

モンゴル国
地中熱ヒートポンプによる
環境配慮型暖房システムの案件化調査
業務完了報告書

平成30年4月
(2018年)

独立行政法人
国際協力機構(JICA)

ゼネラルヒートポンプ工業株式会社

国内
JR(先)
18-098

目 次

写真.....	i
略語表.....	ii
要 約.....	iii
はじめに.....	iv
第 1 章 対象国・地域の現状.....	1
1-1 対象国・地域の開発課題.....	1
1-2 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度.....	6
1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針.....	12
1-4 対象国・地域の対象分野における ODA 事業の先行事例及び他ドナー事業の分析.....	12
第 2 章 提案企業、製品・技術.....	15
2-1 提案企業の概要.....	15
2-2 提案製品・技術の概要.....	15
2-3 提案製品・技術の現地適合性検証.....	22
2-4 開発課題解決貢献可能性.....	50
」	
第 3 章 ODA 案件化.....	51
3-1 ODA 案件化概要.....	51
3-2 ODA 案件内容.....	51
3-3 C/P 候補機関組織・協議状況.....	53
3-4 他 ODA 案件との連携可能性.....	56
3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策.....	57
3-6 環境社会配慮等.....	57
3-7 期待される開発効果.....	57
第 4 章 ビジネス展開計画.....	59
4-1 ビジネス展開計画概要.....	59
4-2 市場分析.....	59
4-3 バリューチェーン.....	63
4-4 進出形態とパートナー候補.....	64
4-5 収支計画.....	66
4-6 想定される課題・リスクと対応策.....	66
4-7 期待される開発効果.....	66
4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献.....	67
SUMMARY.....	I
別添資料.....	a

図目次

図 1 プロジェクトサイト	IV
図 2 UB 市の最低気温日の気温時間変化	1
図 3 2015 年～2018 年 冬季の PM10 の月別日平均値(単位: MG/M ³)	3
図 4 2015 年～2018 年 冬季の PM2.5 の月別日平均値(単位: MG/M ³)	3
図 5 2015 年～2018 年 冬季の SO ₂ の月別日平均値(単位: MG/M ³)	4
図 6 2015 年～2018 年 冬季の NO ₂ の月別日平均値(単位: MG/M ³)	4
図 7 モンゴル国の温室効果ガス排出量	6
図 8 UB 市マスタープランの暖房計画	12
図 9 ヒートポンプと太陽熱真空コレクターとの接続系統図	13
図 10 地中熱交換器のボーリングと施工	13
図 11 校舎でのラジエーターの設置状況	14
図 12 世界の地中熱ヒートポンプによる暖房の設備容量	16
図 13 地中熱ヒートポンプ方式	16
図 14 日本の都道府県別の累計設備容量(2013 年末時点)	17
図 15 地中熱ヒートポンプによる熱供給システム	17
図 16 ヒートポンプによる暖房	18
図 17 地中熱ヒートポンプ暖房システム	19
図 18 ダブル U チューブ	19
図 19 ZQ-ALP-V のゼネラル制御監視システム	20
図 20 データ回収装置で回収したデータの解析例	21
図 21 UB 市の市街区の中央集中暖房地域	23
図 22 KCR300 の構造(カタログ)	25
図 23 CARBOROBOT 300 の構造(HP より)	26
図 24 普及実証活動候補の小中学校	30
図 25 79-1 番小中学校位置図	33
図 26 79-1 番小中学校の標高	33
図 27 79-1 番小中学校の衛星写真	34
図 28 79-1 番小中学校の校舎の配置図	34
図 29 HOB による暖房システム	35
図 30 79-1 番小中学校の地質柱状図	39
図 31 熱応答試験概要図	40
図 32 熱応答試験結果	43
図 33 熱応答試験中の地層温度の変化	43
図 34 循環時法による解析結果	43
図 35 ホーナープロットによる解析結果	44
図 36 暖房の熱バランスのモニタリング	46
図 37 HOB 温水温度変化	47
図 38 熱交換器の温水温度差変化	47
図 39 HOB 温水流量変化	47
図 40 校舎内消費熱量	48
図 41 地中熱ヒートポンプシステムのイメージ図	51
図 42 大気環境管理サイクル	56
図 43 環境省 JCM 設備補助事業	60
図 44 GCF の基本要件	61
図 45 民間企業による GCF 資金の活用イメージ	61
図 46 チリ・タラパカ地域における太陽光発電事業	62
図 47 パターン 3 のスペックイン型を活用したビジネスプラン	63
図 48 バリューチェーン	64

表目次

表 1 作業工程	V
表 2 UB 市の月別気温(2016 年 11 月～2017 年 10 月)	1
表 3 一次エネルギー需給バランス(2013 年)	2
表 4 UB 市の暖房システム	2
表 5 大気汚染物質の排出源	3
表 6 一次エネルギー消費量	6
表 7 再生可能エネルギー電力の買取価格	11
表 8 暖房方式	22
表 9 温水セントラルと温風セントラルとの比較	24
表 10 KCR300 の仕様	25
表 11 CARBOROBOT 300 の仕様	26
表 12 排ガスの排出基準値(最高値)	26
表 13 HOB 給湯温度	27
表 14 APES が保有する HOB の稼働状況(2015)	28
表 15 製品・技術の検証活動	29
表 16 熱応答試験作業	41
表 17 各方法により推定された有効熱伝導率	45
表 18 飽和地層の有効熱伝導率	45
表 19 79-1 番小中学校のバガヌール炭分析結果	48
表 20 HOB の石炭消費量	49
表 21 HOB の熱効率	49
表 22 地中熱ヒートポンプの生産熱量と消費電力量	49
表 23 UB 市の石炭火力発電所の SO _x 排出原単位(試算)	50
表 24 SO _x と CO ₂ 削減効果(試算値)	50
表 25 日本側とモンゴル側の設備工事の負担分担計画	52
表 26 モンゴル側と日本側の事業分担	55
表 27 普及・実証事業の目標・成果・活動	58
表 28 GCF における役割: ACCREDITED ENTITIES(認証機関)	62
表 29 事業実績	65
表 30 販売計画	66

写真



ゼネラルヒートポンプ工業社製の
ヒートポンプ



スイス製のヒートポンプ



冬季のウランバートル市



夏季のウランバートル市



ハンガリー製の温水給水ボイラ (HOB)



韓国製の温水給水ボイラ (HOB)



ボーリング実施状況



熱応答試験実施状況

略語表

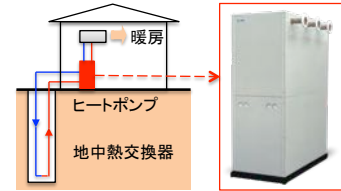
略語	正式名称	日本語名称
AE	Accredited Entities	認証機関
APES	Authority of Partial Engineering Supply	熱供給局
CFWH	Coal Fired Water Heater	小型温水供給石炭ボイラ
GCF	Green Climate Fund	緑の気候基金
GHG	greenhouse gas	温室効果ガス
GWP	Global Warming Potential	低地球温暖化係数
HOB	Heat Only Boiler	温水供給ボイラ
JCM	Joint Crediting Mechanism	日本政府の二国間クレジット制度
MNT	Mongolian tugrik (tögrög)	モンゴルトウグルグ
NAMEM	National Agency for Meteorology and Environmental Monitoring of Mongolia	気象環境監視庁
NAPCC	National Action Plan on Climate Change	気候変動国家計画
NDA	National Designated Authorities	国家指定機関
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization.	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
NSO	National Statistical Office of Mongolia	モンゴル国家統計庁
ODP	Ozone Depletion Potential	オゾン層破壊係数
PM	Particulate Matter	浮遊粒子状物質
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
UB	Ulaanbaatar	ウランバートル
UNEP	United Nations Environment Programme	国連環境計画
WHO	World Health Organization	世界保健機構

要 約

モンゴル国 地中熱ヒートポンプによる環境配慮型暖房システムの案件化調査

企業・サイト概要

- 提 案 企 業 : ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
- 提案企業所在地: 愛知県名古屋市
- サイト・C/P機関 : ウランバートル市及びトウブ県
エネルギー省、ウランバートル市役所



モンゴル国の開発課題

- ウランバートル市では、石炭ボイラによる暖房で石炭燃焼により大気汚染物質が排気され、市民の健康被害が深刻化している。
- 石炭燃焼によるCO₂排出量が増加傾向にあり、地球温暖化への影響が課題となっている。

中小企業の技術・製品

- 深度100m程度までの地中熱交換機に不凍液を循環させ、ヒートポンプで熱交換する暖房器具
- 外気温が-30℃でも活用できる厳寒環境に対応した技術

調査を通じて提案されているODA事業及び期待される効果

ODA事業: 普及・実証事業

- UB市をはじめ、モンゴル国の小中高等学校等で石炭ボイラで行われている暖房が、地中熱ヒートポンプで代替され、大気汚染物質の排出量が削減される。そして、モンゴル国民の慢性気管支炎や気管支喘息などの健康被害が軽減される。
- 石炭ボイラで燃焼している石炭を代替することで、モンゴル国のCO₂排出量を削減し、地球温暖化の緩和に貢献する。

日本の中小企業のビジネス展開

- 地中熱ヒートポンプシステムのヒートポンプの製造は日本で行い、販売・施工・メンテナンスは現地の提携企業が行う。
- ウランバートル市、地方都市の公共施設、集合住宅等に販売を行う。

はじめに

調査名

地中熱ヒートポンプによる環境配慮型暖房システムの案件化調査
Feasibility Survey for Environment-Friendly Ground Source Heat Pump System

調査の背景

モンゴル国は、アジアでは数少ない寒冷地の国であり、冬季の暖房期間が9月15日から5月15日までと長い。また、モンゴル国は、豊富な石炭資源を有するため、エネルギーを石炭に依存し、首都ウランバートル市（以下 UB 市）では、石炭で暖房を行っている。そのため大気汚染が深刻化し、大気汚染物質による国民への健康被害が大きな問題となっている。特に、学校では、敷地内の石炭ボイラにより暖房が行われ、学童の呼吸器疾患等の健康被害が懸念される。また、石炭燃焼による CO₂ の排出が地球温暖化に影響を与えている。

このような状況の下、モンゴル政府は「国家再生可能エネルギー計画 2005-2020」を策定した。これを受け、鉱物資源・エネルギー省では、暖房を地中熱ヒートポンプで行うパイロット事業をトゥブ県のゾーンモド幼稚園・学校・病院で行ったが、まだ十分に地中熱ヒートポンプ技術を有していないため、普及が遅れている。

ゼネラルヒートポンプ工業株式会社（以下ゼネラルヒートポンプ工業）が有する地中熱ヒートポンプの技術を導入することで、モンゴル国における大気汚染と地球温暖化の課題解決に寄与できる可能性がある。

調査の目的

本案件化調査では、UB 市における学校等での石炭ボイラによる暖房状況、地中熱を含むその他のエネルギーによる暖房状況及び技術を確認し、地中熱ヒートポンプの適合可能性を調査する。これらの調査により、モンゴル国における地中熱ヒートポンプによる暖房による持続性の高い事業モデルの構築を目指す。さらに、調査を通じて提案される地中熱ヒートポンプシステムが、途上国の暖房に活用され、具体的な ODA 案件が提案されると共に、ビジネス展開計画が策定される。

調査対象国・地域

モンゴル国ウランバートル市



図 1 プロジェクトサイト

調査期間、調査工程

(1) 調査期間

調査開始 2017 年 5 月

調査終了 2018 年 4 月

(2) 作業工程概要

現地調査は、2017 年 5 月、7 月上旬、7 月下旬、9 月、11 月、2018 年 1 月の 6 回行った。
作業工程案を表 1 に示す。

第 1 回調査	実績	2017 年 5 月 15 日～19 日(4 泊 5 日)
第 2 回調査	実績	2017 年 7 月 3 日～7 日(4 泊 5 日) 7 月 3 日～10 日(7 泊 8 日)
第 3 回調査	実績	2017 年 7 月 24 日～8 月 5 日(12 泊 13 日)
第 4 回調査	実績	2017 年 9 月 25 日～29 日(4 泊 5 日)
第 5 回調査	実績	2017 年 11 月 27 日～12 月 1 日(4 泊 5 日)
第 6 回調査	実績	2018 年 1 月 15 日～19 日(4 泊 5 日)

表 1 作業工程

主要な作業	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
1. 現地調査	— 5日		— — — 5日 8日 13日		— 5日		— 5日		— 5日			
(1) 開発課題分析にかかる調査	—				—							
(2) 地中熱ヒートポンプシステム設計仕様調査			— — —		—							
(3) ODA案件計画策定調査	—				—		—		—			
(4) ビジネス展開調査					—		—		—			
2. 国内調査												
本邦受入活動									— 6日			
(1) 開発課題分析にかかる調査		—			—							
(2) 地中熱ヒートポンプシステム設計仕様調査				— — —	— — —		— — —		— — —			
(3) ODA案件計画策定調査					— — —		— — —	— — —	— — —			
(4) ビジネス展開調査							— — —	— — —	— — —			
3. 報告書作成			— — —	—					— — —	— — —	— — —	— — —

