

第 1 回 1 限目

循環型社会における 日本海側の活雪と低炭素化技術

講師 富山商船高等専門学校
商船学科 教授
八賀 正司 氏

富山商船高等専門学校は、10月1日から富山工業高等専門学校と統合する。今日は富山商船として最後の発表という気持ちで一生懸命ご報告させていただきます。

現在、富山商船の寺崎、百生両先生と私、富山工業高専の寺西、安田両先生、石川高専の義岡先生、それから飛騨・世界生活文化センターの飛騨コンソーシアムの皆さま、そして、岐阜県立高山工業高校の細江先生のグループで、飛騨高山地域において低炭素化社会や循環型社会を構築するため、地域に根差



した低炭素化技術、具体的には奥飛騨温泉郷の高温源泉の廃熱と湧水を利用した温度差発電と源泉温度の制御と、高山のホテルで生ずる使用済みてんぷら油を原料とした BDF 発電による飛騨・世界生活文化センターの冬場のイルミネーションの節電、そして日本海側の活雪に取り組んでいる。

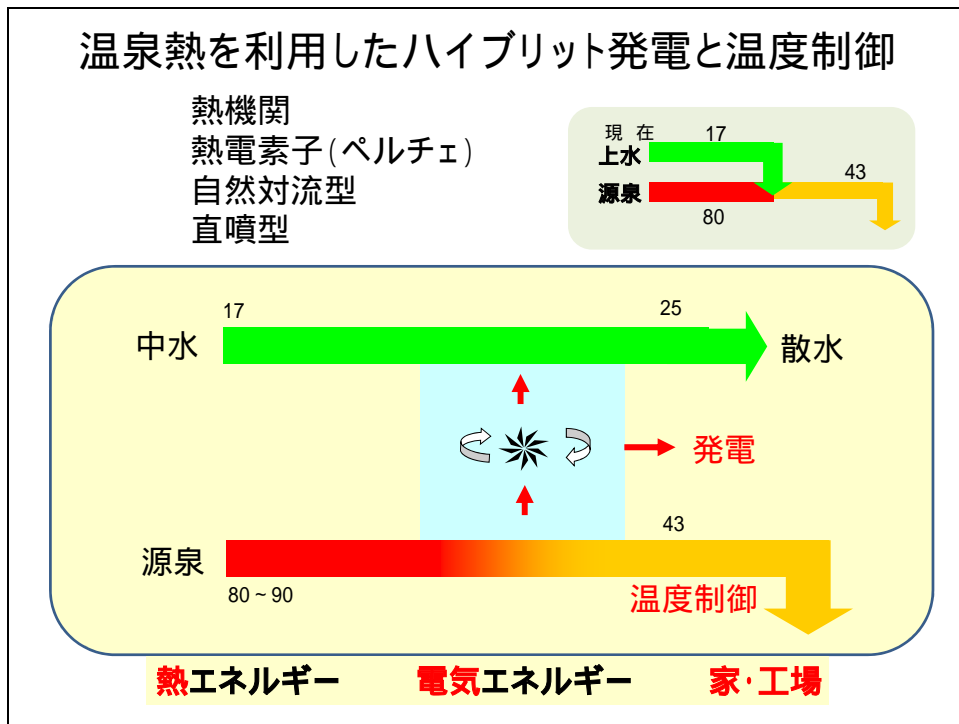
以下、それぞれについてご報告する。

1. 奥飛騨温泉郷の高温源泉の廃熱と湧水を利用した温度差発電と源泉温度の制御

岐阜県高山市の平湯地域では、非常に高温のお湯が出る。統合前は簡易水道を自由に使えたため、上水を混ぜ合わせて適温にして源泉をうたって提供していたが、町村合併により簡易水道にも水道料金が加算されることになり、水道料が 10 倍にはね上がった。それを

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」

受け、高温のお湯を水をいれなくて冷まして適温にすれば、その熱エネルギーを足湯にぐらいなら使えるのではないかと。あるいは、その熱で温度差発電をしたり、冬場にはその水をまいて融雪をすればよいのではないかとという気持ちで、源泉と中水で熱交換をして、発電しながら適温にするということに取り組み始めた。

