

● (一財) 省エネルギーセンター最優秀賞 ● 改修設備部門

サーマルストレージ型省エネルギー冷凍保管庫

設備施工者：大青工業(株)

設備所有者：大青工業(株)

設備の概要

名 称 大青工業株式会社 本社 B倉庫

所在地 青森市間屋町1-9-30

概 要 冷凍保管庫 9.62m² 庫内温度 -35℃～-20℃

＜技術開発の目的と経過＞

目的：冷凍保管に不可欠な電力を再生可能エネルギーで自立的に賄い、余剰電力を熱として有効活用することで、買電ゼロを目指した省エネルギーかつ経済性の高い冷凍保管システムの実現

経過：令和3年（検討、設計等）

令和4年（システム開発、試作）

令和5年（試運転及び稼働）

＜システムの概要＞

本装置は、太陽光パネルによる再生可能エネルギー供給を主軸とし、リチウムイオンバッテリーを蓄電池、相変化材料であるPCM（Phase Change Material）を蓄熱材として組み合わせた、マルチエネルギーソースを有効利用する冷凍保管庫である。

昼間は太陽光発電によって得られた電力を用い、バッテリーへの蓄電とPCMへの蓄熱を同時に行うとともに、発電状況に応じてエネルギーの充放電を最適に制御することで、庫内温度の安定性と高い省エネルギー性を両立している。

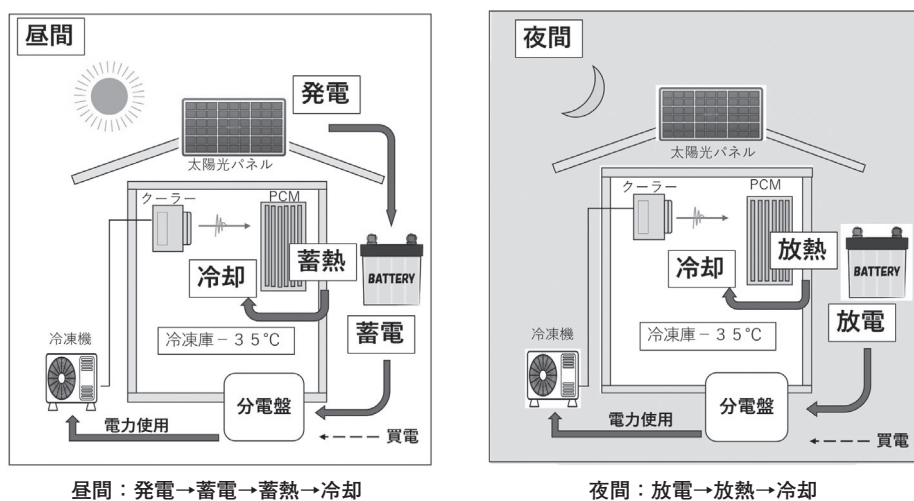


図1 システム運転サイクル

夜間においては、昼間に蓄えた電気および熱エネルギーを放出することで冷凍庫機能を維持し、系統からの買電を最小限に抑える運用を実現した。

特に、昼間に発生する余剰電力については、電気エネルギーを熱エネルギーに変換してPCMへ蓄熱する方式を採用することで、蓄電池容量を必要最小限に抑え設備のインシャルコスト低減を図っている。本構成により、再生可能エネルギーの自家消費率向上と経済性を両立した冷凍保管システムを実現した。

<着想>

オフグリッド太陽光発電では、発電量が使用量を上回った場合、余剰電力を外部へ送ることができないため、発電抑制すなわち発電停止を行わざるを得ないという課題がある。この余剰電力をすべて電気エネルギーとして蓄電池により蓄電しようとする、蓄電池の導入コストが非常に高額になるという問題が生じる。

そこで、余剰電力の一部または全部を電気エネルギーから熱エネルギーへ変換し、蓄熱として貯蔵する方式を採用することで、同じエネルギー量を電気として蓄電する場合と比較して、おおよそ3分の1程度のコストで設備を設置することが可能となる。蓄電と蓄熱を組み合わせることにより、発電抑制を最小限に抑えつつ、コスト面・運用面の両面で合理的なエネルギー利用を実現できる点が本方式の大きな特徴である。

