

6. キャンパス内の地中熱・地下水熱利用システム簡易提案・評価

本章では、再生可能エネルギー熱のうち、地中熱・地下水熱を利用した空気調和・暖冷房や給湯システムを簡易提案する。この他、未利用熱（温度差熱）利用として排水処理設備の熱を使ったロードヒーティングシステムを「6.7 体育館脇道路・排水処理熱利用フリーヒーティング融雪システム」に記述する。

今後、本学への再生可能エネルギー熱を利用するシステムの導入にあたり、画一的なシステムを導入するのではなく、多様性を持つことをコンセプトに据える。学生や県民が、多くの再生可能エネルギー熱の使い方や利用の仕方に触れるシステムを設けることが、2040年までに再生可能エネルギー100%を目指している福島県の中で、地元の国立大学が担う重要な役割であるためだ。

これは、本報告書の「9. 福島市としての展開」の中での「9.1 調査事業の成果等についての情報発信」や「9.2 『福島市次世代エネルギーパーク計画』への位置づけ検討」で触れられた内容の具体化でもある。

本事業で調査結果として、報告書の「5. キャンパス内地中熱・地下水熱利用簡易ポテンシャルマップ作成」の記述内容から、福島大学 金谷川キャンパスは地中熱利用に適した場所であることが分かった。金谷川キャンパスには、4ページ目以降に記載する共同溝が張り巡らされている。先人が残した宝物を、上手に利用していくことはたいせつなことである。福島市内から、金谷川に移転をする時期は、大学に冷房システムを導入する社会情勢や常識でなかった。このために、共同溝に高温水の配管をして集中暖房システムを導入した。その後、本学にも冷房システムが導入されるようになり、ある施設は個別空調システムだったり、別の施設の冷房は個別システムで、暖房は高温水による暖房システムだったり、様々な暖冷房システムを導入してきた。電力需要のデマンドを抑えるために、ガスヒートポンプによるビルマルチ空調システムも多く、多くの施設で利用されるようになった。

ガスヒートポンプによる空調システムを導入していても、「3. キャンパスの電力需要特性と評価」の通り、季節間、昼夜の時間帯間の電力需要に大きな格差が生じている。とくに、昼夜の時間帯間の電力需要の隔たりは大きい。業務用の電力料金体系では、電力のデマンドによる基本料金に関わり、料金の中で大きなウェイトを占める。

しかし、2040年までに再生可能エネルギー100%を目指す福島県の地元国立大学としては、電気を熱源とした暖冷房や給湯システムに移行すべきである。

そこで、ポテンシャルの高い地中熱の土壌条件（高い有効熱伝導率）と、主要箇所には張り巡らされた共同溝という長所を活かして、短所の昼夜時間帯間の電力需要格差を解消するシステムの導入を考える必要がある。空気熱源利用ヒートポンプも活用しながら地中熱利用ヒートポンプを主に、季節により設定温度変化をさせて10（15）～35℃程度の2次側熱源水を1,500 m³～3,000 m³の蓄熱槽^{*1}に、夜間に2次側熱源水として蓄える。蓄熱水温から、蓄熱槽水にレジオネラ属菌が発生しやすいので対策を施す。

見かけ上の土壌熱伝導率が高い箇所に地中熱交換器を埋設して、地中熱ヒートポンプの1次側熱源水管を地中熱利用ヒートポンプに接続する。季節や時間帯によっては、冷却塔による冷却も可能である。しかし、地中熱交換器周辺の温度回復の状況により、地中熱利用ヒートポンプを稼働させた方が、年間を通じて運転効率が上がることもあり得る。

2次側熱源水管も1次側熱源水も、季節の共同溝の中を配管する。それぞれに水温は、冷温水管と異なり周辺温度との格差は小さく、採放熱による熱損失は少ない。しかし熱を無駄に放熱させないために、保温は配管の支持金物部も含めて、冷温水管同等の仕様で施す。

2次側熱源水管は、設置位置によって、開放回路（図-6.0.2a）にするか、密閉回路（図-6.0.2b）にするかを選択する必要がある。蓄熱槽の水面より高い位置に2次側熱源水がある場合に、開放回路を選択しようとするれば落水防止弁を蓄熱槽内か、近辺に設ける必要がある。保守管理のし易さやレジオネラ症対策の観点では、2次側熱源水管は密閉回路が良い。また、循環ポンプをインバータ制御する場合、ポンプの吐出側圧力を検知して制御を行う場合は、落水防止弁との関係もあり不全が発生することもあり得る。なお、密閉回路配管システムを選択した場合、2次側熱源水管のうち蓄熱槽と熱交換器の循環配管のインバータ制御は、往還管の温度差による制御が効果的と考えられる。

開放回路で蓄熱槽水面より高い位置に配管がある場合は、水面から配管最頂部までの水頭分の揚程を循環ポンプに持たせる必要が生じる。開放回路は、この揚程分が循環ポンプの軸動力に掛かるのでエネルギーを費やす。一方、密閉回路は、ポンプが1台増えるのと、熱交換器の摩擦損失が生じることからエネルギー消費量が増える。開放回路と密閉回路のいずれかが省エネルギーかは、調査をして試算により選択する。管路が長く、保有水量が大きいため、開放回路と密閉回路の判断は重要である。

管路が長いことから、ポンプの搬送動力が掛かる。搬送動力を低減するために、1次側・2次側共、末端に二方弁を取り付けて、必要流量に応じてポンプをインバータ制御する。理論上、インバータはポンプの回転数は水量と比例、軸動力は3乗で比例する。ポンプのインバータ制御が、一つ目の搬送動力削減のカギになる。二つ目として、配管の摩擦損失を低減することができる新日本空調(株)が開発したDR剤(配管摩擦抵抗低減剤)を注入する。1次側熱源水は、氷点下になる可能性もあるが、現時点ではDR剤に不凍液を混合することはできないために検討を要する。

三つ目として、熱源水配管の管径の選定の際、動水勾配を小さくする。関係選定の目標値の例として、200~250Pa/m(≒20~25mmAq/m)を動水勾配の上限値とすることを考慮する。

この他、搬送動力を削減するためには、配管内部にサビを作らないことがたいせつである。経年劣化による配管内面の粗度が上がることで、チェジー係数が大きくなり摩擦損失が上昇する。腐食予防の観点と、エアによる比熱の低下等を防ぐために、KHKシルマー(高性能気水分離器・図-6.0.1)を設置する。また、前述した2次側熱源水管の開放回路と密閉回路を比較した場合、圧倒的に密閉回路が腐食防止に有利である。さらに、管路の長い配管内の水質保全でも、密閉回路が優れている。

施工の容易さや耐久性のことから、ステンレス鋼管の薄肉管(SU管)の加工管(プレハブ管)が適している。ノーラエンジニアリング(株)の関連会社・東北ノーラ(株)のステンレス鋼管の加工管(プレハブ管)工場が、東北自動車道・二本松インターチェンジに程近い二本松市永田六丁目にあり迅速な供給が期待できる。

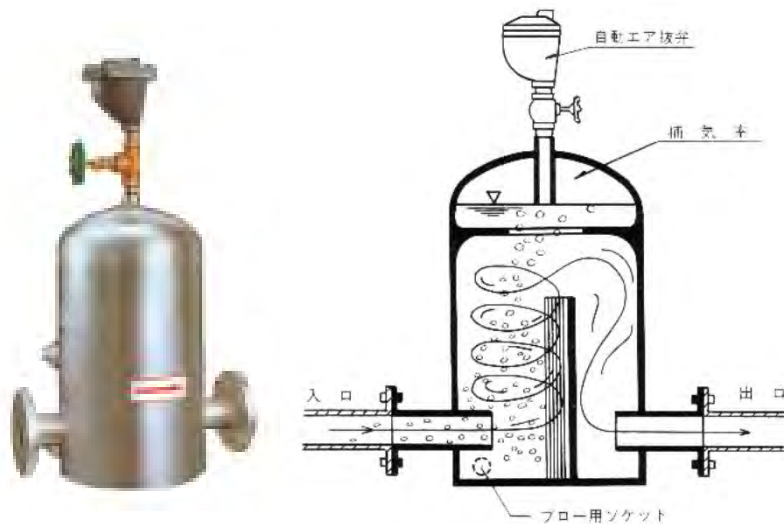


図-6.0.1 KHKシルマー(高性能気水分離器)の外観と脱気のマカニズム

しかし、2014年に高温水配管の一部を、圧力配管用炭素鋼鋼管(黒・Sch40)で更新していることもあり、そのまま利用することも含めて検討を要する。

学生寮の給湯システムのように、離れた場所にある施設は、近くにヒートポンプを設置して、ローカル利用する。これにより、ポンプの搬送動力が軽減される。学生寮の給湯システムには、昼夜の時間帯間の電気需要格差解消のために、大きめな容量の密閉型貯湯槽を設けて、バッファ効果を持たせる必要がある。

熱利用側は、つぎの通りとする。2次側熱源水を共同溝の中を張り巡らせて、各施設では、水冷式ヒートポンプで暖冷房を行う。ビルマルチ空調機を導入している施設では、屋外ユニットを変更する。ビルマルチ空調機の屋内ユニットと屋外ユニット間の冷媒配管が、そのまま利用できるリニューアル用のビルマルチ空調機も商品化されているので検討したい。また、日本ピーマック(株)製の通称・PMACに代表される小型水冷式ヒートポンプユニットの利用もある。

エアハンドリングユニット型空調機を用いている施設では、水冷式ヒートポンプチリングユニットとエアハンドリングユニット型空調機の組合せか、水冷式ヒートポンプパッケージ型空調機等に更新する。

水冷式ビルマルチ空調機や水冷式ヒートポンプパッケージ型空調機、小型水冷式ヒートポンプユニット等は、形式や制御によって、例えば年間冷房システムの排熱を、他のシステムの暖房熱源に利用可能である。中間季や冬季でも、例えば、天候によって午前中、東側の部屋は冷房運転をして西側の部屋は暖房運転をするようなことがある。これが、南側の部屋と北側の部屋の場合など、同様の状況が生じる。2次側熱源水を学内に配管することにより、熱源ネットワークが構築され、熱の有効利用をはかることができる。現在の高温水配管を、2次側熱源水配管に配管替えることから、暖房季以外の季節に施工可能である。

共同溝から近い施設に、現在の空調・暖冷房システムに応じて、上記のシステムを導入する。システ

ムの概略系統図は、**図-6.0.2**となる。前述した通り、全ての施設を本システムのような画一的なものにせず、多様性のあるシステムを導入することが、今後の福島県での再生可能エネルギー熱利用の普及・促進にはたいせつな役割になる。

※1 蓄熱槽の参考容量

東北電力㈱本店ビル 延べ床面積：64,516 m² 温度成層型水蓄熱槽：2,000 m³

この他に、氷蓄熱槽（9,000USRT・h）と躯体蓄熱システムを導入

引用・参考文献

- 1) 赤井仁志：蓄熱槽，レジオネラ症防止指針・第4版，日本建築衛生管理教育センター(2017・7)，pp.120～121

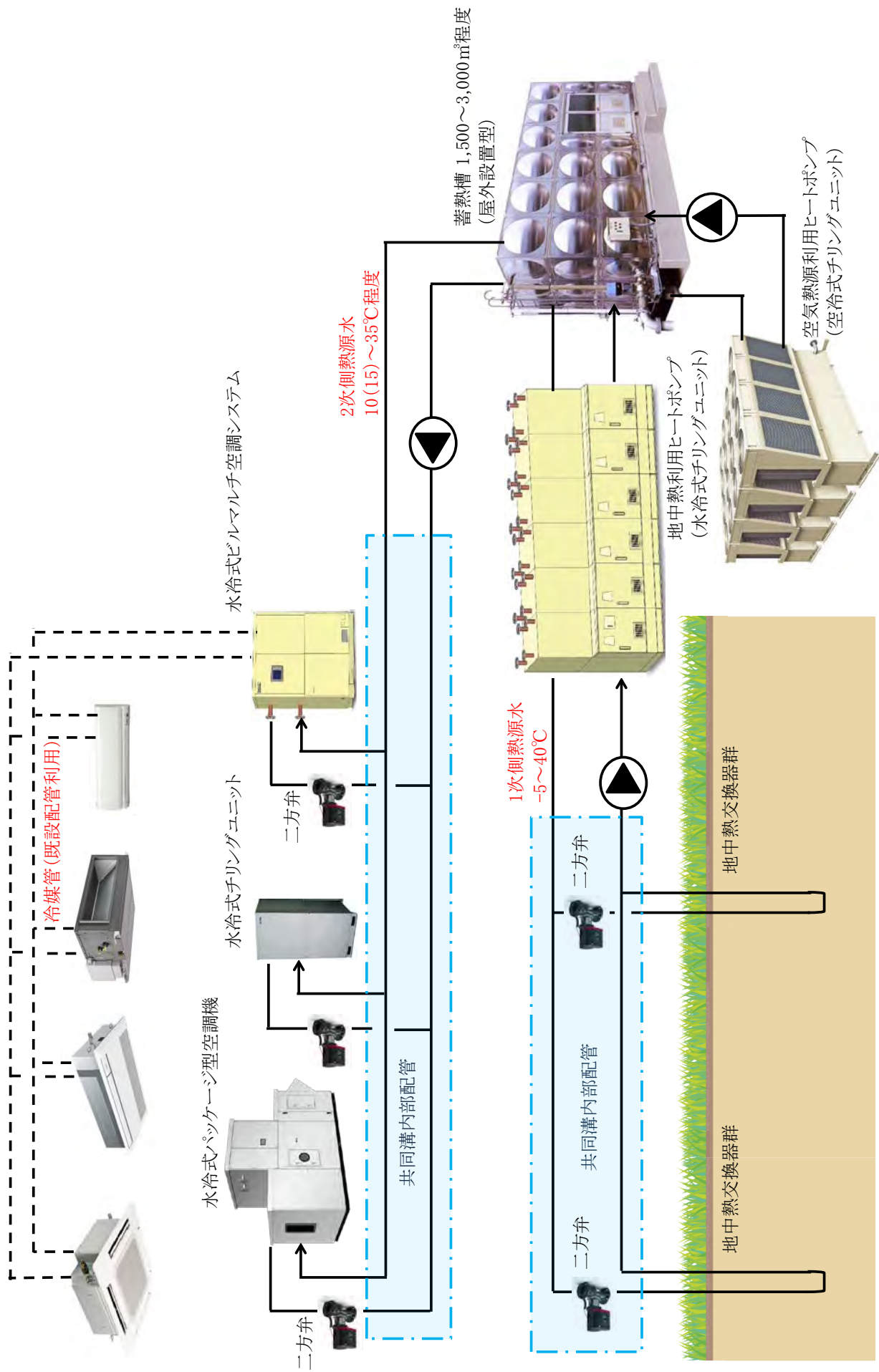
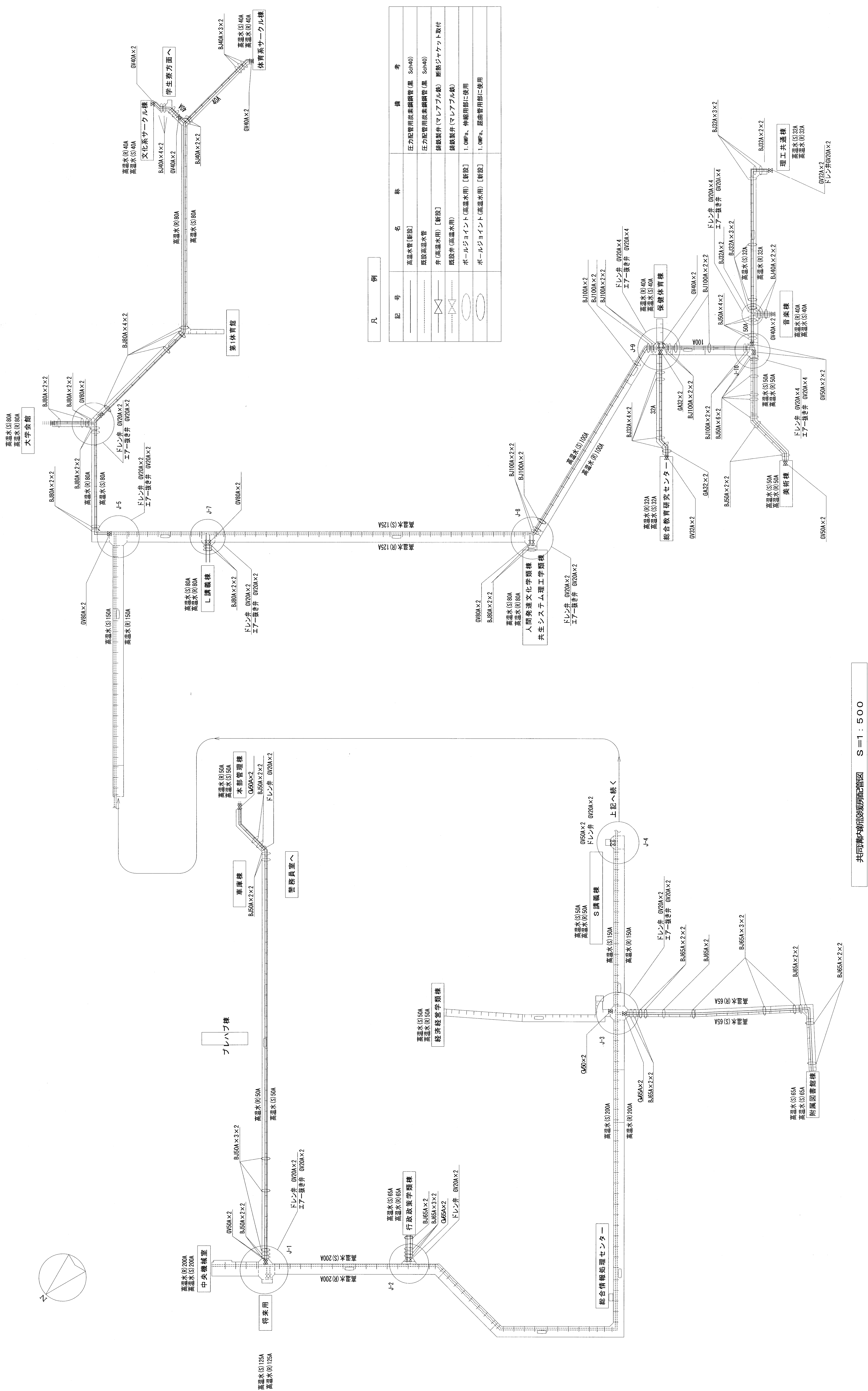


図-6.0.21a 蓄熱槽を設けた地中熱利用暖冷房システム(集中熱源/2次側熱源水開放回路)の概略

図



凡 例

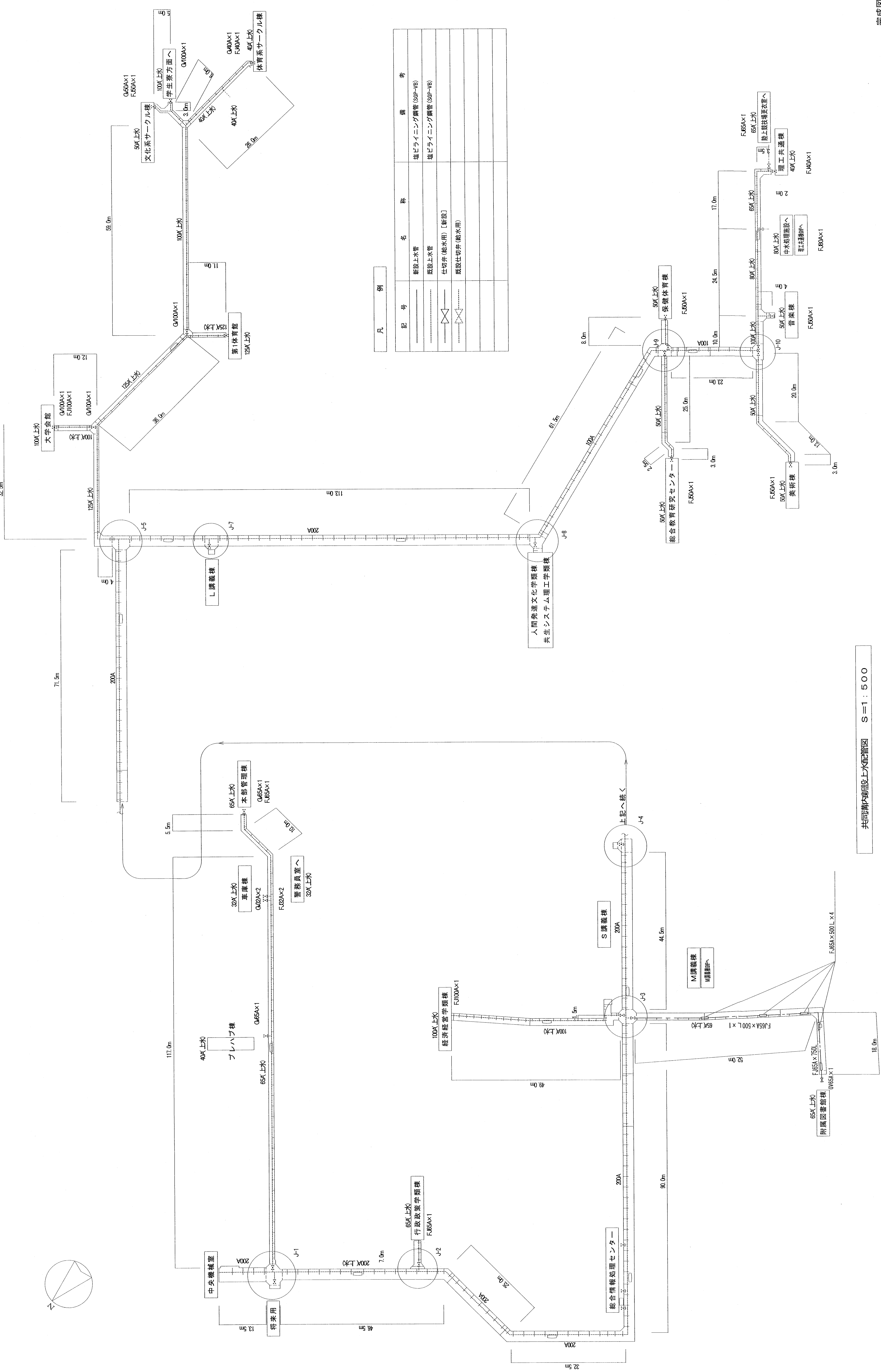
記号	名称	備考
—	高温水管【新設】	圧力配管用炭素鋼管(黒 Sch40)
---	既設高温水管	圧力配管用炭素鋼管(黒 Sch40)
○	井(高温水用)【新設】	鋼製井(マレアブル後)
○	ボアポンプ(高温水用)【新設】	鋼製井(マレアブル後)
○	ボアポンプ(高温水用)【新設】	1.OMPa、伸縮用部を使用
○	ボアポンプ(高温水用)【新設】	1.OMPa、屈曲用部を使用

共同構内暖房配管図 S=1:500

株式会社 石田工業所
 福島県郡山市愛宕町3番5号 TEL:024-932-1550 FAX:024-923-6472

記	工事名	福島大学谷田川田川ライン再生(暖房設備等)工事	種別	共同構
事	図面番号	M-02	縮尺	S=1/500
	作成年月日	平成26年8月29日	施工場所	福島県郡山市谷田川田川ライン(福島県)
	担当	阿部	整理番号	
	製図	阿部	図面番号	M-02
	校閲	阿部	作成年月日	平成26年8月29日
	校閲	阿部	完成年月日	平成26年8月29日

完成図



凡	例
—	新設上水管
---	既設上水管
—X—	仕切弁 (給水用) [新設]
---X---	既設仕切弁 (給水用)

共同管内新設上水道配管図 S=1:500

記	事	担当者	図面番号	整理番号	工事名	種別
		製図	M-3	M-3	福島大学田川団地ライオン学生会館等工事	共同溝
		校閲			共同溝内新設上水道配管図	縮尺
					作成年月日 平成26年8月25日 完成年月日 平成26年8月29日	S=1/500
					福島県福島市田川町番地 (福島大学田川団地内)	施工場所

株式会社 石田工業所

福島県郡山市愛宕町3番5号 TEL:024-932-1550 FAX:024923-6472



完成図

6.1 再生可能エネルギー100%とヒートポンプによる熱源利用への転換

6.1.1 福島県の再生可能エネルギー推進ビジョンと RE100 (100% Renewable Electricity)

日本に限らず先進国各国は、太陽光発電や風力発電、小水力発電、バイオガス発電などの再生可能エネルギーで電力が賄われようとしている。欧州では、小型の発電機でさえコンバインドサイクルだったり、小中規模のバイオマスガス発電でも電気と熱を併給するコージェネレーションに照準を合わせたりしている。