(3) 調査団員構成

・提案企業

従事者名	担当	所属先
柴 芳郎	業務主任	ゼネラルヒートポンプ工業（株）
柴 幸秀	調査・設計（システム制御）	ゼネラルヒートポンプ工業（株）
宮平 英樹	調査・設計（システム）	ゼネラルヒートポンプ工業（株）
松井 貴司	設計（ヒートポンプ）	ゼネラルヒートポンプ工業（株）
正木 一郎	設計（エネルギー計算）	ゼネラルヒートポンプ工業（株）

・外部人材

従事者名	担当	所属先
佐々木 一雄	チーフアドバイザー	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
服部 旭	地中熱利用総合評価	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
富澤 昌雄	事業評価	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
Bayambaa Oyuntuya	現地調整業務	(株)PEAR カーボンオフセット・イニシアティブ
森川 俊英	施工技術評価	(株) 森川鑿泉工業所

第1章 対象国・地域の現状

1-1 対象国・地域の開発課題

(1) UB市の暖房の現状

モンゴル国家統計庁のデータによると、モンゴル国の2015年の人口は306万1,000人、UB市の人口は134万5,500人で、人口の44%がUB市に集中している。UB市の緯度は47度23分で、稚内（北緯45.40）より北に位置し、海拔1,351mの高地に位置する。

モンゴルは中緯度高圧帯に属し、大陸性気候である。標高が高く、高緯度であることから、厳寒、極乾燥、気温の年較差の大きさが気候の特徴となっている。冬期に、シベリア寒気団が大きく発達する。気象環境監視庁（National Agency for Meteorology and Environmental Monitoring of Mongolia（以下NAMEM））のUB市の気温データを表2に示す。一番寒い日は2016年11月20日8時で、最低気温は-31.3℃である。11月19日から21日までの気温変化を図3に示す。11月20日の気温は、終日-20℃以下である。

冬季の暖房期間は、9月15日から5月15日までと長い。モンゴル国は、豊富な石炭資源を有するため、暖房は石炭に依存している。

表 2 UB市の月別気温(2016年11月～2017年10月)

	最低気温	平均気温	最高気温
2016年11月	-31.3	-13.7	6.2
2016年12月	-26.6	-16.5	-5.6
2017年1月	-30.9	-20.0	-5.6
2017年2月	-25.1	-13.7	-1.1
2017年3月	-15.9	-4.2	12.7
2017年4月	-7.5	5.0	22.4
2017年5月	-5.3	12.7	30.7
2017年6月	4.0	19.3	33.9
2017年7月	9.3	21.0	35.2
2017年8月	4.0	15.8	28.0
2017年9月	-5.8	9.7	25.9
2017年10月	-10.6	0.7	16.2

出展：NAMEM 提供データ

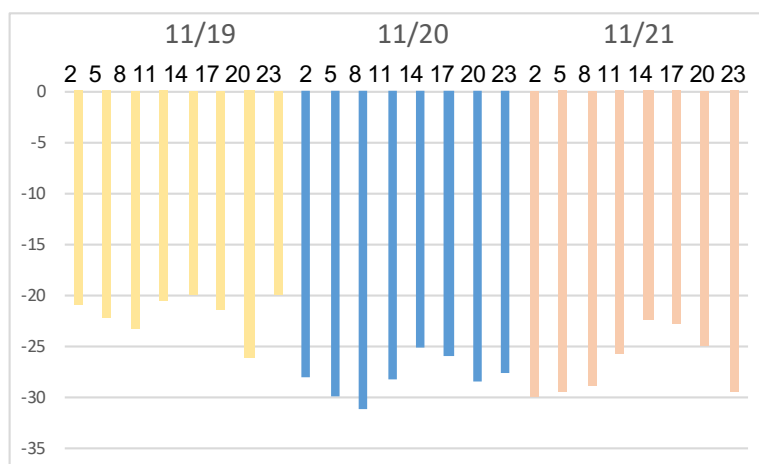


図 2 UB市の最低気温日の気温時間変化

出展：NAMEM 提供データ

化石燃料については、表 3 に示すように主たるエネルギー生産は石炭であり、原油は中国へ輸出している。モンゴル国は内陸国でもあり、海外から石油・天然ガスを輸入して暖房用燃料に使うことは現実的ではない。

表 3 一次エネルギー需給バランス(2013 年)

(石油換算千トン)

	石 炭	石 油	ガ ス	原子力	水 力	電 力	その他	合 計
国内生産	15,478	708	0	0	0	-	150	16,336
輸 入	1	1,253	0	0	0	103	0	1,357
輸 出	-12,415	-723	0	0	0	-2	0	-13,140
バンカー	0	-42	0	0	0	-	0	-42
在庫変動	696	15	0	0	0	-	0	711
一次供給	3,760	1,211	0	0	0	101	150	5,222

出展：IEA, "Energy Balances of Non-OECD Countries 2015"

モンゴル国は、北部には針葉樹林帯が広がり、それが中央部で草原化し、南部で砂漠化する。国土の約 8 割を占める草原は牧草地として使用されている。気候変動の影響により、この 60 年で年間平均気温は摂氏 2.14 度上昇し、降水量も 7%減少し、永久凍土の溶解により針葉樹林帯が減少、砂漠化による草原の減少、という課題を有している。こうしたことから、針葉樹林の保護は喫緊の課題であり、これを伐採して暖房用燃料に使うことは現実的ではない。

従って、冬季の暖房は、石炭燃料に大きく依存している。UB 市の暖房は、表 4 に示すように、3 カ所の火力発電所からの熱水による集中暖房、約 200 台以上の出力 100kw 以上の温水供給ボイラ設備（以下 HOB: Heat Only Boiler）と 1,000 台以上の出力 100kW 未満の小型温水供給石炭ボイラ（以下 CFWH: Coal Fired Water Heater）による暖房、ゲル地区に居住する 13 万世帯以上の家庭の 20 万から 30 万個に及ぶ石炭ストーブである。

表 4 UB 市の暖房システム

暖房対象	暖房方式		
都市全体	中央 暖房 方式	集中暖房方式	3カ所の火力発電所からの温水による集中暖房
ビル、学校、団地、小規模地区		分散型暖房方式	約200カ所のHOBによる温水暖房
事業所等小規模ビル			CFWHによる温水暖房
ゲル地区の一戸建て住居	個別暖房方式		石炭ストーブ

(2) 大気汚染による国民の健康被害

UB 市で暖房に使用されている石炭は、水分と灰分の含有量が多いことに加えて、HOB、CFWH、石炭ストーブに集じん装置がないため、燃焼時に煤煙の排出量が多い。市域は盆地のうえ、冬季は上空で形成される大気逆転層によっても拡散が滞留するため、石炭燃焼による浮遊粒子状物質（以下 PM: Particulate Matter）、SO_x、NO_x、CO による大気汚染が著しい。表 5 に示すように石炭燃焼によりこれらの大気汚染物質が排気され、また、暖房施設の石炭の焼却灰も飛散し、特に 11 月～2 月頃にかけては、各種汚染物質の濃度が高い状態となる。世界保健機関（WHO）大気データベースの 2016 年版では、UB 市の大気汚染の原因は、ゲル地区の家庭や石炭ボイラー（80%）、自動車（10%）、石炭火力発電所（6%）、固形廃棄物および土埃（4%）としている。

表 5 大気汚染物質の排出源

単位:千 t/year

	SO ₂	PM10	CO ₂	NOx
石炭火力発電所	13.28	14.11	50.82	13.48
石炭ボイラ	1.68	2.94	5.71	0.36
ゲル地域のストーブ	4.68	3.65	151.13	2.01
交通・舗装道路	0.2	0.2	32	5.11
交通・未舗装道路	0.07	0.07	10.48	1.67
土埃	-	9.27	-	-
合計	19.91	30.24	250.14	22.64

出典：GREEN DEVELOPMENT STRATEGIC ACTION PLAN FOR ULAANBAATAR 2020

NAMEM の Environmental Monitoring Department が発表した「ウランバートル市の寒い季節の大気質状態（2018 年 2 月）」に記載された、PM10、PM2.5、SO₂、NO₂ の月別の日平均値（24 時間平均値）を以下に示す。データは、住宅地、ゲル地区。工業地帯、道路等の 15 箇所のモニタリングポイントの平均値である。赤い線は、大気質の環境基準値 “Air quality. General technical requirements MNS 4585:2016” で、日平均値（24 時間平均値）は、PM10 が 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、PM2.5 が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、SO₂ が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NO₂ が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。

PM10 と PM2.5 は、前年とほぼ同値で、基準値はオーバーしている。

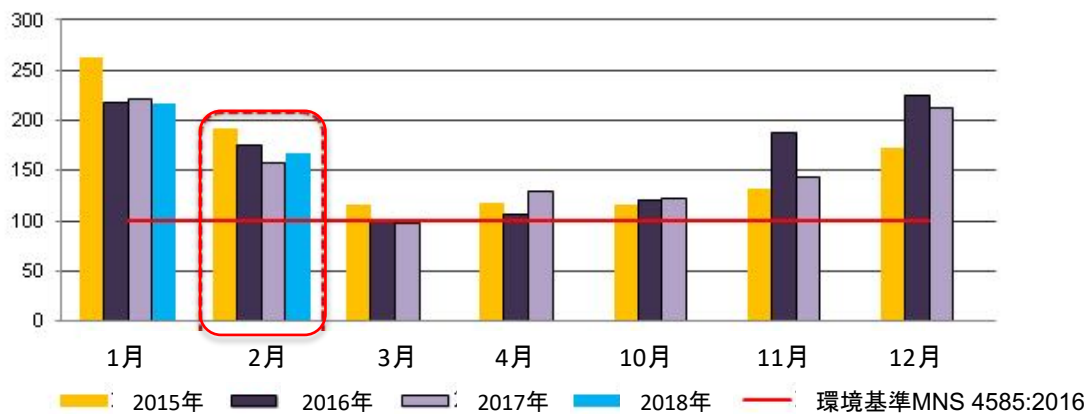


図 3 2015 年～2018 年 冬季の PM10 の月別日平均値(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

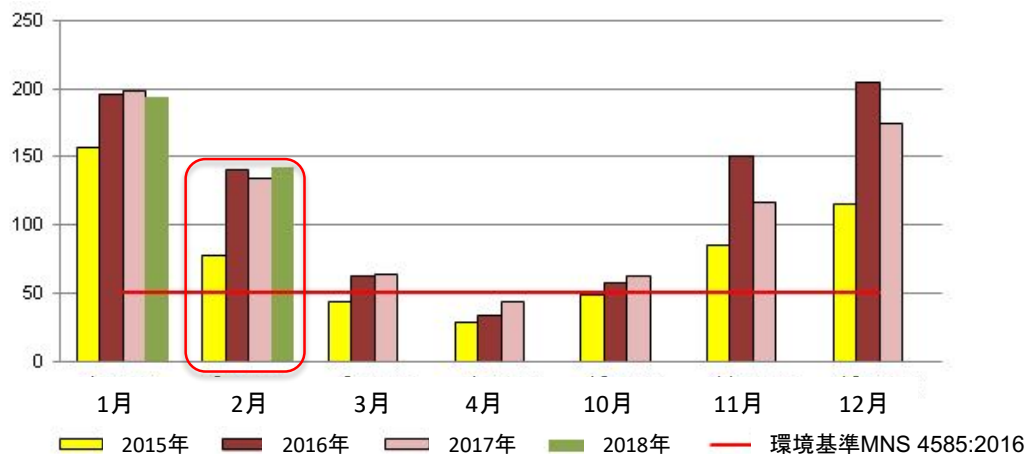


図 4 2015 年～2018 年 冬季の PM2.5 の月別日平均値(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

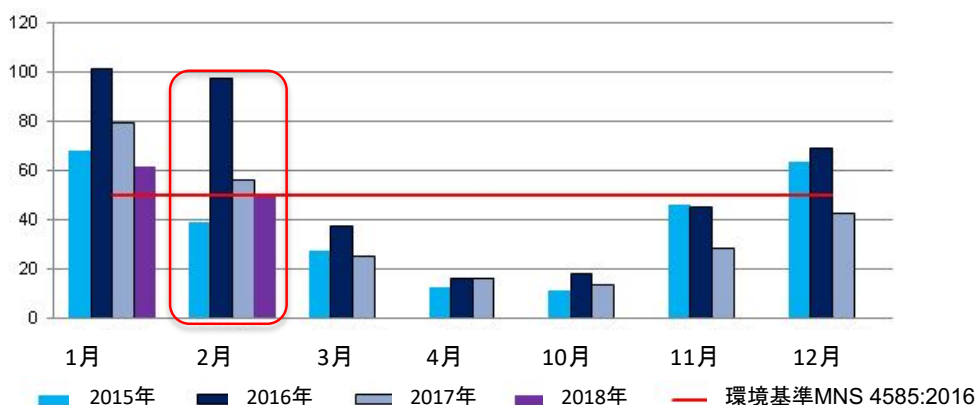


図 5 2015 年～2018 年 冬季の SO₂ の月別日平均値(単位: µg/m³)

