 328ton を使えるように雪を貯蔵するには、さらに多くの雪が必要である。すなわち、雪山内部で熱交換する方式のため、しだいに大きくなる空洞部を崩落せずに支えるための雪と、期間中に断熱をしても解ける雪である。

雪山の内部空間を崩落させずに支える雪の量は、空間が最大になる冷房期間終了時の空間体積の 1.5 倍と見積もると、328 t×1.5=492 t。冷房に使う 328t を加えた 820t を四角錐台形に積み上げ、期間中断熱をしても解ける雪を積雪深で 2 m と推定してこれを加えた量が必要雪量になる。

イチゴ栽培ハウス 5 棟に隣接して雪保存可能面積を計測した結果、50m×20mであったので、これを底面とする斜度 45 度で高さ 5m の四角錐台の体積は 3417 m³で、雪の密度 0.65 t/m³とすると 2221t になる。これより 2 m 融解した後の体積は 1378 m³で 896t となり、前述の必要雪量から 2m の融解を差し引いた 820t を上回るなので、これを雪山造成のサイズとした。

保存する雪山のサイズが決まったので、その表面を断熱のため覆うバーク材の量を計算した。平成 22 年に町内のシイタケ栽培ハウスにおける雪冷房を実施した際の雪山保存をバーク材 30 cm 厚で被覆した事例が、断熱しても溶ける雪を 2m と見積もって上手くいったので、今回も被覆厚を 30 cm とした。