福島県は、『福島県再生可能エネルギー推進ビジョン』（12年3月改訂版）で、2040年頃を目途に県内エネルギー需要の100%相当以上の再生可能エネルギーを生み出すことを目標に掲げる。具体策は、『再生可能エネルギー先駆けの地アクションプラン』を作成して、再生可能エネルギーの導入拡大に加えて、エネルギーの効率的な利用も盛り込む。この2つを車の両輪として推進することになった。福島県内の1次エネルギー需要量に対する再生可能エネルギー導入見込量の割合（原油換算）として、18年度に30%、20年度に40%、30年度に60%、40年頃に100%という目標値を示している（図-6.1.1）。浮体式洋上発電事業の実証研究や温泉バイナリー発電の導入支援、木質バイオマスや生ごみを利用したバイオガス発電の事業化や導入支援等を掲げている。

国際的なイニシアチブでは、2014年に発足したRE100 (100% Renewable Electricity) がある。企業活動に関わる電気エネルギー消費の100%を、再生可能エネルギーにする取り組みである。ゴールドマン・サックス、バンクオブアメリカ、コカ・コーラ、ネスレ、スターバックス、フィリップス、BMW、GM、ジョンソン&ジョンソン、ユニリーバ、P&G、ナイキ、グーグル、フェイスブック、マイクロソフト、アップル、ヒューレット・パカード、IKEA等の世界をリードしている122社企業が加盟している（2018年1月28日現在）。

マイクロソフトとスターバックスは、既に2015年にRE100を達成したと発表している。アップルは、自社のデータセンタを含めRE100を目指しているが、主要なサプライヤまで再生可能エネルギー100%を要請している。独BMWとオランダ・フィリップスは、2020年までに世界で全量を再生可能エネルギーにすることを目指している。英蘭ユニリーバは、2030年までに世界で全量を再生可能エネルギーにしようとしているが、既に日本法人は全量再生可能エネルギーを達成している。

日本では、ソニーが2020年度に国内電気の1割を再生可能エネルギーに、デンソーは2020年度に再生エネ導入量を2012年度比の10倍を目指している。アサヒグループホールディングスは国内全ビール工場の電気の6%、既に本社は全量を再生可能エネルギーにした。リコーは2050年までに世界で全量を再生可能エネルギーに、積水ハウスは2040年までに世界で全量を再生可能エネルギーにすることを宣言している（日本経済新聞 電子版 2018年1月21日）。

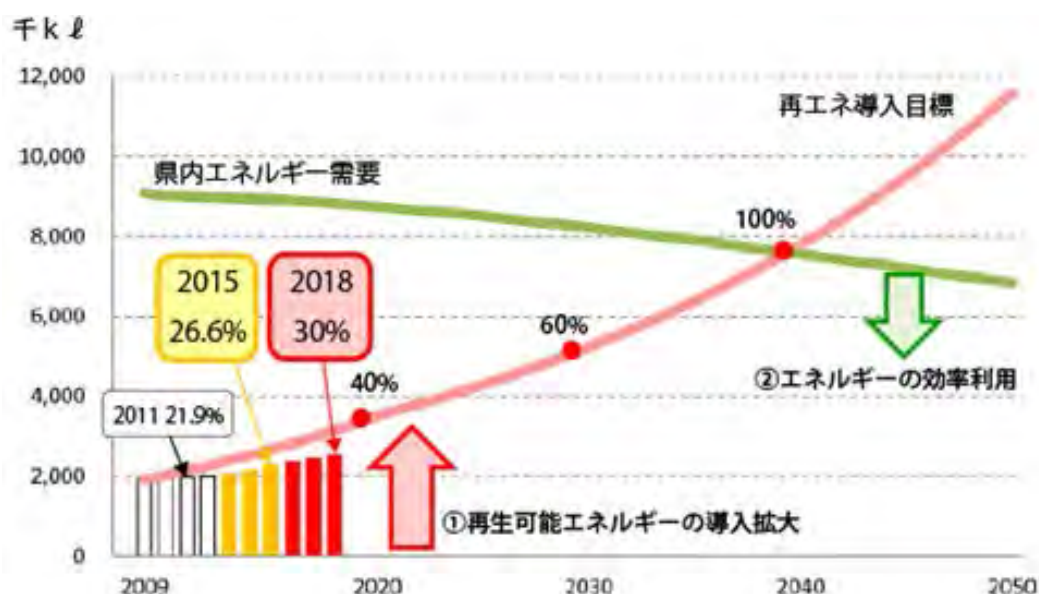


図-6.1.1 再生可能エネルギー導入量と1次エネルギー供給量

6.1.2 再生可能エネルギー電気によるヒートポンプでの熱源利用

2040年頃を目途に県内エネルギー需要の100%相当以上の再生可能エネルギーを生み出すことを目標に掲げる福島県は、再生可能エネルギーで発電した電気を使い、ヒートポンプで熱を生み出す方向に進まなければならない(図-6.1.2)。欧米では、確実にその方向に進んでいる。一般的な空気を熱源とするヒートポンプは、冷房や冷凍に比べ、暖房や加熱は効率が落ちる。福島県のように積雪地で強い風が吹くような地域では、さらに不利である。地中熱や地下水熱、下水熱や温泉排湯熱等を熱源とするヒートポンプシステムだと高い効率が得やすい。

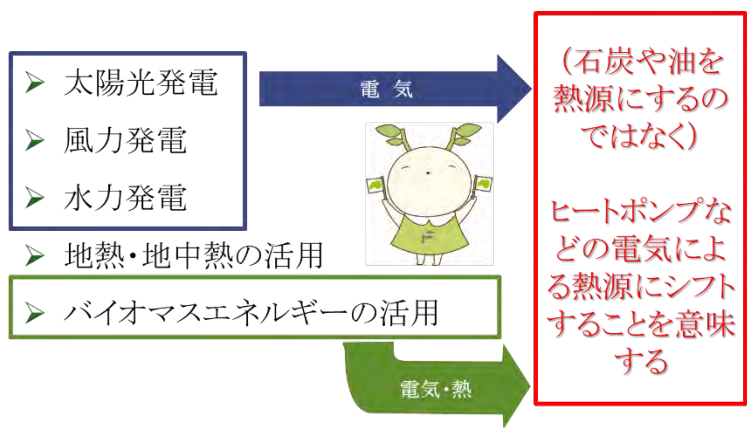


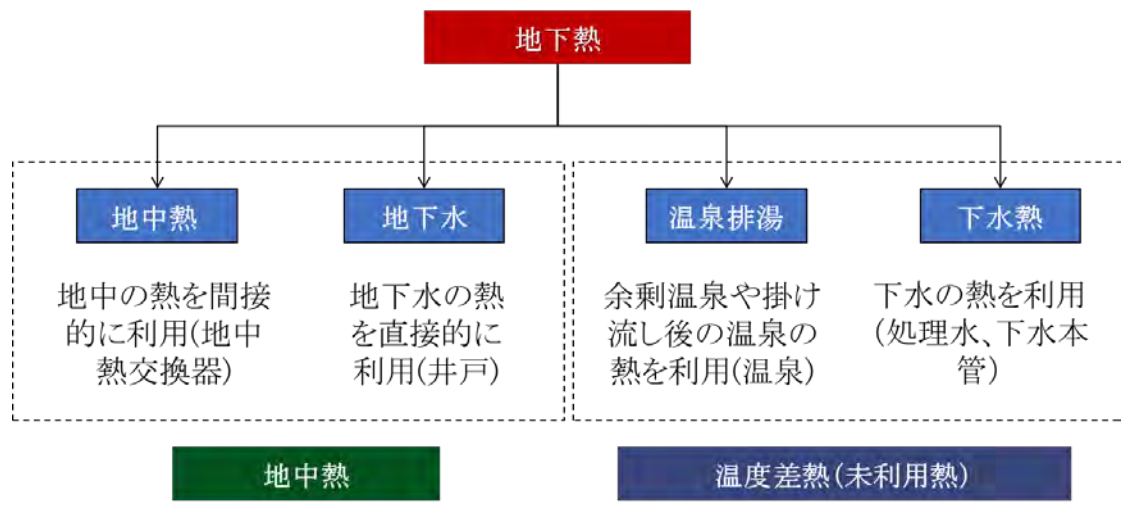
図-6.1.2 再生可能エネルギー電気とヒートポンプ

宿泊施設やスポーツ施設のような日ごとに利用者数が変動する建物での給湯熱源では、ヒートポンプ単体だけだと投資回収期間が長くなる。ヒートポンプをベースロードで稼働させ、変動分を液化天然ガス焚きボイラで賄うような、後述するハイブリッド給湯システム(図-6.1.8)が有効と考えられる。福島大学では、研究棟や講義棟での給湯熱負荷は小さいことが推測される。このため、学生寮での給湯熱源への利用が適している。地下水利用ヒートポンプシステムや木質バイオマスのコージェネレーションシステムをベースロードにして、負荷変動分をLNGによるガス瞬間給湯器を台数制御するタフジェットマルチとの組合せが有効と予想する。

欧州では、電気容量や用途によって電気ヒータの利用が制限されたこともあり、電気ヒータと蓄熱用レンガを組み合わせた蓄熱式暖房器は衰退した。暖房期間しか利用できないが、蓄熱式暖房器は風力や太陽光発電の出力変動のバッファになりやすく、再度、活用される可能性が高い。

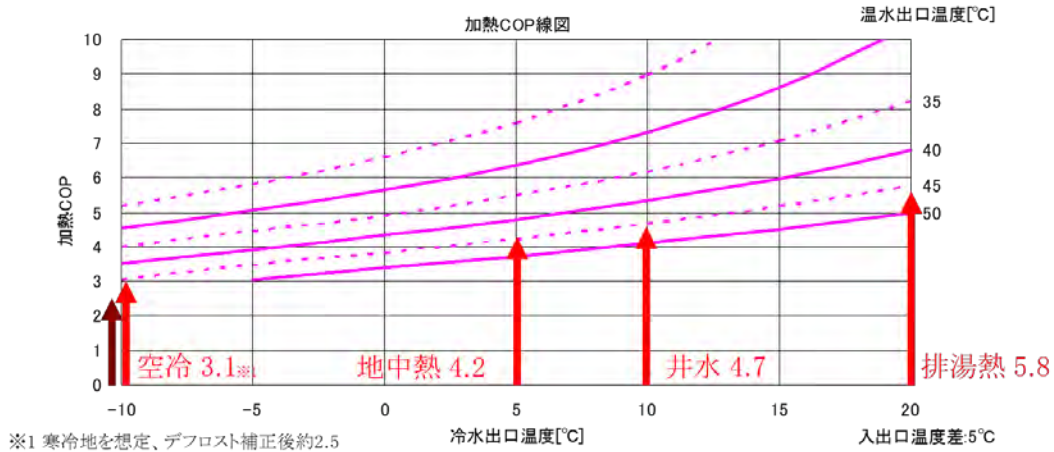
『エネルギー基本計画(2014年4月11日閣議決定)』や『地球温暖化対策計画(2016年5月13日閣議決定)』で、再生可能エネルギー熱を太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等としている。このうち、地中熱や地下水熱、温泉排湯熱や下水熱を地下熱としている(図-6.1.3)。前者の2つは大きな括りで地中熱としており、それぞれ地中熱のクローズドループ、オープンループとも呼ぶことも多い。後者の2つは、温度差熱や未利用熱と称される。

熱源によって、ヒートポンプの成績係数(COP: Coefficient of Performance)に影響する。加熱や暖房の場合、通常の温度範囲であれば熱源温度が高いほど成績係数が高くなる(図-6.1.4)。



→ ヒートポンプでの利用が可能

図-6.1.3 地下熱の分類(資料:ゼネラルヒートポンプ工業㈱を編集)



加熱COP: 空冷 < 地中熱 < 井水 < 排湯熱
 ボイラーのCO₂排出量に相当するのはCOP約1.5
 (∵ 火力発電効率40%、ボイラー効率85%、発電化石燃料率70%として)

図-6.1.4 熱源による COP の違いの例 (資料:ゼネラルヒートポンプ工業(株))

下水熱利用は、盛岡駅西口地域に代表されるように、かつては下水処理場やポンプ場のように下水が集中する箇所で行われていた。最近では、下水本管の内部に配管を巡らして都市排熱を採る方向に移行している。下水から発生する硫化水素により下水管内部に劣化が生じるが、管の更正に併せて採熱管を敷設する方法が一般的である。

平成 26 年度より、国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課は、「下水熱利用アドバイザー派遣等支援事業」を行っており、(株)総合設備コンサルタントがポテンシャル評価や FS を担っている。関西電力(株)、積水化学工業(株)や東亜グラウト工業(株)等の取り組みが、この分野の実践的な先導役として期待されている。

建築設備分野での再生可能エネルギー熱利用の投資回収期間は、建物種別や設備用途、熱源、気候風土や立地等によって異なる。

給湯の日ごとの給湯負荷 (いわゆる使用 湯量) や加熱負荷の変異は、建物用途によって異なる。社会福祉施設や医療施設の負荷は比較的安定しているが、宿泊施設やスポーツ施設は曜日により変動しやすい。また、季節ごとに給水温度が変化するために湯と水の混合比が変わったり、水から湯までの加熱温度が違ったりすることから増減する。

図-6.1.5 は、給湯負荷年間推移の実測値である。あるビジネスホテルチェーン 11 施設で、シャワーへ

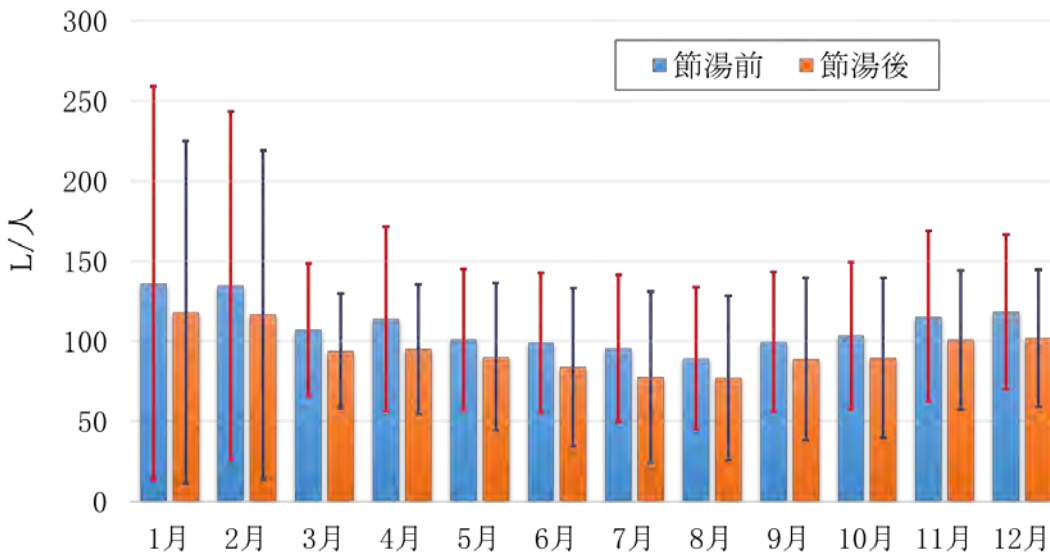
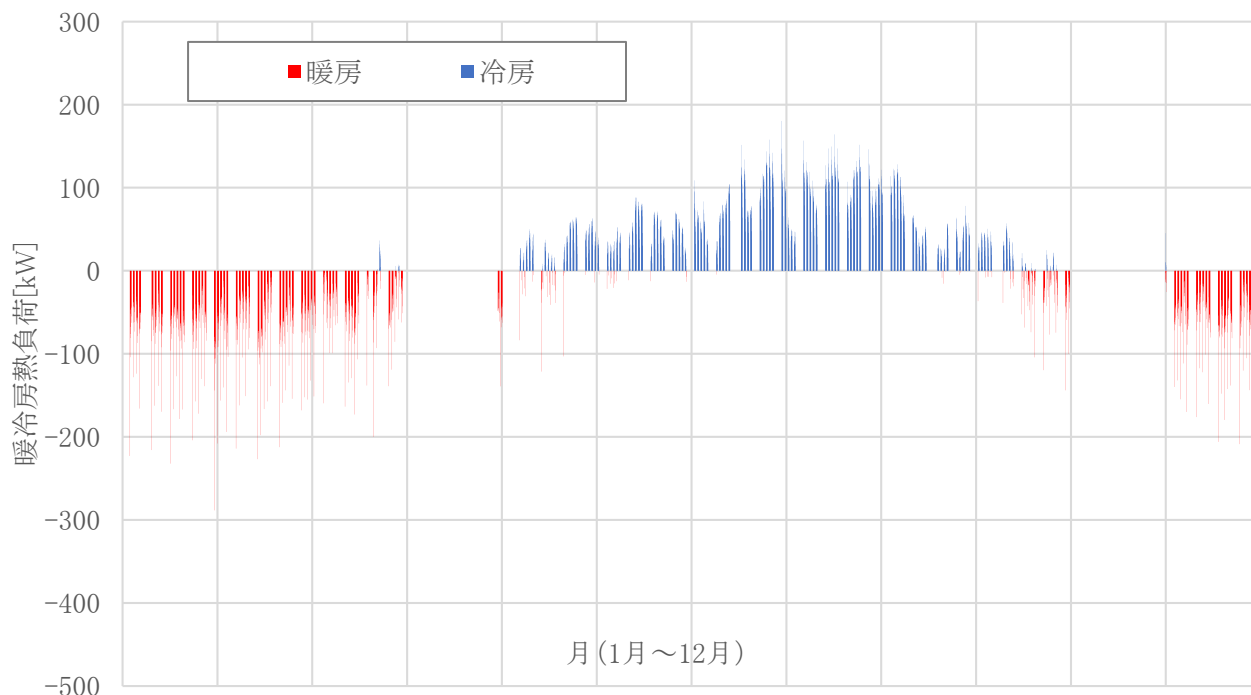


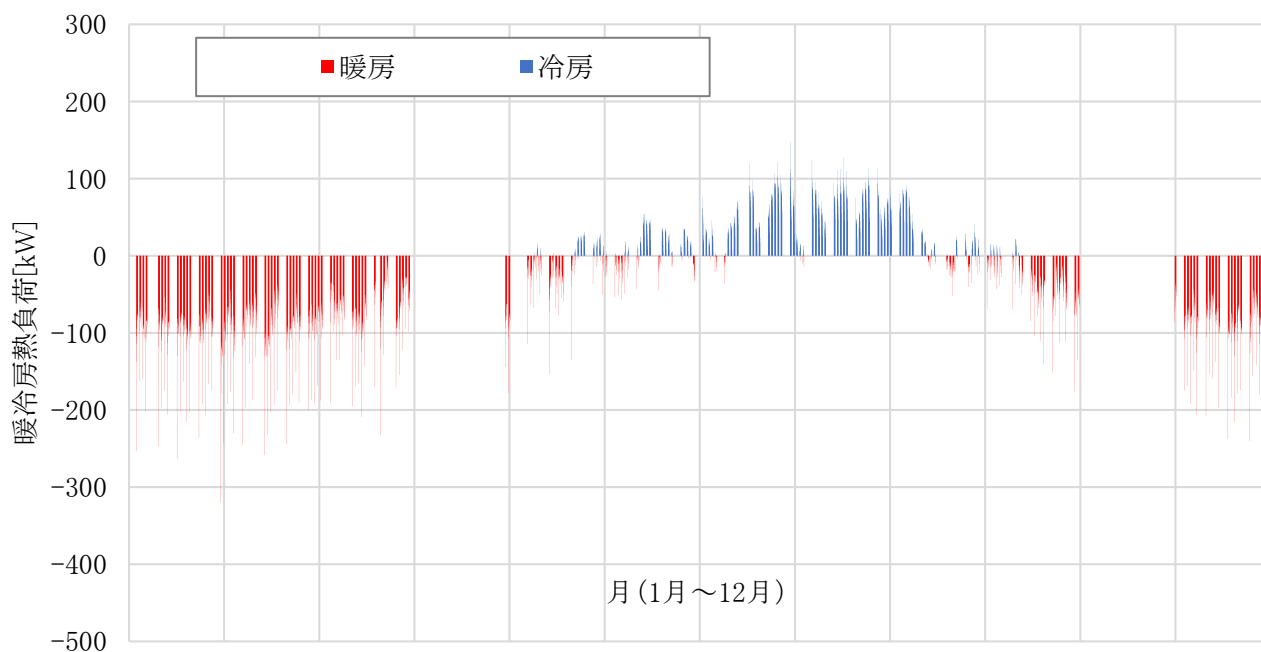
図-6.1.5 一人当たりのビジネスホテルの年間給湯負荷の推移 (節湯前後の比較) 4)

ッドを銚田川化工製の助太刀に交換する前後1年間のデータである。いずれの施設も、大型浴場は併設していない。一部の施設でレストラン系統に、本データの給湯を供給している。このように、年間を通じて一定以上の給湯負荷が生じている。

図-6.1.6は、暖冷房熱負荷の年間変移のシミュレーションの例である。空調面積811㎡の事務所ビルで、土曜日と日曜日、祝日、年末年始が休暇として、12月から3月までの83日間に暖房システムを稼働、5月10月までの126日間に冷房システムを稼働させると設定した。(a)と(b)は、照明やOA機器が節電化する前後の違いである。中間季以外でも、中間季に近い季節は、暖冷房の熱負荷が少ない。年間を通して安定的な熱負荷は望めず、ヒートポンプの稼働率は低くならざるを得ない。



(a) Hf 照明等の節電前の内部発熱の多い状況下



(b) LED 照明等の節電後の内部発熱の少ない状況下

図-6.1.6 空調面積 811 ㎡の事務所ビル年間暖冷房熱負荷の推移 (AMeDAS : 福島) 5)

図-6.1.7 は、長野県諏訪地方での電気ヒータによるロードヒーティング設備の年間変移の実測値の例である。暖冷房の熱負荷以上に、年間の稼働率は低い。

このように、熱利用が年間を通して一定にならない暖冷房設備や融雪設備よりは、年間を通して利用する給湯設備や浴場設備への熱源とした方が、投資回収期間は短い。

一方で、ロードヒーティング設備や換気設備では、再生可能エネルギー熱を、ヒートポンプを使わず直接熱利用できる場合もあり、導入コストやランニングコストが安くなることも多い。

業務用給湯のシステム選択では、週間内の給湯負荷が安定している社会福祉施設や医療施設は、ヒートポンプ単独の加熱装置との相性が良い。週間内の給湯負荷変動の大きい宿泊施設やスポーツ施設は、ヒートポンプをベースロードとしたハイブリッド給湯システム（図-6.1.8）がマッチする。福島大学の学生寮の給湯負荷パターンを検証する必要があるが、長期休暇で給湯負荷の変動があることから、ハイブリッド給湯システムが良いと予想する。ヒートポンプ給湯システムは、機器本体の金額が高く、電気容量も大きい。将来、重油や灯油を燃料とした真空式温水器やボイラの使用が規制される可能性もあり、