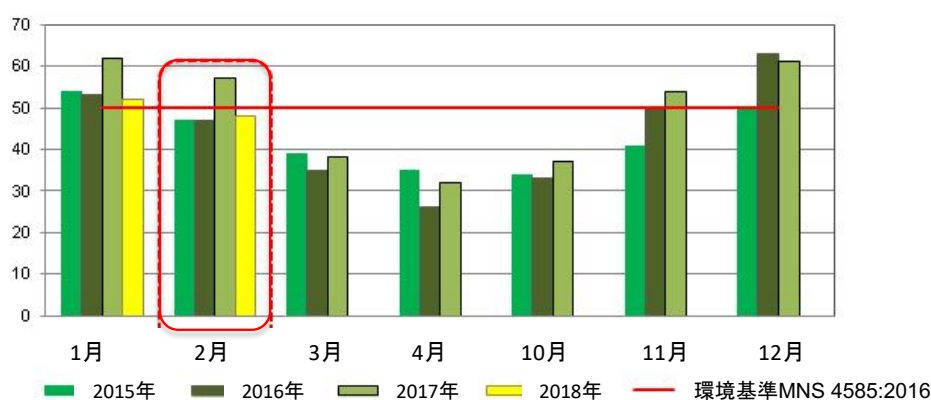


図 6 2015 年～2018 年 冬季の NO₂ の月別日平均値(単位: µg/m³)

石炭の暖房利用により、大気汚染が進み、市民の健康被害が深刻化している。

2013 年 10 月に WHO の専門機関である国際がん研究機関（IARC）が、微小粒子状物質（PM₁₀ 及び PM_{2.5}）など大気汚染物質が人体において発がん性があると初めて認定し、5 段階のリスク評価で最も危険が高い「グループ 1」に分類した¹。

また、SO_x は慢性気管支炎や気管支喘息の原因になり、NO_x は慢性気管支炎や肺気腫の原因になる。

モンゴル国立公共保健センター（Mongolian National Center for Public Health）とユニセフ（国連児童基金）は、報告書『モンゴルの大気汚染危機：子どもたちの健康を守る行動を求める（原題：Mongolia's air pollution crisis: A call to action to protect children's health）』を 2018 年 2 月に発表した。報告書では、以下のように述べている。

UB 市の冬季の大気の汚染度は、世界最悪レベルで、2018 年 1 月 30 日には、WHO が定めた微小粒子状物質（PM_{2.5}）の国際的な安全基準値（24 時間中間値：

25µg/m³）の 133 倍を超えた。Baruun 4 zam 観測地点での計測結果は、微小粒子状物質（PM_{2.5}）が 3,320µg/m³に達した。

UB 市では、この 10 年間に、呼吸器系の疾患が急増し、呼吸器感染症はほぼ 3 倍に、そして肺炎が 5 歳未満児の死亡原因の第 2 位となっている。汚染度が高い UB 市中心部に暮らす子どもたちは、遠隔地に暮らす子どもたちと比較して、肺機能が 40%低いことがわかった。

¹国際がん研究機関（IARC）プレスリリース（2013 年 10 月 17 日）http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_J.pdf

UB 市の大気汚染レベルは、今後数年のうちに急速に削減されなければ、2025 年には大気汚染が原因の病気に罹った子どもたちを治療するための財政上の経費は 33% 増加し、2025 年以降は公共保健制度の経費が毎年 48 億 MNT（2.1 億円）増加する。

報告書の巻頭で、ユニセフ・モンゴル事務所代表アレックス・ヘイケンス（Alex Heikens）は以下のように述べている。

「UB 市では大気汚染は子どもの健康の危機となり、すべての子どもと妊婦がリスクに直面している。リスクには死産、早産、低出生体重、肺炎、気管支炎、ぜんそく、脳の発達の阻害ならびに死が含まれる。このことは、モンゴルの人的資本にとって現実の脅威となっている。

ゲル地区に住む子供や妊婦は、最もリスクが高い。汚染の大半はゲル地区で暖房に石炭を使用することに起因する大気汚染のレベルが非常に悪い。彼らの全体的な健康状態は、大気汚染に対してより脆弱になっている。

子どもたちの健康を守るための唯一の持続的な解決方法は、大気汚染レベルを低減させることである。緊急に行動を起こさなければ、こうしている間にも何千人もの子どもたちが苦しみ続ける。私たちは、よりクリーンでより効率的なエネルギー、子どもたちが汚染に晒されることの一刻も早い削減、病気に罹った子どもたちへのより良い治療、そして大気汚染への脆弱性の改善に向けた子どもたちの健康全般への支援に対して、直ちに投資することが必要である。」

報告書は、大気汚染が子どもたちの健康に与える影響を軽減するために、次のことを提案している。

- ・ 大気汚染が健康に及ぼす影響、保護的措置、クリーンエネルギー技術と燃料の使用、そして子どもたちの呼吸器系疾患の早期発見に関する認識を啓発し改善するための公共教育キャンペーンの強化
- ・ 肺炎球菌ワクチンの接種率の拡大
- ・ 子どもたちが多くの時間を過ごす公立の幼稚園、学校、および病院における室内空気の質の向上
- ・ 質の高いマスクの使用と入手に関する一般市民向けガイダンスの提供

ゲル地区の小中学校では、写真 1 に示すように敷地内で石炭を燃料とする HOB で暖房が行われている。子供達の健康のためにも、石炭による暖房から、無害な地中熱ヒートポンプによる暖房への転換が望まれる。



写真 1 UB 市 79-1 番小中学校の HOB(韓国製)

(3) 石炭利用による地球温暖化への影響

モンゴル国は、表 6 に示すように豊富な石炭を有することから、石炭に依存したエネルギー需給構造となっている。

表 6 一次エネルギー消費量

(石油換算千トン)										
	2000	2005	2010	2011	2012	2013	年平均 伸び率 '00-'13	年平均 伸び率 '10-'13	2005年の シェア	2013年の シェア
石 炭	1,817	1,918	2,459	2,401	3,383	3,759	5.73%	15.20%	73.9%	72.0%
石 油	434	560	829	1,029	1,162	1,211	8.21%	13.47%	21.6%	23.2%
ガ ス	0	0	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%
原子力	0	0	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%
水 力	0	0	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.0%	0.0%
その他	113	116	167	167	173	251	6.33%	14.55%	4.5%	4.8%
合 計	2,364	2,595	3,454	3,597	4,717	5,222	6.29%	14.77%	100.0%	100.0%

出展：IEA, "Energy Balances of Non-OECD Countries 2015"

モンゴル国の2010年のCO₂排出量は21.9百万t-CO₂eで、その内エネルギー起源が63.9%を占める。2030年にはCO₂排出量が51.2百万t-CO₂eまで増加し、エネルギー起源の占める割合も81.5%まで増加すると見込まれている(図7参照)。今後も、石炭利用によりCO₂の排出量が増加していくため、再生可能エネルギーの開発に期待が寄せられている。

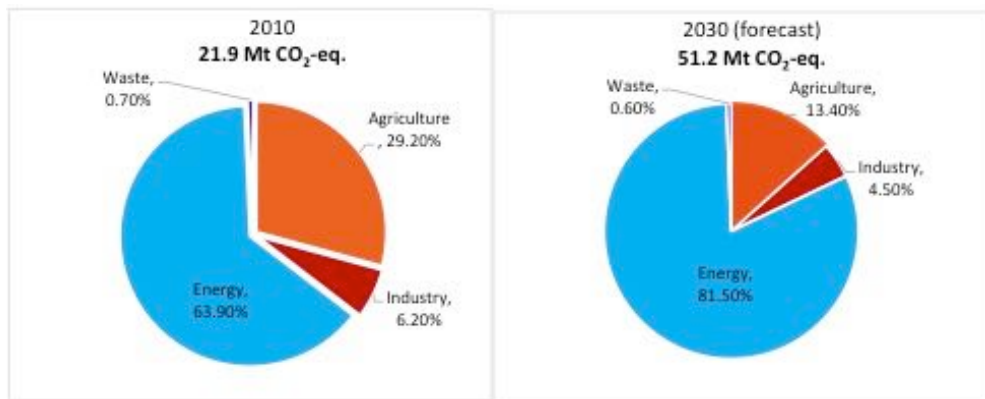


図 7 モンゴル国の温室効果ガス排出量

出展: Intended Nationally Determined Contribution (INDC) Submission by Mongolia to the Ad-Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action (ADP)

1-2 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度

1-2-1 環境政策

モンゴル国では、石炭の暖房による大気汚染により、呼吸器疾患や肺がんなど、国民への健康リスクが高まっている。モンゴル国政府は、新開発中期プログラム 2010-2016 で、大気汚染を、2016年までに50%低減させる(基準年は2010年)計画を立てていた。UB市の大気汚染削減に関する計画は、以下の内容であった。

4.1.5 UB市の大気汚染削減

4.1.5.1 市内のダスト、煙、煤、廃棄物の削減。樹木、芝生などの公園・緑地を1人当たり20m²まで増加させる。

4.1.5.2 ゲル地区世帯のストーブ・煙突・燃料の構成、燃焼技術の改善、低気圧の蒸気ボイラ(HOB)の改造、ゲル・住宅暖房の改善で生の石炭利用の削減、煙、煤の排出を50%まで削減する。

4.1.5.3 UB市内に集中した暖房及び企業、組織が利用中の低気圧の蒸気ボイラ(HOB)、またはゲル地区における生の石炭利用を段階的に制限し、無煙の燃

料、燃焼ガス、発電機によって稼働する新技術を導入することで、煙、毒ガス排出を 2013 年までに、60%以上を削減する。

- 4.1.5.4 市内及び市周辺の公共交通機関を天然ガス、電気（自動車）に替えて、自動車排出ガス削減のための総合対策をとる。
- 4.1.5.5 廃棄物の収集、運搬、貯蔵、分別、リサイクル、再利用、自然環境に優しい処理技術、マネジメントの総合政策を実施する。
- 4.1.5.6 国際水準に適合していない、自然環境を汚染している交通及び自動機関のモンゴルへの非輸入に関する契約、協定を当該諸国と締結する。
- 4.1.5.7 基準を満たしていない全種交通及び自動機関の道路での走行を防ぐ対策を段階的に実施する。

しかし、大気汚染の改善は見られていない。大気汚染や環境汚染のため、モンゴルでは呼吸器疾患の収縮が急増し、2005 年は、呼吸困難な患者数が 1 万人あたり 679 人であったが、2014 年には 2 倍以上の 1,730 人に達した²。

モンゴル政府は、2008 年から 2016 年にかけて、UB 市の大気汚染を削減するためのプロジェクトやプログラムに 147 億 MNT（6.4 億円）を支出した。国際機関の融資額は 6,000 万ドルで、改良型ストーブやエコバス導入等を実施したが、結果は不十分であり、UB 市の大気質は改善されていない。

2010 年に「クリーンエアファンド」の設立に向けて法律が改正され、大気汚染に関する法律が採択された。毎年、12～30 億 MNT（0.5～1.3 億円）が、石炭の燃焼、自動車、有機物質などの 4 種類の手数料として国家予算に積み立てられた。しかし、2015 年の法律改正で、クリーンエアファンドを清算した。このため、大気汚染対策費が大幅に削減された³。

大気汚染の深刻化を受けて、「NATIONAL PROGRAM ON REDUCTION OF AIR AND ENVIRONMENT POLLUTION」が、2017 年 3 月 20 日の政府決議第 98 号によって承認された。

このプログラムは、2017-2018 年の短期間と 2018-2021 年の長期間の 2 段階で実施される。このプログラムには、家庭、企業、組織が使用する石炭の恒久的禁止など、大気汚染を緩和するための 59 の行動が含まれている。プログラムの作成者は、プログラムの実施により大気汚染が 80%減少すると考えている。

国家大気汚染軽減プログラムで使用される先進技術に一般市民を紹介するために、バヤンツルク、ソニイノクヘアハン、チンゲルテイ地区は環境にやさしい技術の形成センターに設立される。

大気汚染の削減のため、大気汚染防止基金の設立に加えて、環境保護法、大気・環境汚染の削減法等の法律が改正される。

プログラムの目標を達成するために、ゲル地域の家庭には、電気ラジエーターの購入、夜間の電気料金の無料化が行われる。大気汚染や環境汚染を防止し、排除するために、公害軽減にプラスの影響を与える設備の税金が引き下げられる。

