

再生可能エネルギー熱利用技術開発/その他再生可能
エネルギー熱利用トータルシステムの高効率化・規格化/

太陽熱を利用した熱音響冷凍機による雪室冷却装置の開発

佐藤 健
新潟県工業技術総合研究所
(学)東海大学
新潟機器(株)
2019年10月17日

問い合わせ先
新潟県工業技術総合研究所
TEL : 025-247-1301
URL : <http://www.iri.pref.niigata.jp>

事業概要

1. 期間

開始 : 2016年1月

終了 : 2019年2月

2. 最終目標

太陽熱から冷熱を得るための熱音響冷凍機および太陽熱集熱装置を開発するとともに、雪室の保冷のための能動断熱技術の確立、雪室壁の改良を行うことで雪室を減容し、導入コストを17～18%削減する。

[実施項目] ①-20℃100W出力の熱音響冷凍機の開発

②熱媒を210℃以上に加熱する太陽熱集熱装置の製作

③太陽熱による熱音響冷凍機駆動シミュレーション

④システムのトータルシミュレーション

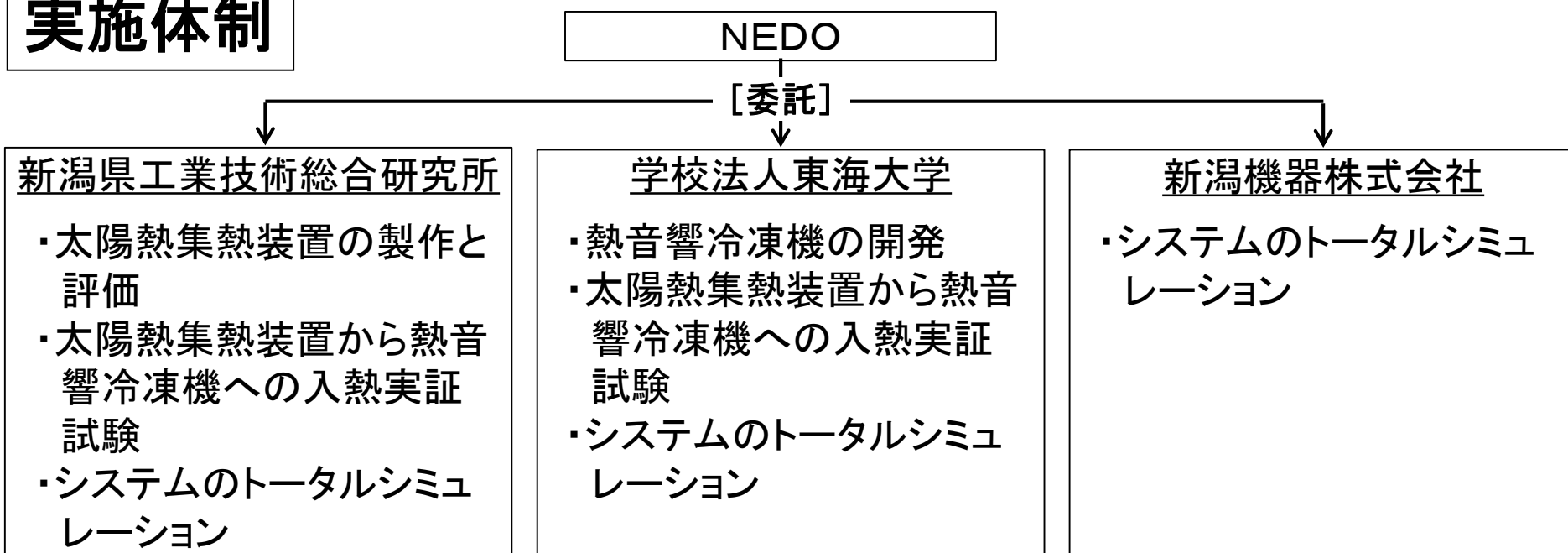
3. 成果・進捗概要

- ・ 熱音響冷凍機を製作し、-20℃100Wの冷凍出力を確認
- ・ 太陽熱集熱装置を製作し、熱媒加熱210℃以上を確認
- ・ 太陽熱による熱音響冷凍機の駆動をシミュレーションで検討
- ・ 従来比46%減容した小型雪室を設計し、熱流体シミュレーションを実施

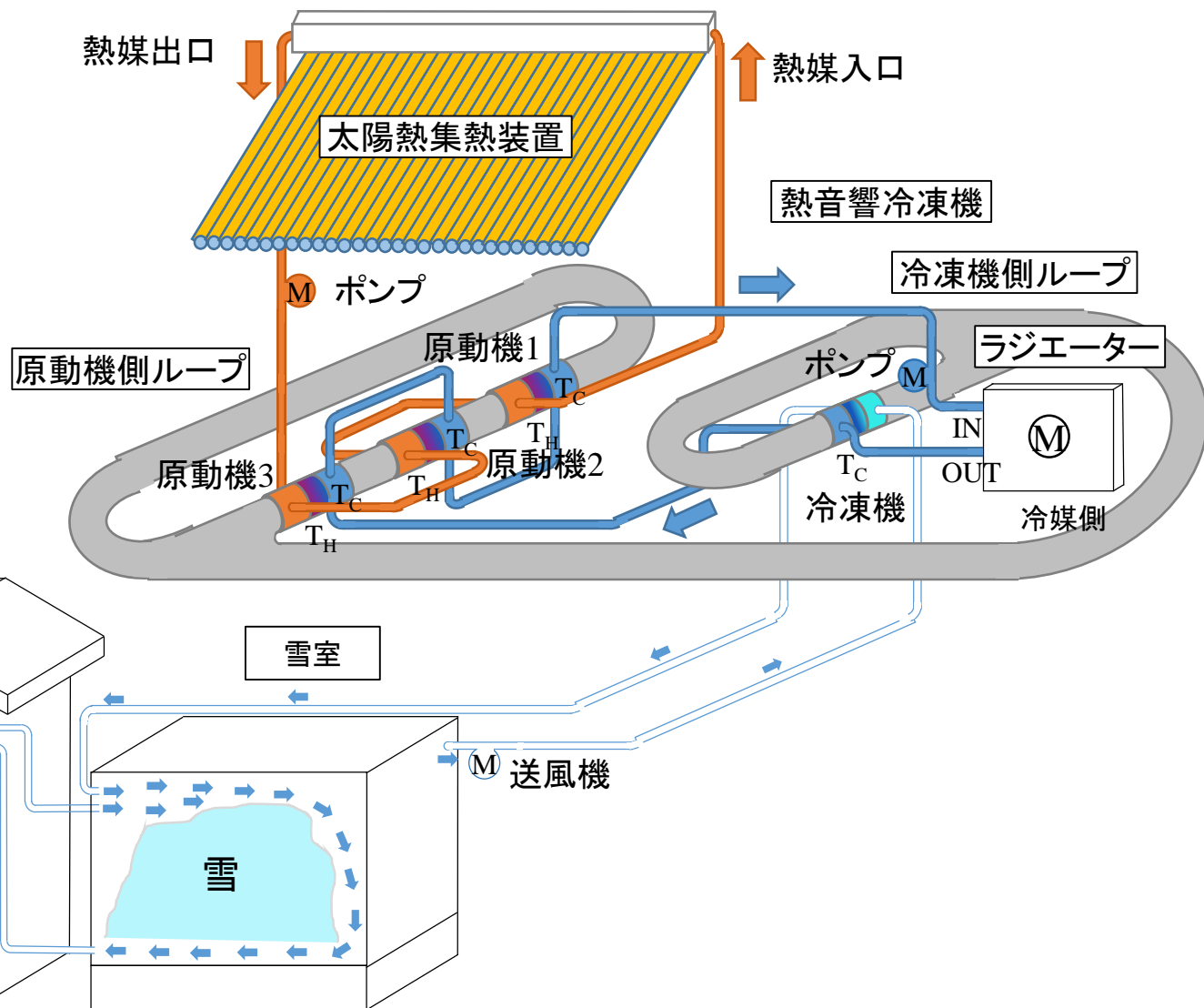
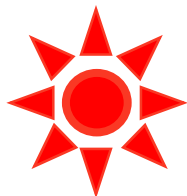
事業背景