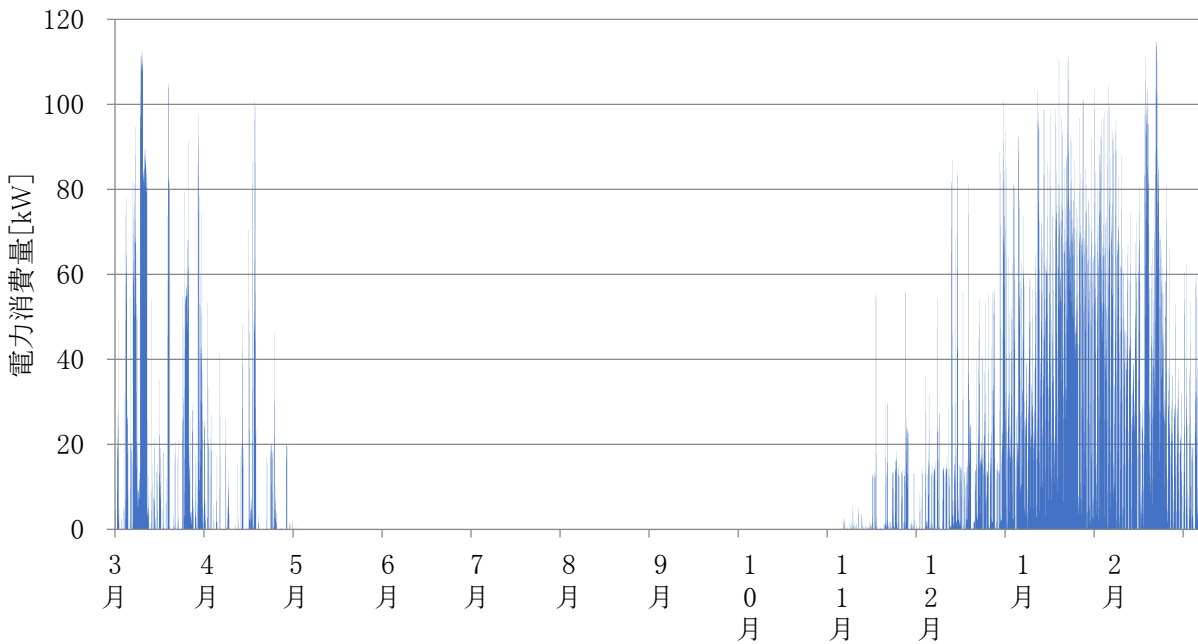


図-6.1.7 電気ヒータによるロードヒーティング設備の年間電力消費量の推移（長野県諏訪）⁶⁾

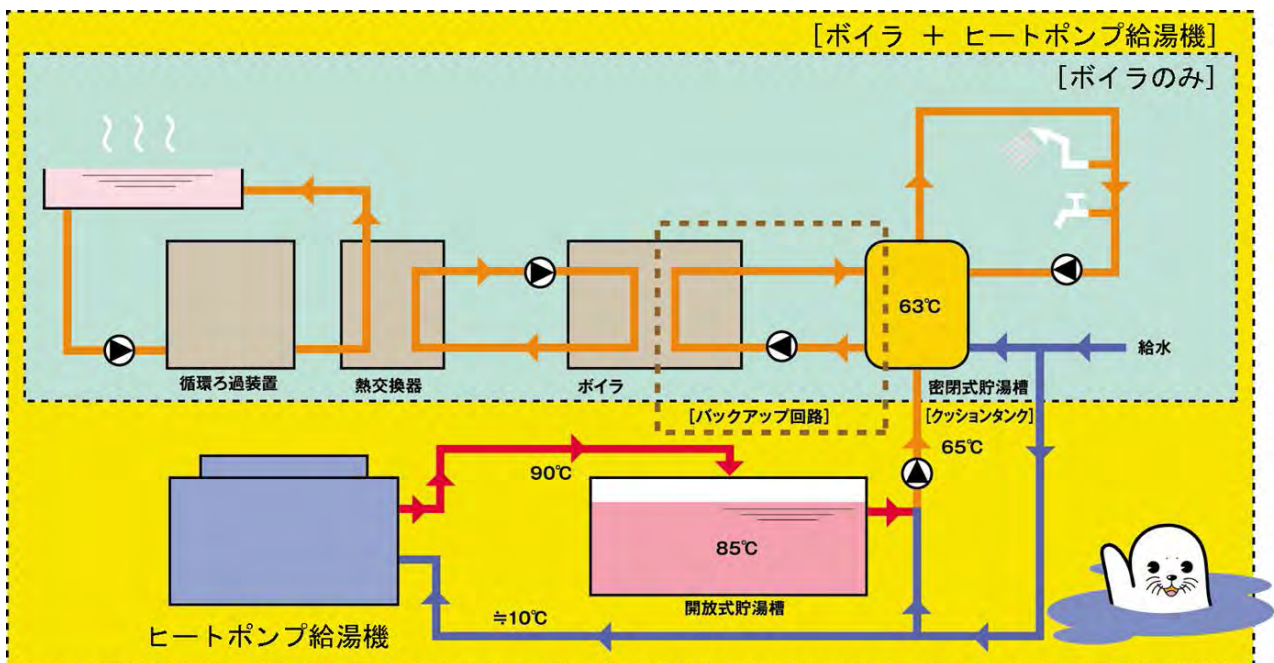


図-6.1.8 ハイブリッド給湯システムの例（株式会社ユアテック資料）

LNG ガスやバイオマスガスを燃料とする温水器や、コージェネレーションから出る熱で、負荷変動分を賄うのが良い。なお、バイオマスによるコージェネレーションは、「7.3 学生寮・ハイブリッド給湯システム」に記載する。

業務用給湯システムは、配管系統や機器からの損失熱量が大きく、対策が必要である。配管からの熱損失は、弁やフランジ、可撓継手等が断熱を省略することから生じるものが大きい。直管部では繊維系断熱材を用いて外周から締め付けられるために断熱性能が低下している事例が見受けられる。また、屋外配管の断熱材は水で濡れて、断熱性能を失っているのがほとんどである。

密閉型貯湯槽も配管と同様である。ビジネスホテルチェーンの加熱装置や貯湯槽は、本州以南では屋上に露天設置されることが多い。密閉型貯湯槽外部の断熱材が濡れて断熱性能を有していない例が見られる⁷⁾。FRP 製密閉型貯湯槽の外部に断熱材と FRP 製の保護層を一体化した(株)ショウエイ製の製品があり活用するのが良い。福島大学の学生寮へ、中央式給湯システムを導入するにあたって留意すべき事項である。

熱源にヒートポンプを用いた地中熱とすると、採熱するだけで、土壌熱伝導率によっては地中熱交換器周辺温度が低下していく可能性がある。実際のシステムの導入にあたっては、地下水熱、温泉排湯熱や下水熱、空気熱等の選択も考慮する。

年間を通じて、再生可能エネルギー電気を安定して活用できる用途は、本学金谷川キャンパスでも給湯システムである。

引用・参考文献

- 1) 赤井仁志:再生可能エネルギー熱利用技術の動向と今後の展望,伝熱(日本伝熱学会誌), (2017-4), pp.27~34
- 2) 赤井仁志:再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでの熱利用の方向性,電気設備学会全国大会講演論文集(2017-8), pp.116~117
- 3) 赤井仁志・新倉万結:再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでのヒートポンプの活用,空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集(2018-3)
- 4) 小原雄輝・赤井仁志:濱田靖弘:次世代中央式給湯システムデザインのための動的負荷の研究:第1報,研究の背景・目的と宿泊施設の給湯負荷,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,第1巻(2016-9), pp.69~72
- 5) 赤井仁志・奥野敏彦・瀬川和幸・草刈洋行・二宮秀與・西山尚弘・長野克則・葛隆生:事務所建築での内部発熱の変化による空調負荷とヒートポンプへの影響,空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集(2017-3), pp.45~50
- 6) 宇佐美勇氣・西山尚弘・二宮秀與・赤井仁志:ロードヒーティングの省エネルギーを目的とした最適制御に関する検討(第1報)既設ロードヒーティングを対象とした実測調査,電気設備学会全国大会講演論文集(2015-9), pp.387~388
- 7) 山崎森・赤井仁志・濱田靖弘・小原雄輝・豊貞佳奈子・周潔・銚井修一・伊庭千恵美・竹内進:貯湯槽の断熱性能に関する研究(第1報)FRP製と鋼製貯湯槽の断熱強化による損失熱量の変化,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,第1巻(2017年9月14日), pp.133~136

6.2 事務局棟・地中熱利用ヒートポンプ空調システム

本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合についての簡易検討を行う。本部管理等はRC造4階建て、床面積2,440㎡であり、そのうちの空調対象面積1,658㎡について地中熱源ヒートポンプを導入することを想定する。本部管理等1階および2階平面図を図-6.2.1に、3階および4階平面図を図-6.2.2に示す。空調対象は既存でパッケージエアコンまたはルームエアコンが設置されているエリアとした。図-6.2.3～図-6.2.6に1階から4階の既設の室内機配置図を示す。

本検討においては、空調負荷は既設設備の能力に合わせて冷房212.1kW、暖房225.2kWとした。単位面積当たりの空調負荷は冷房0.13kW/㎡、暖房0.14kW/㎡となる。空調方式としては現状の個別分散空調に倣うが、各階ごとに冷媒系統をまとめ、1階から4階それぞれにビル用マルチ空調システムを4系統導入すると想定して機器の選定を行った。選定した機器は、表-6.2.1となる。

表-6.2.1 選定機器

機種	地中熱対応水冷式ビル用マルチ室外機（20馬力相当）×4台（1階から4階）
冷房能力	224kW（56kW×4） ※室内空気吸込温度:27°CWB、冷却水:30°C→35°C
暖房能力	252kW（63kW×4） ※室内空気吸込温度:20°CDB、冷却水:5°C→0°C
消費電力（冷房時）	48.8kW（12.2kW×4）
消費電力（暖房時）	62.4kW（15.6kW×4）
COP（冷房時）	4.59
COP（暖房時）	4.04

選定した地中熱源ビルマルを導入する場合の必要地中熱量について検討する。暖房時必要際熱量および冷房時必要放熱量は以下となる。

$$\text{冷房時放熱量} = \text{冷房能力} + \text{消費電力（冷房時）} = 224 + 48.8 = 272.8[\text{kW}]$$

$$\text{暖房時採熱量} = \text{暖房能力} - \text{消費電力（暖房時）} = 252 - 62.4 = 189.6[\text{kW}]$$

必要な地中熱交換器の長さを算出するためには、単位長さ当たりの熱交換量の推定が必要となるが、実績値による場合と熱応答試験（サーマルレスポンステスト/TRT）による場合がある。ここでは国土交通省の「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）」（平成25年10月）の第4章4項1節における実績値による場合の標準値60[W/m]を使用する。参考までにこのガイドラインでは実績値による単位長さあたりの熱交換量[W/m]は一般事務庁舎（空調利用）の場合（平日8時間、冷房時3か月、暖房時4か月）で50～70、上記以外の場合30～40としている。

暖房時より冷房時の必要熱量の方が大きいため、地中熱交換器総延長は以下となる。

$$\text{地中熱交換器総延長} = \text{冷房時放熱量} \div \text{単位長さ当たりの熱交換量} = 272.8 \div 60 \times 1000 = 4547[\text{m}]$$

地中熱交換器1本当たりの長さを100mとすると、地中熱交換井の必要本数は46以上となる。

本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合の熱源系統図を図-6.2.7に示す。

地中熱交換井は6～7井で1系統とし計7系統を地中熱ヘッダーで接続している。地中熱ヘッダーからは、熱源循環ポンプにてそれぞれ各階用の地中熱対応ビル用マルチ室外機が4式接続されており、室外機からは冷媒で各階の各室内機に接続されている。

仮に地中熱交換器を5m置きに配置するとすれば地中熱交換に必要な面積は、1,150㎡（25㎡×46本）、4m置きとしても736㎡（16㎡×46本）の確保が必要となる。

本検討では4階を1階ごとに4系統に分けていることから、1階ごとの導入検討も可能であり、駐車場など利用できるスペースを確認し、地中熱交換器設置に利用できる面積から導入する階数を検討することが出来る。例えば、駐車場600㎡程度利用可能であれば5m置きに23本配置可能なため、1階および2階への導入の検討ができる。

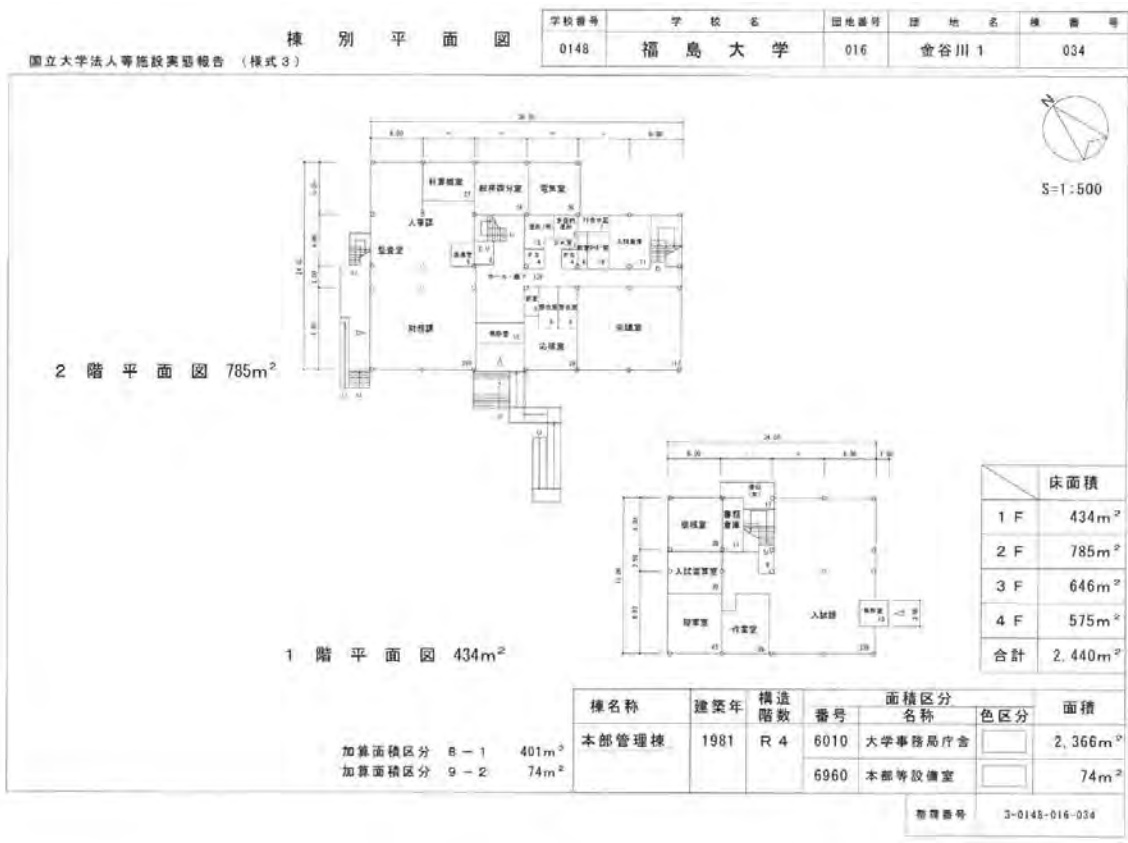


図-6.2.1 本部管理棟1階2階平面図

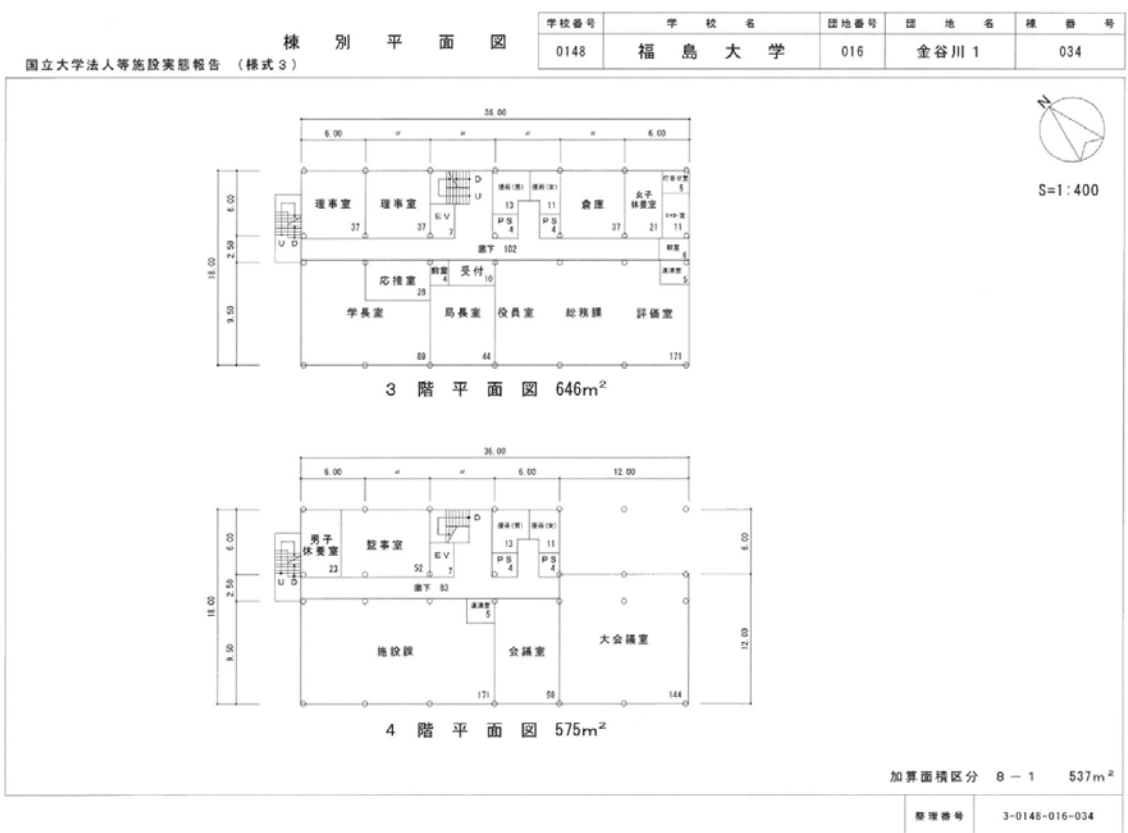


図-6.2.2 本部管理棟3階4階平面図

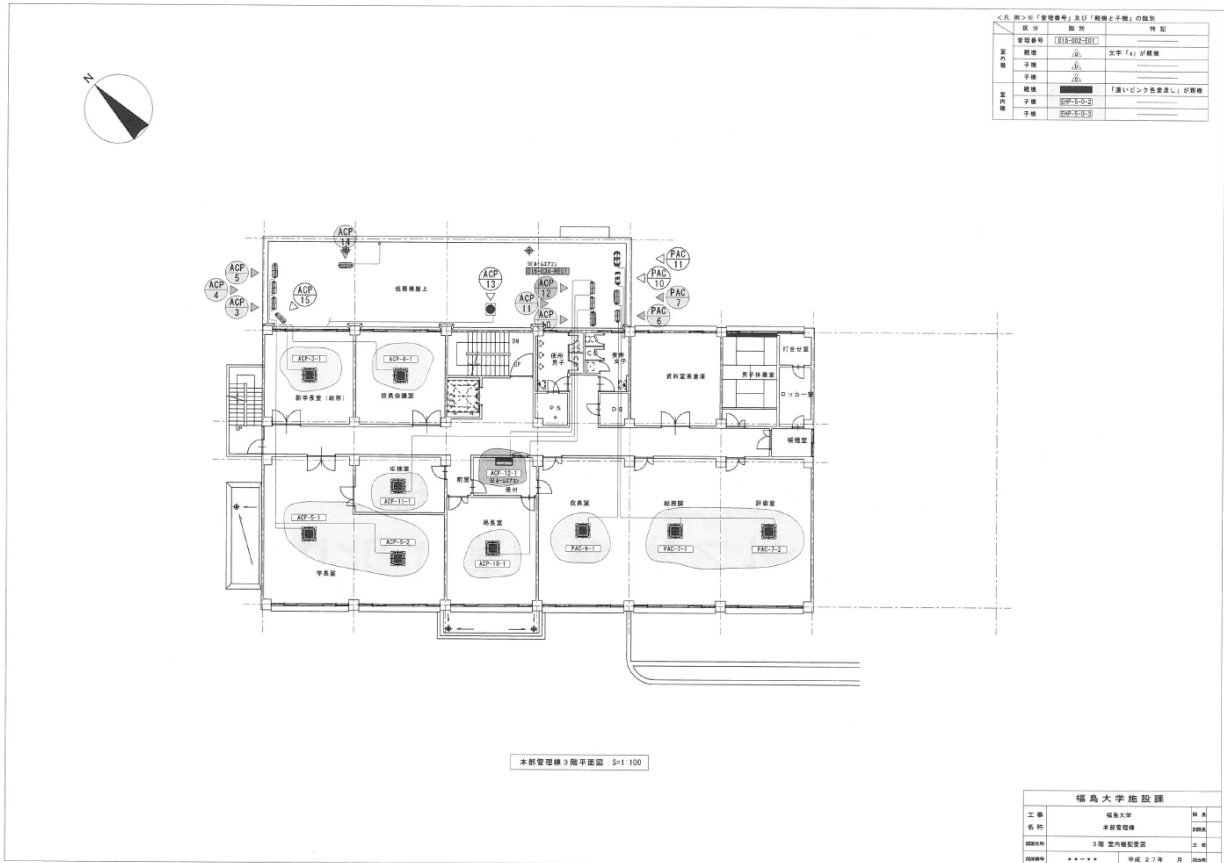


図-6.2.5 本部管理棟3階 既設室内機配置図

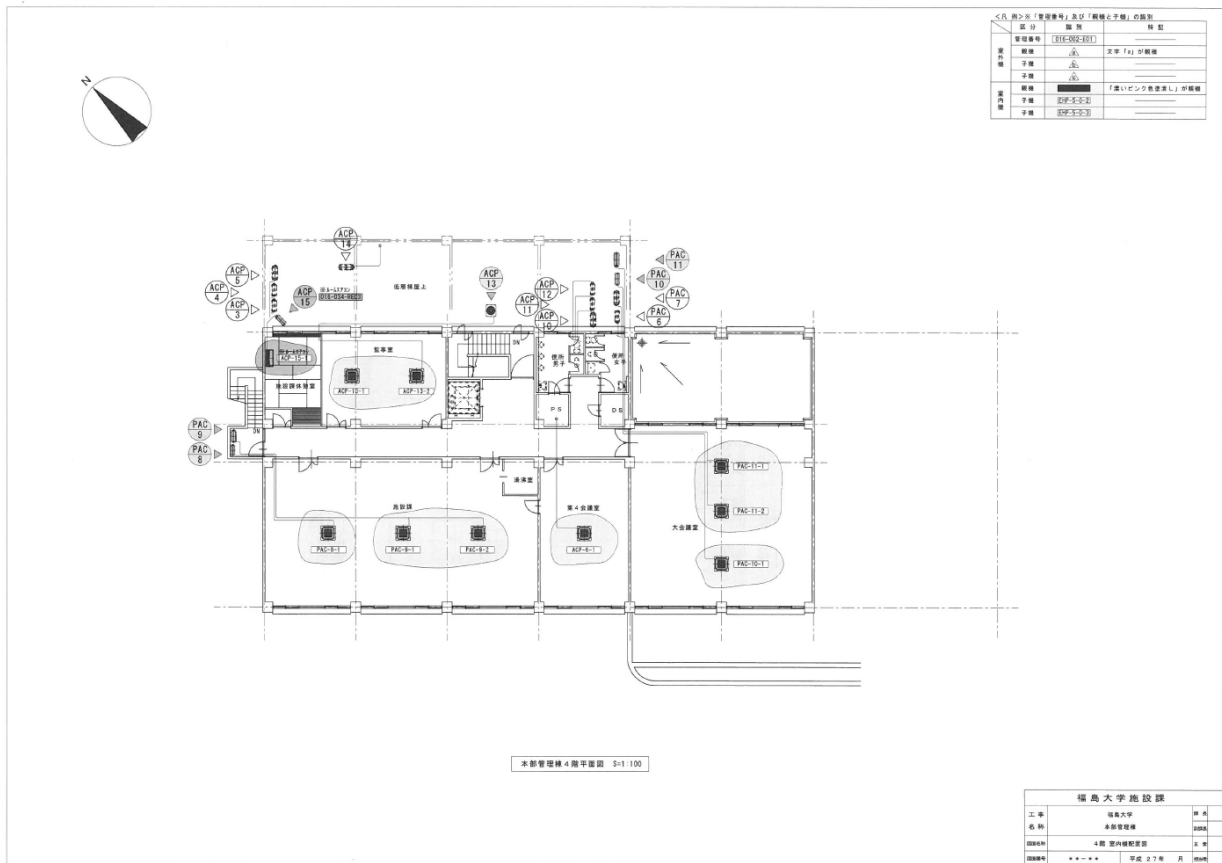


図-6.2.6 本部管理棟4階 既設室内機配置図

【機器選定根拠】

機器容量の検討

空調床面積	1658	m ²	
単位面積当りの空調負荷	0.2	KW/m ² ・h	
空調負荷	331.6	KW	
室外機容量（ビルマルチ方式）	118	馬力相当	
冷房能力	340	KW	室内空気吸込温度:27°CWB、冷却水:30°C→35°C
暖房能力	380	KW	室内空気吸込温度:20°CWB、熱源水:5°C→0°C
消費電力（冷房時）	68.4	KW	
消費電力（暖房時）	78.8	KW	
COP（冷房時）	4.97		
COP（冷房時）	4.82		

地中熱の検討

冷房時

地中への必要放熱量	408.4	KW	時間当り
ポアホールの単位当り可能放熱量	0.06	KW/m	
ポアホール 総延長	6,807	m	
ポアホール 深さ	100	m	
ポアホール 必要本数	69	本	

暖房時

地中からの必要採熱量	301.2	KW	時間当り
ポアホールの単位長さ当り可能採熱量	0.045	KW/m	
ポアホール 総延長	6,693	m	
ポアホール 深さ	100	m	
ポアホール 必要本数	67	本	

ポアホール 必要本数は 69 本となります

6.3 附属図書館1階ラーニングcommons1・地中熱利用ヒートポンプ空調システム

附属図書館1階のラーニングcommons1に地中熱源ヒートポンプを導入する場合についての簡易検討を行う。附属図書館は既存部分と増築部分から成っているが、ラーニングcommons1は附属図書館の1階南側（既存棟の方）に位置している共用スペースであり、面積およそ648㎡である。附属図書館1階の平面図を図-6.3.1に示す。ラーニングcommons1を含む附属図書館の既存棟の部分はEHPへの改修がほぼ完了しているようであるが、このEHPを地中熱対応ビル用マルチに入れ替える計画とした。