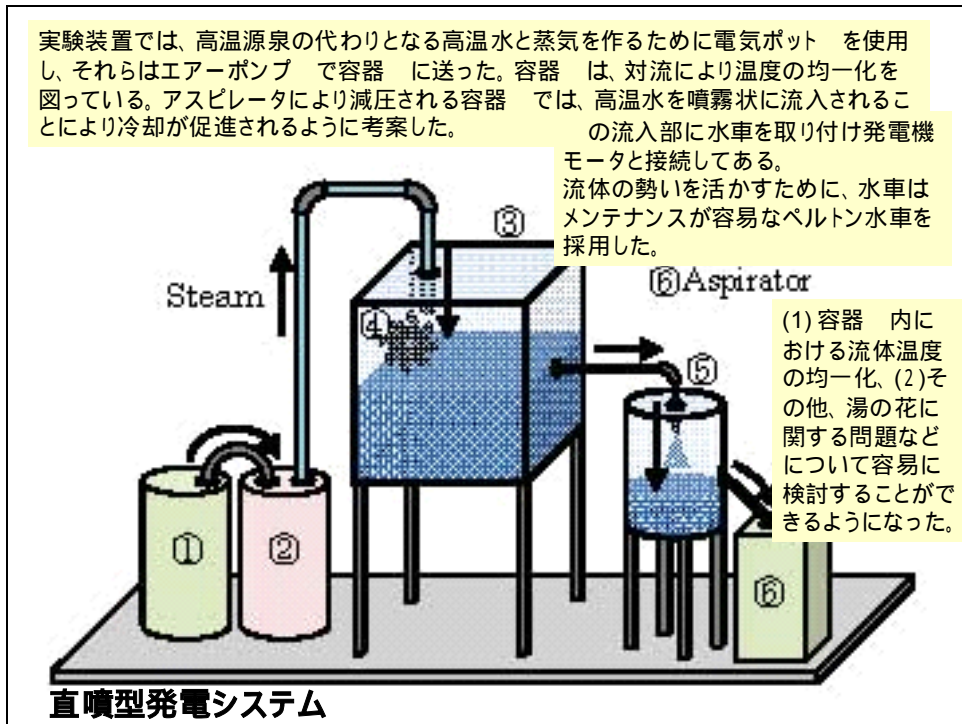


2. 四つの試作システムの実験と考察

2-1. 高温源泉から噴出する温泉水の勢いを直接利用した直噴発電システム

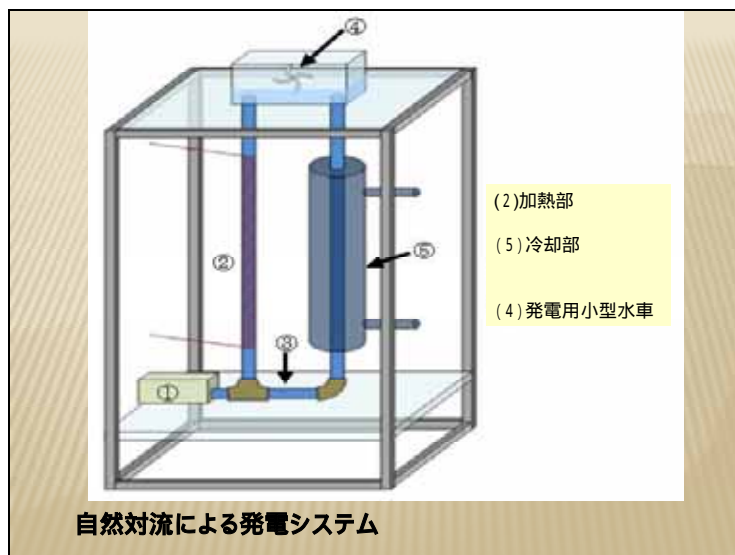
その方法の一つは直噴型である。中尾温泉では約 95 の温泉が秒速 20m で自噴しているため、それで直接プロペラを回して発電させ、さらに熱交換で冷やした源泉を適温で使うという試みだ。

実際の温泉場では、地下から源泉が噴出してくるときにスケールといわれる石などがたくさんつくのでそれをどうするかが問題になるが、実験ではそれがない状態で試した。85 の源泉が 45 ぐらいになったときに中水が 20 で流れていくと、吸熱と放熱が起きたときにどのくらいの電力が得られるかを計算すると、熱量は大体 1400kw で、得られるエネルギーは大体 185kw、最大で約 13% の効率で電力が取れることが分かった。