<効果（省エネルギー）>

8月の既存冷凍庫の稼働24時間の総電力量を示したグラフを図2に、更新冷凍庫の総電力量を示したグラフを図3に示す。

既存の冷凍庫では、図2に示すとおり、庫内温度を維持するため冷凍機器が昼夜を問わず稼働しており、実測では1日あたり21.4kWhの買電電力量が発生していた。

一方、更新冷凍庫では、図3に示すように、昼間は太陽光発電と蓄電池を活用して冷却運転を行うことで、系統からの買電を不要としている。さらに夜間においては、昼間に蓄えたPCM蓄熱層からの放熱により庫内温度を維持できるため、冷凍機器は稼働せず、夜間の電力消費も発生しない運用を実現した。

その結果、太陽光発電が可能な天候条件下では、冷凍庫運用における買電電力量を21.4kWhから0kWhへ削減し、電気料金ゼロの冷凍庫運用を実証した。

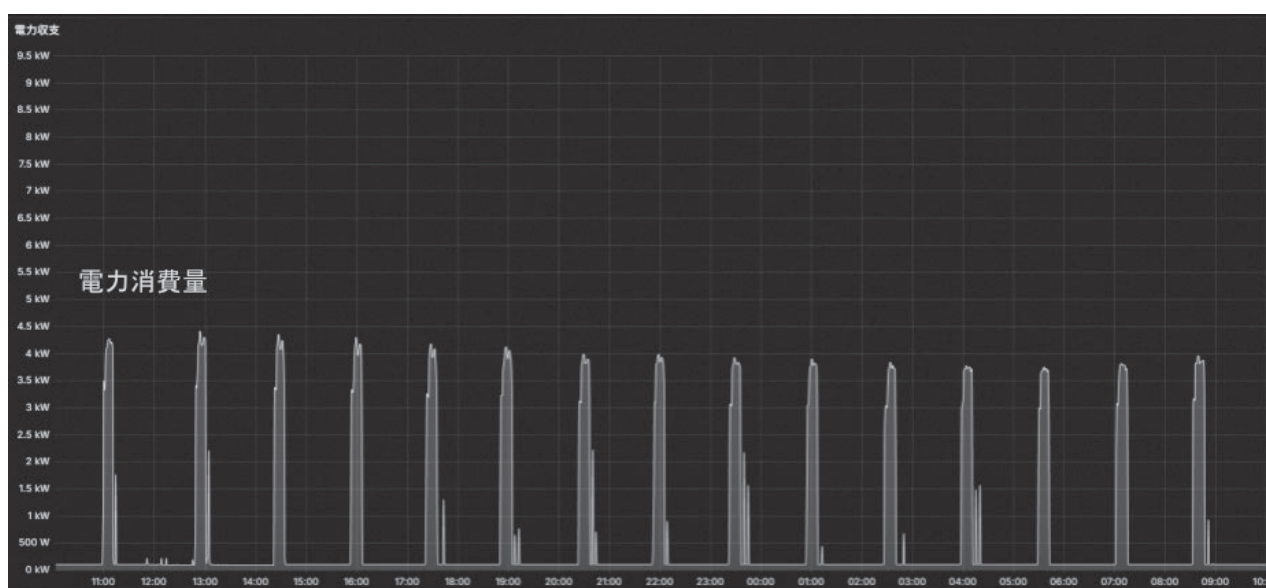


図2 既存冷凍庫総電力量

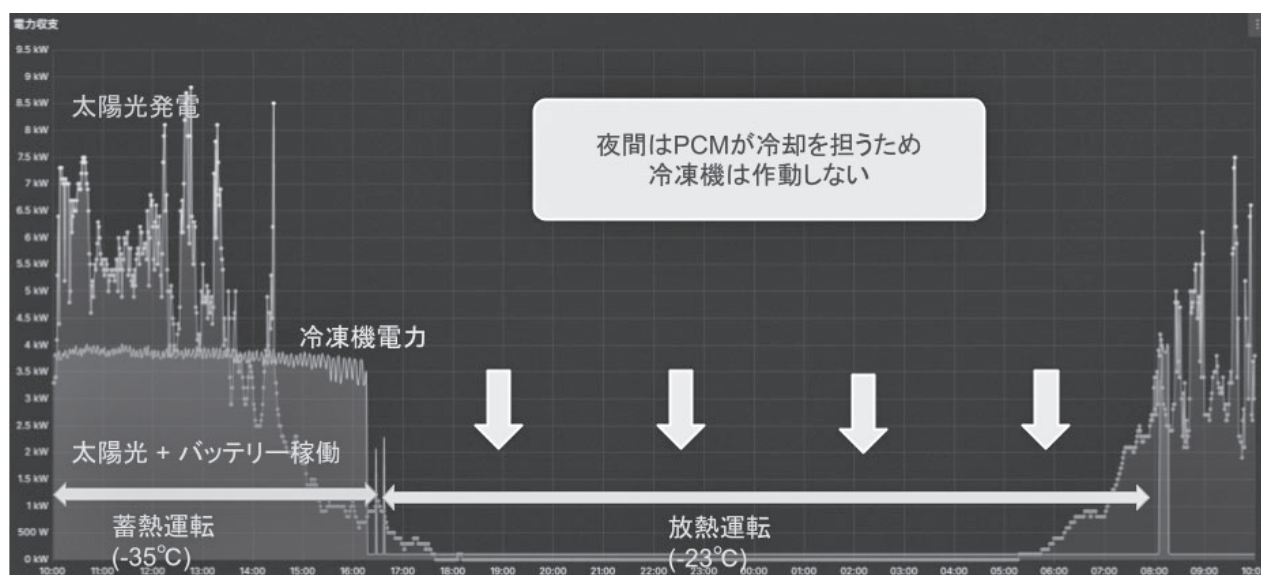


図3 更新冷凍庫総電力量（サーマルシフト冷凍庫）

冷凍庫電気料金算定

1日当たりの消費電力 (kwh)	21.4
年間消費電力 (kwh)	7,811
1ヶ月当たりの消費電力 (kwh)	651
1ヶ月当たりの使用料金 (円)	24,250
基本料金 (50A) (円)	1,848
1ヶ月当たりの電気料金 (円)	26,098

※1日当たりの消費電力実測値より算定

実測値

冷凍庫更新前後の比較

	既存設備	更新設備
年間電力消費量 (kwh)	7,812	2,604