本検討においては、単位面積当たりの空調負荷を冷房0.16kW/㎡、暖房0.17kW/㎡と想定し、空調負荷は冷房103.7kW、暖房110.2kWとした。想定した空調負荷を満たすよう選定した機器は、表-6.3.1となる。

表-6.3.1 選定機器

機種	地中熱対応水冷式ビル用マルチ室外機（40馬力相当）×1台
冷房能力	113.5kW ※室内空気吸込温度:27°CWB、冷却水:30°C→35°C
暖房能力	127.5kW ※室内空気吸込温度:20°CDB、冷却水:5°C→0°C
消費電力（冷房時）	22.5kW
消費電力（暖房時）	26.6kW
COP（冷房時）	5.04
COP（暖房時）	4.79

選定した地中熱源ビルマルを導入する場合の必要地中熱量について検討する。暖房時必要際熱量および冷房時必要放熱量は以下となる。

$$\text{冷房時放熱量} = \text{冷房能力} + \text{消費電力（冷房時）} = 113.5 + 22.5 = 136.0[\text{kW}]$$

$$\text{暖房時採熱量} = \text{暖房能力} - \text{消費電力（暖房時）} = 127.5 - 26.6 = 100.9[\text{kW}]$$

単位長さあたりの熱交換量は、国土交通省の「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）」（平成25年10月）の標準値60[W/m]を使用すると、暖房時より冷房時の必要熱量の方が大きいため、地中熱交換器総延長は以下となる。

$$\text{地中熱交換器総延長} = \text{冷房時放熱量} \div \text{単位長さあたりの熱交換量} = 136 \div 60 \times 1000 = 2267[\text{m}]$$

地中熱交換器1本当たりの長さを100mとすると、地中熱交換井の必要本数は23本以上となる。

本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合の熱源系統図を図-6.3.2に示す。

地中熱交換井は5～6井で1系統とし計4系統を地中熱ヘッダーで接続している。地中熱ヘッダーからは、熱源循環ポンプにて地中熱対応ビル用マルチ室外機に接続されており、室外機からは冷媒で室内機に接続されている。

地中熱交換器を5m置きに配置した場合の必要面積は、575㎡（25㎡×23本）、4m置きの場合368㎡（16㎡×23本）の確保が必要となるが、地中熱源ヒートポンプの導入対象をラーニングcommons1に限定するのであれば、附属図書館の南側には十分な地中熱交換器の設置面積が確保できそうである。また、ラーニングcommonsは多数の学生が集う場であることから、ロビー等に再生可能エネルギー利用の普及啓発のための見える化モニター設置には最適な場所と考えられる。図-6.3.3に地中熱源ヒートポンプを利用した場合の見える化モニターのサンプル画面を示す。

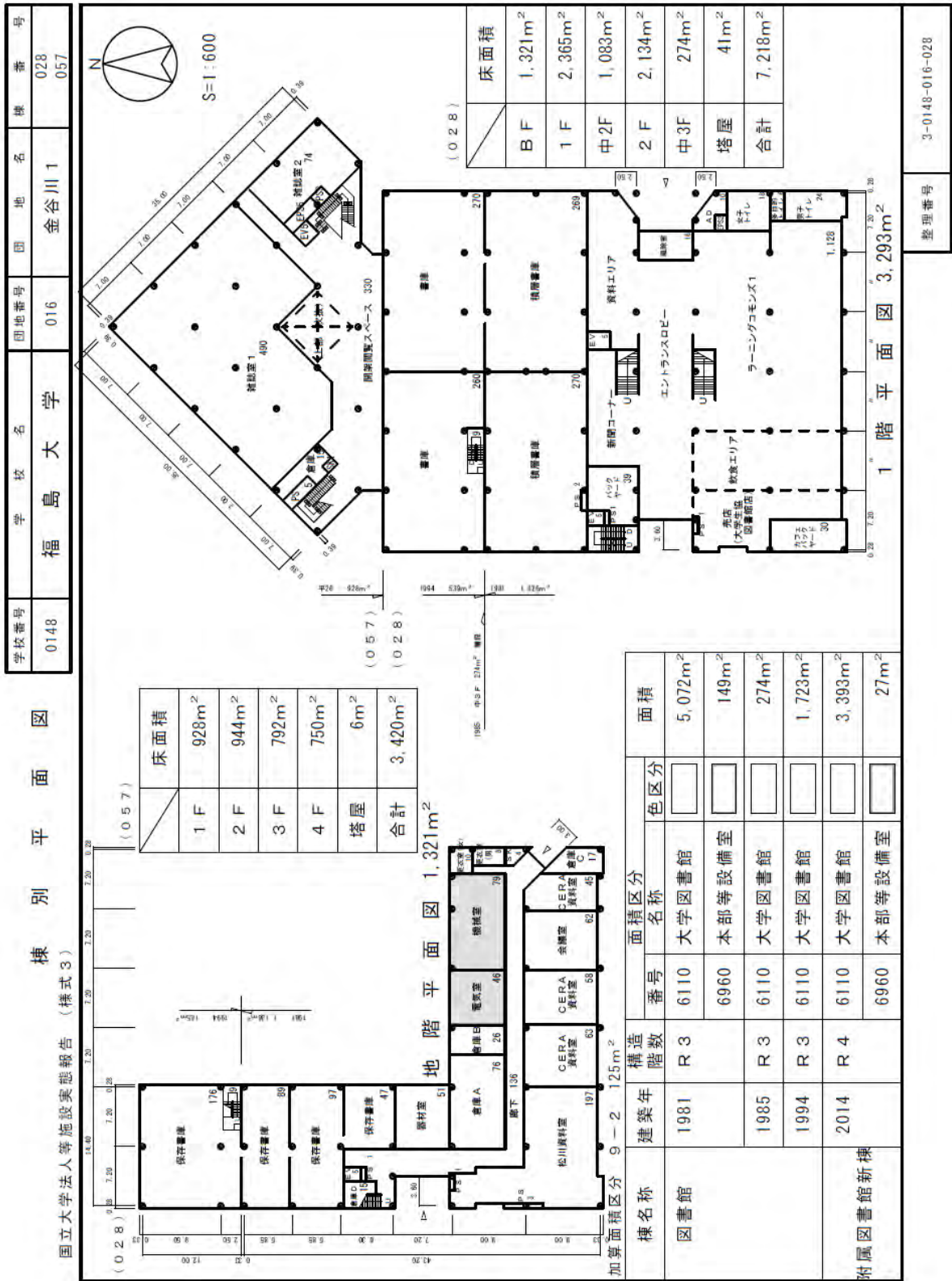


図-6.3.1 附属図書館1階平面図

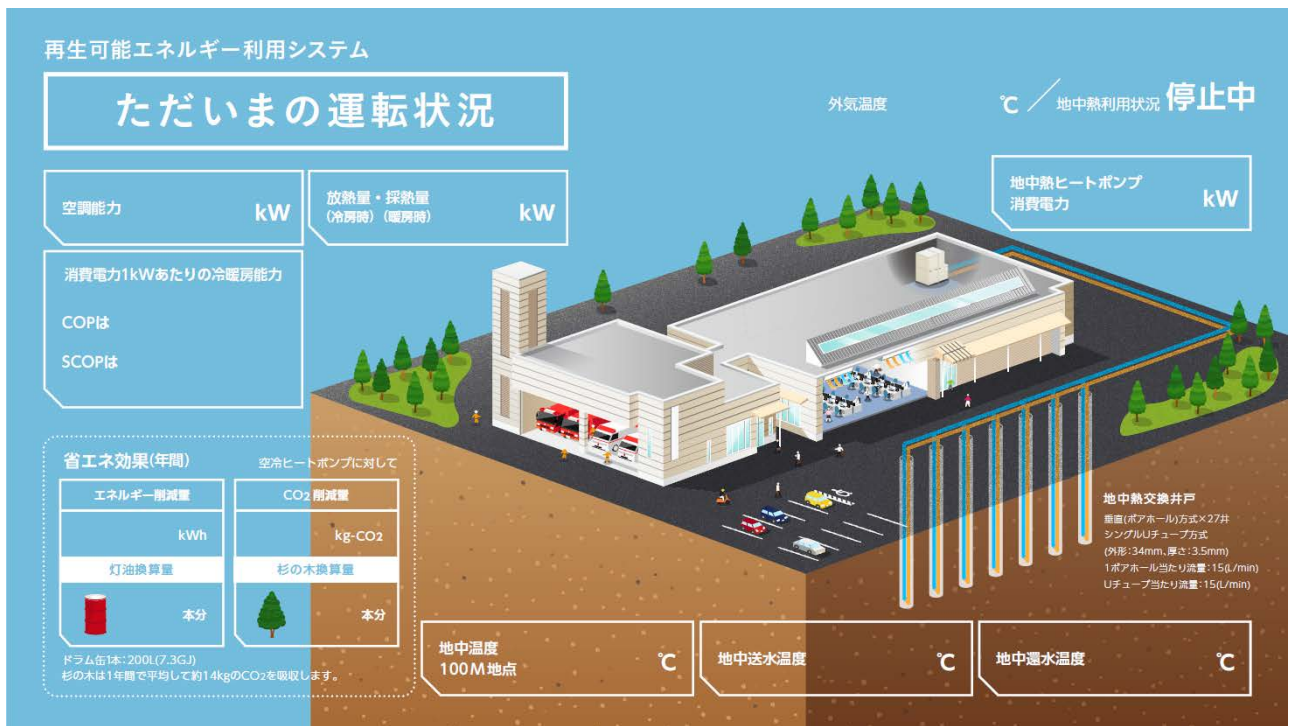


図-6.3.3 地中熱源ヒートポンプ見える化サンプル

【機器選定根拠】

機器容量の検討

空調床面積	648	m ²	
単位面積当りの空調負荷	0.2	KW/m ² ・h	
空調負荷	129.6	KW	
室外機容量（ビルマルチ方式）	46	馬力相当	
冷房能力	130.2	KW	室内空気吸込温度:27°CWB、冷却水:30°C→35°C
暖房能力	145	KW	室内空気吸込温度:20°CWB、熱源水:5°C→0°C
消費電力（冷房時）	26.6	KW	
消費電力（暖房時）	30.4	KW	
COP（冷房時）	4.89		
COP（暖房時）	4.77		

地中熱の検討

冷房時

地中への必要放熱量	156.8	KW	時間当り
ボアホールの単位当り可能放熱量	0.06	KW/m	
ボアホール 総延長	2,613	m	
ボアホール 深さ	100	m	
ボアホール 必要本数	27	本	

暖房時

地中からの必要採熱量	114.6	KW	時間当り
ボアホールの単位長さ当り可能採熱量	0.045	KW/m	
ボアホール 総延長	2,547	m	
ボアホール 深さ	100	m	
ボアホール 必要本数	26	本	

ボアホール 必要本数は 27 本となります

6.4 L 講義棟・地中熱利用ヒートポンプ空調システム

L 講義棟に地中熱源ヒートポンプを導入する場合についての簡易検討を行う。L 講義棟は主に L-1 から L-4 の 4 つの講義室から成る。L 講義棟の平面図を図-6.4.1 に示す。L 講義棟の空調対象範囲として空調面積 1,391 m² に地中熱源ヒートポンプの導入をおこなう想定とした。L 講義棟は、建設当時は冷房無しで暖房は温水コイル組込 AHU であったが、改修にて冷房のため温水コイル組込パッケージエアコンが設置されている。空調方式については、実際は大人数が集まる講義室であるため換気なども含めた検討が必要であるが、本検討では簡易検討のためセントラル空調方式として地中熱対応ヒートポンプチラーを選定した。

本検討においては、単位面積当たりの空調負荷を 0.45kW/m² と想定し、空調負荷はおよそ 620kW とした。想定した空調負荷を満たすよう選定した機器は、表-6.4.1 となる。

表-6.4.1 選定機器

機種	地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー (292.5 馬力相当)
冷房能力	616kW ※冷水:12℃→7℃、冷却水:30℃→35℃
暖房能力	629kW ※温水:40℃→50℃、冷却水:5℃→0℃
消費電力 (冷房時)	156kW
消費電力 (暖房時)	216kW
COP (冷房時)	3.95
COP (暖房時)	2.92

選定した地中熱源ヒートポンプチラーを導入する場合の必要地中熱量について検討する。暖房時必要熱量および冷房時必要放熱量は以下となる。

$$\text{冷房時放熱量} = \text{冷房能力} + \text{消費電力 (冷房時)} = 616 + 156 = 772[\text{kW}]$$

$$\text{暖房時採熱量} = \text{暖房能力} - \text{消費電力 (暖房時)} = 629 - 216 = 413 [\text{kW}]$$

単位長さあたりの熱交換量は、国土交通省の「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案)」(平成 25 年 10 月)の標準値 60[W/m]を使用すると、暖房時より冷房時の必要熱量の方が大きいため、地中熱交換器総延長は以下となる。

$$\text{地中熱交換器総延長} = \text{冷房時放熱量} \div \text{単位長さあたりの熱交換量} = 772 \div 60 \times 1000 = 12867[\text{m}]$$

地中熱交換器 1 本当たりの長さを 100m とすると、地中熱交換井の必要本数は 129 以上となる。

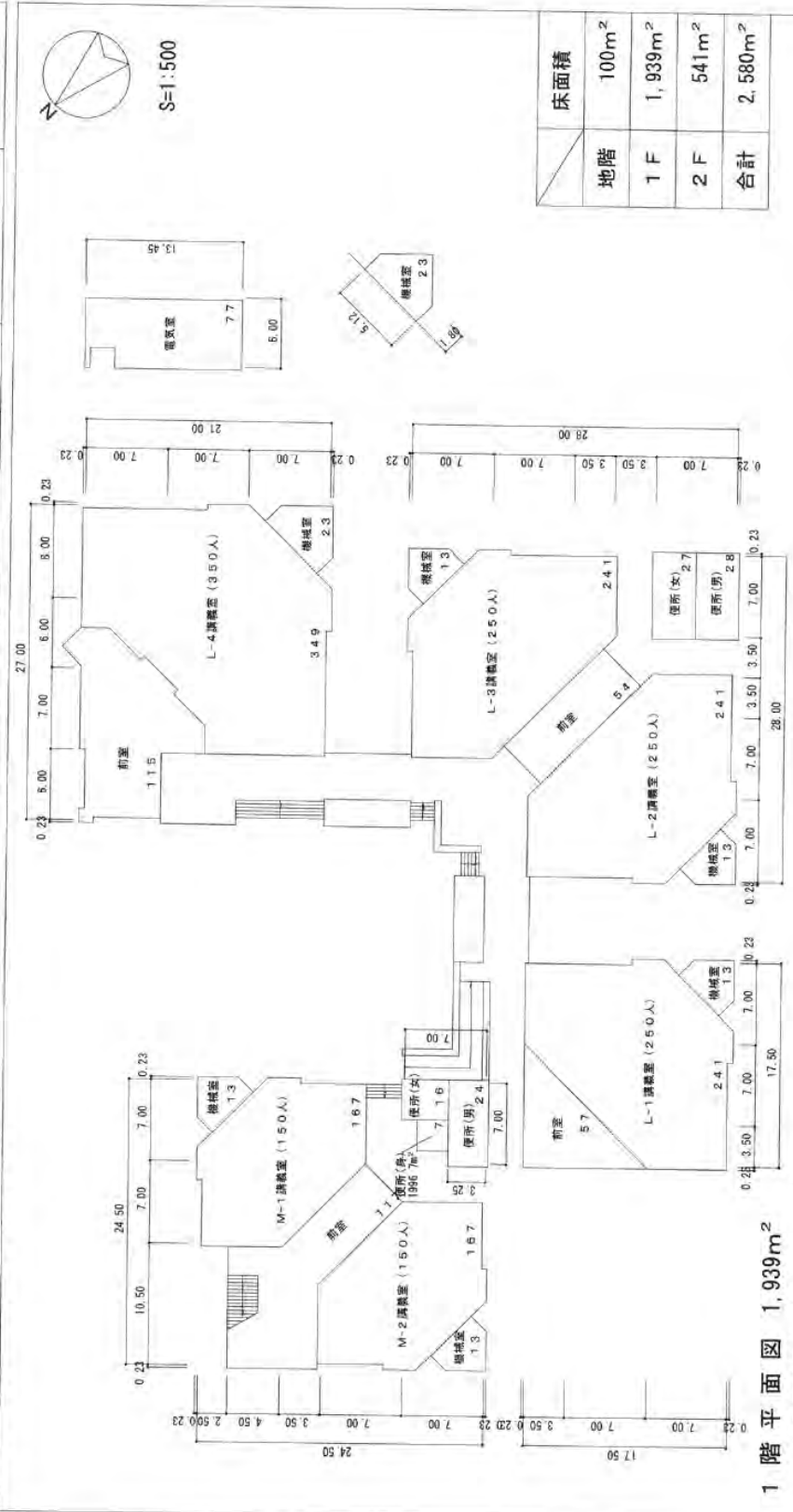
本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合の熱源系統図を図-6.4.2 に示す。

地中熱交換井は 6~7 井で 1 系統とし計 21 系統を地中熱ヘッダーで接続している。地中熱ヘッダーからは、熱源循環ポンプにて地中熱対応ヒートポンプチラーに接続されており、ヒートポンプチラーからは冷温水ヘッダーを経由して二次側系統に接続される。

地中熱交換器を 5m 置きに配置した場合の必要面積は、3,225 m² (25 m²×129 本)、4m 置きの場合 2,064 m² (16 m²×129 本)の確保が必要となる。講義棟周辺はまとまったスペースが少なく、地中熱交換器設置場所の確保が課題となろう。

学校番号	0148	学校名	福島大学	団地番号	016	団地名	金谷川1	棟番号	003
------	------	-----	------	------	-----	-----	------	-----	-----

棟別平面図
 国立大学法人等施設実態報告 (様式3)



床面積	
地階	100m ²
1F	1,939m ²
2F	541m ²
合計	2,580m ²

棟名称	建築年	構造階数	面積区分		面積
			番号	名称	
L講義棟	1996	R 1	1920	共通教育	7m ²
			6920	学部等設備室	214m ²

整理番号	3-0148-016-003
------	----------------

図-6.4.1 L講義棟 平面図

【機器選定根拠】

機器容量の検討

空調床面積	1,391	m ²	
単位面積当りの空調負荷	0.2	KW/m ² ・h	
空調負荷	278.2	KW	
室外機容量（ヒートポンプ）	135	馬力相当	
冷却能力	284.4	KW	冷水:12°C→7°C、冷却水:30°C→35°C
加熱能力	290.4	KW	温水:45°C→50°C、熱源水:5°C→0°C
消費電力（冷房時）	72	KW	
消費電力（暖房時）	99.6	KW	
COP（冷房時）	3.95		
COP（暖房時）	2.92		

1台（22.5馬力）当りの冷却能力	47.4	KW
同上 消費電力	12	KW
ヒートポンプ必要台数	5.9	台
整数に繰り上げ	6	台

1台（22.5馬力）当りの加熱能力	48.4	KW
同上 消費電力	16.6	KW
ヒートポンプ必要台数	5.7	台
整数に繰り上げ	6	台

ヒートポンプ（22.5馬力）の必要台数 6 台

地中熱の検討

冷房時

地中への必要放熱量	356.4	KW	時間当り
ポアホールの単位当り可能放熱量	0.06	KW/m	
ポアホール 総延長	5,940	m	
ポアホール 深さ	100	m	
ポアホール 必要本数	60	本	

暖房時

地中からの必要採熱量	190.9	KW	時間当り
ポアホールの単位長さ当り可能採熱量	0.045	KW/m	
ポアホール 総延長	4,242	m	
ポアホール 深さ	100	m	
ポアホール 必要本数	43	本	

ポアホール 必要本数は 60 本となります

6.5 食農学類棟・地中熱利用ヒートポンプ空調システム

食農学類棟（仮称）を新築する際に地中熱源ヒートポンプを導入する場合についての簡易検討を行う。食農学類棟はRC造4階建て、床面積4,440㎡であり、そのうちの空調対象面積3,740㎡について地中熱源ヒートポンプを導入することを想定する。現時点では面積程度の情報しかないので、仮にセントラル空調方式として地中熱対応ヒートポンプチラーを選定した。

本検討においては、単位面積当たりの空調負荷を冷房0.18kW/㎡、暖房0.20kW/㎡と想定し、空調負荷はおおよそ冷房673kW、暖房748kWとした。想定した空調負荷を満たすよう選定した機器は、表-6.5.1となる。

表-6.5.1 選定機器

機種	地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー（180馬力相当）×2台
冷房能力	758.4kW（379.2kW×2） ※冷水:12℃→7℃、冷却水:30℃→35℃
暖房能力	774.4kW（387.2kW×2） ※温水:40℃→50℃、冷却水:5℃→0℃
消費電力（冷房時）	192.0kW（96.0kW×2）
消費電力（暖房時）	265.6kW（132.8kW×2）
COP（冷房時）	3.95
COP（暖房時）	2.92

選定した地中熱源ヒートポンプチラーを導入する場合の必要地中熱量について検討する。暖房時必要熱量および冷房時必要放熱量は以下となる。

$$\text{冷房時放熱量} = \text{冷房能力} + \text{消費電力（冷房時）} = 758.4 + 192.0 = 950.4[\text{kW}]$$

$$\text{暖房時採熱量} = \text{暖房能力} - \text{消費電力（暖房時）} = 774.4 - 265.6 = 508.8[\text{kW}]$$

単位長さあたりの熱交換量は、国土交通省の「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）」（平成25年10月）の標準値60[W/m]を使用すると、暖房時より冷房時の必要熱量の方が大きいため、地中熱交換器総延長は以下となる。

$$\text{地中熱交換器総延長} = \text{冷房時放熱量} \div \text{単位長さあたりの熱交換量} = 950.4 \div 60 \times 1000 = 15840[\text{m}]$$

地中熱交換器1本当たりの長さを100mとすると、地中熱交換井の必要本数は159本以上となる。

本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合の熱源系統図を図-6.5.1に示す。

地中熱交換井は6～7井で1系統とし計23系統を地中熱ヘッダーで接続している。地中熱ヘッダーからは、熱源循環ポンプにて地中熱対応ヒートポンプチラーに接続されており、ヒートポンプチラーからは冷温水ヘッダーを経由して二次側系統に接続される。

地中熱交換器を5m置きに配置した場合の必要面積は、3,975㎡（25㎡×159本）、4m置きの場合2,544㎡（16㎡×159本）の確保が必要となる。これは4階分すべての空調を地中熱で賄った場合の試算であるため、例えば1階分の空調を地中熱で賄うという場合は、上記の規模の1/4となる。

6.6 共生システム理工学類後援募金記念棟・地中熱利用ヒートポンプ空調システム

現地調査で確認した既設のビルマル熱源機を表-6.6.1.1に示す。

表-6.6.1.1 既設ビルマル熱源機仕様

			単位	No.1	No.2
室外ユニット			—	RTSP400A	RTSP335A RTSP224A
システム名			—	RTSYP400A	RTSYP560A
定格性能	冷房	能力	kW	40.0	56.0
		消費電力	kW	11.6	15.4
	暖房	能力	kW	45.0	63.0
		消費電力	kW	12.1	16.9
暖房低温性能	外気 2°CDB、1°CWB	能力	kW	37.9	51.3
	外気-5°CWB※	能力	kW	45.0	56.0
		消費電力	kW	12.7	17.2

メーカー：ダイキン工業株式会社

※ピーク時の値

上記の熱源機を地中熱利用の水冷ビルマル熱源機に更新することを想定し、システムの概要を検討する。新しい水冷ビルマル熱源機として、ゼネラルヒートポンプ工業製の機種より、以下を選定する。

表-6.6.1.2 地中熱ヒートポンプ選定表

			単位	No.1	No.2
型式			—	ZP3-WS280-T	ZP3-WS400-T
台数			台	2	1
定格性能	冷房	能力	kW	28.0	40.0
		消費電力	kW	6.1	15.2
	暖房	能力	kW	30.8	44.5
		消費電力	kW	9.2	21.2

熱源として必要となる地中熱交換器は、平均的な採放熱量¹⁾である 60W/m を元に計算すると、地中放熱量 191.6kW より L=100m×32 本となる。地中熱交換器の設置に必要な用地は、16 本×2 列に配置するとして、75m×5m 程度と想定される。