1-2-2 モンゴルのグリーン開発構想

モンゴルのグリーン開発構想は、自然資源と生態系価値を変え、節約し、人間の幸福度を高め、貧困を削減することによって、現在の開発動向を変え、社会的に包括的で温室効果ガス低減と、廃棄物を削減する開発モデルに移行し、グローバルなコミットメントを支持するものである。グリーン開発政策の目的は、持続可能な開発のための条件を構築した先進国となるようモンゴルが進化し、グリーン開発コンセプトに基づいて、長期的には参加的及び包括的な経済成長によって恩恵を受ける将来の世代に受け継がれるようにすること、としている。

² <https://www.pressreader.com/mongolia/the-ub-post/20170322/281513635974404>

³ <http://montsame.mn/en/read/12070>

グリーン開発成長モデルへの移行は、生態系バランスの保全を促進するための作業とサービスの拡大により、天然資源の恩恵と合理的な利用、生産性向上、グリーン投資、グリーン調達の評価などのメカニズムを使用することによって保証される環境に配慮した生産・サービスの育成、グリーン生活様式の推進に取り組んでいる。

グリーン開発への移行を決定するための重要な指標には、天然資源利用効率、リサイクル水準、グリーン雇用とグリーン調達の割合、エネルギー、水、温室効果ガス排出量、および財・サービスの生態系フットプリントと生産単位の低減が必要である。

(1) グリーン開発構想における目標

グリーン開発構想では、以下 6 つの具体的な目標を掲げている。

戦略目標 1：天然資源の効率的な使用、温室効果ガス排出量の低減、廃棄物発生量の削減など、持続可能な消費と生産のパターンを促進する。

戦略目標 2：環境保存と復興活動を強化し、環境汚染と劣化を軽減することにより、生態系の運搬能力を維持する。

戦略目標 3：グリーン経済を支援するための資金、税金、融資などのインセンティブを導入することにより、自然資本、人的開発、クリーンテクノロジーへの投資を拡大する。

戦略目標 4：貧困を削減し、グリーンな職業を促進することによって、グリーンな生活を行うようにする。

戦略目標 5：教育、科学技術がグリーン開発の触媒となり、自然と調和した文化的価値観と生計を育てるように奨励する。

戦略目標 6：天然資源の利用可能性と地域の復元力を考慮しつつ、気候変動に応じた人口集落計画を策定し、実施する。

それぞれの目標に対する具体的な措置・施策を以下にまとめる。

戦略目標 1	● 2030 年までにエネルギー効率を 20%向上させ、再生可能エネルギーのシェアを 2020 年までには 20%、2030 年までには 30%になるようにし、エネルギー部門の温室効果ガス排出を削減する。これは、エネルギー生産およびその他の産業技術の更新、過度の消費および伝送損失の削減、および価格政策の最適化によって達成される。 ● エネルギー効率の良い先進技術、グリーンビル評価システム、エネルギー監査、インセンティブメカニズムの導入などのグリーンソリューションを導入することで熱供給量を 2020 年までに 20%、2030 年までに 40%削減する。 ● 国際基準に準拠した環境基準と規範を導入し、環境アセスメントの結果と品質を高め、競争力と生産性を向上させる。 ● 農業振興の促進、グリーン技術に基づく輸出志向の産業加工クラスターの開発を通じて、レザー、ウール、カンミアなどの原材料の加工を 2020 年までに 60%、2030 年までに 80%に高める。 ● 土壌保全のための農法技術の導入や灌漑技術の効率的な導入、森林地帯の確立などにより、作物生産による土地劣化の減少と土壌肥沃度の改善による小麦、ジャガイモ、野菜の国内需要の供給を改善する。 ● 農産物の供給チェーンとネットワークを改善し、農産物のための環境に優しい貯蔵と包装技術の導入を支援する。 ● 環境と衛生の要件を満たすエコツーリズム製品とサービスを導入する。 ● 資源の有効利用と低廃棄物技術を天然資源分野に促進する。 ● 鉱業活動に起因する人間の健康と環境への悪影響を、透明性と責任ある鉱業慣行、オフセットメカニズムの導入の有効性を改善し、環境保護と復興活動を改善することによって防止する。
--------	--

	• 慣習的、非従来の石油探査と鉱業における国際基準の導入、および頻繁なモニタリングと評価を通じて汚染を防止する。 • 鉱業部門の収入を用いてソブリン・ウェルス・ファンドを創出し、長期的な持続可能な開発を確保するために活用する。 • 自然、人間の健康、生物多様性に悪影響を及ぼすことなく、環境に配慮したインフラストラクチャーと輸送ネットワークを構築する。
戦略目標 2	• 淡水埋蔵量の少なくとも 60%を保護し、保護地域を 2020 年までに 25%、2030 年までに 30%まで拡大し、保護のための持続可能な資金調達の仕組みを作り出すことによって、生態系の持続可能性を維持する。 • エコツーリズムと伝統的な畜産業を発展させ、国立公園や自然遺産、文化遺産を鉱山や産業活動に限定することによって、グリーン開発地域の原型を推進する。 • 気候変動に適応するための国家能力を強化し、気候変動の悪影響を軽減する。 • 生物多様性を維持し、生息地を維持する為に十分な資源を供給する遺伝子基金を作り、生物多様性の損失を減らす。 • 遺伝資源に関する情報の利用、評価、登録のための適切な法的環境の創出、伝統的知識の活用を通じて、利益を分担するための条件を作り出す。 • 遺伝子組み換え生物に関連するリスクを評価する影響力を強化することにより、遺伝子組み換え生物の輸入と貿易を制限し、人間の健康と環境に対する遺伝子組み換え生物の影響を防止する。 • 2030 年までに、植林活動を強化し、森林面積を国土の 9%に拡大することにより、温室効果ガスの森林吸収を強化する。 • 森林、非木材資源、動植物の保護と持続可能な利用におけるコミュニティベースの天然資源管理の導入により、持続可能な資金調達システムを構築する。 • 人口の少なくとも 90%に安全な飲料水を提供し、給水および下水システムと生産性を向上させることで、住民の 60%に改善された衛生施設を提供する。 • 工業用に地下水の使用を制限することにより、廃水のリサイクル、再利用、再処理の技術を許容レベルまで導入することを促進する。 • 地下水資源の拡大と回復のための実験と研究活動を促進し、地表水の蓄積と利用のためのプロジェクトを推進し、雨水収穫の利用を促進する。 • 急速な経済成長と気候変動の時代における人間の環境への影響を最小限に抑えるために、砂漠化、土地劣化、干ばつの影響を減らす。 • 劣化、汚染、放棄された土地の少なくとも 70%を産業活動から回収し、異なる経済目的で再利用するための努力を促進する。 • 天然資源の最適利用のための投資リターンの向上と規制メカニズムの改善を行う。
戦略目標 3	• グリーン開発のために毎年 GDP の 2%を配分することにより、資源の利用効率と生産性の効率を上げるための投資を増やし、生産単位あたりの温室効果ガス排出を削減する。 • 天然資源の利用と支援の生産性を向上させ、環境に優しい消費と生産習慣を作り出す経済的インセンティブを創出する。 • 森林水の封じ込め、炭素吸収、氾濫原の水回収と処理、環境保護と復旧などの生態系サービスの利益を評価し支援することで、自然保護と天然資源リハビリテーションへの投資を 20%増加する。 • 環境に有害な財やサービスの生産と輸入を減らすためのグリーン税制を確立する。 • 国際貿易協定や契約にグリーン開発原則を反映させることにより、低炭素とエネルギー効率の高い技術の取引を促進する。 • 環境調和のとれた効果的かつ資源効率の高い商品、作業およびサービスの購入を、公共調達全体の 20%まで増加させる。 • 経済主体と組織の企業の社会的責任を強化し、銀行システムにおいて環境に優しく持続可能な資金調達システムを創出する。

	グリーン開発指標を国家会計システムに組み込むことによって、社会経済開発における環境貢献のシェアを積算する。
戦略目標 4	- 官民パートナーシップを通じて永続的な雇用を増やすことによって、利用可能な労働力の少なくとも 80% の雇用機会を創出する。 - 競争力のあるプロフェッショナルな労働力を創出し、母国で利用可能な国際的に資格のある教育を受け、労働生産性を向上させる。 - 社会的保護層への投資を促進すること、および複数の収入源を促進することにより、新興中産階級を強化する。 - 生産のための食糧の供給と利用可能性の向上により、健康的な生活に必要な社会サービスへの平等なアクセスと、食品安全を確保する。 - 環境と天然資源に依存する個人の生計を向上させるためのプログラムやプロジェクトを実施することにより、気候変動の悪影響を克服する力を強化する。 - 牧草地の劣化や牧草の被害を防ぐために家畜の繁殖の防止に貢献する支援者のための生態系サービスの支払いや、水源や湧水の維持などのインセンティブの創出と促進を行う。
戦略目標 5	- 資源効率的かつ効果的な消費文化、環境に優しい生活様式、環境を持続可能な発展教育の伝統的な風習を導入する。 - 経済主体の環境管理基準「MNS ISO14000」の導入を促進し、製品の効率的な生産と消費のベストプラクティスを確立する。 - 鉱業や主要な開発プロジェクトを実施する前に、環境や歴史的または文化的重要性のある場所へのリスクを評価し、重要な場所を保護するための予防措置を確実に講ずる。 - 科学技術研究と実験の GDP 支出の割合を 2020 年までに 2%、2030 年までに 3% 増やし、グリーン開発の触媒として使用することで、グリーン開発を支援し、クリーンテクノロジーとイノベーションの発展を奨励する。 - 産業革新、バイオテクノロジー、ナノ技術の適用、転換、移転のために、科学団体と産業界との協力を拡大することにより、特定の品質と独占権をもったグリーン製品の製造を増やす。
戦略目標 6	- 人口が集中するのを防ぐために、環境と気候の動向に対応した自給自足の「グリーン」と「スマートな」都市と村を開発することにより、地元住民の快適な生活と労働条件を提供する。 - 都市の土地利用、建設ゾーニング、インフラストラクチャーのプロビジョニングのための改善された計画を実施し、その実施の説明責任のための法的環境を創出することにより、大気、水および土壌の汚染を削減する。 - UB 市などの都市部整備地区の再開発により、都市部の緑地占有率を 2020 年までに 15%、2030 年までに 30% 増加する。 - 効率的な技術の普及、知識の提供、健康的な習慣や生活の確保、廃棄物のリサイクルと処理の増加、付加価値製品の生産の促進を通じた適切な廃棄物管理の改善により、2020 年までに埋め立ての固形廃棄物を 20%、2030 年までに 40% 削減する。 - 環境に配慮した適切で安全な公共交通機関を開発し、快適な乗車環境を作る。 - 歩行者の車道、緑地、自転車レーン、駐車場の計画と構成の改善により、歩行者やサイクリストが利用できるスペースを広げる。

1-2-3 再生可能エネルギー政策

モンゴル政府は、エネルギー源の 95% 近くを石炭に依存する従来のエネルギー源を改善することを目標に、国家再生可能エネルギー計画 2005-2020 を策定し、2020 年までに再生エネルギーの利用を 20~25% とすると発表した。エネルギー省は、暖房を地中熱ヒートポンプで行うパイロット事業をトゥブ県のゾーンモド幼稚園・学校・病院で行ったが、地中熱ヒートポンプ技術先進国からの技術移転が行われないまま事業を行った。1-4 項に記載

するような問題が発生し、普及が遅れている。

再生可能エネルギーは、政府行動計画、地域開発構想、持続可能な開発戦略などの政策文書に示されているエネルギー部門の最優先事項の1つとなっている。これらの文書では、議会は2007年1月11日に「再生可能エネルギー法」を承認し、最新の改正は2015年6月19日に行われている。

送電会社は、再生可能エネルギー電源を接続し、その電力を再生可能エネルギー法第11条に定める料金で購入することになっている。再生可能エネルギー電源の購入価格は、再生可能エネルギー法で次のように設定されている。

表 7 再生可能エネルギー電力の買取価格

電源種別	グリッド接続	グリッド非接続(オフグリッド)
太陽光	0.15-0.18USD	0.2-0.3USD
風力	0.08-0.095USD	0.10-0.15USD
水力	0-5000kW 0.045-0.06USD	0-500kW 0.08-0.10USD
		501-2000kW 0.05-0.06USD
		2001-5000kW 0.045-0.050USD

出典：Renewable Energy in Mongolia, Ministry of Energy, 2017

また議会は、2015年に決議第63号によって政府のエネルギー政策文書を承認した。その3.2.6.2項によれば、再生可能エネルギーによる発電のシェアは2023年に20%、2030年には30%となることが示されている。2017年の上半期に、再生可能エネルギーの設置容量は140MWに達し、すなわち、全設備容量の8%に達した。2016年には、すべての発電量の3.35%が再生可能エネルギー源によるものとなっている。