- ◆ 雪室の冷熱エネルギーは適度な湿気があることから夏季の食糧貯蔵や冷房に適しており、徐々に増加している。
- ◆ 雪室では冷気の送風のみで電気を使うため、運用コストは非常に安い。導入コストが課題となっている。
- ◆ 太陽熱を使用した熱音響冷凍機による雪室冷却、能動断熱技術および雪室壁の改良により雪室容積を低減し、導入コストの削減を目指す。

実施体制



システム構成(イメージ)



各研究項目の進捗と成果

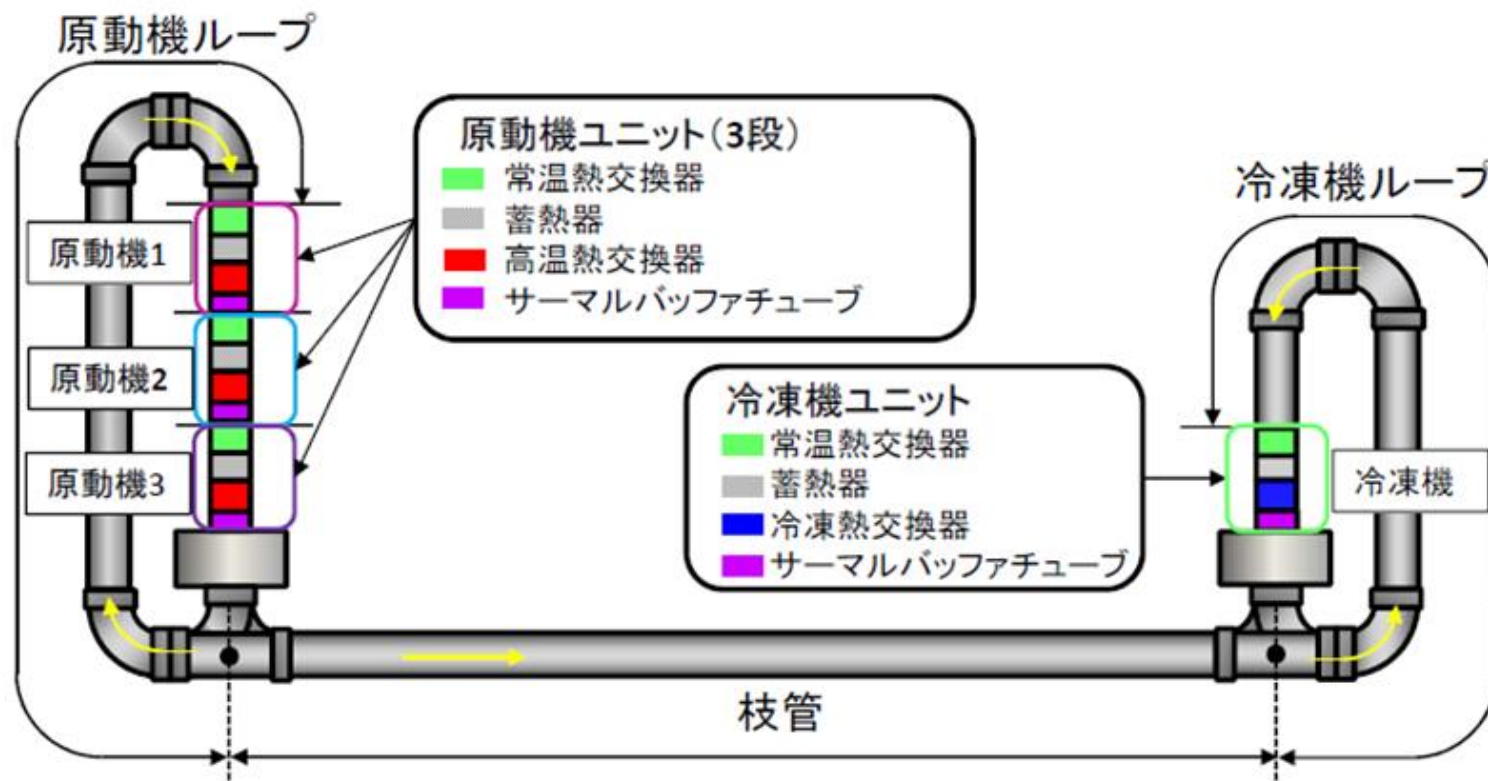
1. 熱音響冷凍機の開発
2. 太陽熱集熱装置の製作と評価
3. 太陽熱による熱音響冷凍機駆動シミュレーション
4. システムのトータルシミュレーション
5. まとめ

1. 熱音響冷凍機の開発

1. 1 目標性能と基本構成

目標性能 198℃以下の入熱温度で-20℃100Wの冷凍出力

基本構成 3段の原動機を備えたダブルループ型熱音響冷凍機(下図)