想定されるシステム模式図を図-6.6.1.1に示す。

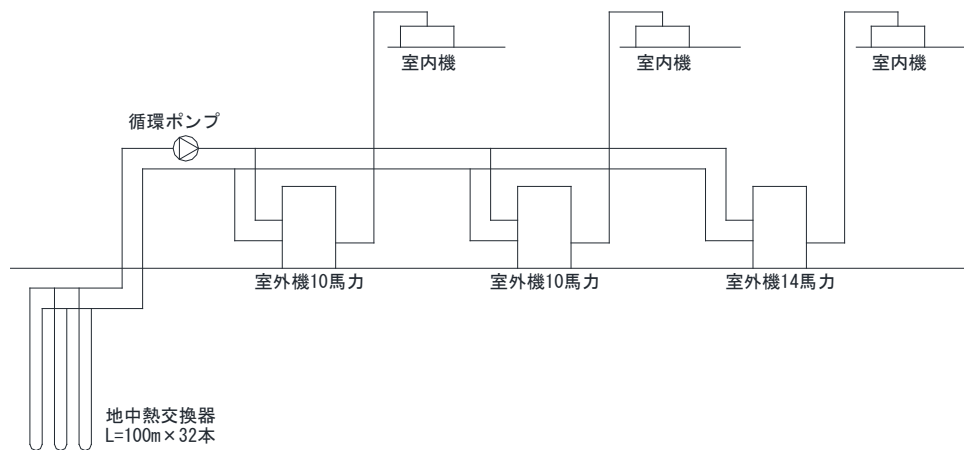


図-6.6.1.1 システム模式図

参考・文献

- 1)国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課 官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案) 2013年10月

6.7 体育館脇道路・排水処理熱利用フリーヒーティング融雪システム

6.7.1 気象条件の整理

気温および風速はアメダス「二本松」(標高 235m)の観測値を集計する。降雪量は「二本松」では観測されていないため、気象台「福島」(標高 67m)のデータを集計する。

表-6.7.1.1 アメダス「二本松」の日最低気温平均値(°C)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	平均
12月	-1.3	-0.1	-1.9	0.4	0.5	-0.5
1月	-4.9	-3.3	-2.1	-1.6	-3.1	-3.0
2月	-3.8	-3.9	-2.4	-1.6	-2.3	-2.8
3月	0.2	0.5	0.7	1.1	-0.4	0.4

表-6.7.1.2 アメダス「二本松」の平均風速(m/s)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	平均
12月	2.1	1.9	2	1.8	2.1	2.0
1月	1.8	2.2	2	2.3	1.9	2.0
2月	2.3	2.2	1.9	2.3	2.3	2.2
3月	2.6	2.5	2.2	2	2	2.3

表-6.7.1.3 気象台「福島」の累計降雪量(cm)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
12月	16	22	46	0	12
1月	75	14	49	58	65
2月	52	103	25	7	32
3月	2	6	7	8	6
合計	145	145	127	73	115

表-6.7.1.4 気象台「福島」の降雪日数(日)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
12月	5	5	12	0	6
1月	13	7	7	11	12
2月	10	9	8	4	10
3月	1	3	6	2	2
合計	29	24	33	17	30

表-6.7.1.5 気象台「福島」の日降雪量平均値(cm/日)

2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	平均
5.0	6.0	3.8	4.3	3.8	4.6

(1) 気温

路面消・融雪施設等設計要領(H20年6月 国土交通省北陸地方整備局)(以下、「要領」)P158より、冬季間で最も気温が低い月の平均日最低気温を設計外気温とする。アメダス「二本松」では1月に最も気温が低くなり、-3.0°Cである。

(2) 風速

「要領」P158より、冬季間で最も気温が低い月の平均風速または2.0m/sのいずれか大きい方を設計風速とする。アメダス「二本松」では1月に最も気温が低くなり、1月の平均風速は2.0m/sである。したがって、設計風速は2.0m/sとする。

(3) 降雪量

「要領」P19より、計画対象降雪強度を下式により求める。年間最大の日降雪量や最大時間降雪深を対象にすると、他の大部分の時間帯において過大な融雪能力となる。そのため、この式で求められる降雪強度は、日降雪量の累積相対頻度が80%となる日における、最大降雪後3時間の平均時間降雪深である。アメダス「二本松」の観測データより、計画対象降雪強度は次のようになる。

$$hs=0.425Hm^{0.7} \dots\dots\dots (1)$$

hs : 計画対象降雪強度 (cm/h)

Hm : 平均日降雪深 (cm/d)

$$\begin{aligned} hs &= 0.425 \times 4.6^{0.7} \\ &= 1.2 \text{ cm/h} \end{aligned}$$

6.7.2 設計条件

設計条件は以下の通りとする。

融雪面積 (A)	246 m ²	図-6.7.2.1 より
降雪強度 (S)	1.2 cm/h	(アメダス「二本松」 2012年度～2016年度より)
外気温 (ta)	-3.0 °C	(アメダス「二本松」 2012年度～2016年度より)
平均風速 (V)	2.0 m/s	(要領P158 より)
雪密度 (ρs)	80 kg/m ³	(要領P23 より)
雪温の絶対値 (Δt)	1.0 °C	(要領P23 より)
雪の比熱 (C1)	0.5 kcal/kg・°C	
水の比熱 (C)	1.0 kcal/kg・°C	
氷の融解熱 (J)	80 kcal/kg	
下部放熱率 (qξ)	0.05	

〔実験結果(土木学会論文集:1994年6月)より、放熱版入口温度が8~21°Cのとき下部放熱率は5%以下である。したがって、下部放熱率は、上部放熱量の5%とする。〕

自由面積比 (Ar) 1.0

〔「便覧」では、0.5~1.0 としている。融雪中の路面は雪で覆われているとみなした場合、気化熱や輻射熱はほとんど無視できる。したがって、自由面積比は0.5とする。〕

加熱状態の
路面温度 (tf) 0.0 °C (要領P158 より)

設計基準書 「道路防雪便覧」日本道路協会→以下「便覧」と略す

「路面消・融雪施設設計要領」国土交通省北陸地方整備局→以下「要領」と略す

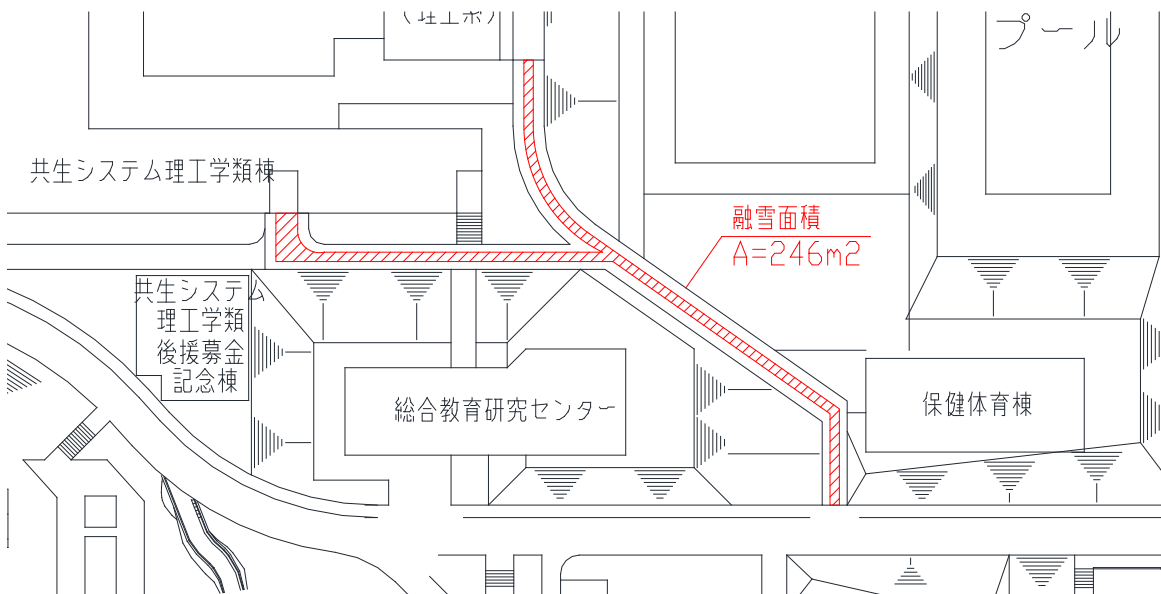


図-6.7.2.1 融雪範囲平面図

6.7.3 設備仕様

設計条件に対する融雪設備の仕様は以下の通りとする。

必要熱量	141 W/m ²
循環流量	170 L/min
全所要熱量	35 kW (往還管の損失熱量を含む)

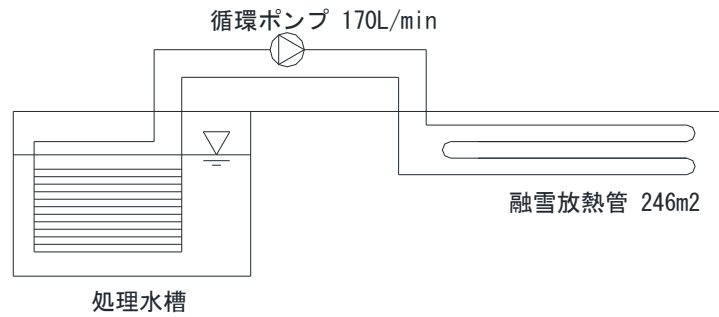


図-6.7.3.1 システム模式図



図-6.7.3.3 送水管平面図

6.7.4 融雪用熱源機器選定

融雪用熱源としては、中水処理施設の処理水（雑用水）を用いる。

処理水は、下水を殺菌、ろ過したものであるため、固形分をほとんど含まないものの、熱交換器表面にスケールやバイオフィームが生じる可能性がある。また、処理水温度が冬季は低いため、熱交換性能が高いものが良いと考えられる。そこで、ここではポリエチレン製細管で構成されたシート状熱交換器（商品名：G-カーペット、図-6.7.4.1）を採用する予定である。ポリエチレン製であるため耐食性が高く、付着した汚れ洗い流しが用意である。また、表面積が大きいため一般的なポリエチレン管使用熱交換器よりも熱交換能力が高い。

シート状熱交換器を実際に使用するにあたって、処理水槽へのアクセス口の大きさが小さいため、ロールケーキのように渦巻状に巻いて、直径を50cm程度に小さくしたバスケット型熱交換器として使用する。

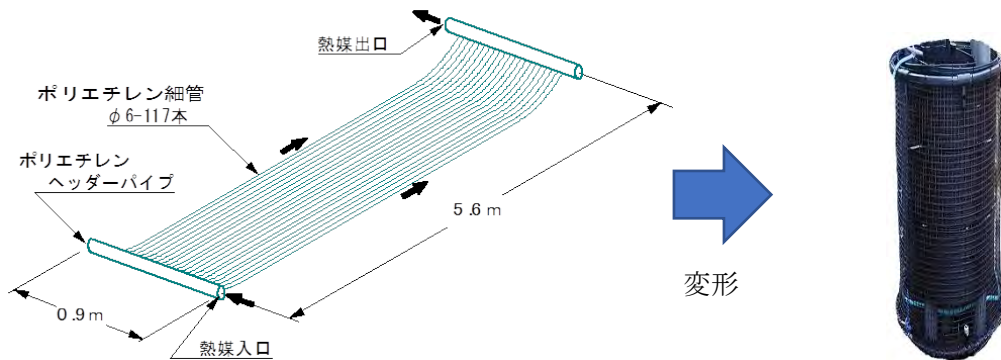


図-6.7.4.1 シート状熱交換器と成型後のバスケット型熱交換器

6.7.5 融雪用熱源機器設計

バスケット型熱交換器（図-6.7.4.1）の熱交換特性は以下の通りである。熱交換器の必要数量は、熱源となる処理水の温度、流量に対して、全所要熱量と想定する不凍液最低温度を満たすように決定する。

全所要熱量と処理水温度、熱交換後温度、処理水流量の関係

$$Q=(T_0-T_2)\cdot G_p\cdot C_p \quad \dots\dots\dots (2)$$

- 全所要熱量 (Q) : 35 kW 融雪設備の仕様
- 処理水流量 (G_p) : 1.27kg/s = 110t/day ≒ 110 m³/day
- 処理水温度 (T₀) : 12 °C 測定記録より
- 処理水比熱 (C_p) : 4.2 kJ/(kg·K) 10°Cの水として
- 熱交換後温度 (T₂) : °C

ここで、(2)式により、熱交換後温度は、5.5°Cとなる。

熱交換器の循環流量と出入り口温度の関係

$$Q=(T_{out}-T_{in})\cdot G_b\cdot C_b \quad \dots\dots\dots (3)$$

- 循環流量 (G_b) : 2.83kg/s ≒ 170L/min 融雪設備の仕様
- 循環水最低温度 (T_{in}) : 3 °C 融雪配管での温度を想定した値
- 処理水比熱 (C_b) : 4.2 kJ/(kg·K) 10°Cの水として
- 循環水出口温度 (T_{out}) : °C 熱交換器での熱交換後の温度

ここで、(3)式により、循環水出口温度は、5.9°Cとなる。

熱交換器の数の算出

$$Q=K\cdot A\cdot dT\cdot N \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$dT=(T_0+T_2)/2-(T_{in}+T_{out})/2$$

- 熱通過率 (K) : 0.14kW/(m²K) at 循環流量 30L/min
- 熱交換面積 (A) : 10.1m² 平板投影面積 (表裏)
- 熱交換器数 (N) : 個

ここで、(4)式により、熱交換器数は、6 個となる。

6.7.6 処理水熱交換器設置仕様

処理水槽内の水中にバスケット型熱交換器を設置し、各熱交換器の循環水往復配管はヘッダーに集約する（図-6.7.6.1）。

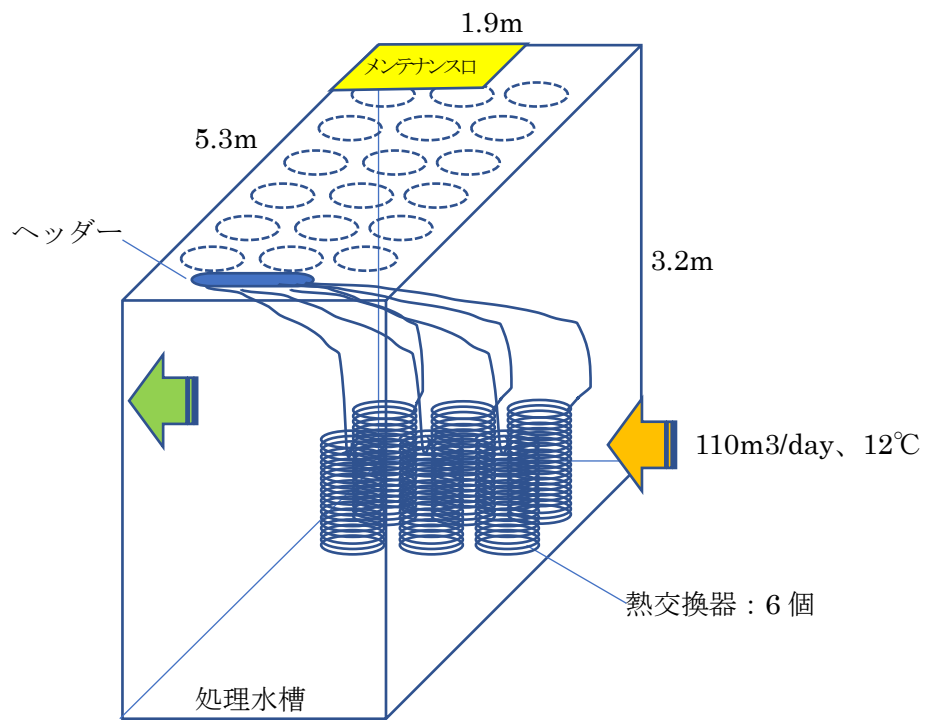


図-6.7.6.1 シート状熱交換器と成型後のバスケット型熱交換器

6.8 学生寮・地下水利用ヒートポンプハイブリッド給湯システム

給湯需要についても再生可能エネルギー熱利用を検討する。キャンパス内でまとまった量の給湯需要があるのは唯一の居住施設である学生寮である。学生寮でも空調需要は当然存在するが、ここでは簡単のため給湯のみを検討する。学生寮は主に如月寮（男子寮 200 室）、信夫寮（男子寮 150 室）、葵寮（女子寮 150 室）から成る。学生寮建物概要を表-6.8.1 に示す。

表-6.8.1 学生寮建物概要

棟名称	構造	階数	延床面積		建築年	備考	
学生寮	如月寮	R C	5	2,446.4	m ²	1980	男子寮（調査対象）200 室
	信夫寮	R C	4	2,697.3	m ²	1980	男子寮（調査対象）150 室
	葵寮	R C	4	2,654.1	m ²	1980	女子寮（調査対象）150 室
	管理棟	R C	1	260.00	m ²	1980	電気室有（調査対象外）

給湯設備は各階ごとにシャワーユニットが 2 か所、ユニットバスが 1 か所で設置されており、都市ガスを使用した瞬間型給湯器により供給されている。ここではこの給湯分を地中熱（地下水熱）ヒートポンプ給湯機にて賄う場合の検討を行う。給湯設備の現況の図面を図-6.8.1 に示す。

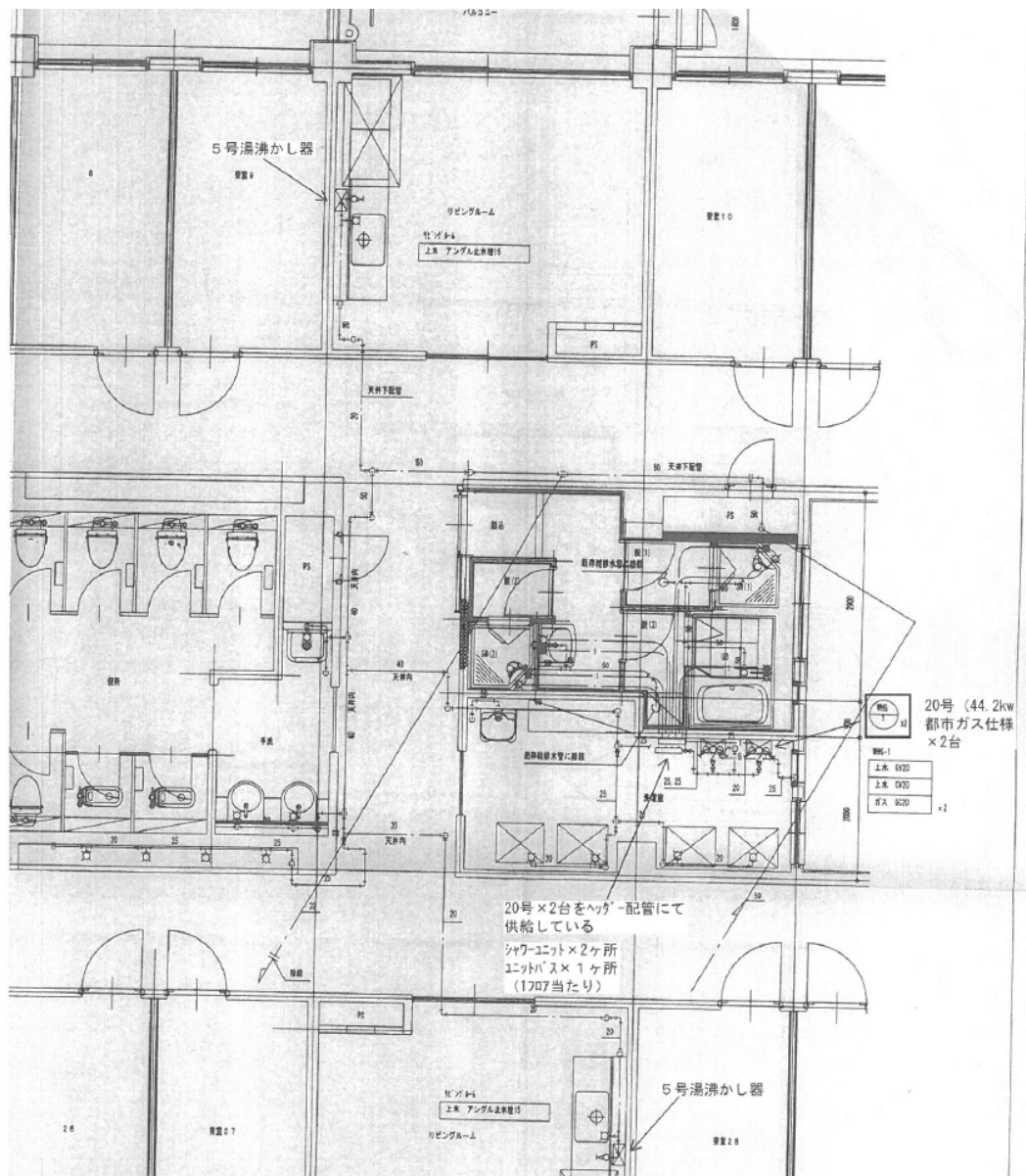


図-6.8.1 給湯設備現況

シャワー使用分と浴槽使用分の給湯量を 160L/人・日と仮定すると、最大 500 人利用で 80,000L/日の給湯量（45℃換算）が必要となる。上記給湯量を 60℃換算すると 1 日 60,000L の給湯量となり、補給水 5℃、給湯温度 60℃とすると 1 日の給湯熱負荷量は 3,837kWh である。

6.8.1 3 棟分の給湯を 1 つの設備で行う場合

ヒートポンプにより運転時間 15 時間で給湯を行うとすると、必要給湯熱負荷は 256kW となる。想定した給湯熱負荷を満たすよう選定した機器は表-6.8.2 となる。

表-6.8.2 選定機器

機種	地下水熱対応水冷式ヒートポンプ給湯機（105 馬力相当）
給湯能力	288.4kW ※給湯:5℃→60℃、熱源水:10℃→5℃
消費電力	72.1kW
COP（暖房時）	4.0

選定した地下水熱源ヒートポンプ給湯機を導入する場合の必要地下水量について検討する。給湯時必要際熱量は以下となる。

$$\text{給湯時採熱量} = \text{給湯熱負荷} \times (\text{COP}-1) / \text{COP} = 256 \times (4-1) / 4 = 192 \text{ [kW]}$$

地下水から取得する温度差を $\Delta t=5^\circ\text{C}$ として必要際熱量から必要地下水量を算出すると、550L/min となる。地下水熱利用ヒートポンプを学生寮の給湯のため導入する場合の熱源系統図を図-6.8.2 に示す。地下水の揚水量を抑えるため井水槽を設置している。井水はヒートポンプから要求される水質基準を満たさなければ、ヒートポンプに直接入れることはできないため、ヒートポンプと井水槽の間にはプレート式熱交換器を設けている。井水槽からプレート式熱交換器に送られ熱交換を終えた後の還りの地下水は、還り温度により井水槽に戻るか、または還元井戸に還る。ヒートポンプによりつくられたお湯は、蓄熱運転により夜間もしくは低負荷時間帯に貯湯槽に貯められ、利用により水位や温度が低下すれば追掛運転が行われる。貯湯槽容量はここでは 50 m³とした。貯湯槽より 3 棟への給湯を行う。

6.8.2 1 棟ごとに設備を分ける場合

設備を棟ごとに分けて設置した方がよい場合、もしくは 1 棟のみ検討する場合について、実際は寮ごとに室数が異なるため負荷は同じではないが、ここでは各寮の負荷を全体負荷の 1/3 として検討を行う。給湯の熱負荷量は 1,279kW(3,837kW÷3)とし、ヒートポンプにより運転時間 10 時間で給湯を行うとすると、必要給湯熱負荷は 128kW となる。想定した給湯熱負荷を満たすよう選定した機器は表-6.8.3 となる。

表-6.8.3 選定機器

機種	地下水熱対応水冷式ヒートポンプ給湯機（60 馬力相当）
給湯能力	164.8kW ※給湯:5℃→60℃、熱源水:10℃→5℃
消費電力	41.2kW
COP（暖房時）	4.0

選定した地下水熱源ヒートポンプ給湯機を導入する場合の必要地下水量について検討する。給湯時必要際熱量は以下となる。

$$\text{給湯時採熱量} = \text{給湯熱負荷} \times (\text{COP}-1) / \text{COP} = 128 \times (4-1) / 4 = 96 \text{ [kW]}$$

地下水から取得する温度差を $\Delta t=5^\circ\text{C}$ として必要際熱量から必要地下水量を算出すると、275L/min となる。地下水熱利用ヒートポンプを学生寮の給湯のため導入する場合（1 棟分）の熱源系統図を図-6.8.3 に示す。貯湯槽容量はここでは 20 m³とした。

本図は学生寮全3棟のうち、1棟分の給湯対応となります。
給湯量：26,667 L (45°C換算)