削減電力量 (kwh) (削減率)	—	5,208 (66.7%)
年間電気料金 (円)	313,176	104,392
削減額 (円) (削減率)	—	208,784 (66.7%)
CO ₂ 排出量 (トン CO ₂ /年)	3.13	1.04
CO ₂ 削減量 (トン CO ₂ /年) (削減率)	—	2.09 (33%)

※1 既存：12ヶ月買電 更新：冬期積雪時期4ヶ月買電

※2 東北電力 CO₂ 排出係数 2024速報値 (kg-CO₂/kwh) 0.401

本実測値を基に年間の消費電力量および年間電気料金を算定した。なお、太陽光発電については、積雪の影響により発電が見込めない期間を考慮し、積雪時期の4か月間は系統からの買電により賄う前提で算定を行っている。

さらに本技術では、PCM蓄熱層からの放熱のみで冷凍庫機能を維持できることを検証した。図4に示すとおり、冷凍機を稼働させることなくPCM蓄熱層の放熱のみで庫内温度を適正範囲（-20.0℃以下）に保ち、72時間にわたり冷凍庫としての機能を維持できることを実証している。

この結果は、昼間に十分な発電が行われた後であれば、夜間でももとより、雨天や曇天が続き太陽光発電が行われない場合においても、系統からの買電を必要としない運用が可能であることを示すものである。すなわち本システムは、太陽光発電・蓄電・PCM蓄熱を組み合わせることで、天候変動による発電量の不確実性を吸収し、冷凍庫運用における電力の自家消費性を高めている。この72時間維持の実証は、本技術が好条件下に限定されたものではなく、実運用においても安定した省エネルギー効果を発揮することを裏付けるものである。