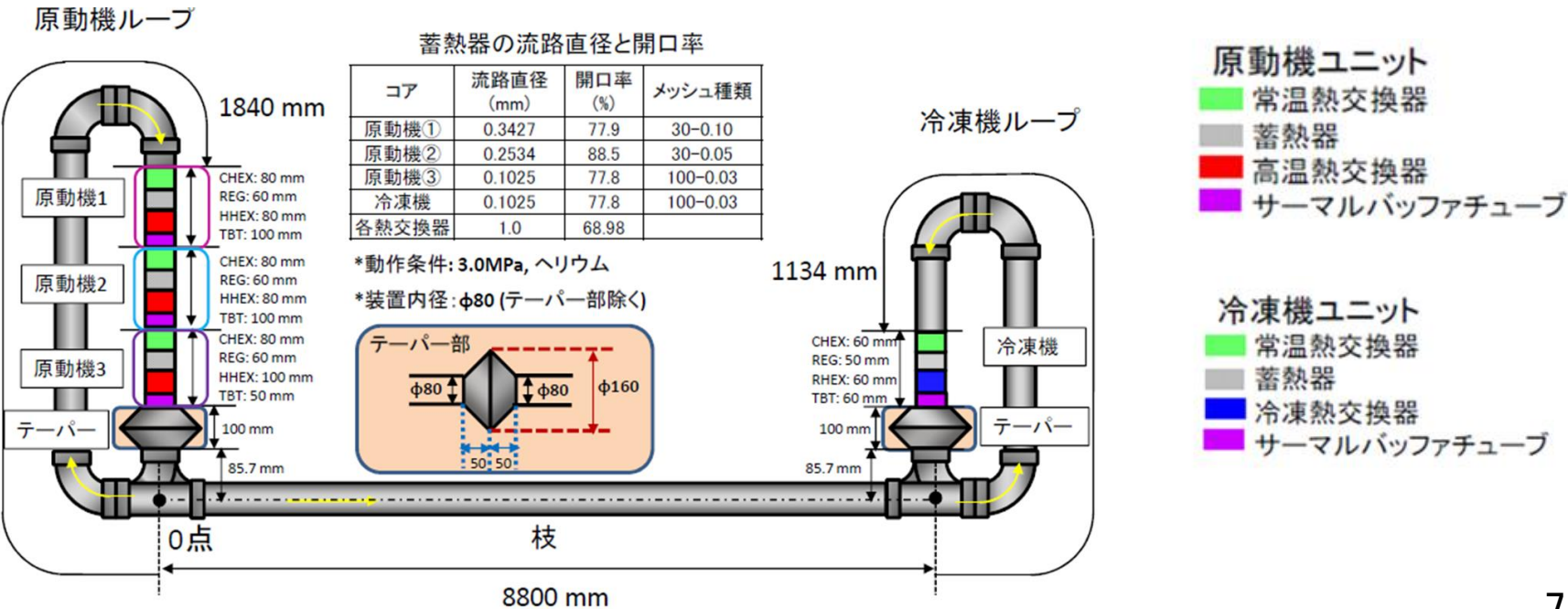


1. 2 数値シミュレーションによる最適化設計

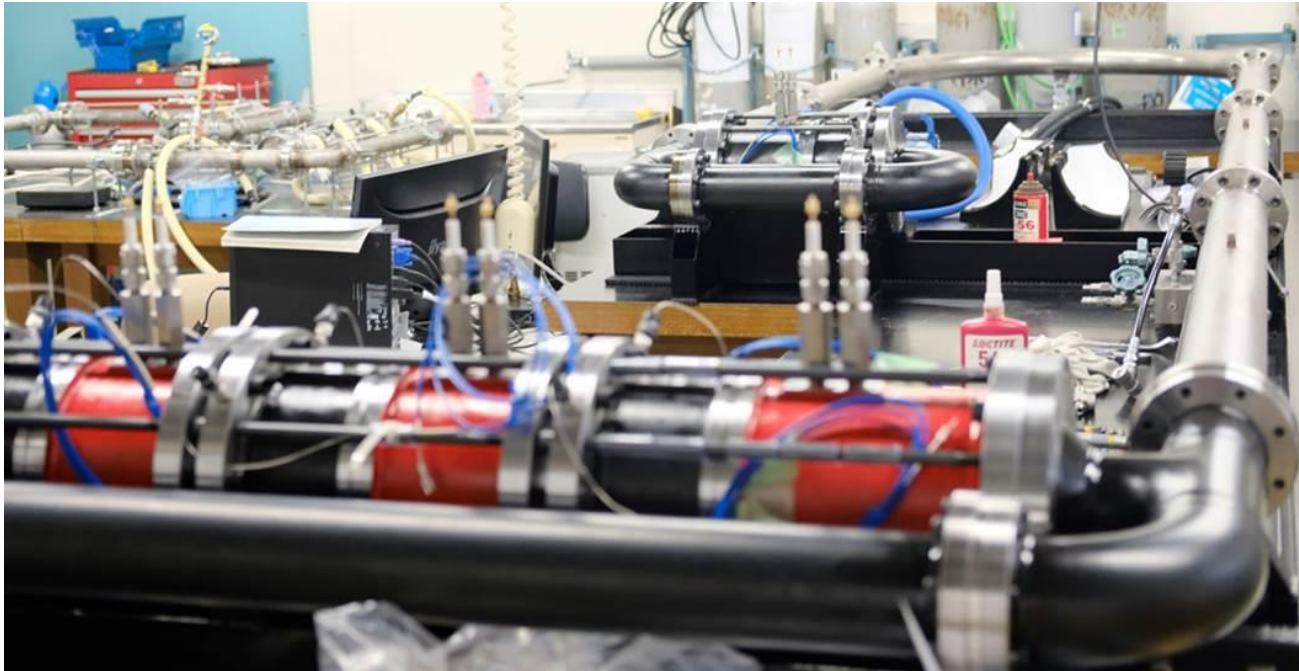
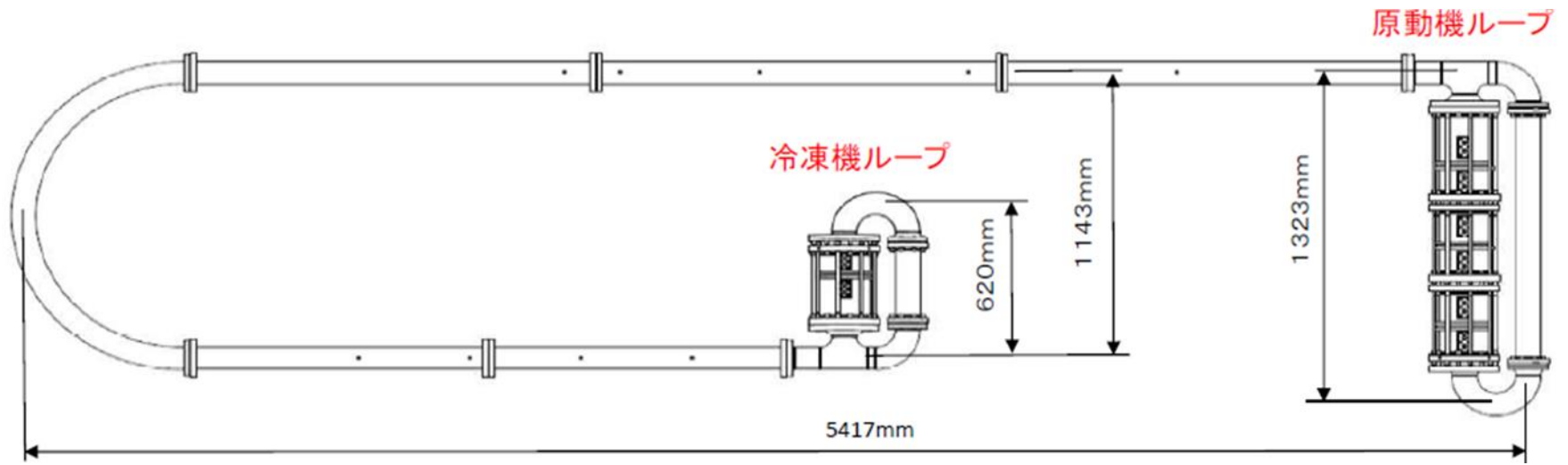
① 評価関数と設計変数