モンゴル政府は税優遇についても政策を打ち出しており、2015年12月18日、モンゴル議会が関税賦課、関税税法、付加価値税法について、再生可能エネルギー設備の税金を免除する決定を行った。また、2016年にモンゴル政府は、税制免除のための100種類の太陽光、風力、水力、バイオマス、地熱エネルギー機器のリストを承認している（政府決議No.198）。

1-2-4 UB市の政策

また、UB市のUlaanbaatar 2020 Master Plan and Development Approach for 2030（UB市マスタープラン）の6つの開発アプローチの一番目に、「気候変動に強い、安全で、健全で、緑の都市」をあげている。UB市マスタープランでは、図8に示すようにUB市を4ゾーンに区分し、地域ごとに集中暖房とHOBにより暖房を行う計画である。

GREEN DEVELOPMENT STRATEGIC ACTION PLAN FOR ULAANBAATAR 2020（UB市緑の都市開発2020）で、緑の都市の7つのゴールのうち、1つは大気汚染対策であり、1つは気候変動対策である。

2017年12月4日に、UB市の2018年度の予算が批准された。新たに「58.1.14. 環境保全・回復」予算が設けられ、その中の「無煙ウランバートルプログラム」に大気汚染を削減するプロジェクトや対策の実施を行う38億トグルグの予算がある。UB市は、その中から3.8億トグルグ（約1,700万円）を普及実証事業の付帯作業費として支出することを決定した。さらに、不足をUB市長の予備金から支出することを決定した。UB市の負担金については、現在UB市で負担金の積算作業を行っている。

HOBによる暖房から地中熱ヒートポンプによる暖房への切り替えは、UB市の政策に合

致している。UB 市政府と連携し、図 8 の Zone2、Zone3、Zone4 の地域に地中熱ヒートポンプの普及を図っていきたいと考えている。

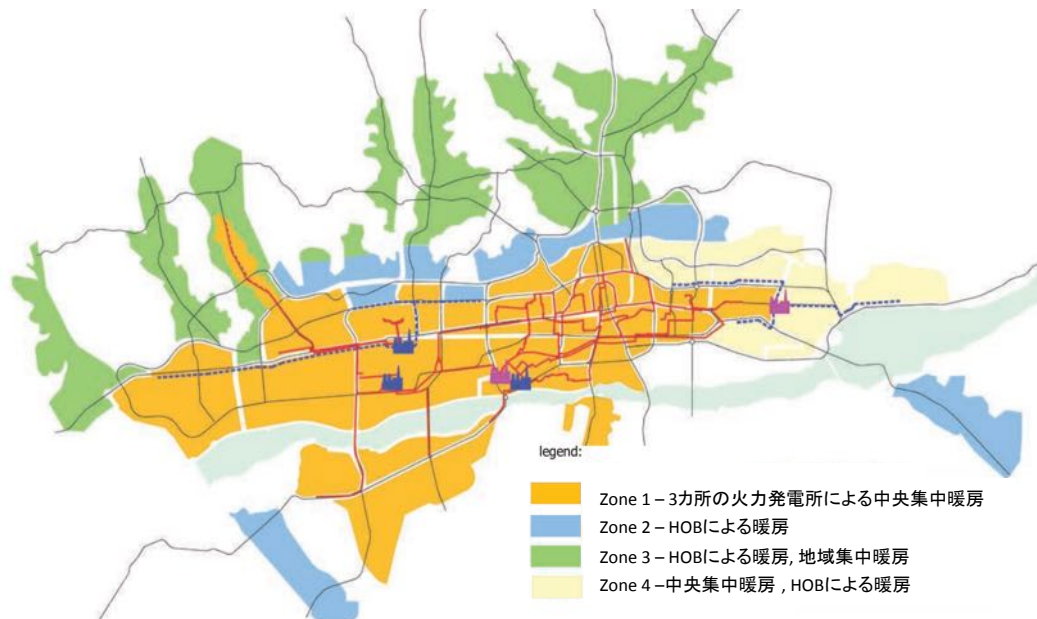


図 8 UB 市マスタープランの暖房計画

出展：UB 市マスタープラン

1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針

我が国のモンゴル国に対する援助の基本方針（大目標）は、「持続可能な経済成長を通じた貧困削減への自助努力を支援」で、重点分野（中目標）の一つとしてウランバートル都市機能強化をあげ「現在モンゴル政府及び UB 市は、これまでの我が国による支援を基に 2030 年を目標年次とするウランバートル市都市計画マスタープランの法制化に取り組んでいる。マスタープランの実現による都市機能の維持・強化のため、モンゴル関係機関の都市計画管理に関する能力向上とともに、我が国の知見及び技術を活用したインフラ整備を支援する。」としている。

本事業は、大気汚染問題と気候変動問題に貢献して、上述した UB 市のマスタープランに沿っていることから、我が国の援助方針と合致する。

国連が定めた新たな目標「持続可能な開発目標」（SDGs）では、17 つの目標が定められており、その中では「すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する」、「あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する」、そして「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」があげられている。地中熱ヒートポンプ技術は、その目標に合致する。JICA は、我が国自身と開発協力の経験を活かし、SDGs の目標のうち 10 の目標について中心的役割を果たすとしており、上記の 3 目標も含まれることから、その方針と合致する。

1-4 対象国・地域の対象分野における ODA 事業の先行事例及び他ドナー事業の分析

鉱物資源・エネルギー省は、暖房を地中熱ヒートポンプで行うパイロット事業をトゥブ県のゾーンモド幼稚園・学校・病院で行った。学校の建物の延べ 2,120m²、学校でのパイロット事業は、投入資金が 1,850 百万 MNT (117 百万円 2013 年当時のレート 1MNT=0.06325 円) であった。NATURE 社のヒートポンプと太陽熱真空コレクターとの接続系統図は、図 9 の通りである。モンゴルの技術で深さ 100m、直径 150mm のボーリングを 49 本掘削し、熱交換のチューブを挿入した（図 10 参照）。スイスのメーカーのヒートポンプを 2 台設

置している。(写真2参照)容量は、NATURE 社 BWH280 が 90kW、NATURE 社 BWH268.1. が 78.8kW である。-30℃になるモンゴルの冬には、暖房熱を確保するために、ビル屋上に設置した太陽熱真空コレクターシステムからの熱も使っている。(写真2参照) 校舎での、ラジエーターの設置状況を図 11 に示す。

地中熱ヒートポンプ技術を持たないまま、そして地中熱ヒートポンプ技術先進国からの技術移転が行われないまま事業を行ったため、ゾーンモド幼稚園・学校・病院の地中熱ヒートポンプ設備に以下に示すような問題が発生し、小学校の暖房が十分に行われていない。

- 1) 地中熱を使うためにボーリングの中を循環する不凍液が、地中で漏れているようである。地下の配管の施工不良が考えられる。
- 2) 地中熱システムにエラーが出て、運転が止まることがある。そのため、バックアップに石炭ボイラを使っている。
- 3) 専門家がないので、エラーについてはスイスのメーカーから聞いて調整を行っている。

こうした問題もあり、エネルギー省は、ゼネラルヒートポンプ工業に、モンゴル国への地中熱ヒートポンプ暖房システム導入への技術協力を打診してきた。

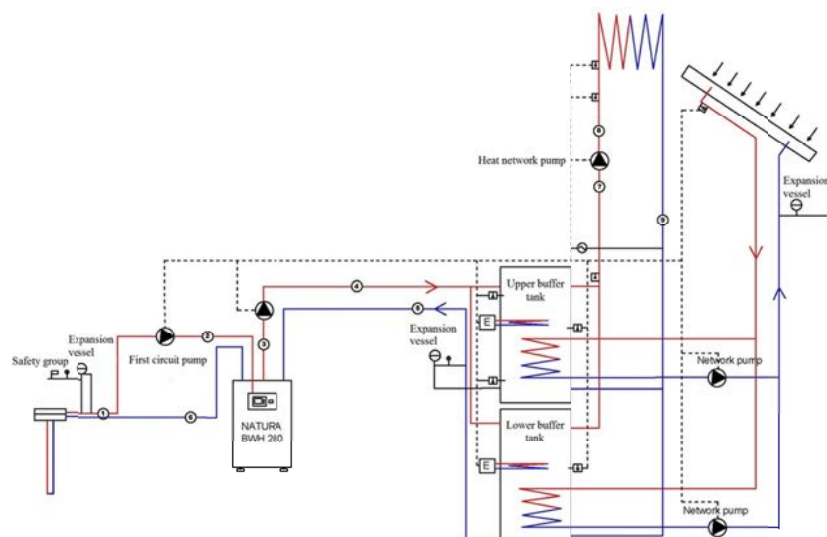


図 9 ヒートポンプと太陽熱真空コレクターとの接続系統図

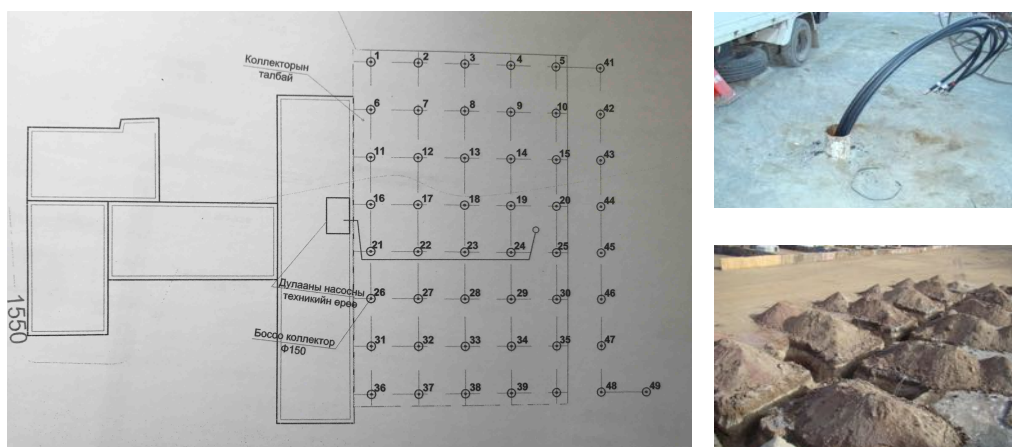
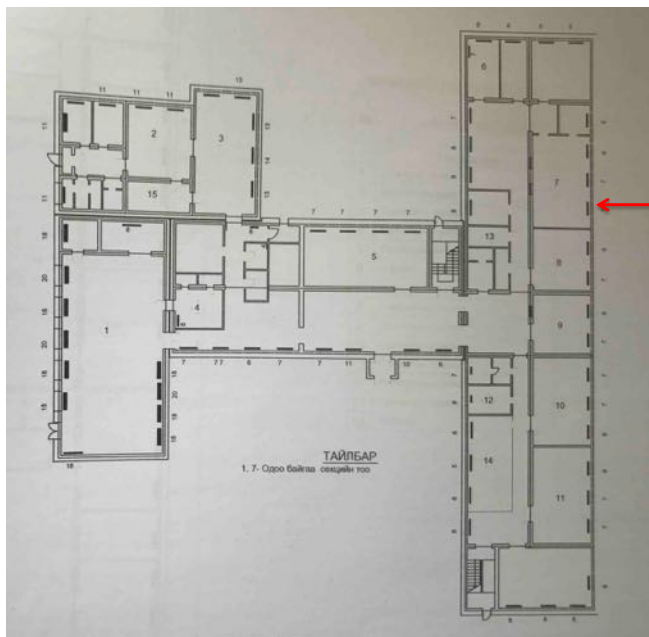


図 10 地中熱交換器のボーリングと施工



ラジエーター

図 11 校舎でのラジエーターの設置状況



校舎の屋根に設置された太陽熱集積コレクター



NATURE 社のヒートポンプ

写真 2 ゾーンモド小学校地中熱ヒートポンプ設備

第2章 提案企業、製品・技術

2-1 提案企業の概要

ゼネラルヒートポンプ工業は、1984 年 11 月に名古屋市に設立し、ヒートポンプ給湯冷暖房機の製造・販売を開始した。2015 年度の販売実績は、国内で 62 件、海外 1 件（インドネシア）で、売上高は 12 億円である。

工場排熱や地下熱などの未利用熱を活用するヒートポンプの開発・普及に早期から積極的に取り組み、エネルギー使用量や CO₂排出量の削減に大きく貢献してきた。2003 年 4 月に、中部電力株式会社との共同研究開発により「空冷式 ZQH（ゼットキューハイパー）」の製品化に成功し販売を開始した。さらに、2005 年 4 月には東京大学らとの NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の共同研究開発により「水冷式 ZQH」の製品化に成功し販売を開始した。この取り組みが評価され、2011 年 2 月に愛知県の省資源や省エネルギー、リサイクルなどに関する優れた技術や活動などを表彰する愛知環境賞の優秀賞を受賞した。