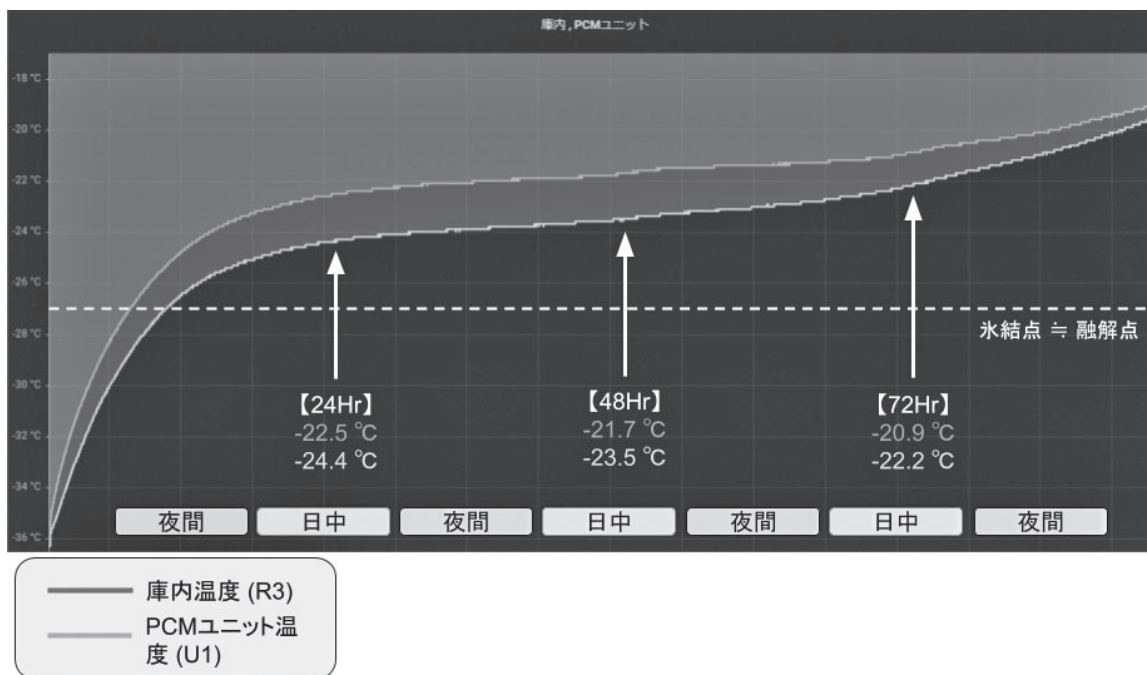


図 4 PCM融解による庫内温度変化

<投資回収（省マネー）>

前項の試算結果より、本システム導入による年間の電気料金削減額は208,784円となる。

一方、本システムのイニシャルコストは2,800,000円であり、これらの数値を基に算定した投資回収年数は $2,800,000/208,784=13.4$ より約13.4年となる。

本試算は、積雪地域における発電制約や天候変動を考慮したものであり、実運用においてはこれを上回る経済効果が得られる可能性もある。

投資回収算定

太陽光パネル (円)	400,000
PCM (円)	800,000
架台 (円)	800,000
バッテリー (円)	800,000
合計 (円)	2,800,000
投資回収 (年)	13.4

<他の建物への応用性・便利性>

冷凍冷蔵庫をはじめとする冷熱関連施設は、24時間稼働し大量の電力を消費する産業である。また近年、太陽光発電の普及により、昼間の発電量が使用量を上回る「発電抑制」が頻発し、再生可能エネルギーが有効活用されない課題が顕在化している。

本技術は、太陽光発電による余剰電力を蓄電だけに頼らず、電気エネルギーを熱エネルギーへ変換して蓄熱することで、冷熱施設で確実に使用される熱需要へと結び付けるシステムである。これにより、発電抑制を回避しつつ自家消費率を高め、電力ピークの削減と省エネルギーを同時に実現した。

蓄熱は同等容量の蓄電池と比べて設備コストが低く、劣化が少ないため、経済性と持続性に優れる。また本システムは既存の冷凍冷蔵設備に後付け可能であり、大規模な更新を必要とせず導入できる点で、同業他社や既存施設への横展開性が高い。さらに、蓄熱による温度維持機能は、停電や災害時の品質保持にも寄与し、地域の食品・水産物流通を支えるBCP（事業継続計画）としての効果も有する。