評価関数		冷凍温度、冷凍出力、効率(第2法則成績係数)
設計変数	導波管部	原動機ループ、冷凍機ループ、枝管の各導波管の長さおよび径
	エンジン部 (外形)	原動機および冷凍機ユニット (熱交換器、蓄熱器、サーマルバッファチューブ、拡大導波管)の長さ ※径は導波管と共通
	エンジン部 (内部構造)	熱交換器、蓄熱器の流路径および開口率

② 最適化結果



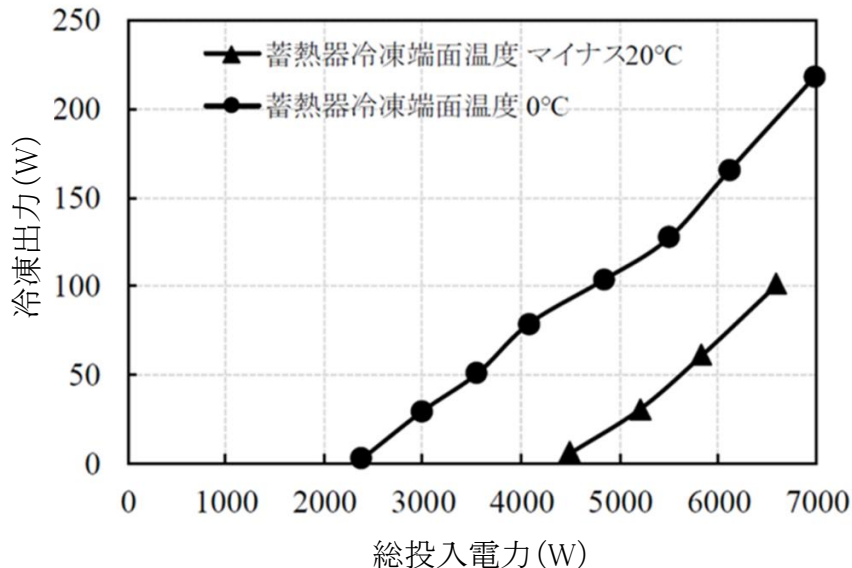
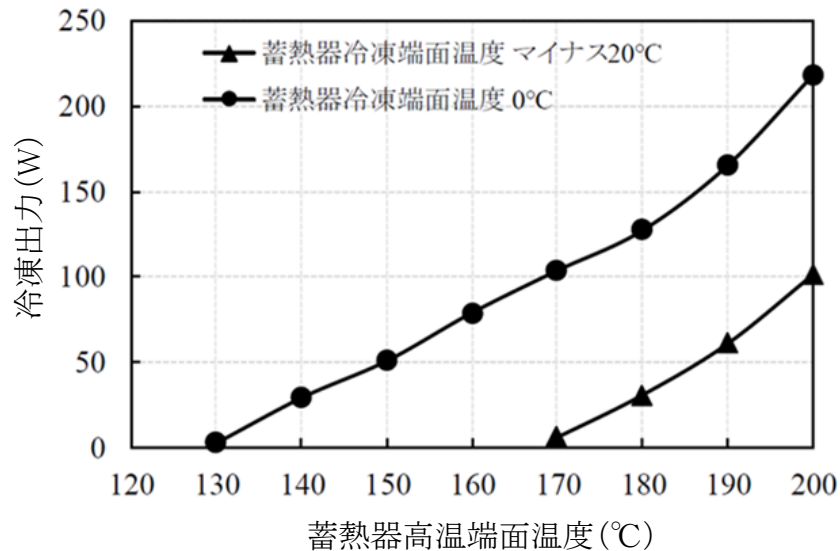
1. 3 製作した装置