また、中部電力株式会社、アイシン・エイ・ダブリュ株式会社と 3 社で冷暖同時ヒートポンプシステムを開発し、自動車工場の機械加工ライン全機械加工ラインの蒸気レスを実現した。その結果、最終的に 84%（原油換算 437k0）の省エネルギーを達成した。省エネルギーに貢献したことが評価され、2012 年に、「省エネ大賞（省エネ事例部門）」資源エネルギー庁長官賞（産業分野）を受賞した。既にこの設備は、自動車部品加工工場に 100 台以上納品されている。このように愛知県を始めとする産業分野で、省エネルギー、再生可能エネルギーの利用普及に力を注ぎ、地元経済・地域活性化へ貢献している。

2015 年には、再生可能エネルギー「地中熱」を中心とした熱エネルギー（下水熱、温泉熱なども含む）を利用促進して地域社会、さらには日本および世界の持続的発展に寄与することを目的に中部地中熱利用促進協議会を設立し、社長 柴 芳郎が副理事長に就任している。2016 年 10 月 12 日には中部地中熱利用促進協議会と NPO 法人地中熱利用促進協会との連名主催による地域交流イベント「全国地中熱利用促進地域交流 2016 愛知」を開催した。

ゼネラルヒートポンプ工業は、2017 年に本社の営業・設計・総務部門を本社統括営業本部として名古屋市中村区へ移転した。現在のところ日本国内の需要も量産化できるほどの需要があるわけではない状況であり、そのため高価である。本調査で検討する ODA 案件化により海外展開へのノウハウを得ることができると考えている。モンゴル国を含めた海外での販売が伸びれば量産体制が可能となり、販売価格を下げるができる。そこで、今後は、海外事業部も開設して、海外事業を拡大させて行く計画である。

2-2 提案製品・技術の概要

(1) ターゲット市場

提案製品・技術は、安定した地中の温度を利用して暖房を行う地中熱ヒートポンプであり、ターゲットとなる市場は、学校、病院や公共施設、ビル等の暖房を行う分散型暖房施設である。

地中熱ヒートポンプによる暖房は、欧米では 1980 年代から普及し始め、図 8 に示すように米国ではすでに 100 万台以上が利用されている。日本では 2010 年にエネルギー基本計画に地中熱が書き込まれ、2011 年度からは経産省の補助金が使えるようになり、これからの普及が期待されている。

地中熱ヒートポンプによる暖房は、途上国では、まだあまり活用されていない。アジアの寒冷国はモンゴルであることから、まずはモンゴル市場において同製品を普及させたいと考えている。

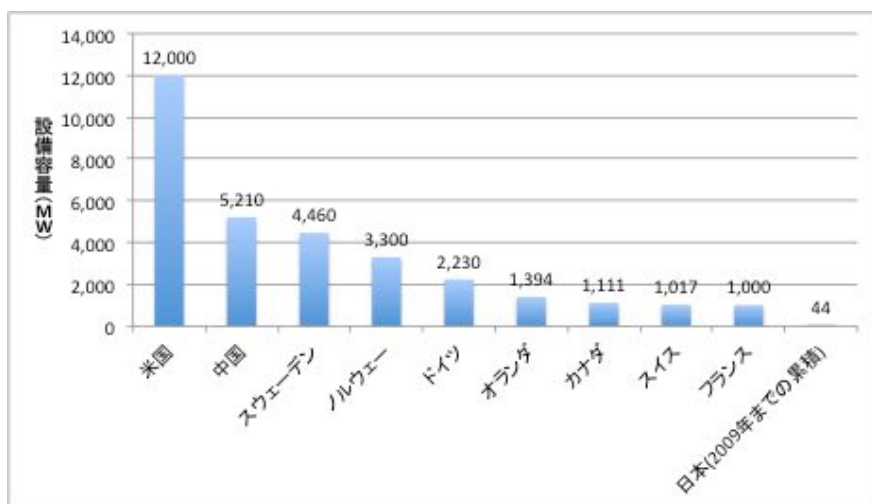


図 12 世界の地中熱ヒートポンプによる暖房の設備容量

出典：海外設備容量は lund,2010、日本の 2009 年までの積算は「地熱利用にあたってのガイドライン」

(2) 製品・技術の特徴

ヒートポンプは、熱ポンプとも呼ばれ、水や不凍液等の熱媒体を循環させて低い温度の媒体（空気、水、地中等）から熱を奪い、高い温度の媒体（空気、水、地中等）に熱を伝える装置である。熱源の種類により空気熱源ヒートポンプ（通常のエアコン）と水熱源ヒートポンプに大別される。地中熱ヒートポンプは水熱源ヒートポンプの一種であるがその中でも地中熱に対応したものである。

地中熱とは、私たちの足下にある熱エネルギーで、年間を通して温度がほぼ一定である性質がある。地中熱ヒートポンプは、地中へ熱を放出（放熱）したり地中から熱を採りだす（採熱する）ことにより冷暖房を行うシステムである。電気を使ってヒートポンプ内の圧縮機で、冷媒の蒸発と凝縮過程を繰り返すことで、地中から熱を採りだし温水を作る。化石燃料の燃焼を伴わないため、大気汚染物質を排出しない技術である。また、効率が高いため CO₂ 排出量も削減する。北米やヨーロッパ、日本の北海道、中国の東方地方の寒冷地で普及が進んでいる。

地中熱ヒートポンプは地中との熱のやりとりの方法によって、クローズドループ方式、オープンループ方式に分けられる（図 13 参照）。

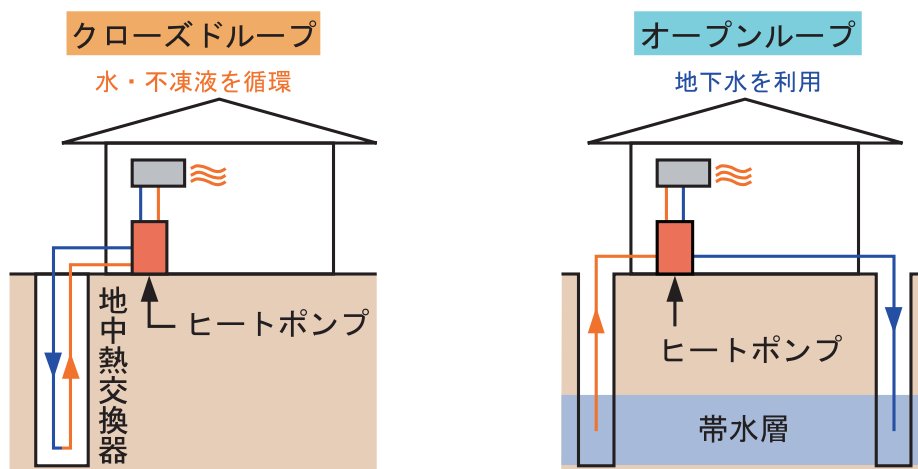


図 13 地中熱ヒートポンプ方式

クローズドループ方式は、深度 100m 程度までの地中熱交換器に不凍液等を循環させ、

ヒートポンプで熱交換させるもので、設置場所を問わない。オープンループ方式では、井戸から揚水した地下水をヒートポンプで熱交換させるもので、汲み上げ可能な揚水量が多い場所で、地下水障害の恐れがない場合に適用できる。

モンゴルは最低外気温が -30°C にもなるため、空気熱源ヒートポンプは外気温度が低すぎるため使用することができない。また、オープンループ方式も、水の凍結の問題があり使用する事が難しい。

一方クローズドループ方式の地中熱ヒートポンプは、およそ年平均外気温程度（UB市： 0.3°C ）となる地下100mでの地中温度を利用するため、外気温が -30°C の時も問題なく暖房に使用することが可能である。ヒートポンプ設備は、室内に設置されることから、外気に影響されることはない。図14に示すように、日本でも北海道や青森県、秋田県のような寒冷地では、クローズドループ方式の地中熱ヒートポンプ（以下地中熱ヒートポンプ）が普及している。

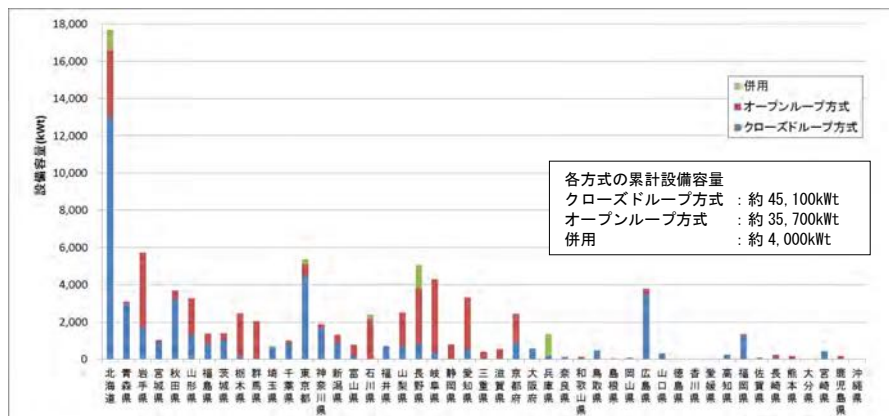


図 14 日本の都道府県別の累計設備容量(2013 年末時点)

出展：環境省の地中熱利用にあたってのガイドライン

モンゴル国では、学校、病院等の公共施設、団地等で HOB と CFWH により温水を供給して暖房している。そこで、石炭ボイラによる暖房の代替として、図15に示す地中熱ヒートポンプによる暖房、即ち、ヒートポンプによって地中の熱を採りだして、暖房用の温水の加熱を行い、暖房を行うシステムの普及を目指す。

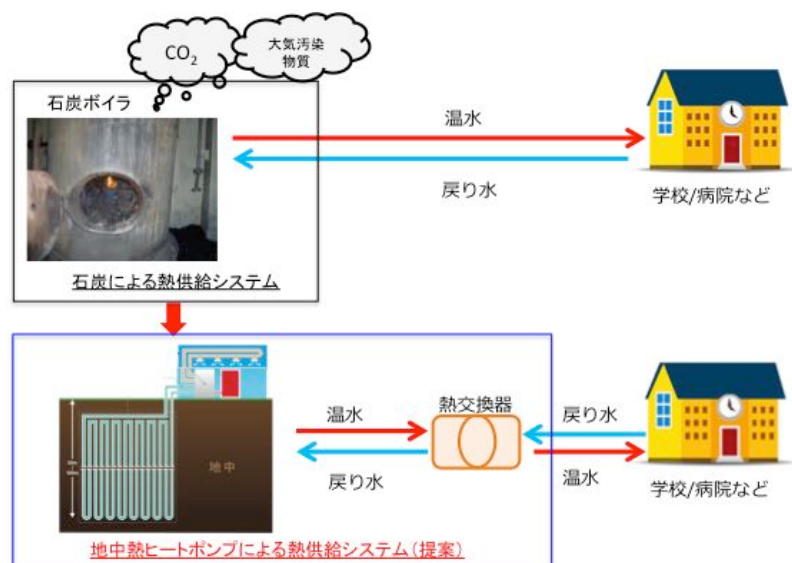


図 15 地中熱ヒートポンプによる熱供給システム

ヒートポンプは、図 16 のように①蒸発器（熱交換器）、②圧縮機、③凝縮器（熱交換器）、④膨張弁という 4 つの主要機器とそれらをつなぐ配管とその中に封入された冷媒から構成される。ヒートポンプ内の冷媒は次のような過程を繰り返す。

- ・ 蒸発過程：低温低压の液状態の冷媒は、①蒸発器で地中熱と熱交換することにより地中熱を吸収して蒸発し、低温低压のガス状態となる。
- ・ 圧縮過程：②圧縮機を運転することにより、低温低压のガス状態の冷媒が圧縮されて高温高压のガス状態となる。
- ・ 凝縮過程：高温高压のガス状態の冷媒は、③凝縮器で暖房用の温水と熱交換して温水に放熱し高温高压の液状態となる。温水は温められ、ラジエーターに送られて室内を暖房する。
- ・ 膨張過程：液状態の冷媒は、④膨張弁により膨張し低温低压の液状態となる。