システム系統図

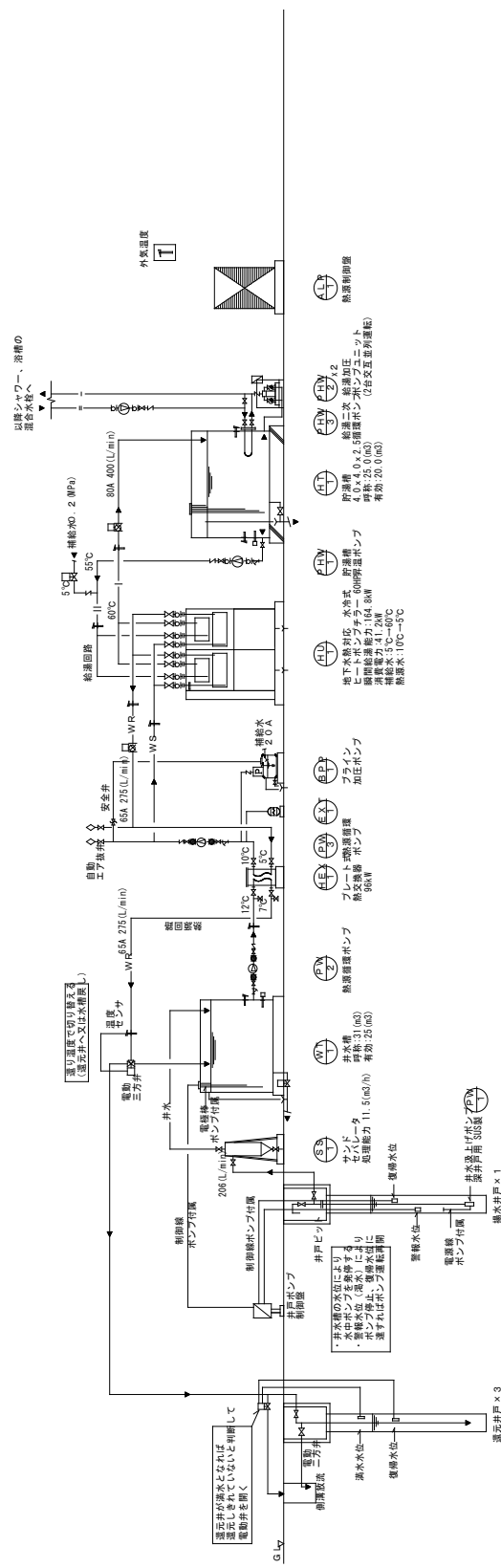
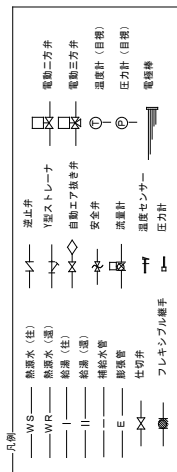


図-6.8.3 地下水熱利用ヒートポンプ給湯系統図 (1棟分)

6.8.3 ハイブリッド給湯システム

ハイブリッド給湯システムとは、ヒートポンプ給湯とガス給湯のハイブリッドシステムで、ヒートポンプでベース運転を行い、ピーク時はガス給湯を行うものである（図-6.8.4）。ピークと低負荷時の差が大きい場合、ピークに合わせてヒートポンプシステムを設計するとヒートポンプ容量が増え、電力のデマンドも大きくなる欠点があるが、ハイブリッドシステムとすることで、ヒートポンプの容量や電力デマンドを抑えることができる。寮での給湯の利用パターンを把握し、利用状況によってはハイブリッド給湯システムを検討することも必要となろう。また、太陽熱集熱器との組み合わせも検討材料となる。

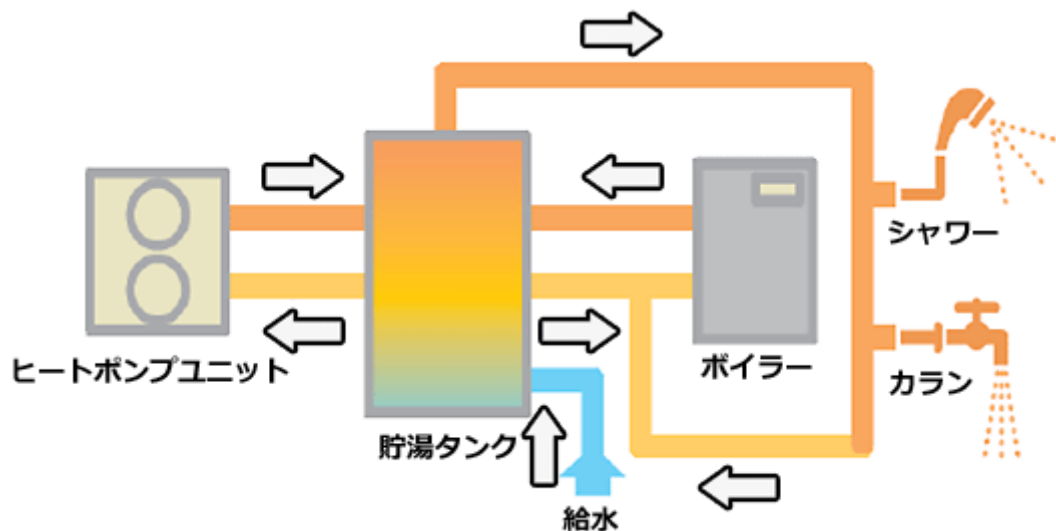


図-6.8.4 ハイブリッド給湯システム（北海道電力 Web ページより
http://www.hepco.co.jp/business/electrification/equipment/hot_water.html）

【機器選定根拠】

機器容量の検討

1日に必要な給湯量(42°C換算)	80,000	L	頂いた資料より
上記必要量を60°Cに換算	56,000	L	
補給水の温度	5	°C	
給湯出口温度	60	°C	
1日当りの給湯負荷量	3,581	KW/日	$56000 \times (60-5) / 860$
運転時間	15	h	
時間当り必要能力	239	KW	
室外機容量(ヒートポンプ)	105	馬力相当	
瞬間給湯能力	259	KW	給湯:5°C→60°C、熱源水:5°C→0°C
消費電力	72.1	KW	
COP	3.59		
1台(15馬力)当りの給湯能力	37	KW	
同上 消費電力	10.3	KW	
ヒートポンプ必要台数	6.5	台	
整数に繰り上げ	7	台	

ヒートポンプ(15馬力)の必要台数 7 台

循環水量、井水槽容量、汲上げ量の検討

循環水量

ヒートポンプの運転に必要な採熱量	172.4	KW	時間当り
温度差(Δt)※プレート熱交利用	5	°C	高温側:12°C→7°C、低温側:5°C→10°C
水量	494	L/min	

井水槽容量

必要循環水量の	1.5	時間分	を水槽の有効容量とする
	44.5	m ³	

井水の必要汲上げ量

	371	L/min	水槽ストック分を考慮して循環水量の75%とした
--	-----	-------	-------------------------

6.9 デマンドレスポンスと蓄熱・貯湯システム

6.9 スマートグリッドとヒートポンプの組合せによる制御

太陽光や風力などのお天気まかせの発電方式を、電気の安定供給や有効利活用するために、周辺技術が進展している。送ったり、使ったりするのに容易な電気で蓄えるのが望ましい。しかし、導入コストが高いために残念ながらあまり普及していない。

余剰電力を用い、水素を製造する技術も普及し始めようとしている。東芝と東北電力、岩谷産業の3社が、数十億円を投資して世界最大級の水素工場を福島県浜通りの浪江町棚塩・請戸地区に建設する。次世代エコカー10,000台分の燃料に相当する年間900トン製造するという。

簡単なのが、熱に変えて貯める方法である。空調や工場の熱利用用途の蓄熱は廉価だし、技術も確立している。また、宿泊施設や医療施設、社会福祉施設等の業務用給湯システムの多くは、貯湯槽を有しているし、年間を通して使えるため有望株の筆頭とされている。福島大学学生寮でも、リノベーションにより貯湯槽を設けた中央式給湯システムを導入して、再生可能エネルギー電気の有効活用を考慮したい。今後、スマートグリッドとヒートポンプを組み合わせた制御技術が重要になる。

スマートグリッドやスマートコミュニティ（図-6.9.1）は、デジタル機器や情報通信技術、再生可能エネルギーを電気に変換する技術や蓄電する技術、ビルのエネルギー管理システムや気象データ、温湿度制御を最適化する予測システム技術などの発展が背景にある。具体的には、デジタル家電、家庭用のコンセント等の外部電源から充電可能なプラグインハイブリッド自動車（PHEV：Plug-in Hybrid Electric Vehicle）、BEMS、HEMS、スマートメータ、太陽光発電、バイナリ発電、デマンドレスポンス等の先進的な技術の融合である。

スマートグリッドを直訳すると、賢い送配電網とか、洗練された送配電網となる。情報通信や情報制御技術を使って、電力エネルギーのネットワークを効率的に運用する。スマートグリッドにより、電力の見える化をはかることができ、電力需要の平準化が可能になる。これにより、ピーク電力を増強・維持するための投資を回避できる。アメリカ合衆国のブルトラル社の試算では、スマートグリッドによって、ピーク電力需要が12%削減できるとされている。さらに、電力会社とエンドユーザーの機器の情報共有で、最適運用することにより、マクロの電力需要を20~30%低減できるという試算もある。アメリカ合衆国で、乗用車・小型トラックがPHEVに置き換わり、夜間に充電するようになれば原油輸入量の52%に相当する620万バレルの石油消費を抑制できると考えられている⁴⁾。

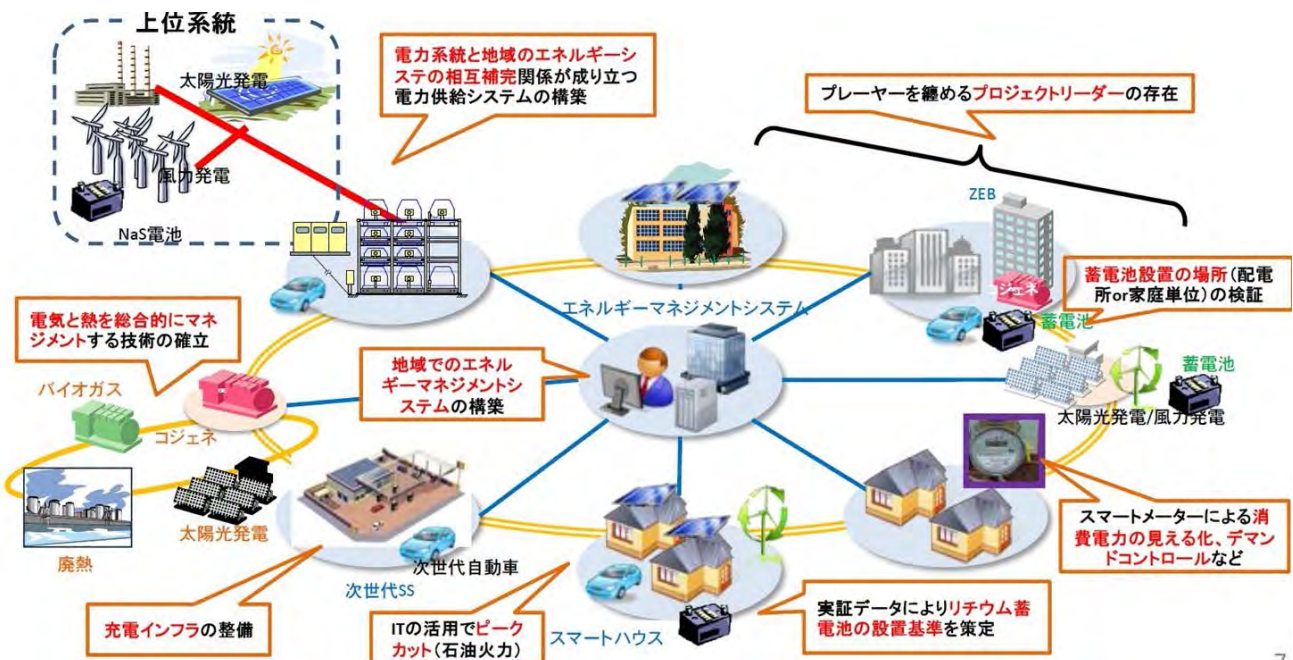


図-6.9.1 スマートコミュニティの概念

（経済産業省：次世代エネルギー・社会システム実証地域選定結果）

6.9 デマンドレスポンスと蓄熱・貯湯システム

デマンドレスポンスの制御でエネルギーを蓄えるのは、ヒートポンプ給湯機や蓄熱式空調システムのように水や氷などに熱として蓄える方法と、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）を含む蓄電池に電力を蓄える方法がある（図-6.9.2）。電力系統の需要が増えると PHEV に搭載された蓄電池から電力を供給させるが、この概念は、既に TV の CM でも放送されている。現時点で、エネルギーを蓄える技術は、前者の熱として蓄えるのが安価で、技術も確立している。

余剰電力を利用して空気調和熱源に蓄熱利用を考えても、中間季や中間季に近い夏冬の時期は、空気調和熱負荷が少ないことから十分に機能を果たせないこともある。給湯や業務用浴槽熱源は、年間を通して熱負荷があることが多く、有効な余剰電力を使った熱変換が期待できる。とくに、業務用給湯システムには、貯湯槽を設けることが多く、貯湯量を多くすることでデマンドレスポンスに応答しやすい。しかし、福島大学学生寮は、夏季や冬季、春季の長期休暇があることも考慮する必要がある。

現在、業務用蓄熱契約であれば夜の 22 時から翌朝の 8 時までを深夜電力時間帯として、割安な料金設定がある。デマンドレスポンスの普及により、時間帯と電力料金単価が可撓性を持つものになると考えられている。

平成 26 年 4 月施行の省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）の改正で、貯湯槽を持つ給湯システムの有効性がはかられる。この中で電力ピークの需要家側における対策が重要な改正点であるが、蓄熱式空調方式や蓄電はシステムの導入が必要である。しかし、貯湯槽付きの給湯システムではヒートポンプ給湯機の制御で対応できる。

一般財団法人電力中央研究所では、家庭用エコキュートの稼働をスマートグリッドと連動する実験や考察を行っている⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

平成 23 年より国内 4 箇所で次世代エネルギー・社会システム実証事業（スマートコミュニティ実証事業）がはじまった。このうち北九州市八幡東田地区の事業区域内にある大型の社員寮では、ヒートポンプ給湯機（エコキュート）の貯湯槽容量を大きめにして、前日に時刻ごとの電力料金単価の連絡を受けて、安い時間帯にお湯を沸かすことができる技術を受け入れられるようにした¹¹⁾¹²⁾。



図 6.9.2 デマンドレスポンスによる蓄熱・蓄電の概念
(スマートコミュニティフォーラムにおける論点と提案)

引用・参考文献

- 1) 赤井仁志:再生可能エネルギー熱利用技術の動向と今後の展望,伝熱(日本伝熱学会誌), (2017-4), pp.27~34
- 2) 赤井仁志:再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでの熱利用の方向性,電気設備学会全国大会講演論

文集(2017-8) , pp.116～117

- 3) 赤井仁志・新倉万結:再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでのヒートポンプの活用, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集(2018-3)
- 4) 福井エドワード:スマートグリッド入門,(2009),pp.31～33・pp.47～48・pp.171～172
- 5) 伊藤義康:分散エネルギー入門,(2012),pp.16～26・pp.104～107
- 6) 柏木孝夫:スマート革命,(2010),pp.32～54
- 7) 八太啓行・上村敏:需要家機器との連携制御を用いた需要地系統構成・運用法 – 変電所への蓄電池設置時の効果 –, 電力中央研究所報告,R08019,(2009-6),pp.1～16
- 8) 浅利真宏・所健一・小林広武・伊藤正幸:需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流抑制方式 – 予測の不確実性を考慮したヒートポンプ式給湯機の運用計画法 –, 電力中央研究所報告,R08025,(2009-8),pp.1～14
- 9) 八太啓行・小林広武・大嶺 英太郎:太陽光発電出力予測を用いた需要地系統の翌日運用計画法 – 需給一体化制御による余剰電力活用効果 –, 電力中央研究所報告,R10001,(2010-7),pp.1～17
- 10) 浅利真宏・所健一:需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流制御方式の開発(年間シミュレーションと実証試験),電力中央研究所報告,R09023,(2010-9),pp.1～17
- 11) 浅利真宏・小林広武・鈴木啓:需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流制御方式-ヒートポンプ式給湯機翌日運転計画手法の実証試験と改良,電力中央研究所報告,R10042,(2011-1),pp.1～16
- 12) 中村靖:オフィスビルと寮における導入事例,新日鉄住金エンジニアリング(株)北九州技術センターE 館と北九州寮,再生可能エネルギーとしての地中熱利用,建築設備と配管工事,(2013-1 増刊号),pp.144～152
- 13) 中村靖:北九州スマートコミュニティ創造事業における地中熱利用事例,新日鉄住金エンジニアリング北九州寮,ヒートポンプとその応用,(2013-3),pp.28～33

6.10 大規模災害時の避難所としての配慮

2011年3月11日の東日本大震災の影響による東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、福島大学の第二体育館は、福島第一原子力発電所周辺から避難した方々の避難所となった。既往文献から転載して、大規模災害時の避難所としての配慮を記載する。

なお、停電時の太陽光発電からの電源の確保は、「8.5 大規模災害時・停電時の自立電源システム」を参照願いたい。

6.10.1 避難所の建築設備を考慮した事例

6.10.1.1 はじめに

2007年（平成19年）8月（平成20年7月一部追記）に、国立教育政策研究所 文教施設研究センター 避難所となる学校施設の防災機能に関する調査研究会が作成した『学校施設の防災機能の向上のために～避難所となる学校施設の防災機能に関する調査研究報告書～』¹⁾と、2011年（平成23年）10月26日に、文部科学省大臣官房文教施設企画部施設助成課がまとめて公表された『公立学校施設整備に関する防災対策事業活用事例集』²⁾、空気調和・衛生工学会『学校トイレの計画・メンテナンスマニュアル～つくる、使い続ける みんなの学校トイレ～』³⁾、学校のトイレ研究会誌⁴⁾⁵⁾等の文献調査をおこない、学校を避難所として利用する場合の建築設備の対応を考察した。

6.10.1.2 災害用井戸の設置（東京都調布市）

調布市では、基本計画推進プログラムF230に基づき、全小中学校に「災害用井戸の設置」をすすめ、現在ではほぼ全小中学校に設置されている（写真-6.10.1.1、写真-6.10.1.2）。また、平成23年度中には、市民大町スポーツ施設内へ設置して、今後も防災井戸や流水式タンクの適切な維持管理を行い、緊急時の水の確保を図ることにしている。



写真-6.10.1.1 災害用井戸の例
（調布・生活者ネットワークホームページより）



写真-6.10.1.2 災害用井戸の例
（調布・生活者ネットワークホームページより）

6.10.1.3 防災井戸とかまどベンチの設置（滋賀県東近江市）

平成22年1月に完成した市立箕作小学校に、非常時の生活用水が確保できる防災井戸を設置した（写真-6.10.1.3）。ただし、防災井戸は原水の汲み上げとなっているため、飲料水としての利用は行っていない。また、中庭に、かまどベンチを設け（写真-6.10.1.4）、災害時に炊き出しが可能とした。



写真-6.10.1.3 災害用井戸

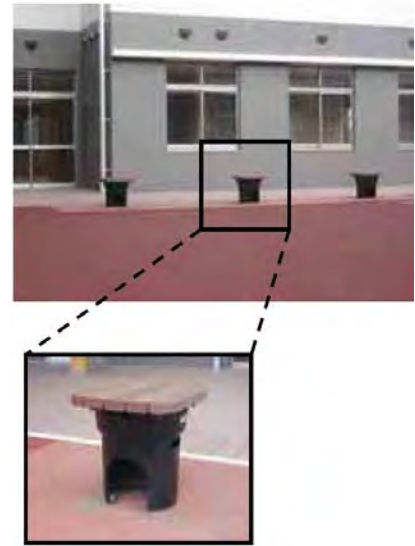


写真-6.10.1.4 かまどベンチ

6.10.1.4 プール水の消防用採水口と水栓付き受水槽（東京都杉並区）

東京都杉並区では、区内の学校の改築に併せて、震度5強以上の地震が起きた場合の避難所（震災救援所）としての機能を強化することを実施した。例えば、断水した場合でも、受水槽の水を使用することができるように、受水槽に水を取り出せる水栓を備えた(写真-6.10.1.5)。また、消防の消火活動用水として、防火水槽の他、屋上プールの水を利用できるように、昇降門付近から直接採水できるようにした(写真-6.10.1.6)。本事業は、平成22年11月に完成した。



写真-6.10.1.5 水を取り出せる水栓を備えた受水槽



写真-6.10.1.6 屋上プールの水を消火に使用できる消防用採水口

6.10.1.5 学校用遊泳プール水利用緊急用給水システム（徳島県吉野川市）

吉野川市は、浄化型遊泳用プールに緊急災害時に、プール水を飲料水や生活用水として利用するため緊急用給水システムを設置した。処理の段階によって、消火用水、生活用水、飲料水を分けて取り出せるようにした(図-6.10.1.1)。

給水システムの整備によって、66,000ℓ（2,000人・3日分）の水の供給が可能となった。年1回の防災訓練の時には緊急用給水システムを稼働させて、体験するなど地域住民の防災意識の向上につながっている。

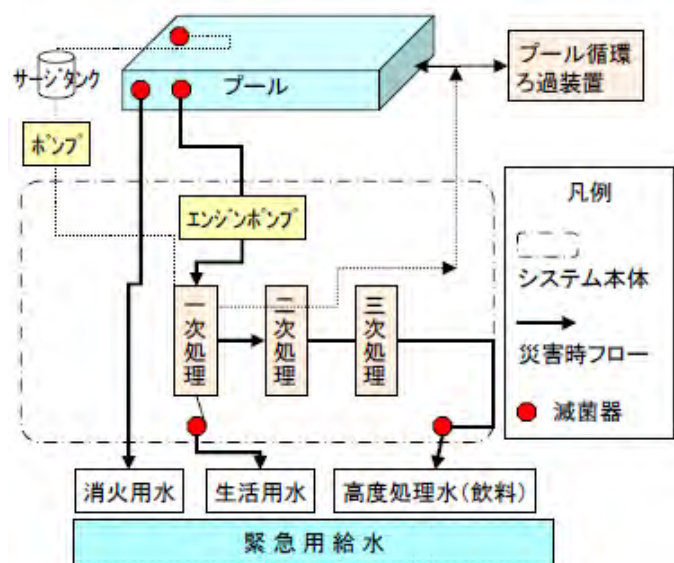


図-6.10.1.1 緊急用給水システム概要図

6.10.1.6 下水道直結型マンホールトイレ（東京都目黒区、兵庫県神戸市）

東京都目黒区では、災害時に避難所となる区立小中学校や公園に、下水道直結型マンホールトイレの整備を行った（写真-6.10.1.7）。避難所となる小中学校等では、震災時に下水配管等の損傷などにより施設既存のトイレが使用できなくなる恐れもあり、避難所生活に支障をきたすことが想定される。そのような事態を避けるために、貯留式の仮設トイレを配備してきたが、地震による揺れに強く、し尿処理に問題の少ない下水道管直結型トイレの整備を進めている。

従前の貯留式のトイレでは、し尿処理や衛生面に関して不安が多かったが、尿尿を下水道管本管に直接流すことにより、尿尿処理や衛生面が改善される。避難所は老若男女、様々な人が生活することから、洋式タイプのトイレ・テント（写真-6.10.1.8）のほか、車イス対応型のトイレ・テントや和式タイプのトイレ・テントも整備した。

兵庫県神戸市では、阪神淡路大震災の経験を踏まえて、災害時のトイレ機能の確保を目標に実施した。阪神淡路大震災で露見した以下の問題点に対応できた。

- ・道路交通寸断により、バキューム車による収集が困難。
- ・汲み取り式仮設トイレに必要なバキューム車が年々減少（トイレの水洗化が進むことによりバキュームカーが減少）。
- ・くみ取り式仮設トイレが、女性から敬遠された。

このトイレは、学校の防災訓練の一項目として活用している。1カ所あたり5基設置して、そのうち4基を洋式、1基を多機能トイレとしている。設置目標を、300基（60カ所）として、整備を進めた。

神戸市では、状況に応じて、貯留型と幹線通過型とに分けて、整備した。貯留型は、特殊マンホールの貯留弁を閉め、注水用ますから仮設水洗トイレ用下水道管に一定量の水を注水・貯留して、ある程度汚物が堆積したのち、貯留弁を開け、一気に流す（図-6.10.1.2）。一方、幹線通過型は、バイパスのように仮設水洗トイレ用下水道管を布設し、上流から流れてくる汚水を利用して汚物を流す（図-6.10.1.3）。