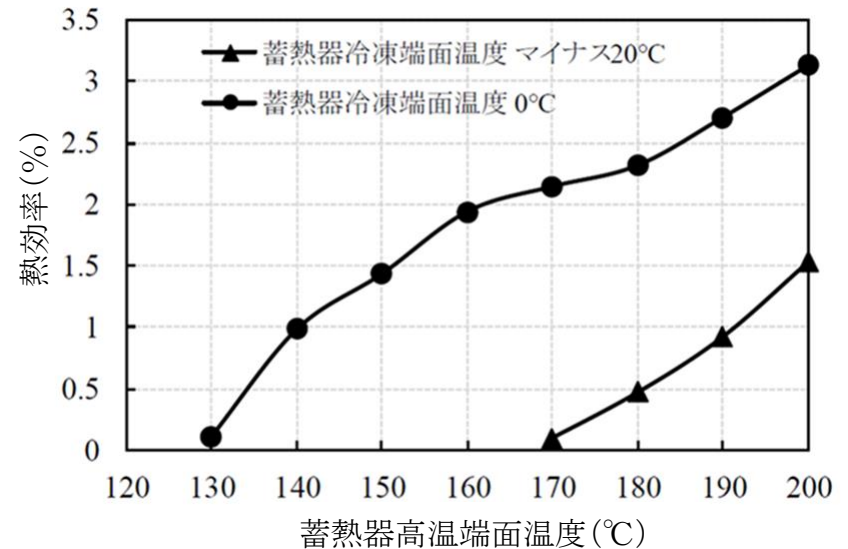
1. 4 性能評価

ヘリウム3MPaを充填し、ヒーターによる加熱試験を実施

① 冷凍出力



② 熱効率



◇ 冷凍温度 -20°C

- ・入熱170°Cで冷凍出力開始
- ・入熱200°Cで101Wの出力

◇ 冷凍温度 0°C

- ・入熱130°Cで冷凍出力開始
- ・入熱200°Cで217Wの出力

2. 太陽熱集熱装置の製作と評価

2. 1 実施内容

- 太陽熱で熱媒を 210°C 以上に加熱し、熱音響冷凍機に入熱する太陽熱集熱装置を製作する

2. 2 進捗と成果

- 熱音響冷凍機の代替としてラジエータを装着した装置を製作
- 熱媒加熱温度 210°C 以上を実証

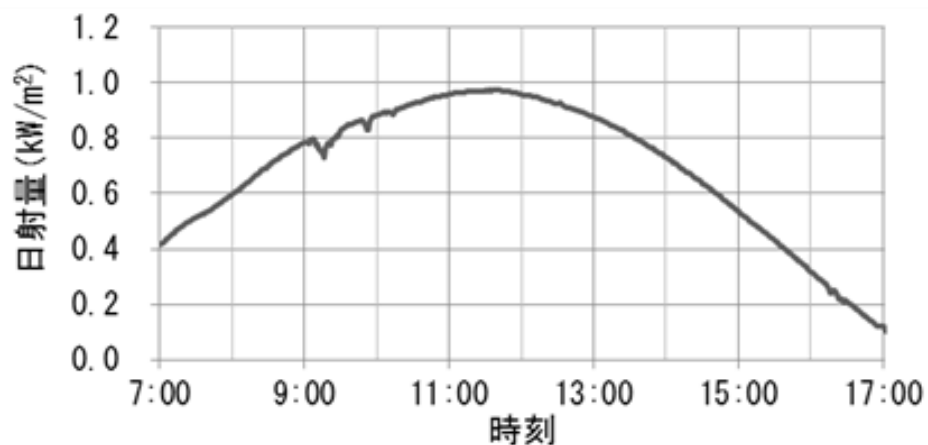
2. 3 実証試験装置の外観



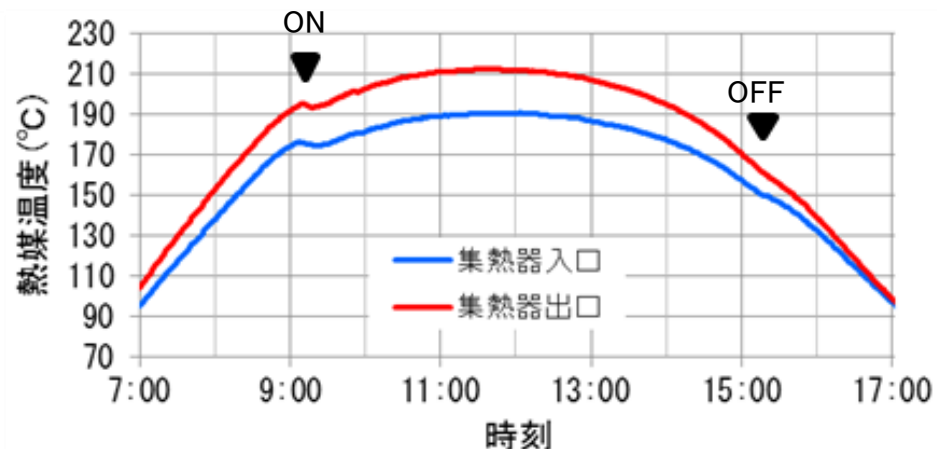
集熱面積約 3m^2 の集熱器4台を接続

2. 4 測定項目

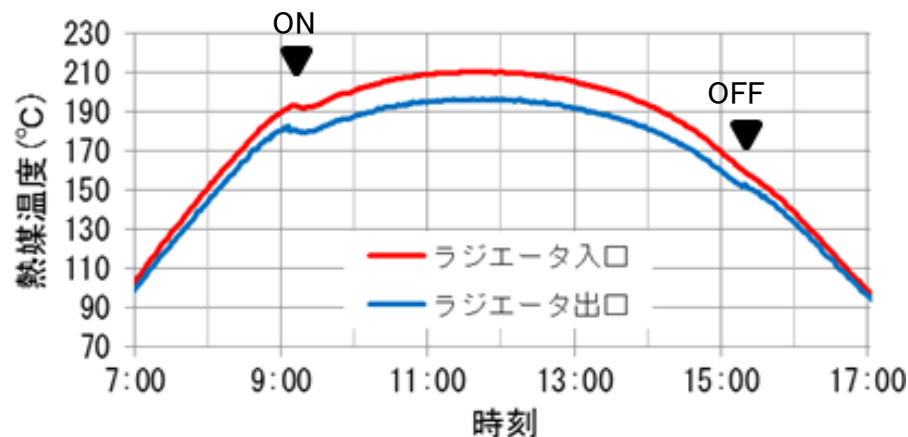
平成30年7月29日の測定例(熱媒流量5L/min)