2-2. 高温源泉の廃熱を利用した自然対流による低温度差発電システム

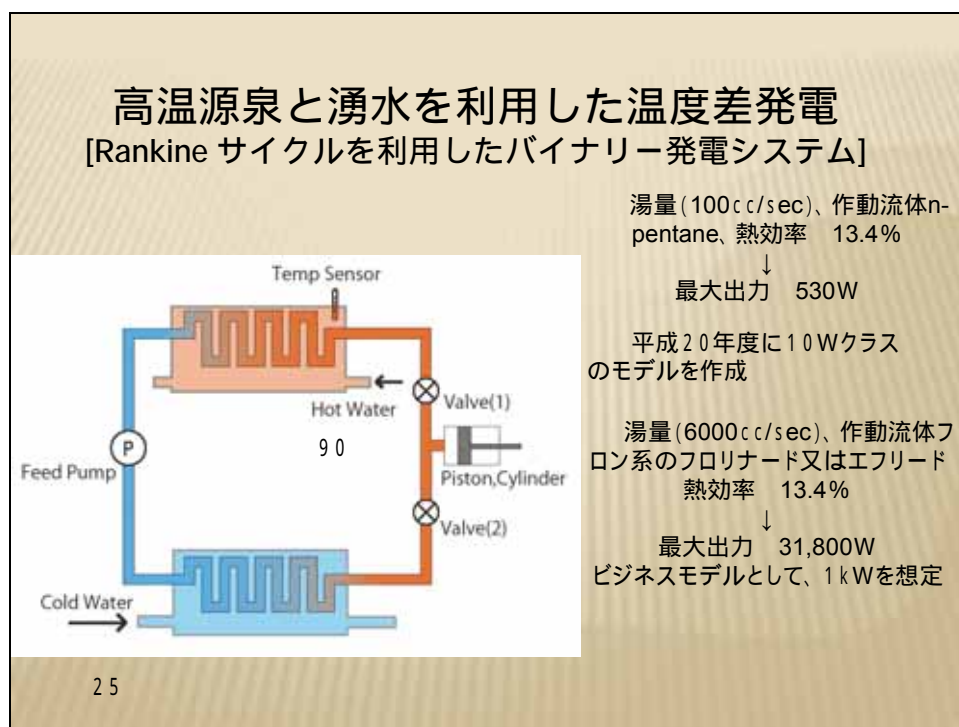
次は、自然対流型の発電装置である。これは 80 の源泉を下から上へ通していき、適温になったところで温泉地へ持っていきというものだ。そのときに、湧水を上から下へと流してやる。源泉と湧水の間は閉じたループになっていて、そこには水を入れておく。すると温まった水は下から上へ、冷やされた水は上から下へと流れて対流が起こり、そこに風車を置いて発電する。さらに、エアポンプで水の流れを加速するという実験モジュールを作ってみたのだが、これで得られる電力を計算するとわずか 1w であった。水でなくシリコンオイルを使ってぐるぐる回したとしても 10w ぐらいの発電量しかない。しかも、実験では加熱部と冷却部を設けてぐるぐる回したが、これではあまり実用的でない。この風車で回る電力が温泉の夜の照明にでもなればいいのかという程度である。



2-3. 温泉を熱源とする蒸気ランキンサイクル発電システム

次に、ランキンサイクルを利用したバイナリ発電システムを試してみた。片側から温泉が入ってきて出ていき、反対側から水が入ってきて出ていく。その過程で、蒸気機関車のように温められた蒸気がピストンを押し上げ、フライホイールを付けたピストンは反動で戻ってくる。それでピストンが上下作業をして、回転運動になって発電させようという目論見だった。

新しいアイデアとして、熱交換器を高温側と低温側の二つ用いてみた。ポイントは熱交換器の高温側と低温側の蒸発部を直列に配置するところで、高温側の熱交換器でシリンダーを上から下へ降ろし、低温側の熱交換器で下から上へ押すと、上下運動するとき倍のエネルギーが得られるだろうと考えたのだが、実際の実験では一つの方法しか試みることができず、発電するに至らなかった。まだ途中の段階である。



2-4. 熱電変換素子を用いた発電を伴う温度制御可能な熱交換器

さらに、発電モデルとして手軽にできるのが、熱電変換素子（ペルチェ素子）を用いた発電を伴う温度制御である。熱電変換素子に n 型半導体と p 型半導体を接合して電流を流すと、吸熱と発熱が生じる。逆に、ペルチェ素子に高温面と低温面を作ると、その間に電流が流れる（ゼーベック効果）。それで電気を得ようというものである。