これらを繰り返すことにより、連続的に蒸発器で地中熱から熱を吸収し、凝縮器で暖房用の温水に熱を放出する。すなわち、地中から熱を採り出し、暖房用の温水を加熱する。

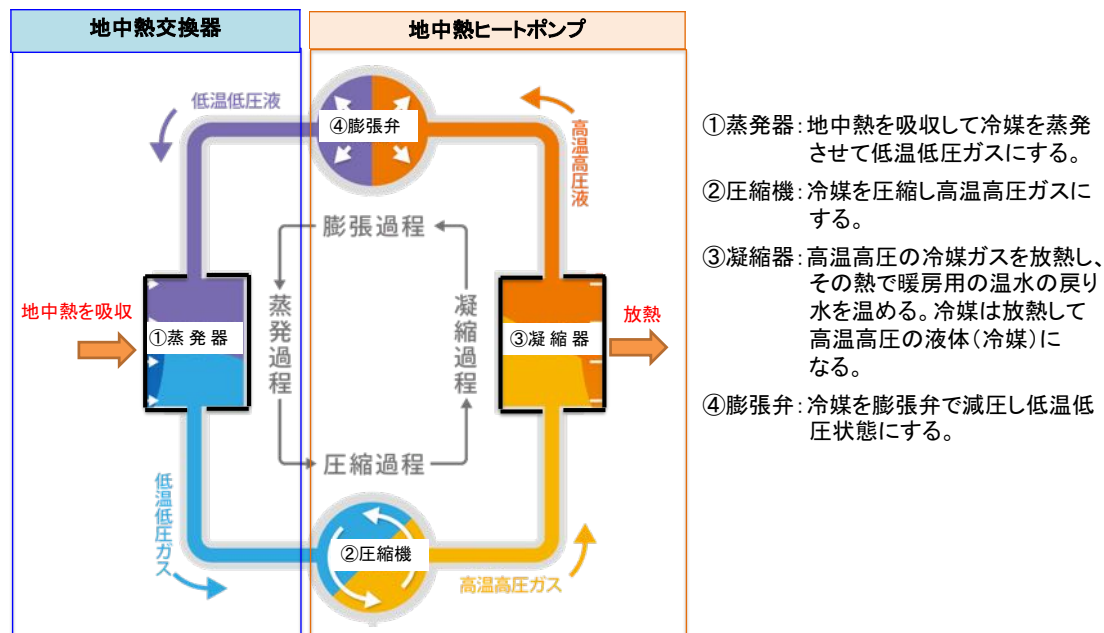


図 16 ヒートポンプによる暖房

図 17 に地中熱ヒートポンプによる暖房システムの概略図を示す。地中とヒートポンプとの熱のやりとりは配管内に封入された不凍液（ブラインとも呼ぶ）を介して行う。地中と不凍液の間の熱のやりとりは地中熱交換器によって行われ、不凍液とヒートポンプの間の熱のやりとりはヒートポンプ内の熱交換器によって行われる。

地中熱交換器として、図 18 に示す U チューブを設置する。これは、ポリエチレン管 2 本を 1 対として U 字に加工された先端部を融着したものである。掘削孔内に 2 対の U チューブを挿入するタイプ（ダブル U チューブ）を採用する。ボーリング工事により、直径 150mm～200mm、深長 50m～150m 程度のボアホールを施工し、その中に U チューブを挿入するボアホールとして U チューブを挿入した後はボアホールと U チューブの隙間に珪砂等を封入する。U チューブ熱交換器が複数必要な場合は、地面に対して格子状に 5m 程度の間隔で配置する。それよりも間隔が狭いと熱干渉を起こし、地中熱交換器の平均の単位長当たりの熱交換量が低下する。複数の U チューブ熱交換器は並列、直列、または直列と並列を併用して接続し、ヒートポンプへの接続は入口側と出口側のそれぞれ 1 本にまとめられる。

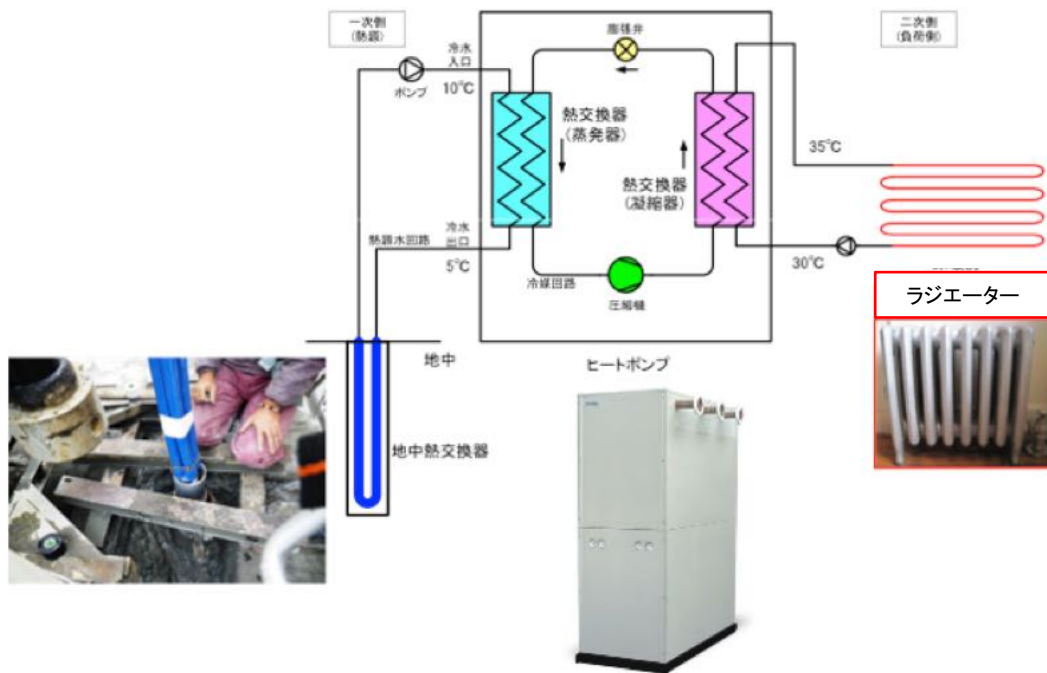


図 17 地中熱ヒートポンプ暖房システム



図 18 ダブル U チューブ

(3) 製品・技術のスペック・価格

ODA 事業で導入予定のヒートポンプは、写真 3 に示す高効率水冷式ヒートポンプチラー ZQH である。1 モジュールが、22.5 馬力で、大きさは 650Wx1300Lx1800Hmm とコンパクトである。ODA 事業では、6 モジュールを連結する。従って、大きさは 3900Wx1300Lx1800H となるが、モジュールに分割して搬入し、設置箇所で連結することが可能である。セミオーダーメイドで、現地の状況に合わせて容量選定や最適制御を構築する。台数制御運転および圧縮機インバータによる容量制御により低負荷運転性能を向上させており、効率的である。冷媒には、オゾン層破壊係数 ODP"0"、地球温暖化係数 GWP(R410A 比)1,770 の、地球環境に優しい R407C 冷媒を採用している。



単体



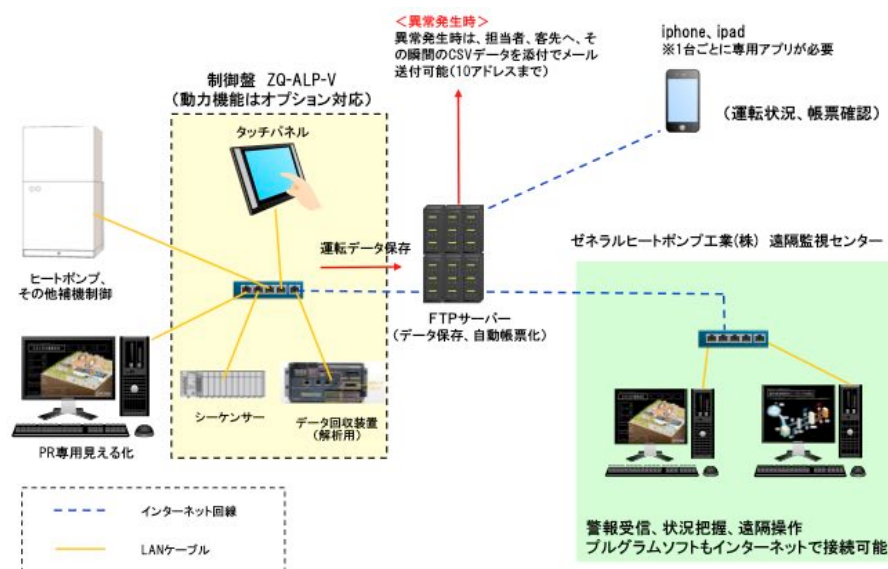
連結

写真 3 高効率水冷式ヒートポンプチラーZQH

1 モジュールの仕様は下記の通りである。

名称：水冷式ヒートポンプチラー エコスタンダードシリーズ
 型式：ZQHs-112.5W22.5-H-C-INV
 加熱能力：243.6kW
 熱源水能力：169.9kW
 消費電力：78.3kW
 価格：非公開

制御盤 ZQ-ALP-V は、ゼネラル制御監視システムを備えており、最適制御・最適監視を行う。ゼネラル制御監視システムは、（制御と監視（計測）は、同一システムを使用している。ヒートポンプやその他補機の制御を行うだけでなく、通信機能を標準装備しており、日本からインターネット回線を用いてヒートポンプやその他の補機の故障の有無、温度、熱量、消費電力量等のモニタリングを行うことができる。図 19 にそのシステム図を示し、図 20 にデータ回収装置で回収したデータの解析例を示す。



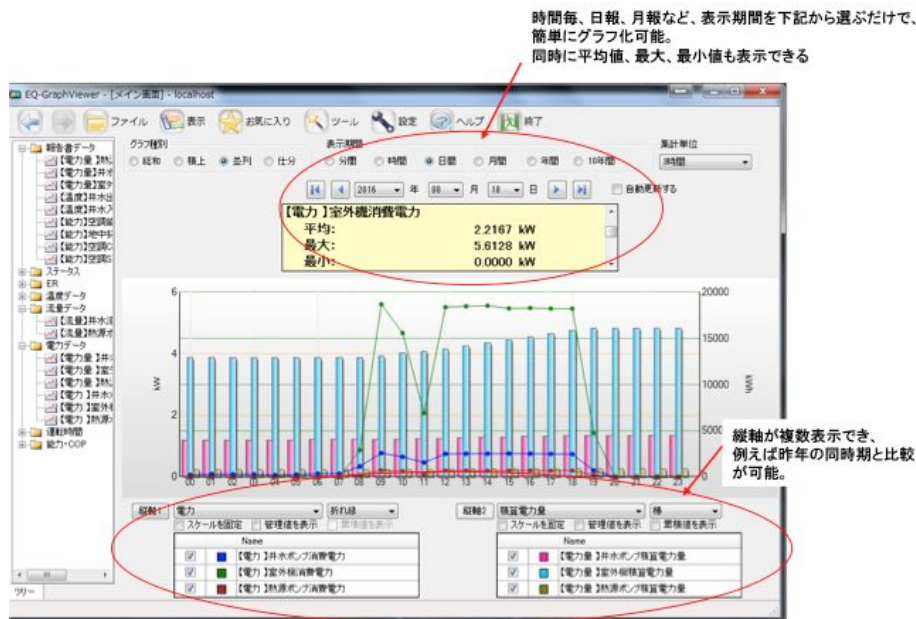


図 20 データ回収装置で回収したデータの解析例

ゼネラルヒートポンプ工業が取得したヒートポンプシステムに関する特許は、下記の通りである。

- ・ 特許第 3049670 号 投げ込み式熱交換器を用いた下水熱利用ヒートポンプシステム
- ・ 特許第 4809055 号 地中熱などの水冷式機能を付加したヒートポンプシステム
- ・ 特許第 5042716 号 地下水と地中熱のハイブリッド熱源ヒートポンプシステム
- ・ 特許第 5341482 号 1 井還元地下水熱交換ヒートポンプシステム
- ・ 特許第 5362468 号 2 井還元地下水熱交換ヒートポンプシステム
- ・ 特許第 5848866 号 ハイブリッド熱源ヒートポンプ洗浄液加熱装置
- ・ 特許第 5536489 号 クーラント冷却と洗浄液加熱を同時に行うヒートポンプシステム
- ・ 9,061,390 (US) クーラント冷却と洗浄液加熱を同時に行うヒートポンプシステム
- ・ 特許第 5475735 号 クーラント冷却と洗浄液加熱を同時に行うヒートポンプシステムの制御方法
- ・ 特許第 5883685 号 山留壁内に設置した地中熱交換器を熱源としたヒートポンプシステム

(4) 販売実績

ゼネラルヒートポンプ工業は、国内における排熱回収型ヒートポンプの先駆者として、1984 年の設立当初から、水熱源や空気熱源のヒートポンプを多数製造している。平成 27 年度（2015 年度）の販売実績は、国内で 62 件、海外 1 件（インドネシア）で、売上高は 12 億円である。主要取引先は、大手建設業者、大手商社等である。

販売実績は、別添資料に掲載した。日本国内で教育・福祉施設などに多数納入し、着実に実績を伸ばしている。環境省の「地中熱利用にあたってのガイドライン」によれば、都道府県別の累計設備容量（2013 年末時点）は、クローズドループ方式が約 45,100kW、同時期のゼネラルヒートポンプ工業の実績は 21,009kW で 46.6%を占める。件数では、シェアは 11.8%にすぎないが、これは、1 件あたりの設備容量の規模が、他社の規模 21kW/件に対して、ゼネラルヒートポンプ工業は 136kW/件と大きい事が理由にある。今回の提案製品の設備容量は、243.6kW モジュールであり、このような大型の地中熱ヒートポンプシステムでは、ゼネラルヒートポンプ工業が最も実績を有している。