写真-6.10.1.7 非常時にトイレとして使用できるマンホールトイレ（東京都目黒区）



写真-6.10.1.8 マンホールトイレ設置の様子（東京都目黒区）

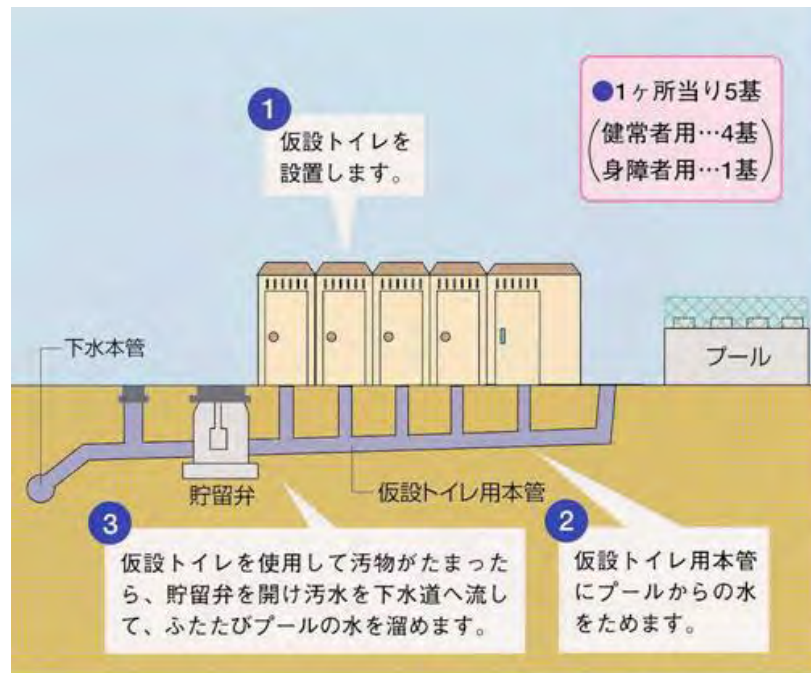


図-6. 10. 1. 2 貯留型下水道直結型マンホールトイレの構造
(兵庫県神戸市)

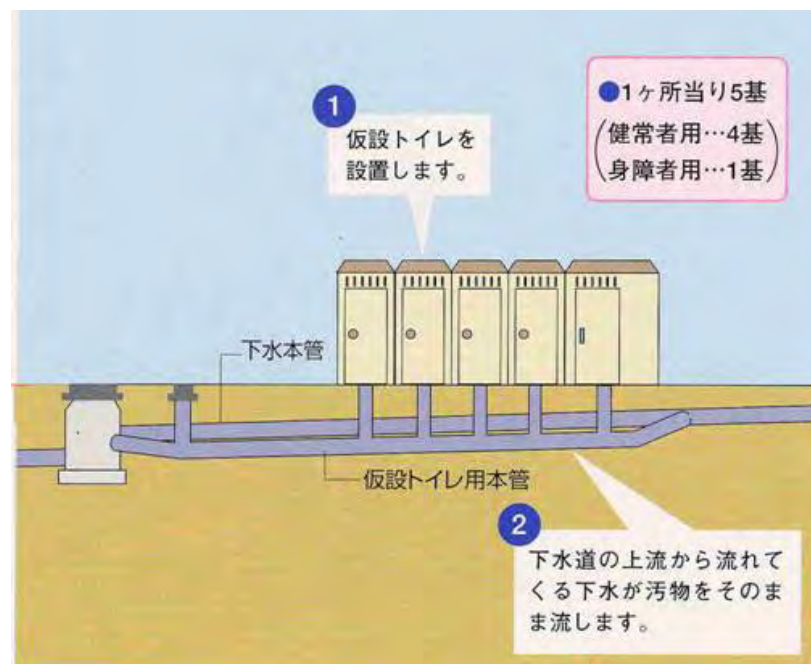


図-6. 10. 1. 3 幹線通過型下水道直結型マンホールトイレの構造
(兵庫県神戸市)

6.10.1.7 避難所としての床暖房の整備（福井県鯖江市）

2005年（平成17年）度に、万一の災害に備えて、中河小学校体育館に床暖房を設置した（図-6.10.1.4）。これは、アリーナ部分の床下を利用した床下暖房設備を設置して、冬季間の災害時の避難所としての居住性の向上させたものである。

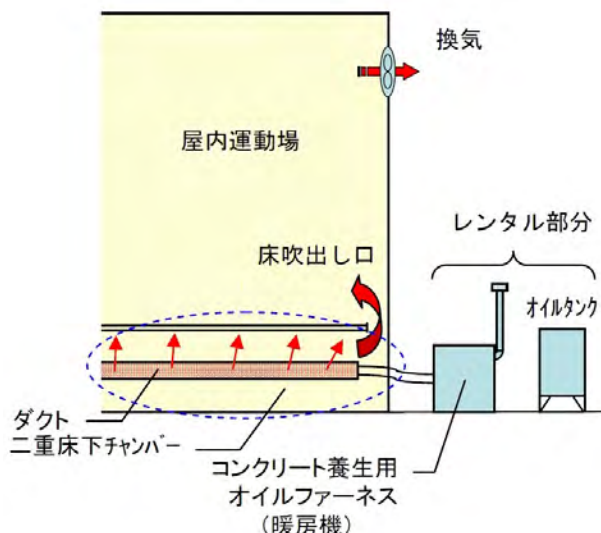


図-6.10.1.4 床暖房システム構成図

6.10.1.8 避難所としての防災機能を重視した中学校の改築（新潟県長岡市）

新潟県長岡市では、東中学校の施設の老朽化に伴い、2003年度（平成15年度）から、学校教職員、PTA、後援会と地元住民とともに施設の全面改築に向けた検討を進めていた。その最中の04年（平成16年）10月に新潟県中越地震が発生したことから、避難所としての機能を充実させることが重点課題となり、市職員に上記関係者も交えて検討を重ねた。竣工は、08年（平成20年）11月である。主な特徴は、次の通りである。

- ① 屋内外で避難住民が使用するスペースに配慮した施設配置・・・避難住民が使用する屋内のスペースを1階レベルに集約して、外部からの支援物資の搬入や足腰の弱い避難者の受け入れを容易にした。
- ② 炊き出し活動を行える場所を避難住民が使用するスペースに隣接・・・給食室を体育館や外部スポーツ広場に隣接して配置して、避難所となった場合に、給水車の乗り入れや炊き出し釜等の設置を可能にした。
- ③ 積雪時及び降雨時の避難活動を支援する屋根付屋外広場・・・積雪時には、屋外における避難活動は困難を極めるため、屋根付の屋外広場（ビッグルーフ）を設け、冬季の避難活動に必要なスペースを確保した。
- ④ 避難者の多様な要求に対応した施設・設備の集積・・・子どもや高齢者の避難を考慮して、武道場に簡易暖房を設け、畳の上の暖かい避難場所とした。
 - ・水確保の対策として、受水槽の水を飲料水として取り出すことのできる水栓を設置するほか、トイレ洗浄水に雨水を貯めた中水を利用する。
 - ・多機能トイレ、屋外から利用できるトイレ、シャワーブース付の更衣室を設けた。
 - ・主に避難所として使用する体育館にテレビ受信、電話配線、LANの配線等を整備。
- ⑤ 円滑な救護活動が展開できる保健施設配置・・・保健室をグラウンドや体育館に隣接して配置して、ケガ人等の応急救護活動を速やかに展開するとともに、救急車両等による搬出を容易にした。
- ⑥ 開放ゾーンとの重ね合わせによる地域防災力の向上・・・日常的に地域開放を行うゾーンと避難住民が利用するゾーンを重ね合わせて、地域住民が平常時から施設に馴染み、避難所として活用した場合のイメージを共有できるようにした。

また、11年（平成23年）12月に竣工した宮内中学校は、中越大震災と東日本大震災の教訓が随所に盛り込み、避難所としての機能を充実させた。避難所として利用した際の使いやすさを考慮し、救援物資の搬入に便利な屋根付き広場、炊き出しに便利な給食室などを体育館の近くに設けた。さらに、太陽光発電や雨水利用を採用した。避難所としての主な特徴は、次の通りである。

- ① 停電や断水でも飲料水が確保できるように受水槽に蛇口を設置（写真-6.10.1.9）
- ② 体の不自由な人などに配慮して、体育館のトイレ1カ所を洋式に変更

- ③ 体育館の出入りに段差解消用のスロープを整備
- ④ 避難所本部となる体育館にテレビ用・電話用配線を整備



写真-6.10.1.9 受水槽に取り付けられた蛇口（新潟県長岡市立宮内小学校）

6.10.1.9 防災拠点施設としての小学校体育館の改修（埼玉県松伏町）

松伏町立松伏第二小学校体育館の改修にあわせて、災害時の防災拠点としての機能を含めた。松伏第二小学校は、町役場の至近距離にあり、町民とともに多目的に使える施設作りをするということもあった。校庭をより広く使いたいという学校の希望に併せてプールを屋上に設置した。また、学校の地域開放を見据えて、多目的教室も併設した、複合的な体育館にした。体育館は、1階がアリーナと学校開放を前提としたシャワールーム付きの更衣室、2階は多目的室、3階にはコンピュータ室、屋上がプールという構成である。

また、に各階に多目的トイレが設置され、エレベータも設置されて、校舎全体のバリアフリー化を実施した（図-6.10.1.5、図-6.10.1.6）。

体育館の屋上に水をたたえたプールがあることは、高置水槽と同様の機能を有していることになる。つまり、ポンプを使わずに、自然落下でトイレに給水できる。プールからの排水経路をふたつ用意して、非常時にはバルブの手動操作によって経路を変更して、水をトイレに導くことができるように配管された（写真-6.10.1.10、写真-6.10.1.11）。

冬季に体育館を避難所とする場合、暖気が天井の高い上部に溜まるために、効率が悪い。そ

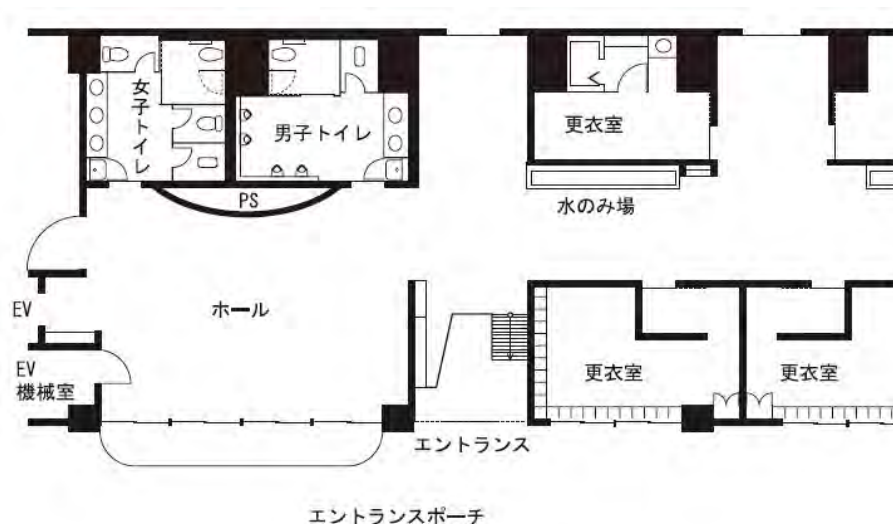


図-6.10.1.5 1階トイレ回り平面図（更衣室にシャワー室が設けられている）（学校のトイレ研究会誌より）



図-6.10.1.6 基準階トイレ回り平面図（学校のトイレ研究会誌より）



写真-6.10.1.10 プールへ給水するための屋上配管

(学校のトイレ研究会誌より)

ここで、松伏第二小学校体育館ではキャットウォークの下部に遠赤外線ヒーターが仕込まれ、放射熱を利用した暖房方式を導入した(写真-6.10.1.12)。



写真-6.10.1.11 プールからトイレへの切替バルブ



写真-6.10.1.12 キャットウォーク下部の遠赤外線ヒーター

(学校のトイレ研究会誌より)

6.10.1.10 避難所指定校への防災棟の設置(北海道)

北海道では、道立の学校に、1996年(平成8年)から2回に分けて進められている防災対策緊急整備事業により、避難所に指定された学校に防災棟が整備している。避難所に指定されるのは、一般的に屋内体育館で、避難した人々が一定期間生活できるように、シャワーとトイレを備えたものが防災棟として体育館の近くに建設している。

道立の高等学校212校と特別支援学校58校のうち、避難所に指定されている学校は、高等学校が170校、特別支援学校が16校である。避難所指定校のうち、高等学校で136校、特別支援学校で8校に防災棟を整備している(表-6.10.1.1)。

防災棟には、下記を備えている。

- ・多目的トイレ(オストメイト対応)
- ・男女別トイレ
- ・男女別シャワー

また、屋内体育館と防災棟専用の非常用発電機も整備している。

北海道札幌西高等学校と北海道札幌啓成高等学校の防災棟の設置位置は、図-6.10.1.7と図-6.10.1.8の通りである。札幌西高等学校の防災棟の多目的トイレは、写真

表-6.10.1.1 北海道立の学校の防災棟の整備状況

区分	学校数	避難所指定校		防災棟整備校	
	A	B	B/A	C	C/B
高等学校	212	170	80.2%	136	80.0%
特別支援学校	58	16	27.6%	8	50.0%
計	135	93	68.9%	72	77.4%

平成24年5月1日現在

-6.10.1.13 と写真-6.10.1.14 である。また、札幌啓成高等学校の防災棟のシャワールームとオストメイト対応の多目的トイレは、それぞれ写真-6.10.1.15 と写真-6.10.1.16 である。

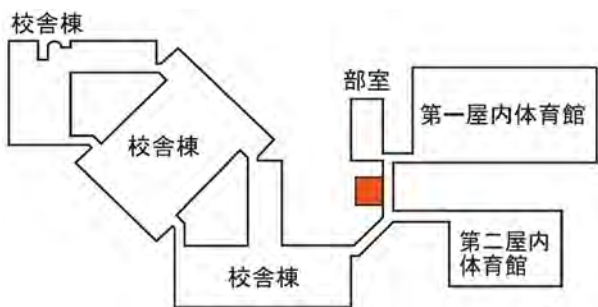


図-6.10.1.7 札幌西高等学校の防災棟の位置 (学校のトイレ研究会誌より)

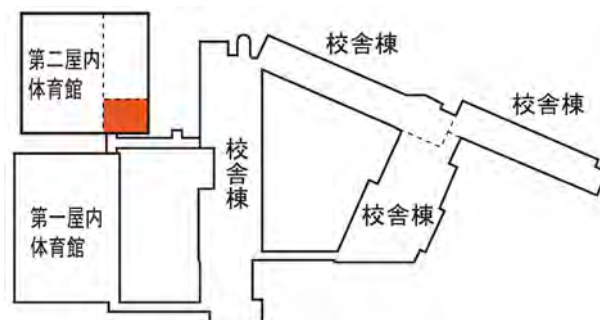


図-6.10.1.8 札幌啓成高等学校の防災棟位置 (学校のトイレ研究会誌より)

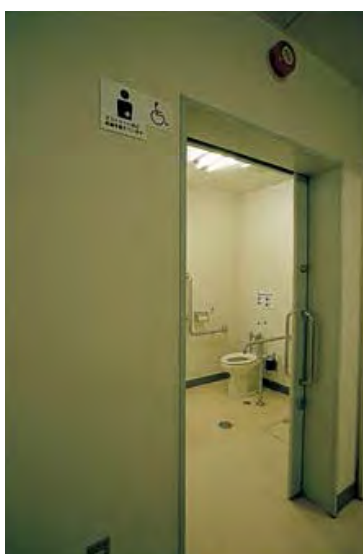


写真-6.10.1.13 札幌西高等学校の多目的トイレ (学校のトイレ研究会誌より)



写真-6.10.1.14 札幌西高等学校の多目的トイレ (学校のトイレ研究会誌より)



写真-6.10.1.15 札幌西啓成等学校のシャワールーム (学校のトイレ研究会誌より)



写真-6.10.1.16 札幌西啓成等学校のオストメイト対応トイレ (学校のトイレ研究会誌より)

参考・引用文献

- 1) 国立教育政策研究所 文教施設研究センター:学校施設の防災機能の向上のために～避難所となる学校施設の防災機能に関する調査研究報告書～ (2007-8), pp.30～35
- 2) 文部科学省大臣官房文教施設企画部 施設助成課:公立学校施設整備に関する防災対策事業活用事例集(2011-10), pp.2～24
- 3) 空気調和・衛生工学会:第 5 章 災害時の利用計画, 学校トイレの計画・メンテナンスマニュアル～つくる、使い続ける みんなの学校トイレ～(2009-12), pp.57～62
- 4) 学校のトイレ研究会:防災拠点施設としての小学校体育館改修, 埼玉県松伏町と松伏町立松伏第二小学校, 学校のトイレ研究会誌, Vol.9 (2006), pp.18～19
- 5) 学校のトイレ研究会:防災避難所となる高校にオストメイト, 対応の多目的トイレを整備, 学校のトイレ研究会誌, Vol.8 (2005), pp.14～15

転載元文献

赤井仁志:避難所の建築設備を考慮した事例, 災害時における避難施設の建築設備の実態と提案(空気調和・衛生工学会東北支部 災害時における建築設備分野の支援技術に関する委員会報告書), (2013-3), pp.24～31

6.10.2 災害時避難所の建築・設備の防寒対策

6.10.2.1 概要

寒冷地及び積雪のある地域では、通常の避難所の運営体制では対応できないことになる。そこで、この地域で対応しなければならない事項を建築や設備について抽出してみる。

防寒対応では、建物自体が耐寒構造とする、さらに外部と避難所の居住空間の動線を間接的に結び、中間に空間スペース、そして二重扉が必要である。

積雪対策では、仮設トイレ、駐車場、炊き出し、風呂の各スペース確保、さらに忘れてはならないことは廃棄物の貯蔵場所の確保のため、雪除け構造の屋根を設けておく必要である。また、避難所への移動のため、積雪時を考えて除雪設備の確保を検討しておくことも必要である。さらに、以下に給水設備、排水設備、暖房設備について防寒対策を述べる。

6.10.2.2 建物に付随する既存設備

(1) 給水設備

(省略)

(2) 排水設備

(省略)

6.10.2.3 暖房設備

a. レベル-1

避難施設では毛布、断熱床マット、エマージェンシーシート、携帯カイロ等を被災者に配布することにより一時的に寒さをしのぐことができる。これらの物資は初期避難者において寒さをしのぐのに欠かせない為、避難施設に常備する必要がある。

b. レベル-2

多数の被災者が集中する避難施設では、各家族単位で簡易間仕切りを行うことにより、プライバシーを確保するとともに床面においての隙間風侵入防止を図れる。間仕切りの方法は段ボールで壁を作り間仕切りをする、フレームを使って、それに布をかけた間仕切り等がある。

停電することを前提にすると、電源供給の不要なポータブル石油ストーブ等を持ち込み、暖をとることになる。ただし、これは直火暖房機の個別分散設置となる為、周囲に十分な安全空間がとれる部分に限定し、これによる火災発生には十分注意を要する。

また、非常時に備え、事前に、これら暖房機および灯油等の備蓄を行い、震災時の暖房対策を練っておく必要がある。特に暖房用燃料は東日本大震災において、石油コンビナートの被災、道路の寸断、津波による燃料運搬用タンクローリーの損壊等により長期にわたり供給が途絶え、寒さにより多くの被災者が亡くなった。

c. レベル-3

復電後、必要に応じて、火災発生の恐れのない温風暖房機、大型エアコン等の集中暖房機をリース等にて避難施設内に設置する。

ここで、注意を要することは共同避難施設の多くは体育館等の天井の高い大空間施設が多いことである。

温風暖房の場合、体育館等天井高の高い大空間施設において、暖房の温かい空気は非居住空間である上部天井部に流れてしまい、床面近くの居住空間では底冷えすることが多い。

この為、東日本大震災では体育館等の一部天井の高い避難所では底冷えによる寒さが厳しく、ここでの居住は出来ず、やむを得ず、この場所は震災支援物資の保管場所となってしまった例もある。したがって、特に冬季の避難場所としては、天井高あまり高くない施設を検討しておく要があり、さらにストーブ等の燃焼器具が稼働すると、二酸化炭素濃度が高くなるので、換気できる設備や造りが必要となる。

d. レベル-4

被災者用住宅を建設し、暖房効果の高い施設に移る。東日本大震災においては、特に北部の寒冷地に

において、新設した被災者用避難住宅においては冬季に下記のような問題が発生した。

① 内壁の結露、カビの発生の問題

② 玄関ドア開閉時、冷えた外気が室内に吹き込んでしまう問題

結露問題に関しては緊急に避難施設を建設した為、天井、壁等に寒冷地用に十分に断熱材が設けられておらず、冬季近くになり、この問題が発覚した。

この問題に対しては厳寒期前になる前に改修工事で壁、窓等に断熱材を追加設置すること等により改善を図った。また、冷えた外気の室内への吹き込み問題は、仮難住宅の多くは玄関ドアに近い部屋はドア1枚で室と外とが隔てられているためである。

このため、寒冷地では厳寒期の風の強い日には玄関ドアを開けるたびに冷たい冷気が部屋全体に吹き込んでしまい、暖房の効いた部屋を瞬時に冷やしてしまう。この対策として、玄関ドアの外側に簡単な風除板、もしくは風除室を設け、玄関ドアを開けても冷え切った外気が一斉に室内へ吹き込まないよう外気侵入対策を施していた。

転載元文献

山崎悟: 空気調和設備, 災害時における避難施設の建築設備の実態と提案(空気調和・衛生工学会東北支部災害時における建築設備分野の支援技術に関する委員会報告書), (2013-3), pp.54~57

6.10.3 避難所の防寒対策と運営

6.10.3.1 避難所の防寒対策と運営

災害により被災した場合又は被災する恐れのある場合は、自治体から住民に対して避難勧告、あるいは避難指示が発令される。その場合の避難先は、自治体があらかじめ指定した避難所であり、一般に、小中学校、体育館、集会所などである。さきだって、東日本大震災では降雪の中での避難者の保温対策は非常に困難な状況だったと報告されているが、この状況は、まだ、被災想定や避難所運営手法に反映されていない。例えば、指定避難所の防寒対策の実態は、「冬季の津波避難対策に関する研究委員会」の調査結果¹²⁾によると、既存の避難所の冬期間の非利用時は10℃以下の低温状態にあること、また、非常用暖房機を使用した場合には、ある程度の室温を維持するには、多くの燃料が必要となること、さらに、長時間暖房による室内空気の汚染の問題があることが挙げられている。また、飯野らは新潟県に作られたオフサイト避難所における生活環境の実態を調査し³⁾、室温が満足されていても、空気環境の悪化により体調不良を訴える者が多くいたことを報告している。金ら⁴⁾は避難所において多くの感染症が発生したことを報告しており、その他にも、学校施設が避難所として適切かどうかの議論も多くある。⁵⁾⁶⁾

寒冷地に目を向ければ、他にも以前から指摘されているように、積雪によって緊急車両、支援車両の駐車場が確保できないことや備蓄物資が寒冷地の避難に耐えられる量やモノとなっているか等⁷⁾、厳冬の避難にどのように備え、災害が発生した際にどのように避難を行うのかについての知見は不足している。筆者らが、宮城県の学生に東日本大震災時の避難経験に関してアンケートを実施した際にも、「底冷えがひどく、体育館のマットを用いていた」、「夜は暖房がないときつい」、「毛布が足りなかった」等の寒さに関連する回答が多かった。このときの温度は日最低温度が-3℃、日最高温度が15℃程度である。地震のリスクが大きいとされている北海道釧路市の厳寒期は最低温度が-15℃を下回る時期もめずらしくない。このように、被災そして避難に至る過程に厳冬の寒さが複合した場合にどのようなことが起こり、またそれに対する対策をどのように講ずるべきなのか、筆者らは2011年以降、静岡県で開発された避難所運営の研修手法であるHUG⁸⁾⁹⁾の北海道版を作成¹⁰⁾するために、北海道における避難所の実態について調査を行ってきた。本報告では、まず、現状の避難計画を整理し、また、寒冷地の厳冬の被災時の住居や避難所の温熱環境に関して、アンケート調査と実測からその環境について説明し、最後に北海道版HUG(DoHUG)について簡単に説明する。

6.10.3.2 避難計画、避難場所運営マニュアルの現状と問題点

避難施設の準備、運営に関しては、国の防災基本計画¹¹⁾に風水害と地震について「避難の受入れ」に関して方針が明記されており、これに基づき、都道府県、政令指定都市は地域防災計画を策定し、最終的には、この計画をうけ、市町村が避難場所・避難所の指定、具体的な避難計画の立案、避難所運営マニュアルの策定を行う流れとなる。

具体的に、北海道の市町村が策定している避難所運営マニュアル策定の流れを追うと、地域防災計画、第4章第6節に避難体制整備計画があり、その第2に避難場所の確保、第3に避難所の確保についての記述がある。いずれも責任は市町村にあり、避難場所については、「地域の地形、地質、施設の災害に対する安全性等を勘案し・・・」とある。また、避難所の確保についても、避難者を滞在させるために必要かつ適切な規模が求められるようになってきている。いずれの場合も、学校を使用する際には、教育活動の場であることを配慮し、関係機関との事前協議が必要とされている。以上の文言を読む限り、気候に関する事柄は「等」の部分に入り直接言及されていない。また、第18節には複合災害に関する計画の節が作られているがほとんど記述がない。北海道のように寒冷な地域において、寒冷な状況とその他の災害が重なるとそれは複合災害ということもでき、今後検討していく必要がある。