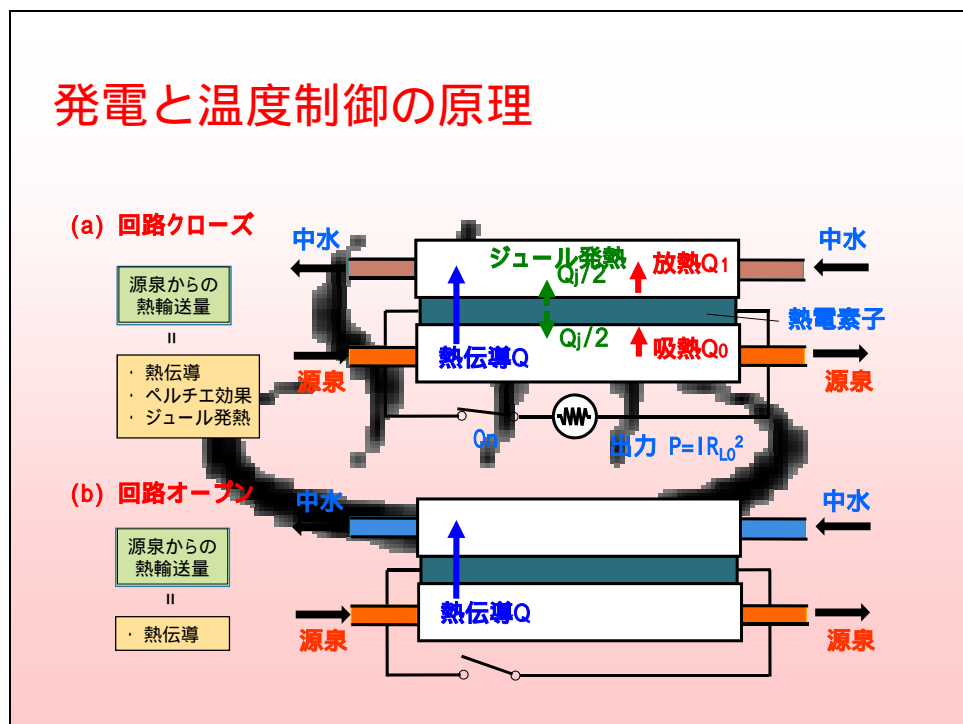
ペルチェ素子は 1 枚 2000 ~ 3000 円と高めだが、誰がやっても発電する、一番手軽な方法である。これを温泉場に置いておけば自由に発電してくれるので、足湯の照明にしたり、ムードメーカーとして露天風呂に置いておけば雰囲気がある。これで温度が制御できれば最高である。

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」

実は、ペルチェ素子には赤と青と黄の 3 種類あった。負荷につける外部抵抗を変えると、温度が 60、70、80 のときに赤い PC1 のタイプのものが一番発電量が高かったので、負荷抵抗、約 2.7~2.8 オームの領域を使うようにした。負荷抵抗が 2.7~2.8 ということは、ペルチェ素子の内部抵抗が 2.7~2.8 オームということである。内部抵抗と同じにすると一番電力が取れるので、そんなものを用意した。そして、発電している状態でこちら側をもっと冷やせばもっと発熱してくれる。

すると、今の熱伝導で熱が移動して冷やされる部分と、ペルチェ効果による吸熱と放熱がある。もう一つは電流が流れるので、内部抵抗のところでのジュール発熱がある。熱交換器のスイッチをオフにすると、源泉から中水への熱伝導だけになる。この回路のオン、オフを繰り返せば、またはオンとオフを制御すれば、ペルチェ効果とジュール熱の発熱分だけ温度を少し変えることができる。

実験では、四つのペルチェ素子を筒状に配置し、入り口に温水を流してその周りを全部冷水にした装置を作り、ペルチェ素子のスイッチのオン・オフをパソコンで制御できるようにした。また、お湯が流れるところには、熱伝導がいいようにいっぱい放熱板を通してある。これはあくまでもミニ実験の内容で、実際ここに温泉を入れるとすぐにスケールがたまるので実用的ではないが、どの程度温度が下がってくれるか、実用性を試すための実験である。