<仕様>

機器仕様表

記号	名称	数量	仕様	動力
P1	断熱パネル	1	寸法 3700W×2600D×3100CH×125t 表面材 内面ステンレス、外面塩ビ鋼板 外部片引き扉 125t×1 基（枠ヒーター付き） 庫内片引き扉 100t×1 基（枠ヒーター付き）	
R1	冷凍機	1	一体空冷 INV スクロール式 能力：3.1kw（ET-45℃ /AT + 32℃/78Hz） 使用冷媒：R410A 据付架台共	3φ 200V 3.0kw（圧縮機） 0.074kw（ファン）
UC1	冷却器	1	天吊り型ユニットクーラー 冷却能力：3.15kw（TD 7℃）ファンφ 320×2 風量：54m ³ /min ブラストファン φ 320×4	3φ 200V 0.06kw×2（ファン） 3.6kw（霜取ヒーター） 0.06kw×4（ファン）
AK1	エアーカーテン	1	産業用換気送風機 風量：2300m ³ /min	3φ 200V 0.23kw（ファン）
CP1	制御盤	1	金属製自立屋内型 1000W×350D×1950H	
PV	太陽光パネル	30	PERC 単結晶モジュール 公称最大出力 325W 公称開放電圧 41.1V 使用温度－45℃～＋85℃	発電量 3φ 200V 9.75kw
PCS	パワーコンディショナー	1	ハイブリッド型 定格出力 10.0kw	
BT	蓄電池	1	リン酸リチウム電池 蓄電池定格容量 20.48kwh 最大出力 10.0kw	
PCM1	天吊り蓄冷材ユニット	350	低温用蓄冷材 氷結点－27℃ 凍結潜熱 180kJ/kg 寸法：180×280	
PCN2	壁付け蓄冷材ユニット	156	低温用蓄冷材 氷結点－27℃ 凍結潜熱 180kJ/kg 寸法：180×280	

<環境保全、便利性>

本システムは、太陽光発電によって生み出される再生可能エネルギーを、余剰時であっても無駄なく活用することで、環境負荷の低減に大きく貢献する技術である。従来、発電量が需要を上回った場合には発電抑制が行われ、再生可能エネルギーが有効利用されないという課題があったが、電気エネルギーを熱エネルギーへ変換し、蓄熱することでこの課題を解決した。

こうした施設特性を活かし、余剰電力を確実に消費される熱用途へ振り向けることで、化石燃料や系統電力への依存を低減し、二酸化炭素排出量の削減を実現している。

<工夫した点>

本システムでは、機械学習を用いて翌日の天候予測データから太陽光発電量を事前に予測し、その結果に基づいて蓄電および蓄熱の最適な運用計画を立案する点に工夫がある。発電量をあらかじめ見込むことで、必要以上の蓄電や蓄熱を行わず、過不足のないエネルギー配分を可能とした。これにより、昼間の発電量が不足する時間帯における系統からの買電を抑制するとともに、余剰が見込まれる場合には電気エネルギーを

優先的に熱エネルギーへ変換して蓄えることで、再生可能エネルギーの自家消費率を最大化している。

また、蓄電池に対しては不要な充放電を避ける制御を行うことで充放電回数の削減を実現し、蓄電池の劣化低減および長寿命化にも寄与している。これにより設備更新頻度の低減が可能になり、蓄電池に使用されるリチウム等の希少金属資源や関連部材の使用量を抑制するとともに、更新工事に伴う資材消費やエネルギー使用を削減するなど、副次的な環境負荷低減効果も期待できる。

＜市場性、販売状況等＞

【新事業展開等促進補助事業への採択】

本開発の成果を踏まえ、太陽光発電エネルギーを優先的にPCMへ蓄熱するユニットの後付け展開を目的とした新たな事業構想を立案し、「令和7年度 青森県新事業展開等促進補助事業」へ申請を行い、採択された。このユニットは、既存の冷凍・冷蔵設備内に設置するもので、後付け可能な構成となっており、商用電源や系統接続を必要とせず、オフグリッド環境でも独立稼働できる点が大きな特長である。これにより、農産用・水産用など多様な業種で、導入工事費や系統接続申請の負担を抑えた短期間での導入が可能となる。

本補助事業では、実際の現場へのフィールド設置と長期運用試験を通じ、製品としての完成度をさらに高めることを目的としている。今後の実績に基づき、標準仕様化と販路開拓を並行して進める予定であり、既存の研究成果と実証データを活かした地域展開が視野に入っている。