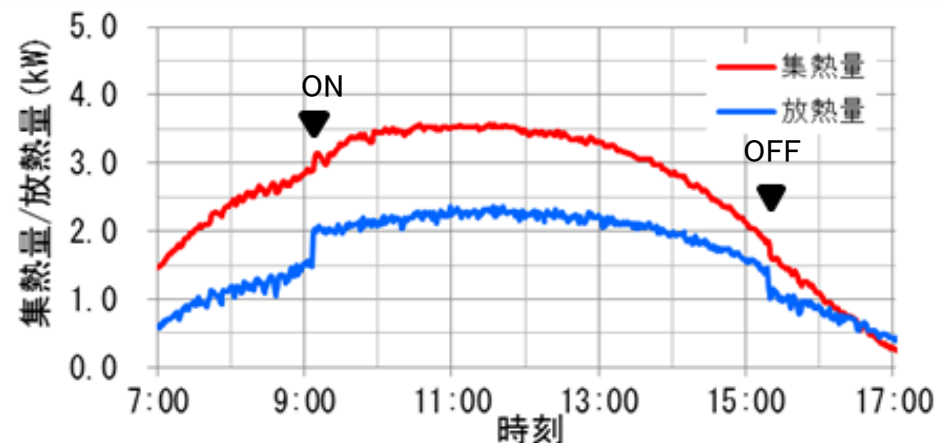
日射量



集熱器熱媒温度



ラジエータ熱媒温度

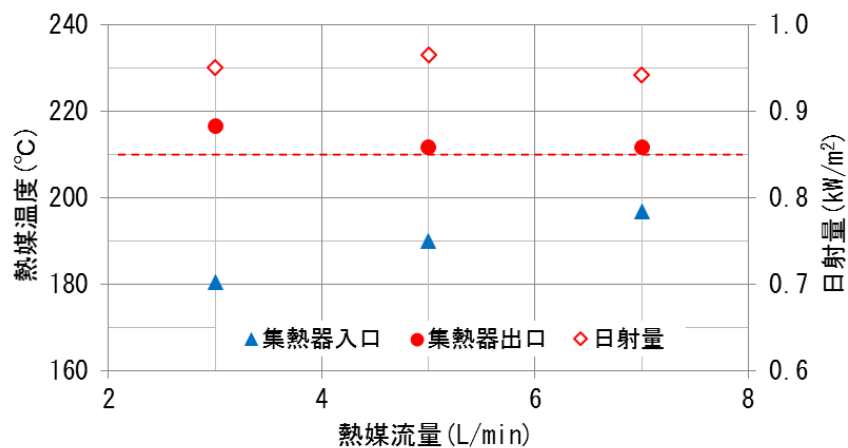


集熱量と放熱量

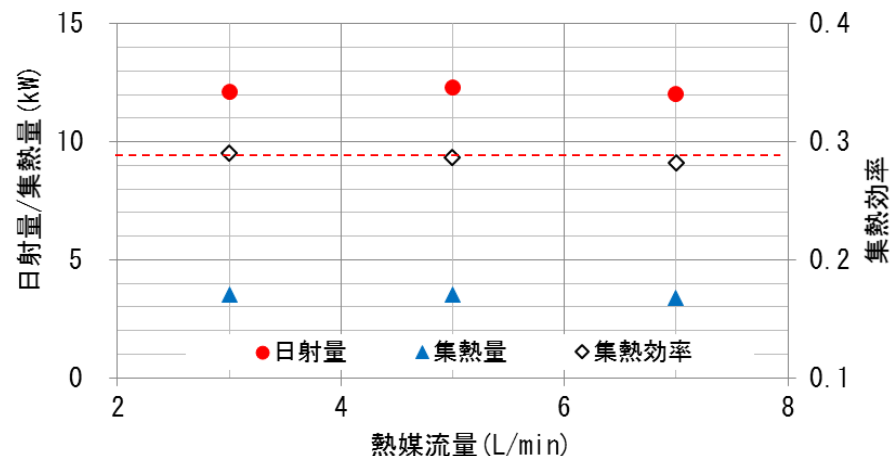
* 図中▼はラジエータ冷却ファンのON/OFFを示す

2. 5 評価結果

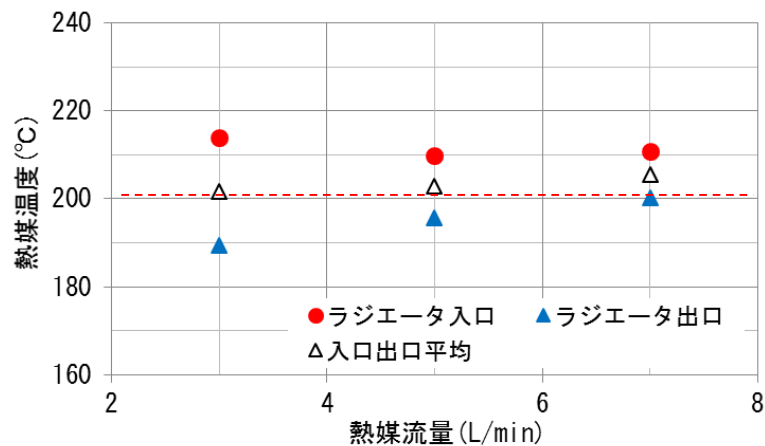
- ・集熱器による熱媒加熱温度 : 210℃以上
- ・ラジエータ部熱媒平均温度 : 198℃以上
- ・集熱器の集熱効率 : 0.29
- ・集熱に対する放熱割合 : 0.67



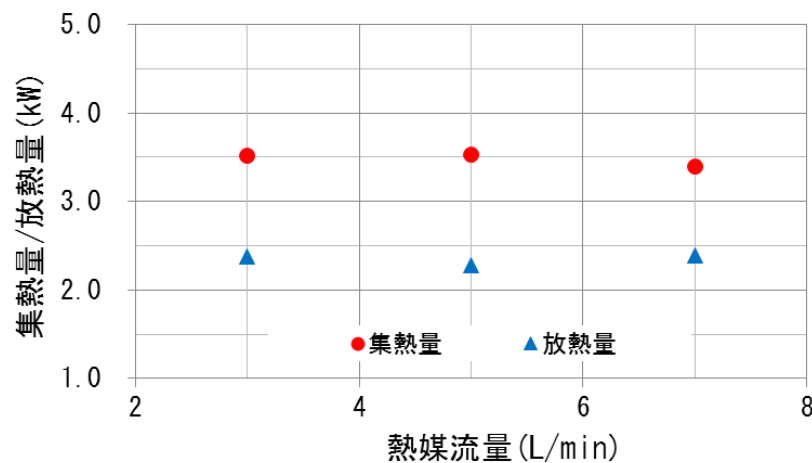
集熱器熱媒温度



集熱効率



ラジエータ熱媒温度



集熱量と放熱量

3. 太陽熱による熱音響冷凍機駆動シミュレーション

3. 1 目的

- ◆ 実験結果をもとに、製作した装置を組み合わせた場合の太陽熱による熱音響冷凍機の冷凍出力をシミュレーションする
- ◆ 平成30年7月29日(熱媒流量5L/min)の測定結果をもとに計算する
 - ・ラジエータ平均温度→熱音響冷凍機への入熱温度
 - ・ラジエータ放熱量 →熱音響冷凍機への入熱量

3. 2 シミュレーションの結果

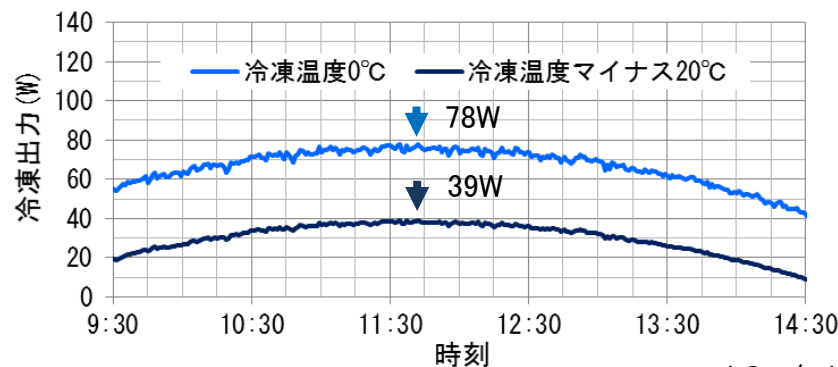
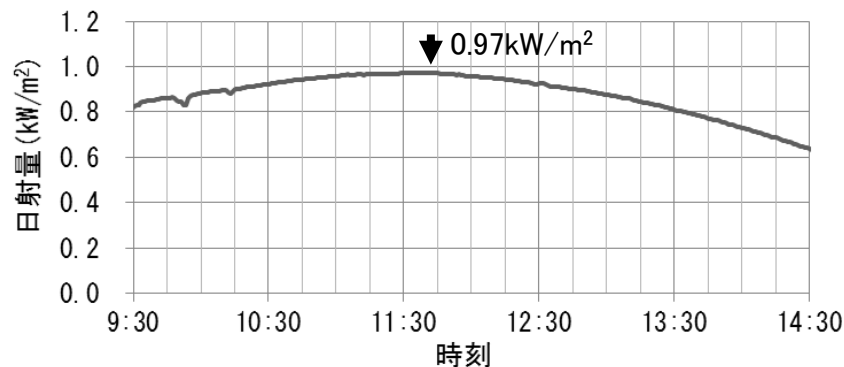
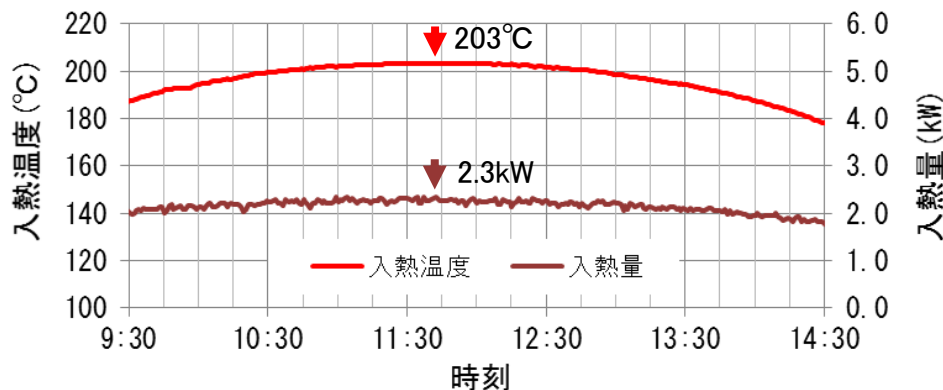
- ◆ 日射量 0.97kW/m^2 において