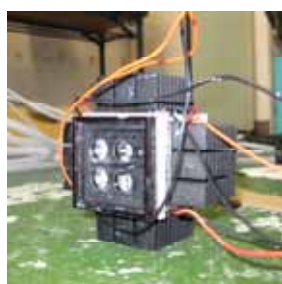
得られたデータとしては、流量は 1 秒間にわずか 5cc しか流せなかった。入り口が 75 で出口が 34 と、温度差は 37 あったが、回路オンの定常状態とオフの定常状態の差は 2.8 ぐらいしか得られなかった。しかし、実際の温泉地では 1 秒間に 100L、200L と流れ

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」

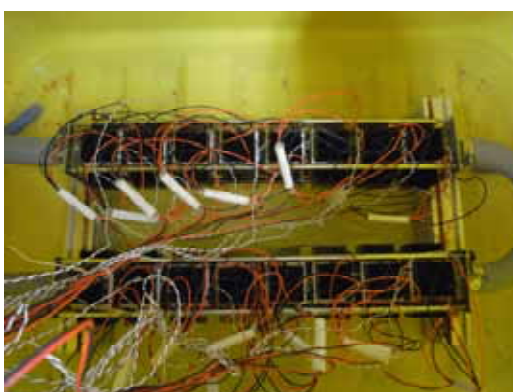
るわけで、さらに、安いペルチェ素子があればメンテナンスもないのもっとたくさん張ればもっととれる。これもまだ実用的ではないが、一応、温度の制御はできた。

このような方法で水をうめることなしに源泉の温度を下げる事ができれば、ぬるま湯の好きな人は水道水を使うことなく自由に適温に調節することができ、その熱エネルギーを照明に使うこともできる。いわゆる化石燃料を使用せず、二酸化炭素が発生しない、そして、高温側の源泉と低温側の湧水のために再投入されるエネルギーを必要としない。今、地熱発電が話題になっているが、地熱発電にしる海洋温度差発電にしる、たくさんの水を地熱の中に入れて、またそれをくみ上げるような施設で、莫大なエネルギーを必要とするわけだが、それが要らないということだ。さらに、上水が不要でかつ熱交換された湧水は冬場の融雪に使用できるなど、非常に環境にやさしい発電方式なのだが、まだ実用化段階に至っていないのが現状である。

実験装置の主要部



(a) 発電モジュール



(b) 発電器、兼熱交換器

3. 使用済みてんぷら油を原料とした BDF 発電

高山市の飛騨・世界生活文化センターでは、冬場にも地元に興味・関心を持ち続けてもらうため、きれいなイルミネーションで装飾を施している。ところが、建物自身が県の予算で建てられたもので、非常に経費がかかっていることから、それを快く思わない人々から、「あの電気もったいない。それを僕らの税金で賄ってもらっては困る」という苦情が出ている状況だった。

そこで、高山市のあるホテルから使用済みてんぷら油をもらい、BDF(バイオ燃料)を精製して、それで発電して冬場のイルミネーションの電気に使えないかという試みに、現在

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」

の富山商船と富山高専、飛騨・世界生活文化センターと高山工業高校の先生と学生で取り組んだ。

バイオ燃料は、もともとてんぷら油なので植物油である。植物は光合成をして、二酸化炭素からてんぷら油が作られるわけで、純粋に二酸化炭素を増やすわけではないので環境によい燃料として今期待されているものである。私たちは飛騨高山のエコチェーンネットワークにオブザーバーとして参加し、冬場の除雪機にもバイオディーゼル燃料を使うことを試みた。

バイオマスは、純粋にバイオエタノールに変換できるものと、使用済みてんぷら油のようにバイオディーゼルに変換できるものがある。使用済みてんぷら油にメタノールを入れ、エステル交換することでバイオ燃料とグリセリンを作り出す。グリセリンは今回使わないので省き、バイオディーゼル燃料だけを取り出す。その方法は、アルカリ触媒法で使用済みてんぷら油を 1 回ろ過し、加熱してメタノールを溶かす。触媒として水酸化カリウムを入れて反応させ、エステル交換して 2 層に分かれた下のグリセリンを取り、それに水を入れてかくはんしながら洗浄していく。最初はせっけん水ができるが、これを繰り返すときれいなバイオ燃料ができてくる。これは高校生でもできる内容で、日本海側の高校と地域が密接に関連し、手をつなぎ合って取り組みをしたわけである。

できた燃料はディーゼル発電機に入れて、「このフロアの照明はてんぷら油から作った BDF で発電しています」とフロア一帯を借りて実演したり、夜景のイルミネーションに使用している様子を廊下に展示した。除雪機もバイオ燃料で動かすと、市民の方からの苦情は少なくなる。