＜講評＞

近年、太陽光発電の普及に伴い昼間の余剰電力の活用方法に関する議論が活発化している。本件は、オフグリッドシステムにおいて、太陽光発電による電力を蓄電池と潜熱蓄熱材を用いて有効活用する実践的な手法を示した事例である。冷凍保管庫の冷却システムを太陽光発電、冷凍機、蓄電池、蓄熱材の最適な組み合わせで構築し、再生可能エネルギーと蓄熱を効果的に導入して高い省エネ効果を挙げた点が高く評価された。冬季の4か月間は買電を行うとのことだが、今後の継続的なデータ（発電・蓄電・蓄熱量）の蓄積により、再エネ余剰電力問題に対して参考となる貴重な実証データが得られることを期待したい。

＜添付資料＞



冷凍庫外観



太陽光パネル



蓄熱ユニット



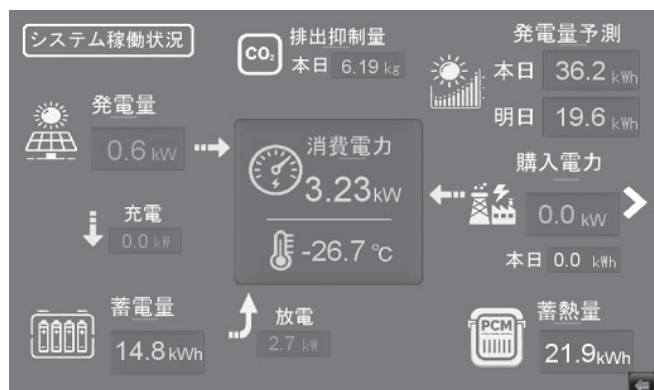
蓄熱ユニット融解時



蓄熱ユニット凍結時

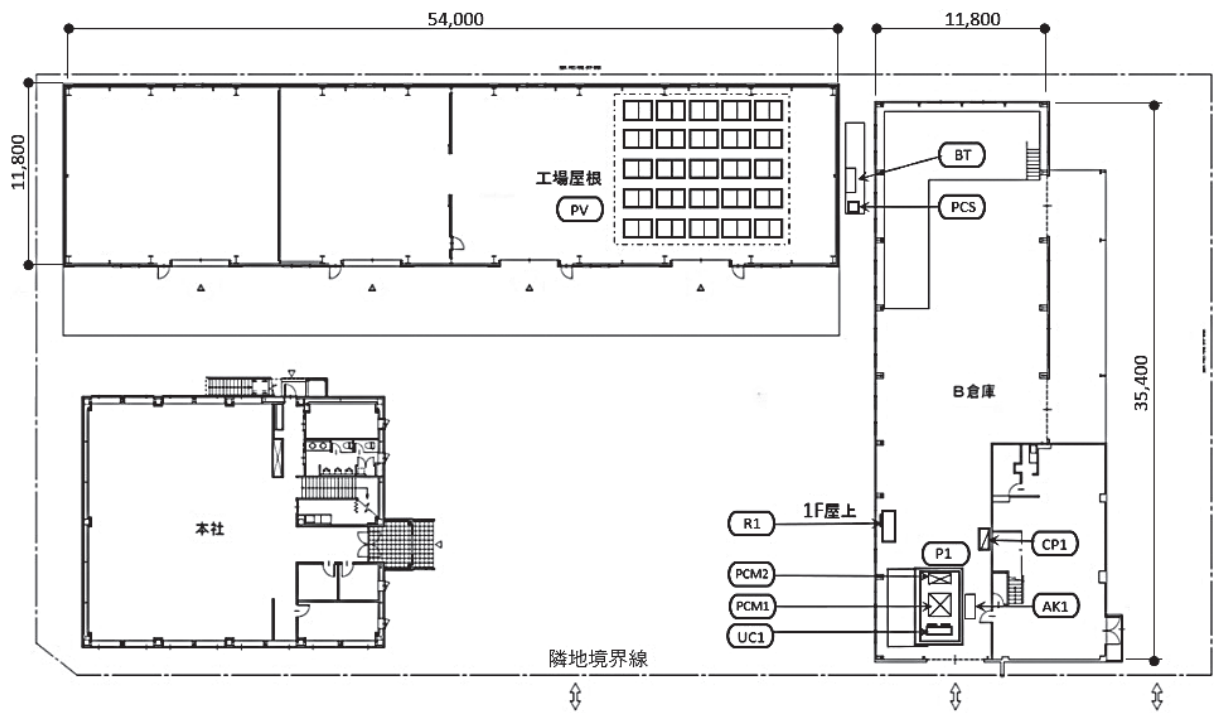


PCM蓄熱材 (Phase Change Material)