①熱音響冷凍機への入熱

→ 203°C / 2.3kW

②冷凍温度 0°C → 冷凍出力78W

③冷凍温度 -20°C → 冷凍出力39W



4. システムのトータルシミュレーション

4. 1 目的

- ◆ 太陽熱による熱音響冷凍機による保冷、能動断熱技術および雪室壁の改良による雪室容積(※)の低減
- ◆ 上記システムの熱流体シミュレーション
- ◆ 雪室導入コストの削減

※ 「雪冷熱エネルギー住宅建築のためのガイドライン(新潟県:平成21年)」に基づく雪室容積を基準とする

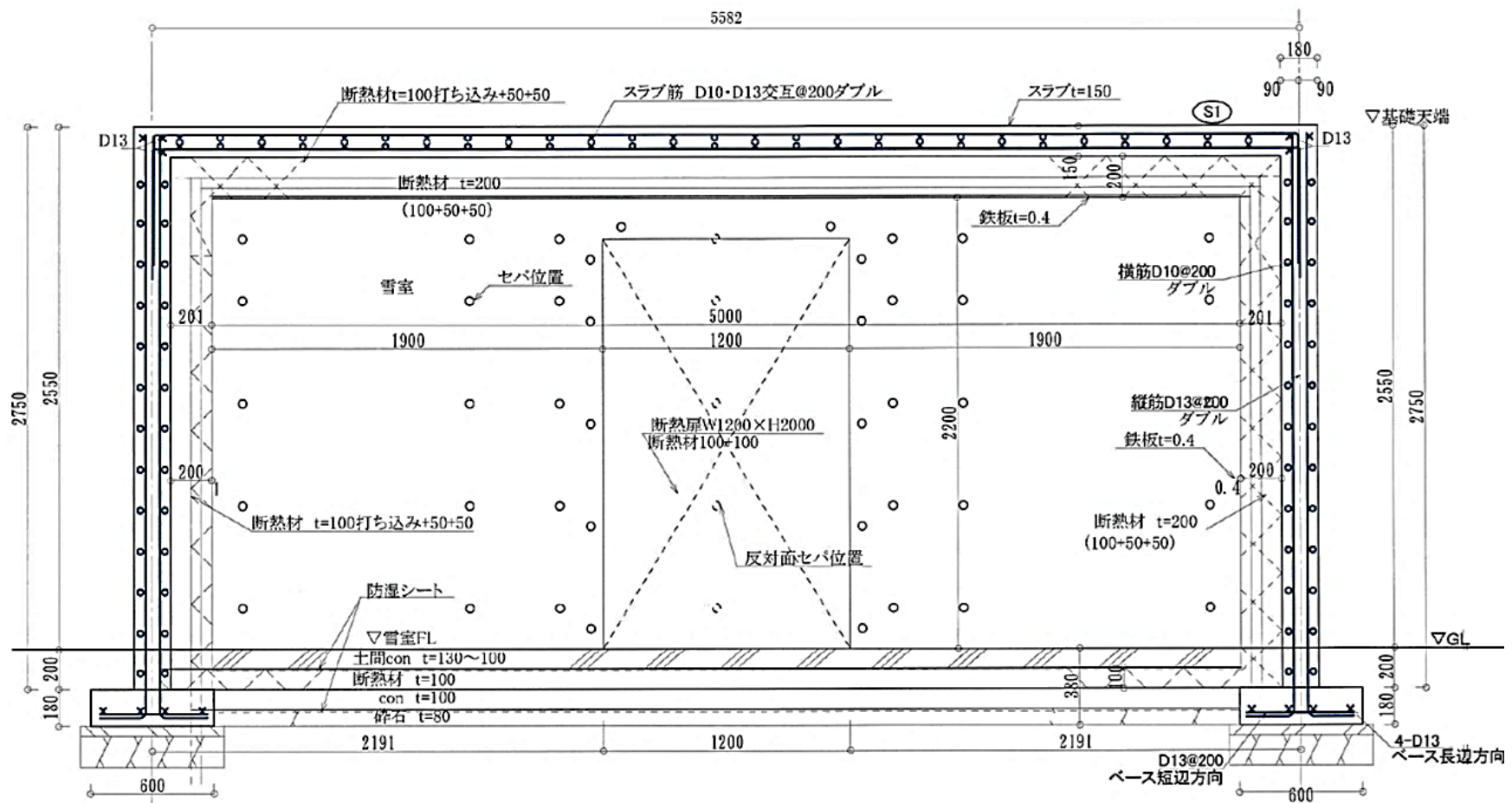
4. 2 進捗と成果

- ◆ 従来から46%減容した雪室を設計
- ◆ 上記雪室に1kW出力の熱音響冷凍機を設置した場合について、熱流体シミュレーションにより冷房能力を検討

4. 3 小型雪室の設計と熱流体シミュレーション

◆ 従来の雪室(※)に対して46%減容した小型雪室を設計

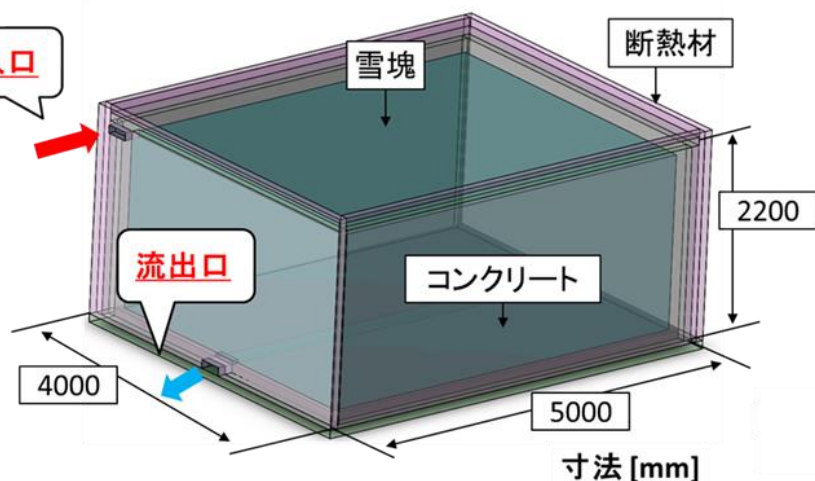
※ 「雪冷熱エネルギー住宅建築のためのガイドライン(新潟県:平成21年)」
に基づく雪室容積