バイオ燃料と普通の軽油との違いをはっきりさせるために、バイオ燃料を 100%と 50%にしたときのエンジンの特性と燃料の消費率を求める実験を行った。エンジンはヤンマー製の 4 サイクル 4 気筒の、水動力計がついたディーゼルエンジンを使った。バイオ燃料は 100%、50%と、軽油 100%の 3 通りで、負荷率を 30%～110%まで変え、各負荷率での燃料消費量と燃料消費率（燃費）を調べたところ、負荷率が変わっても軽油だけのときとバイオ燃料 50%、100%のときとで、軽油の方が若干消費率は低いが、大きな差は得られなかった。負荷率が低いときに若干差があるぐらいで、それも差は 5%程度、燃料消費率も、軽油の方が良く、50%、100%にしたときは低負荷率では若干差が出るが、負荷が大きくなっても差は 5～10%の中に収まっているので、バイオ燃料をそのまま使っても遜色なくいけるのではないかという感触を得た。

ただ、冬場にはバイオ燃料の粘性が高くなり、エンジンが回らなくなることがあるので、その点が少し心配であるのと、実はバイオ燃料は、てんぷら油を燃やしたようなにおいがする。飛騨センターで BDF 発電を行って電気を照明に使ったが、エンジンの排気ガスがそ

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」

のまま館内に入り込んでとても臭かった。排気を外に持っていくようにはしたが、においを取ることはまだできておらず、そこが若干問題点として残っている。

現在、この BDF 発電によって、11 月から 2 月までの間、日没から 21 時まで、イルミネーションをつけ、ネット上でもその映像を配信しているので、機会があればぜひご覧になっていたきたい。

4. 日本海側の活雪 - 飛騨高山市の雪室

雪はスキー場では大変喜ばれるが、一般の家庭では不便なことが多く、ありがたいと思うことは非常に少ない。そこで、何とかこの雪を利用できないかと考えた。「活雪」である。

最初は、雪を夏場の冷房にできないかという案が出たが、雪には雑菌も多く、そのまま冷風として使うわけにいかない。あるいは、熱交換して使おうとしてもロスが大きく、たくさんの雪がないと冷房の担い手にはならない。そこで、雪は雪として使おうではないかということから、雪室を作ってみることにした。雪の持つエネルギーを有効に利用し、エネルギーを暮らしの中に気軽に使用できるシステムを構築することを目的に、エコチェーン飛騨高山ネットワークに協力していただき、今年の 2 月 15 日から 6 月末までの 132 日間、雪室の中に野菜を入れてどう保存できるかという実証実験を試みた。基本は各家庭でもできるような小さいものということで、実際は農家でできるようなものを想定している。

通常、雪室は地面に穴を掘って雪をためるのだが、地下道から上がってきたところがちょうど空間になっているので、現況を利用してそこに雪をためることにした。2 月 6 日から 15 日間で、発泡スチロールで周りを打ち、その空間に雪を埋めて、雪室には発泡スチロールが倒れてこないように柱を置いた。また、雪は水に弱いので、ベニヤ板に穴を開けて水を流すようにした。さらに、もみ殻を雪室の上にまき、もみ殻が減ると補充する。もみ殻は水分を吸って蒸発するときに気化熱として温度を下げってくれるので、中の温度を保つのにちょうどいいのだ。そして、外側には打ち水をかけて外気温が下がるようにということをして、6 月まで月に数回行った。

雪室には、白菜、大根、芋類、そのほかに梅の木と桜の木を入れ、内部のデータが分かるように、温度をモニターするためのデータレコーダーやカメラを仕組んだ。その結果、外気温が 25、20、15 でも、雪室の中の温度は 0、湿度は約 90%と、常に一定を保ち、ちょうどチルド室の状態になっていた。そこに置いておいた桜の花は、取り出してから 1 週間ほどで咲いた。野菜はチルド状態で保存できていたので、一般家庭や農家への波及も期待できそうだ。

平成 21 年度 富山県大学連携協議会公開講座
第 1 回 1 限 「循環型社会における日本海側の活雪と低炭素化技術」



残った雪をバックに記念撮影

雪の量は2月時に約175cmの高さであったものが、6月でも約125cmの高さを保ち、溶けた雪の量は僅か50cmであった。