また、5章には災害応急対策計画についての記述があり、その第4節に「避難対策計画」として避難所運営の方針が明記されており、その内容にしたがって、市町村が避難所運営マニュアルを策定することになっている。対象となる避難者として「市町村は高齢化の進展等を考慮に入れること」という記述があるが、その他に気候に関する記述は見つけることができない。この記述は、もともと避難行動の難しい高齢者の把握に努めることを促すためであるが、寒冷地においては、高齢者は一般的に寒さに弱いため、避難行動中、避難所での生活を含めて様々な支援をする必要がある。

避難所運営マニュアルの策定状況については市町村によってばらつきがある。例えば、札幌市¹²⁾においては、「ライフライン・通信手段の確認の項目に、冬季であれば暖房設備の状況も確認すること」とあ

り、また、避難所の開設に関する項目には、寒さ対策という節を設け、「移動式灯油ストーブが備蓄されている場合は、プール用等の灯油タンクから灯油を補給し、要援護者のためのスペースを暖めるなど、避難所に状況に応じた活用をしてください。なお、移動式灯油ストーブの使用中は、一酸化炭素が発生するおそれがありますので換気を心掛けます。」とあるが、このような記述は他の市町村¹³⁾においてはほとんど見当たらない。気候に関する内容はより検討される必要がある。

6.10.3.3 電力の供給が停止した厳冬期被災時の住宅の室内環境

2012年11月27日、発達した低気圧による暴風雪が北日本に猛威をふるった。特に、北海道登別市、室蘭市周辺の被害がひどく、登別市では送電線の鉄塔が倒壊した結果、大規模な停電（最大45000戸）を引き起こし、災害救助法の適用となった。これにより各地に避難所が開設された。避難人数は登別市において最も多く、5か所約250名の避難が記録されている。この災害は、単に暴風雪による停電の影響が広く長かったというだけでなく、厳冬期に電気という最も重要なインフラである電気が停止した際にどのようなことが起きるのかということについて示唆的である。そこで、アンケートを実施してその際の避難状況の把握、生活の実態把握を試みた。なお、アンケートの配布数は1200通（戸別ポスティング）、回収数は251通（回収率21%）であった。

(1) 回答者の属性と避難した、避難しなかった理由

回答者の属性は、多くが高齢者であり、住宅の築年数も長いものが多かった。図-6.10.3.1は住宅の暖房方式、暖房、調理、給湯燃料である。多くの住宅が灯油を暖房用燃料としているが、暖房、給湯ともに灯油であるため、石油セントラル方式が多いと考えられる。石油セントラルの場合、暖房・給湯ボイラーを用いているため、電気が使えない状況下では、普段使用している暖房、給湯器具は使用することはできない。

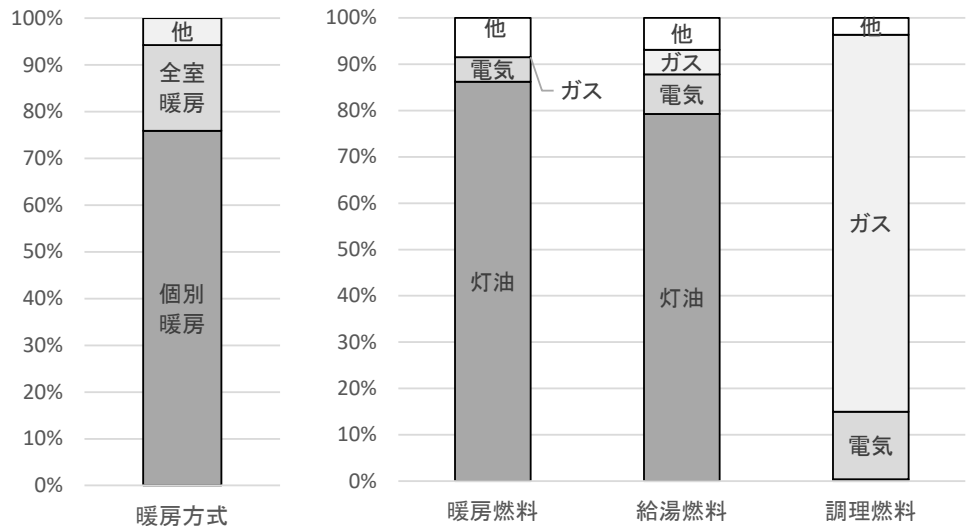


図-6.10.3.1 回答者の住宅の暖房方式，暖房，調理，給湯燃料

調理のみガスを用いていることが多く、アンケートでも、停電時は調理のみ行うことができたという回答が多かった。

避難の状況は、回答者の80%が避難をしなかったとなった。その理由に関してアンケートを実施したが、最も多いものは「問題ない」(76%)であったが、一方で家族の事情(11%)、ペット(9%)等を理由に挙げている方が約20%いた。つまり、避難の意思のある住民の半分程度しか避難が達成されていないと言え、そのような方達への支援が必要と考えられる。また、避難した回答者に関してその理由を聞いた場合、「寒い」が多く、今後の対策としては非常用の暖房器具の確保と電池を挙げた例が多かった。ポータブルストーブ(以降、PS)の利用を考えてのことと考えられる。

(2) 被災時の住宅の熱環境

図-6.10.3.2は、停電後の体感の推移である。非常に寒い、寒いという申告は発災後一日でピークになり、その時期を過ぎると減少する。この大規模停電は地域によっては最大4日間継続したが、1日後から徐々に復旧したこと、また、暴風雪が収まったために何らかの行動を始め(例えば防寒グッズの購入等)、寒さが解消したと考えられる。その他、11月28日朝の申告とPSの保有率との関係を調べた結果、PSの保有の有無によって、最寒時の体感に有意な差があることが分かった。PSはCO₂、NO_xや水蒸気を大量に発生するため、普段の使用は推奨できないが、緊急時のために用意することについては

安価（¥25000程度）であるため有効な選択肢である。

(3) 厳冬期避難訓練時の温熱環境の調査
 表-6.10.3.1 は東日本大震災時の釧路市の避難施設管理者（市職員）への避難施設運営上の問題点に関するアンケート結果である。表中のアンダーライン部は寒さが引き金となって生じた運営上の問題点であるが、避難施設そのものが寒さに対して非常に脆弱であったことがうかがえる。

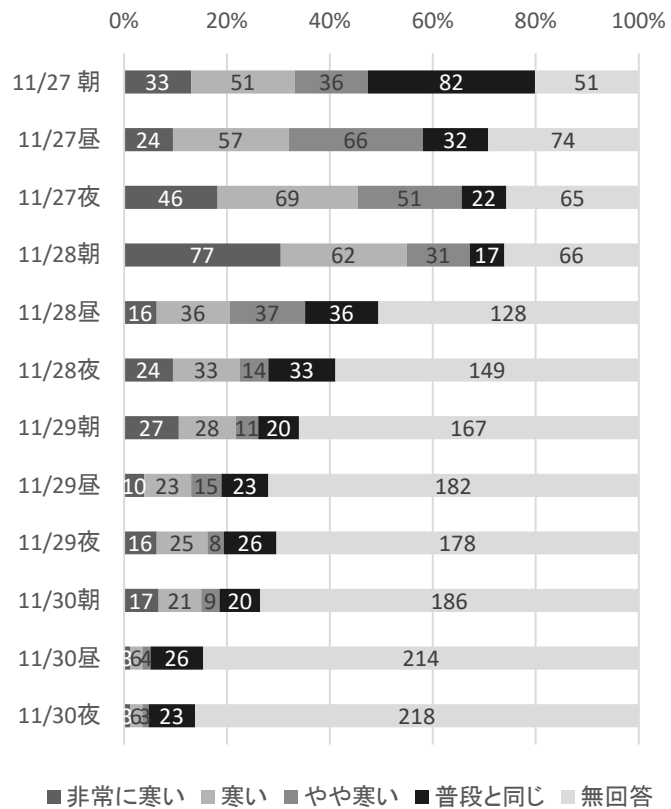


図-6.10.3.2 停電後の体感の推移

表-6.10.3.1 東日本大震災時の釧路市の避難所運営の状況¹⁵⁾

- ・当初予定の オープンルームが寒くて使えず、2階図書室を利用したが、車椅子避難者の移動に4名必要だった
- ・身障者用のトイレに不自由、就寝用に体育用のマットで簡易ベッドを用意した
- ・前回使用した毛布の補充がされていない
- ・毛布を袋から出す際の大型カッターが必要
- ・簡易トイレのレバーの位置が低く高齢者に使いにくい
- ・毛布・マットの常備数を過去の避難者数実績に応じて増やすべき
- ・冠水で足元が濡れた避難者もあり、タオルの常備が必要
- ・マスクの常備も必要
- ・施設管理者に多大な負担を強いたが、市の責任者からの事前の協力依頼が必要
- ・テレビが必要（数カ所の避難施設から指摘あり）
- ・緊急搬送でおむつ使用者を受け入れたが、紙おむつも等も備品に必要
- ・ゴミ袋やトイレトーパーも不足気味
- ・施設備え置き車椅子があるが、供用の鍵が使えなかった
- ・児童館開館中の避難所開設だったため、児童の受け入れと避難者の受け入れが輻輳し混乱した
- ・廃校のため水道が濁って飲用できず、ペットボトルの常備が必要
- ・食料配給が遅く、簡単な非常食や飲用水の準備が必要
- ・施設の老朽化が著しい
- ・暖房用の灯油の確保を地区住民に依存した
- ・携帯電話の充電器を用意すべき
- ・EV無しの施設に歩行困難な障害者が避難してきたので、担架を常備できないか
- ・寒い時期で毛布が不足
- ・ライフラインが止まったときのために、水や食料、医薬品、防寒着、ガスコンロなどの備蓄が必要

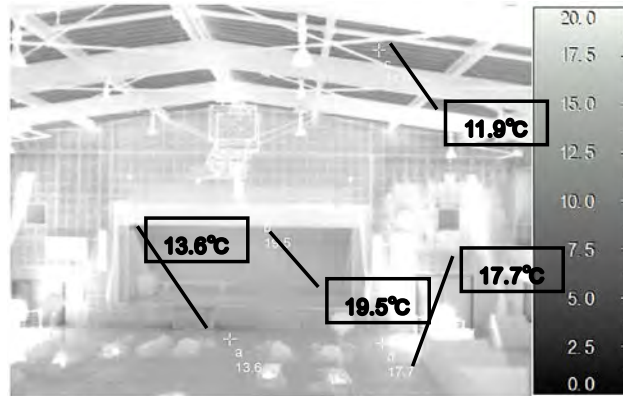
(4) 避難施設（体育館）の温熱環境

寒冷地においても、各自治体は体育館を避難施設として指定している。その主な理由は、大規模災害となった場合、大量の避難者を収容できるからである。筆者らは東日本大震災の以前から、特に北海道東部において、津波を伴った被害地震の発生に対して、どのように避難するべきかを検討してきた。その活動の中で、厳冬期に宿泊を伴った避難訓練を実施し、防災研修を実施しつつ、宿泊時の体育館の温熱環境を測定してきた。本節では、そのデータを利用し、1)避難訓練時の体育館の温熱環境、2)避難所の断熱性能の把握、3)体育館や教室等での宿泊の際の体温、体感に関する検討を実施する。

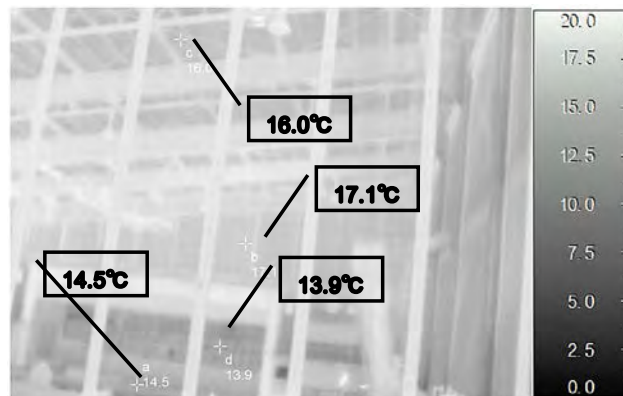
【避難訓練時の体育館の温熱環境】

図-6.10.3.3上図は、2011年に実施された、帯広市の指定避難所（K小学校）で実施された厳冬期避難訓練時の熱画像（NECAVIO、TVS-500EX）である。この体育館は無断熱であるため（屋根は6mmのPFを貼った鉄板である）特に断熱性能の低い屋根面の温度が他の場所に比べて低くなっていることがわかる。また、下図は2012年にほぼ同様のスケジュールで実施した避難訓練時（HK小学校）の熱画像である。屋根の断熱材の厚さは25mmであるが、天井面の温度が上昇していることがわかる。図-6.10.3.4はK小学校訓練時の各部の温度の推移（T&D社、TR-72U）である。ジェットヒーター4台（160kW）を用いて暖房を実施してもなかなか温度が上昇せず、1階では、最高で12℃程度であった。避難訓練はそのような環境で実施し、寝袋、毛布、防寒着を用いて就寝することはできたが、夜間に人体とジェットヒーターから発生した水蒸気が断熱性能の弱い屋根面で結露を生じ雨のように降り、また、それがブルーシートにあたって音を発生させるため、なかなか落ち着いて寝ることができなかった。

また、図-6.10.3.5は、KH小学校での温度推移である。K小学校に比べると断熱性能が優れているため、室温も上昇しやすく、また、図-6.10.3.3のように天井面は



K小学校の熱画像（0:00）屋根断熱厚さ（ポリスチレン6mm）



HK小学校（0:00）屋根断熱厚さ（ウレタン25mm）

図-6.10.3.3 避難訓練時のサーモカメラ画像

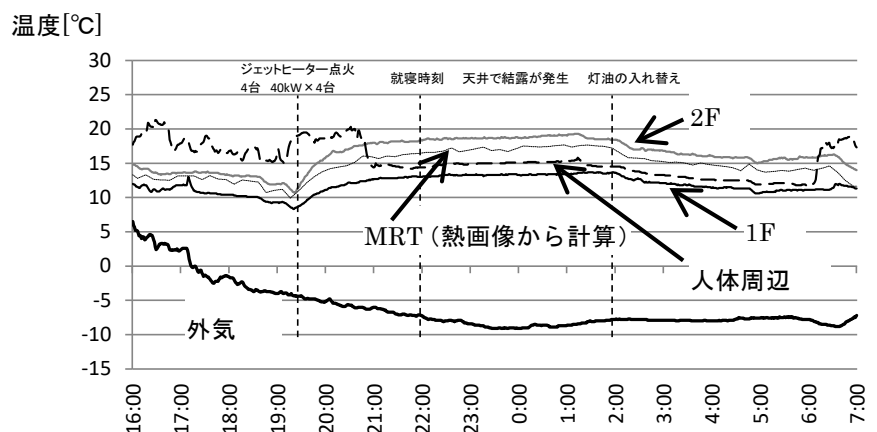


図-6.10.3.4 K小学校の温度の推移

4℃の上昇ではあるものの、夜間の天井面での結露は生じなかった。室温が上昇しやすいため、ヒーターの出力が小さくなり、発生する水蒸気量も少なくなったことが複合的に作用したと考えられる。但し、熱画像右側の壁面がガラス面になっており、カーテンをしているが、ガラス面では大量に結露が発生し、サッシ周りでは結氷していた。

上記のような室内環境は、避難訓練時のものであり、避難訓練参加者の体調を考慮して、実際の避難時以上の暖房が実施されている。暖房を

実施しない、電源供給は非常用電源のみの厳冬期避難訓練としては、北見赤十字看護大学校が実施している訓練（但し、訓練参加者は承諾書に記入した学生、医療関係者等のみ）が知られているが、シート（テント）で囲われたエリアは数℃、シート外はほぼ外気温である。このような空間では、十分に就寝することができず、数日の避難となった場合には、代謝の低い高齢者を中心に体調を崩す避難者が多くなると考えられる。

但し、避難所の機能をもった体育館の建設、改修を実施していくのは非常に長い期間がかかり、また、普通の施設に求められる条件に比べ、オーバースペックになる場合も多い。例えば、簡単な改修を実施するコストで、非常に多くの防寒、防災用備品が準備できる場合もある。また、避難所を運営していくのは避難する住民とされている。そのような状況を鑑みると高度なBCP対応でいたずらに建物・設備の価格を高騰させるのではなく、コストとベネフィットのバランスを考えて機能追加を実施する必要性があると考えられる。

6.10.3.4 避難所運営ゲーム北海道版

(1) 避難所運営ゲーム北海道版の開発の背景

避難所運営の実践的な訓練手法として静岡県で開発された避難所 HUG（避難所運営ゲーム）がある。このゲームは、避難所の図面に縮尺を合わせた避難者カードを配置しつつ、様々なイベントカードに対する対応をグループ内でディスカッションしつつ決めていくというゲームで、参加者が災害直後の避難所立ち上げを疑似体験するための研修手法として、手軽且つ有効であるため、全国で利用されている。しかし、想定されている避難状況が寒冷地の地域特性が考慮されていないため、誤った議論をしてしまう可能性があり、北海道の防災に関するアウトリーチを実施している関係者で、北海道 HUG 研究会という組織を立ち上げて、寒冷な気候をふまえた HUG の開発と研修の実施を行ってきた。その活動の中で、2013 年度に札幌市と共同で札幌版 HUG の開発を行うとともに各区の防災研修を実施し、また、2015 年度にはその成果をうける形で北海道庁危機対策課とともに北海道版 HUG の開発、検討を実施し、その成果を以て 2016 年 4 月に DoHUG を公表した。現在、DoHUG のキットは北海道内の各振興局に置かれていて、依頼によって無償で貸し出しすることができ、全道で数多く行われている。

(2) 避難所運営ゲーム北海道版の現状と課題

図-6.10.3.6 は避難所運営ゲームを実施している際の様子である。写真のように、DoHUG は数人のグループで実施する研修で、図-6.10.3.7 のようなカードを読み上げ係が読み上げ、その他

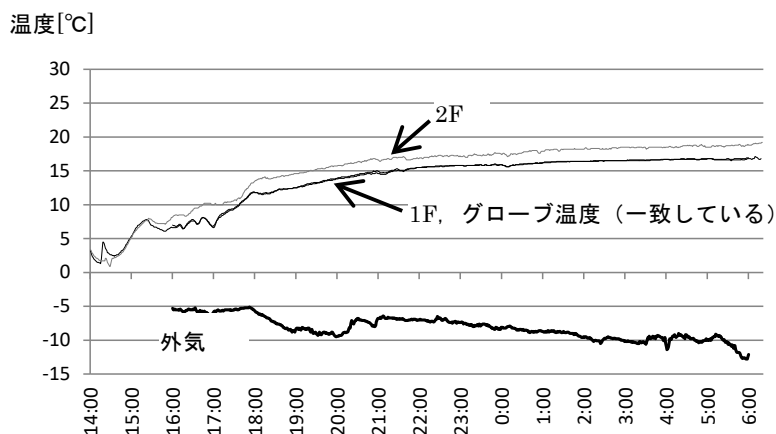


図-6.10.3.5 KH 小学校の温度の推移



図-6.10.3.6 HUG の実施風景

のメンバーが避難者を適切な位置に避難させ、また、様々なイベントについての対応を相談し決定していくワークショップ形式の防災研修である。静岡版から北海道版への主な変更点は以下のとおりである。

①前提条件：外気温が翌日の朝には-15℃になることを想定、②添付の図面（小学校）の修正：a 校舎と体育館の間に渡り廊下を設置、b 積雪の状況を記入、c 冬期間にプールの水がない等、

②寒冷地に特有のイベントの導入：ストーブの設置、低体温症、車内避難時の対応、③要解説カードの作成：低体温症、車内避難については、専門家のアドバイスをもとに対処方法を明記したパワーポイントファイルを作成し、ワークショップ終了時に必ず説明するように要請、④解説書の充実：その他のカードについても、開発メンバーが最善と考えられる手法について解説書に記入し、HUGの終了後に読むと、開発メンバーが現状で最善と考えている手法についての知見を手に入れることができる。

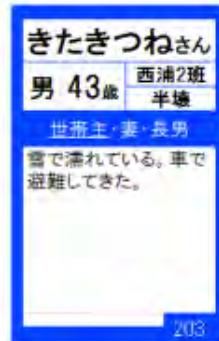
現状の問題点としては、以下の様にまとめることができる。①最新の知見を導入する仕組みがないこと：毎年、日本全国で数多くの災害が発生しており、かならず避難所も開設されている。そこでは、様々な試行錯誤が行われており、様々な発見があるはずである。例えば、避難所・避難生活学会という学会がすでに設立されているが、そういったところで得られた成果等は常に導入されていくべきであろう。②DoHUGを行うことが目的化：防災研修を行うことは重要で、やらないよりはやったほうが良い。ただ、特にDoHUGの場合、すでに参加したことのある経験者がやったとしてもほとんど意味がない。あくまでDoHUGは地域の防災を考えるための入り口で実施すべき研修であって、DoHUGを行うこと自体が目的化してしまうと、防災に関する活動を実施しましたという言い訳にしかならない。地域の防災力の向上を目指すならば、DoHUGの次のステップを考えつつ実施するべきである。

参考・引用文献

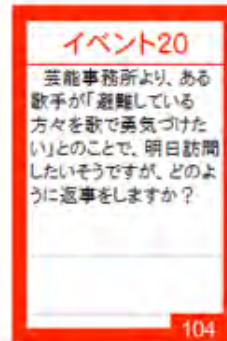
- 1) 森太郎・南慎一・草刈敏夫・竹内慎一・定池祐季：厳冬季被災を想定した避難所運営手法に関する研究,その3 調査の目的と避難所の実態, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.86(2013-6), pp. 255-258
- 2) 南慎一・定池祐季・森太郎・草刈敏夫・竹内慎一・林昌宏・高橋章弘：厳冬季被災を想定した避難所運営手法に関する研究,その2 寒冷地版避難所運営手法の開発, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.86(2013-6), pp. 387-388,
- 3) 飯野由香利・倉渕隆・小笠原岳：オフサイト避難所における生活環境の実態, 日本建築学会技術報告集, vol. 18, No.40(2012-10), pp. 1009-1012,
- 4) 金美賢・神垣太郎・三村敬司：東日本大震災後の宮城県における避難所感染症サーベイランス, 日本公衆衛生雑誌, vol. 60, No.10(2013-10), pp. 659-664
- 5) 今泉絵里花・晴山桂輔・小野田泰明：避難時における学校施設の役割と周辺の避難所との関わりに関する研究, 日本建築学会大会 2012 年度大会学術講演会, 学術講演梗概集(2012-9), pp. 899-900,
- 6) 牧野夏葉・村上正浩：地域連携による避難所運営管理体制のあり方, 日本建築学会 2012 年度大会学術講演梗概集(2012-9), pp. 621-622,
- 7) 南慎一・竹内慎一・高橋章弘：積雪寒冷期の津波避難所の実態調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集, vol. 81(2008-6), pp. 345-346,

ゲームのやり方 扱うカードは3種類！

避難者カード



イベントカード



情報提供カード

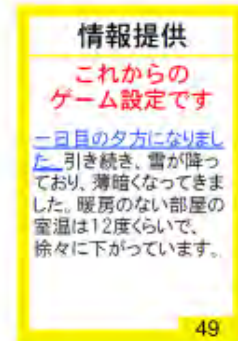


図-6.10.3.7 HUG の配布カードの説明用パワーポイント

- 8) 避難所運営ゲーム, 静岡県 HP:<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/seibu/hug/>, (2015/9/14)
- 9) 森太郎・南慎一・竹内慎一・定池祐季: 厳冬期被災を想定した避難所運営手法に関する研究, その 1 防災訓練時の温熱環境の比較と避難所運営手法(HUG)の実施結果, 日本建築学会北海道支部研究報告集, vol. 85, pp. 289-292, (2012-6)
- 10) NHK アーカイブ等, <http://www.nhk.or.jp/sapporo-news/20150516/4776151.html>, (2015/9/14)
- 11) 防災基本計画, 内閣府, <http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html>, 2015/9/14
- 12) 避難所運営マニュアル(札幌市)
<https://www.city.sapporo.jp/hokenfukushi/documents/hinanbasyouneimanyuaru.pdf>, 2015/9/14
- 13) 避難所運営マニュアル(帯広市)
http://www.city.obihiro.hokkaido.jp/soumubu/soumuka/a020104refuge-anual.data/120228_hinan-m_all.pdf, (2015/9/14)
- 14) KHcorder, <http://khc.sourceforge.net/>, (2015/9/14)
- 15) 草苺敏夫・南慎一・竹内慎一: 厳冬期の避難所運営に関するアンケート調査?, 釧路市を対象に, 釧路工業高等専門学校紀要, vol. 47, pp. 33-37, (2013.12)

転載元文献

森太郎: 避難所の防寒対策と運営, 建築設備の凍結・雪対策 計画設計施工の実務の知識, 空気調和・衛生工学会 (2018-3), 草稿