容積44m³ビルトインタイプ

◆ 1kW出力の熱音響冷凍機を設置した小型雪室の貯雪量の推移を解析

解析モデル



項目	特性値
充填率/貯雪量/雪密度	0.9 / 21.78 (t) / 0.55 (t/m ³)
雪塊温度/融解熱	0 (°C) / 335 (kJ/kg)
内側断熱材密度/厚さ	25 (kg/m ³) / 0.10 (m)
内側断熱材熱伝導率/比熱	0.022 (W/m・K) / 1130 (J/(kg・K))
外側断熱材 密度/厚さ	25 (kg/m ³) / 0.10 (m)
外側断熱材 熱伝導率/比熱	0.028 (W/m・K) / 890 (J/(kg・K))
コンクリート 密度/厚さ	2000 (kg/m ³) / 0.10 (m)
コンクリート 熱伝導率/比熱	1.2 (W/m・K) / 880 (J/(kg・K))

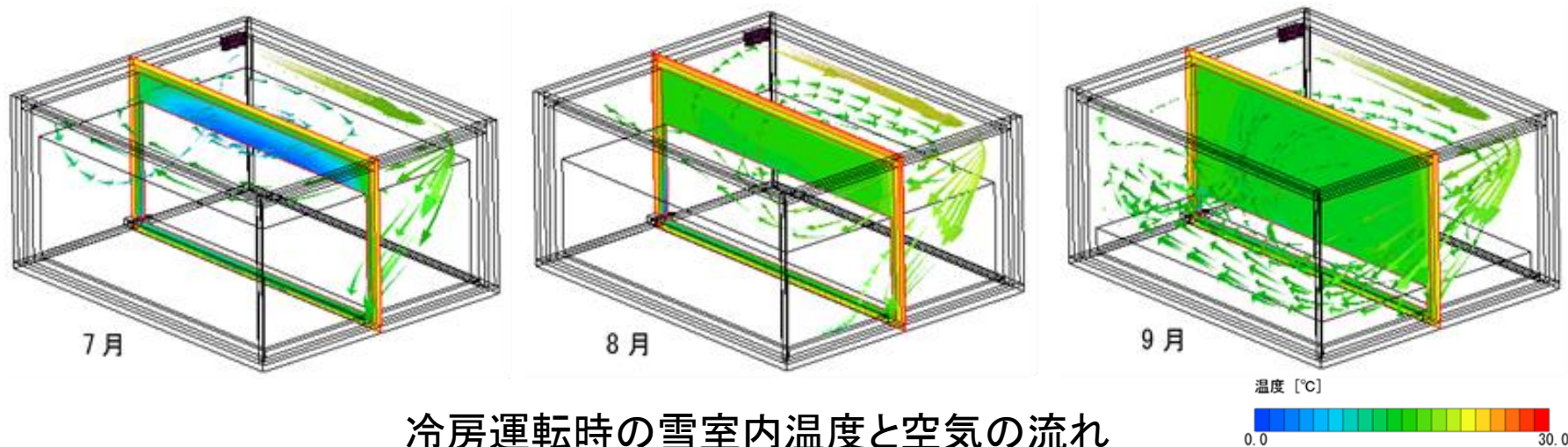
解析条件

月	流量 (m ³ /h)	外気温度 (°C)	流入温度 (°C)	必要冷熱 量 (kWh)	熱音響冷凍 出力 (kWh)
4	—	11.5	—	—	84.9
5	—	16.5	—	—	101.1
6	—	20.7	—	—	84.3
7	336	24.5	24.5	217	80.6
8	336	26.6	26.6	1086	105.6
9	336	22.5	22.5	35.5	81.4

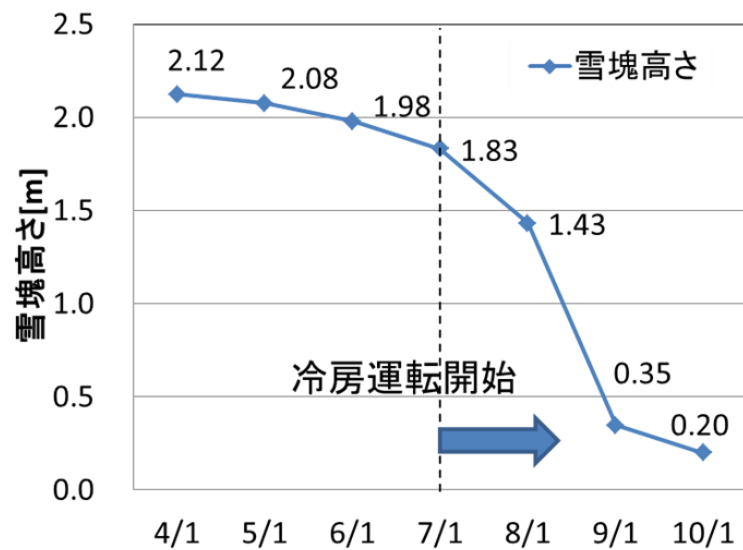
- ・流量 雪室をビルトインした住宅における空気循環冷房の性能(空気調和・衛生工学会論文集, No.163, 2010)に基づく
- ・外気温度 壁面外側の温度。気象庁データ(新潟市)の平均気温
- ・流入温度 住宅の室内温度が雪室内に流入する温度。
ここでは外気温度と同じとする。
- ・必要冷熱量 ガイドラインに基づく冷房に必要な冷熱量
“床面積×稼働時間×設計負荷”
- ・熱音響冷凍出力 “冷凍出力(1kW)×月当たりの有効日照時間(h)”
有効日照時間とは熱音響冷凍機が駆動する日射量が得られる時間。実験により日照時間の1/2とした。

◆ 1kW出力の熱音響冷凍機を設置した小型雪室の貯雪量の推移を解析

解析結果



冷房運転時の雪室内温度と空気の流れ



雪室内の雪塊高さの推移

冷房需要の終わる10月に雪が残る



夏季の冷房需要に対応可能

5. まとめ

- ◆ 熱音響冷凍機を製作し、 -20°C 100Wの冷凍出力を実証した。
- ◆ 太陽熱集熱装置を製作し、 210°C 以上の熱媒加熱を実証した。
- ◆ 太陽熱集熱装置と熱音響冷凍機の実験結果により、太陽熱による熱音響冷凍機駆動の可能性を示した。
- ◆ 熱音響冷凍機の設置した小型雪室が夏季の冷房需要に対応することを熱流体シミュレーションで示した。