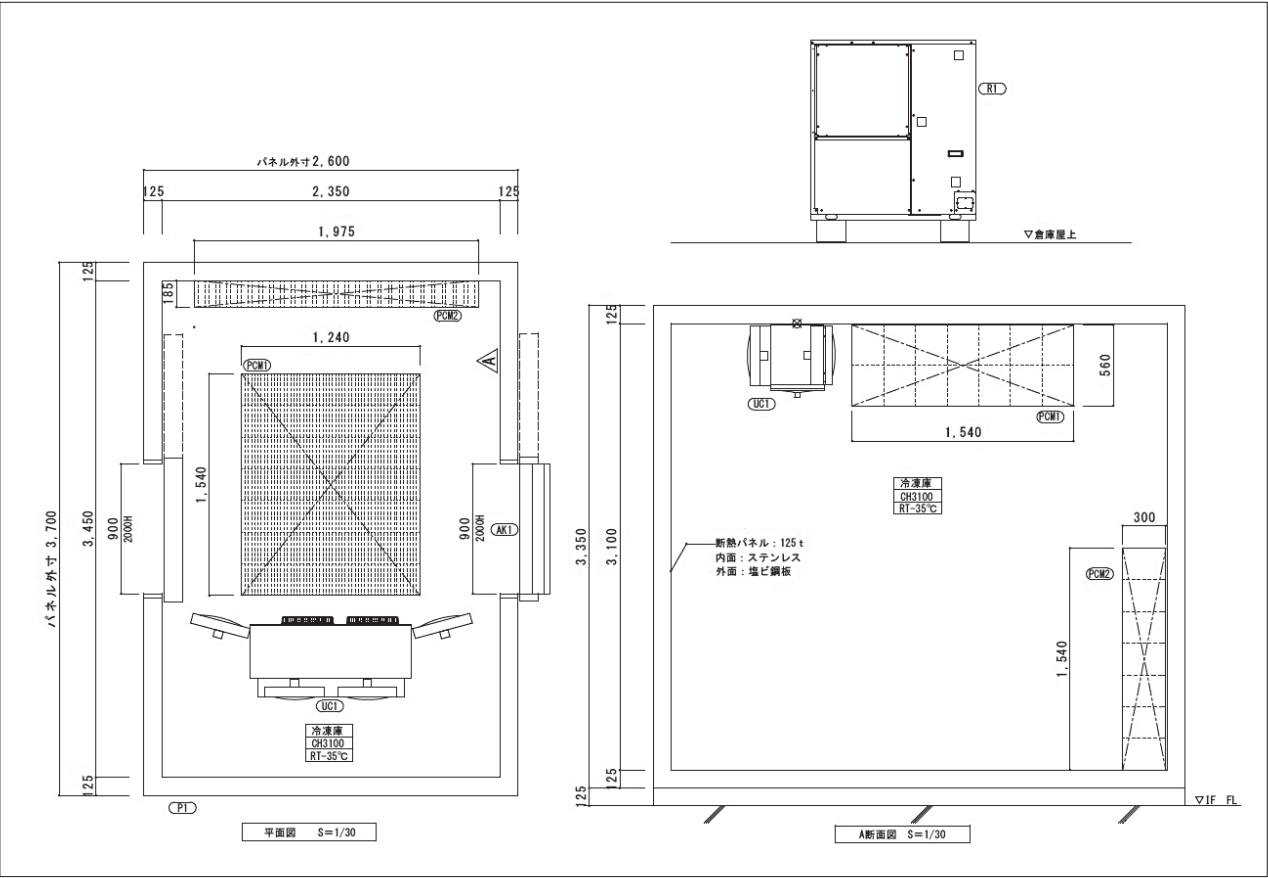


コントロールパネル

<外観・構造図>



機器配置図 NTS



冷凍庫詳細図 NTS