四角錐台の雪山表面積を算出して被覆厚 0.3m を掛けた 372 m³を約 1 割増しにした 400 m³のバーク材を必要と算定した。

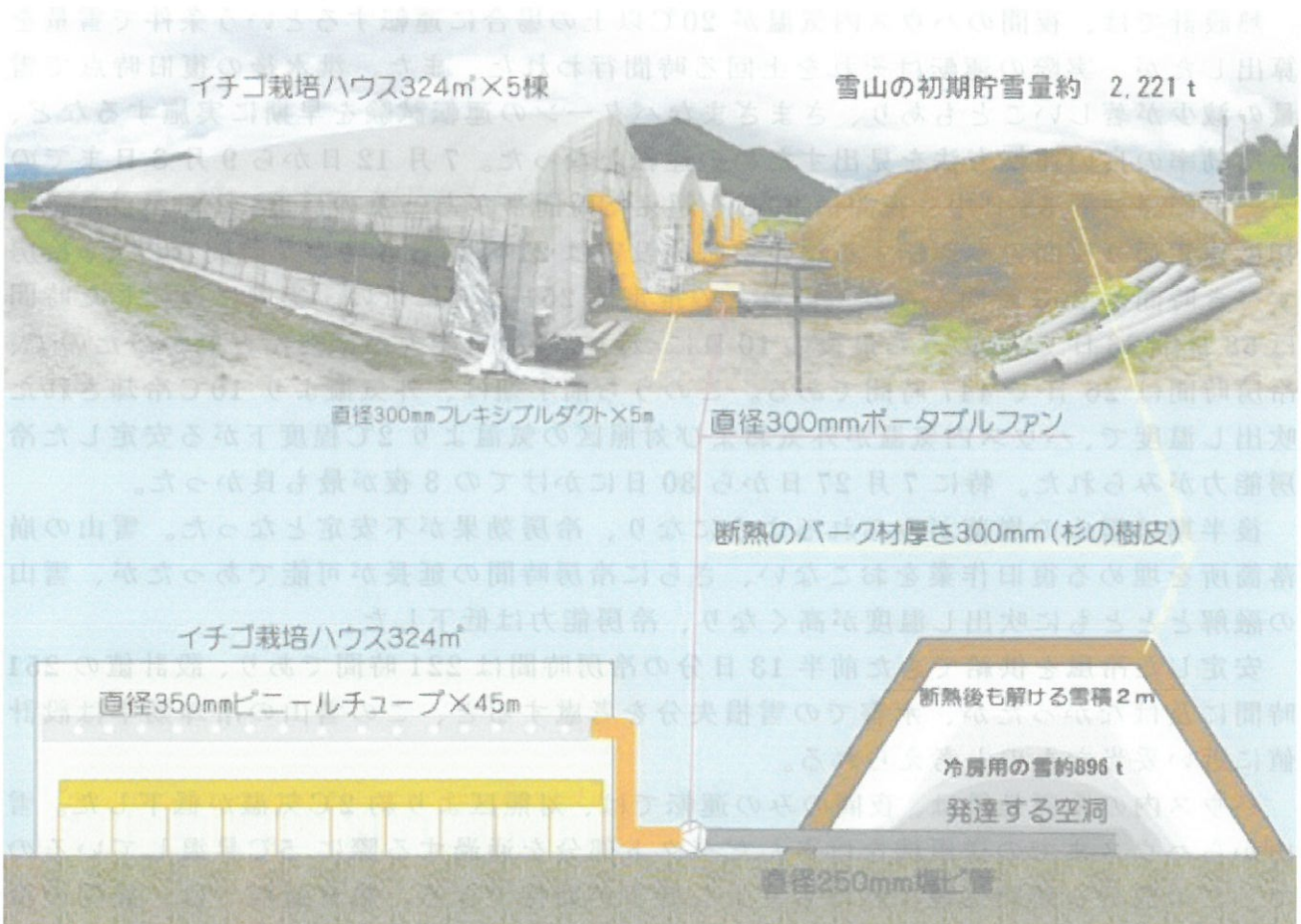


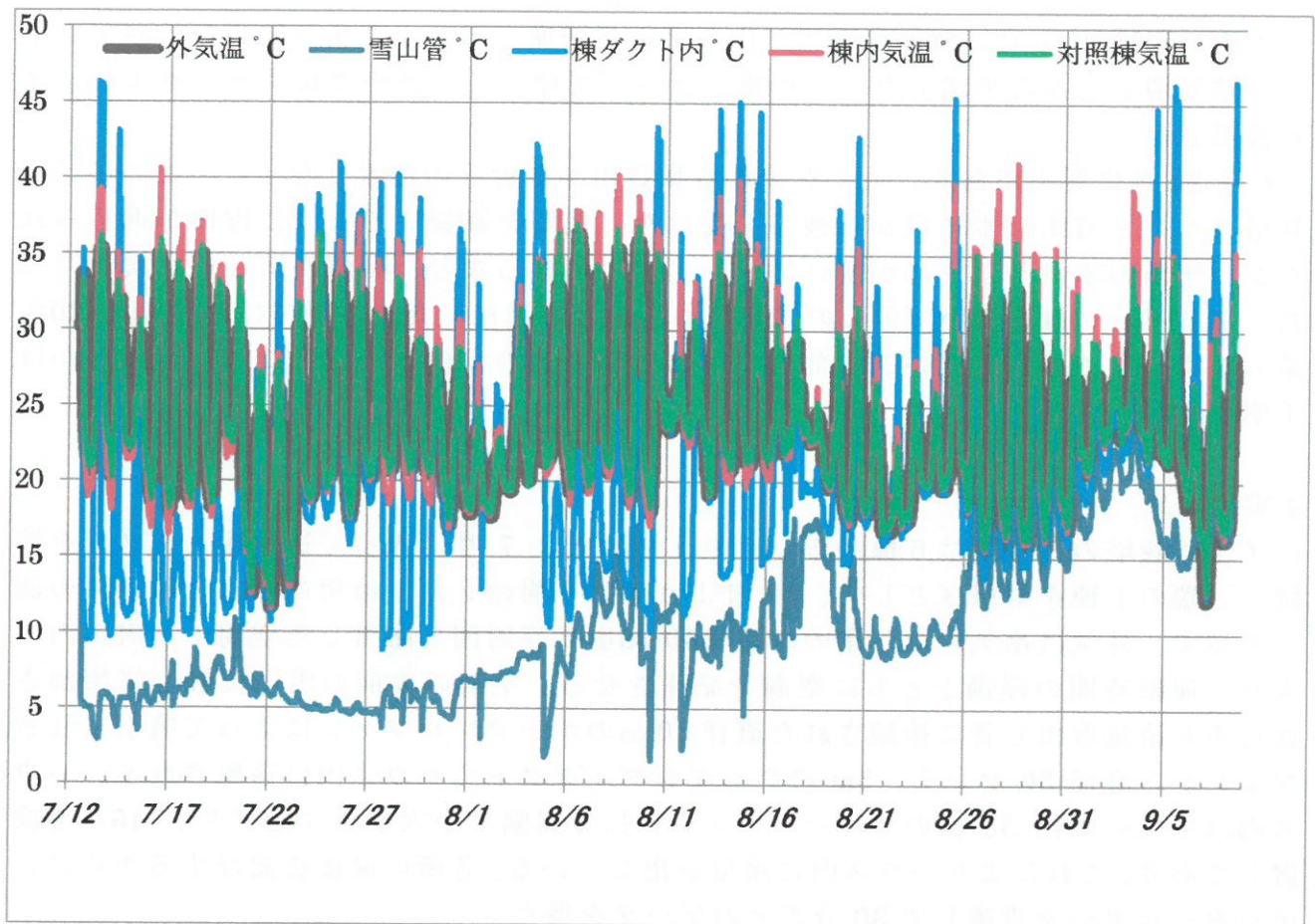
雪山の造成は 3 月に町の除排雪で出る雪を雪運搬トラックにより搬入し、バックホーで踏み潰しながら形成した。その後トラックで搬入したバーク材もバックホーにより被覆した。

6 月 24 日に豪雨があり、近くを流れる和賀川が未曾有の増水となった。このイチゴ栽培ハウスと雪山も水に浸かる被害を受けた。栽培を継続するように復旧が進められたが、雪山の水没した下部が解けてトンネルができるなど、融解が著しい状況であった。後日バーク材を剥いで雪山の穴を埋めるなど再造成した。外見では大雑把に 20% 減の雪山として復旧したが、内部にできた空間をどの程度埋め戻すことができたかは不明である。

4. 実験結果

イチゴ栽培のハウスは 6 棟ある。そのうち 5 棟に 7 月に入って送風機とダクトを接続し、端の 1 棟を対照区として、12 日より運転を開始した。冷房運転による空気の流れを示す。外気は冷氣取出し用の直径 250 mm 塩ビ管周囲の融雪した空間より雪山内に入り、運転時間の経過とともに空洞を発達させる。空洞の表面の雪に接触して冷却されたのち冷氣取出し管に接続された直径 30 cm のポータブルファンによって吸引される。ファンから直径 30 センチ、5m のフレキシブルダクトでハウス内に送風される。ハウス内は中央に直径 35 cm のビニールチューブに等間隔で小穴を開けたダクト 45m を設置してあり、これによりハウス内に冷氣を出している。各所の温度を記録するために、データロガーを設置して 30 分ごとのデータを得た。





熱設計では、夜間のハウス内気温が 20°C 以上の場合に運転するという条件で雪量を算出したが、実際の運転はそれを上回る時間行われた。また、洪水後の復旧時点で雪量の減少が著しいこともあり、さまざまなパターンの運転試験を早期に実施するなど、冷房効率の良い運転方法を見出すための運転となった。7月12日から9月8日までのデータ記録期間58日中、夜間に 20°C を超えた時間帯があったのは38日であった。当初の予定通り夜間のみ運転する場合の時間設定は21時から4時の7時間なので、冷房すべき時間は266時間となり、計算上の推定値251時間に近い。実際に運転した時間は58日中36日で、このうち最後の10日については冷房能力がほとんど無かったので、冷房時間は26日で447時間である。このうち前半期は、外気温より 10°C 冷却された吹出し温度で、ハウス内気温が外気および対照区の気温より 2°C 程度下がる安定した冷房能力がみられた。特に7月27日から30日にかけての3夜が最も良かった。

後半期は雪山の崩落がみられるようになり、冷房効果が不安定となった。雪山の崩落箇所を埋める復旧作業をおこない、さらに冷房時間の延長が可能であったが、雪山の融解ととともに吹出し温度が高くなり、冷房能力は低下した。

安定した冷風を供給できた前半13日分の冷房時間は221時間であり、設計値の251時間に及ばなかったが、水害での雪損失分を考慮すると、この雪山の冷却効率は設計値に近い妥当なものと考えられる。

ハウス内の冷房効果は、夜間のみ運転では、対照区より約 2°C 気温が低下した。雪山からハウスまでの送風機をはさんだダクト部分を通過する際に 5°C 昇温しているので、この部分を断熱処理すればもう少し低下が期待できる。終日運転では、昼間の冷

房効果はみられず、逆に側壁を閉じているため外気温や対照区より高温となった。

5.まとめ

四季成り性イチゴの高温による花芽分化の抑制を防ぐことを目的に、栽培ハウスを夏に雪で冷房した。

雪は、3月にハウスに隣接して2221 tの雪山をバックホーで造成し、杉のバーク材30 cm厚で断熱して必要量を保存したが、水害で融解量が増え、やや不足となった。

7月12日より8月7日にかけて、221時間の安定した冷熱供給が可能であった。その後、雪山の内部空間が崩落して冷房効果が低下したが、断熱のバーク材を剥いで雪山の再築を行い、さらに冷房期間を延長できた。

雪山内部の空洞に外気を入れて直接空気を冷やす方式で、送風機とダクトのみでハウス内を夜間に約2°C気温を低下させることができた。夜間の気温は20°Cから22°C程度のことが多いので、20°C以下にする目標はおおむね達成できた。

この雪冷房システムは、日射にともなう熱負荷には対応できないため、効果的に冷房をするには、夜間のみ運転するのがよい。日没後、外気温が下がる20時過ぎに側壁のシートを閉鎖して、20°C以上の場合に送風機を運転する。朝は日の出時刻に側壁のシートを開放する必要がある。

今回のシステムでは、夜間気温が23°C以上や、日没後に気温が下がりにくい状況など、平均より高い気温の場合は20°C以下にならない。このような状況にも対応するには、風量を増やす方法がある。雪山から冷気を取り出す塩ビ管からハウスまでのフレキシブルダクトを直径400 mmにして、送風機を400 mmにサイズアップする。送風機の運転に温度センサによるスイッチを用いれば安定した冷房効果が期待できる。この場合、貯雪量を増やせばハウス内気温をもう少し低く設定することも可能である。

参考文献

雪山横穴空洞式熱交換システムの開発に関する研究（イチゴ育苗ハウスへの雪冷房システムの利用）佐々木賢知 媚山政良 ほか 2007年 日本雪工学会誌