2-3 提案製品・技術の現地適合性検証

2-3-1 製品・技術の適合性

暖房方式の選定にあたっては、厳寒の最低気温-33℃の条件下で、UB市のゲル地域の小中学校等を暖房する方式を比較検討した。

暖房システムは、表8に示すように個々の室の内部にストーブなどの暖房器具を置く個別暖房と、ボイラやヒートポンプで熱せられた熱媒を多数の室に分配する中央暖房（セントラルヒーティング）に大別される。中央暖房は、地域単位あるいは都市単位の大規模な集中暖房方式とビルや集合住宅、小規模の地区を暖房する分散型暖房方式とに大別される。

表 8 暖房方式

暖房方式			暖房対象
中央暖房方式	集中暖房方式	発電所の排熱 石油・ガス・石炭ボイラ	都市、地区
	分散型暖房方式	温水セントラル方式 (冷媒含む)	ビル、学校等公共施設、集合住宅、ホテル
		温風セントラル方式	小規模のビル、学校等公共施設、集合住宅、ホテル
個別暖房方式		ストーブ、ヒートポンプ(クーラ)、こたつ等	住宅、事務所、店舗、レストラン

個別暖房は、ランニングコスト等の面から、厳寒のモンゴル国においては、小規模の店舗や家庭で行われている。特に、UB市のゲル地域の家庭では石炭ストーブ（写真5）で暖房を行っているため、写真4に示すように煤塵等による大気汚染の元凶となっている。UB市のマスタープランでは、図8に示すように、逐次HOBによる分散型の地域熱供給に切り替えていく計画である。ビルなどで行う場合は、すべての部屋や廊下、ホール等の共有スペースを個別の暖房機器で暖房するため、熱損失が各機器の合計値となり、中央暖房に比べて熱損失が大きくなるため、UB市では行なわれていない。



写真 4 UB市内の家庭・店舗等の
煙突からの煙



写真 5 石炭ストーブ

煤塵等の対策として灯油やガスのストーブへの切り替えがあるが、モンゴル国では内陸国で、海外から石油・天然ガスを輸入しているため量も少なく価格も高いため普及してい

ない。調理も電気か石炭・薪ストーブで行われている。石炭ストーブの代替として空気熱源のヒートポンプ（クーラー）もあるが、最低気温-33℃では運転しない。そのため、ホテル・レストラン・オフィスで夏季の冷房用として使われている。

緯度的に北に位置し冬期の寒さが厳しい欧米、ロシア、中国等の都市では、町ぐるみで暖房と給湯に取り組む必要があったため、ガス、電気、水道などの供給と共に蒸気・熱水の供給も行って、中央暖房方式で地域暖房を行っている。UB市でも、中央暖房方式の集中暖房方式で、図21、写真6、写真7に示すように3箇所の熱併供発電所の副産物である熱水を供給して市街区の暖房を行っている。

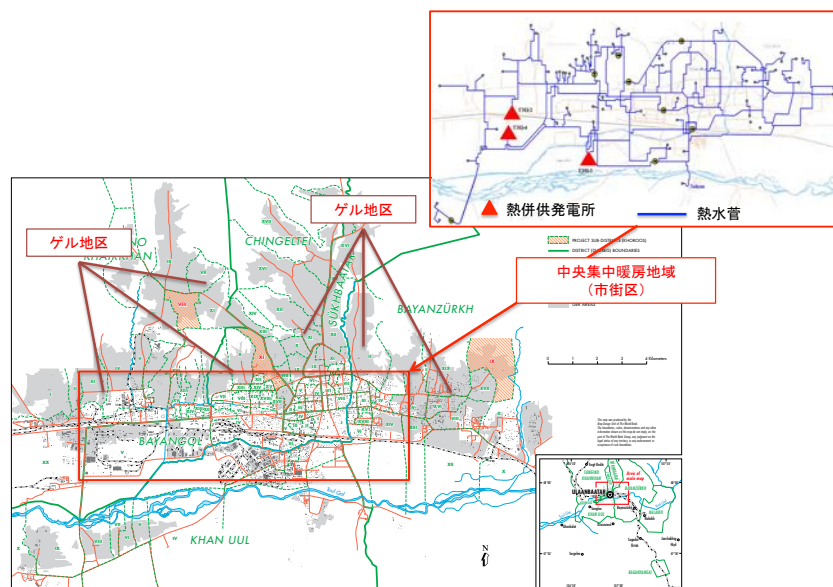


図 21 UB 市の市街区の中央集中暖房地域



写真 6 第3熱併供発電所



写真 7 集中暖房用熱水パイプライン

集中熱暖房システムで熱水の供給を受けられないゲル地域の学校、病院、オフィスビル、団地等では、中央暖房方式の分散型暖房方式で、HOB または CFWH で温水を供給して暖房を行っている。

分散型暖房方式は、温水セントラル方式と、温風セントラル方式とに分けられる。温水セントラル方式と温風セントラル方式との比較を、表9に示す。

表 9 温水セントラルと温風セントラルとの比較

温水セントラル	長所:媒体が水であるため、比熱が高く、ある程度長距離の配管を行っても熱損失が少ない事により、比較的大きな建物の暖房を行える。 欠点:ラジエータや配管の気密性への配慮などでイニシャルコストが増大する。
温風セントラル	長所:媒体が空気であるため、配管の気密性をさほど重点としなくて良い。 熱源に拘らず暖かい空気であれば熱源として使える。 熱源によっては、冷暖房が行える。 欠点:比熱の低い空気は長距離の引き回しに適当ではなく、小規模な建築でしか使用できない

温水セントラル方式は、化石燃料、バイオマス燃料によるボイラ、またはヒートポンプで温水を作り、循環ポンプにより各部屋へ温水または冷媒を循環させる。各部屋にはラジエーターが設置され、輻射熱で暖房する。冷媒の場合は、室内機で熱を温風にして暖房する。

温風セントラル方式は、石油、ガス等を用いて空気を暖め、各部屋に空気を分配して暖房するシステムである。

両方式は、一般的なストーブほど高温にはならないため火災の心配がなく、CO ガスを発生しない等の安全性に優れる。ラジエーター、あるいは空気の吹き出し口から排ガスの発散が全くないので、室内の大気環境が良い。他方、設置時に配管、ボイラ設置工事が必要となり、イニシャルコストが増大する。

提案製品・技術の対象とするのは、ビル、学校、集合住宅、小規模地区、事業所等小規模ビル等の暖房である。温風セントラルは、小規模のビルしか暖房できないこと、UB 市では行われていないことから、CFWH と HOB による分散型暖房方式の温水セントラル方式の暖房が、UB 市のゲル地域の小中学校等の暖房方式となる。

CFWH は、UB 市では 1005 社(2009 年当時)の小さな会社や商店を対象とした出力 100kW 未満の石炭ボイラである(写真 8 参照)。暖房する建物の面積は 40~200m²(体積では 100~500 m³) である。集塵用のフィルターは無く、煤塵は大気中に排気されている。



写真 8 CFWH

HOB は、出力 100kw 以上の石炭ボイラである。大半が、中国、韓国、ハンガリー等から

の輸入品である。

代表的な HOB として、韓国製の KCR300（表 10）とハンガリー製の CARBOROBOT 300（表 11）の仕様、構造を以下に示す。韓国製の KCR300 の写真は、写真 17 と写真 21 に示す。ハンガリー製の CARBOROBOT 300 の写真は、写真 13、写真 15、写真 19 に示す。CARBOROBOT 300 は、全自動で、褐炭、バイオ燃料、褐炭と廃棄木材のミックスを燃やすことが出来るバイオマスボイラであり、環境省の JCM 事業で使用されている。

以上の検証の結果、UB 市のゲル地域の小中学校等を暖房する方式は、中央暖房方式の分散型暖房方式で、温水セントラル方式である。現状は、石炭を燃料にして HOB による暖房が行われており、これを地中熱ヒートポンプシステムに切り替えることで、クリーンに暖房を行う。

表 10 KCR300 の仕様

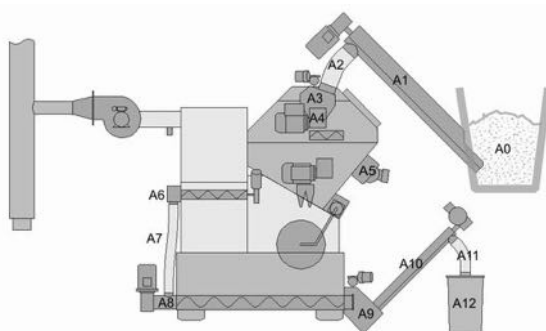
暖房面積	3,300 m ²
出力	350 KW
温水温度	90 °C
ボイラ水容量	1200 ℓ
Main body dimension (W*L*H)	1,800*1,600*2,200
効率係数	88.1%
ボイラ給湯パイプ直径	76mm
燃料消費	40-60 kg/h
煙突直径	200mm
石炭サイズ	20-40mm
重量	1.35 t
電力	200v/50hz



図 22 KCR300 の構造(カタログ)

表 11 CARBOROBOT 300 の仕様

出力	300 KW
熱面積	28 m ²
効率	86-90 %
燃料タンク容量	1.2 m ³
圧力(max)	2 bar
温度(送、戻)	90/70 ° C
給湯温度(max)	95 ° C
本体重量	2400 kg
入/出水用パイプ	89 mm
煙突の直径	150 mm
1 時間あたりの CO 排出量	400 mg/m ³
1 時間あたりの NO _x 排出量	400 mg/m ³
排ガス温度	190-220 ° C
使用電源	1130/380 W/V
石炭消費量	75 kg/h
水量	500 l
本体の高さ/A/	2100 mm
本体の幅 /B/	1630 mm
本体の長さ /C/	2275 mm



- A0. External hopper
- A1. Feeder auger
- A2. Connetction tube
- A3. Feeder door
- A4. Dispenser auger
- A5. Vibrator
- A6. Cyclone auger
- A7. Flying ash tube
- A8. Ash cleaner auger
- A9. Ash collecting head
- A10. Ash auger
- A11. Ash tube
- A12. Ash container

図 23 CARBOROBOT 300 の構造(HP より)

モンゴル国の 2014 年 9 月 8 日に制定されたボイラを認定する規定では、表 12 の基準が示された。ボイラとは、0.7mpa 未満の圧力の水を 115℃までに沸かすものと定義されている。

表 12 排ガスの排出基準値（最高値）

出力 800 KW 未満のボイラー		(g/MJ)
1.	NO _x	0.23
2.	SO ₂	0.4
3.	CO	1.28
4.	フライアッシュ	0.15
出力 800 KW から 3.15 MW 未満		
1.	NO _x	0.2
2.	SO ₂	0.3
3.	CO	1.02
4.	フライアッシュ	0.2

HOB の給湯温度については、外気温によって表 13 のように定められている。

表 13 HOB 給湯温度

Улаанбаатар хот. Гадна агаарын тооцоот температур -39°C. Температурын өрөнхий график 85/70. Халаалтын зуухны температурын горим.			Улаанбаатар хот. Гадна агаарын тооцоот температур -39°C. Температурын өрөнхий график 85/70. Халаалтын зуухны температурын горим.		
Гадна агаарын температур	Өгөх усны температур	Буцах усны температур	Гадна агаарын температур	Өгөх усны температур	Буцах усны температур
+8	34	31,4	+10	37	33
+7	35,4	32,5	+9	38	34
+6	36,7	33,5	+8	40	35
+5	37,9	34,5	+7	42	36
+4	39,2	35,5	+6	43	37
+3	40,4	36,4	+5	44	38
+2	41,6	37,4	+4	45	39
+1	42,8	38,3	+3	46	40
0	44	39,3	+2	47	41
-1	45,2	40,2	+1	48	41
-2	46,3	41	0	50	42
-3	47,5	42	-1	51	43
-4	48,7	43	-2	52	44
-5	49,8	43,7	-3	53	45
-6	50,8	44,6	-4	55	45
-7	52	45,4	-5	57	46
-8	53	46,1	-6	58	47
-9	54,2	47	-7	59	48
-10	55,4	48	-8	60	48
-11	56,4	49	-9	61	49
-12	57,5	49,6	-10	63	50
-13	58,6	50,4	-11	64	51
-14	59,7	51,3	-12	65	52
-15	60,8	52,1	-13	66	53
-16	61,8	52,8	-14	67	53
-17	62,9	53,7	-15	69	54
-18	63,9	54,4	-16	70	54
-19	65	55,3	-17	71	55
-20	66	56	-18	72	56
-21	67	56,7	-19	73	57
-22	68,1	57,6	-20	74	57
-23	69,1	58,3	-21	76	58
-24	70,1	59	-22	77	59
-25	71,1	60	-23	78	59
-26	72,2	60,6	-24	79	60
-27	73,2	61,3	-25	80	61
-28	74,2	62,1	-26	81	62
-29	75,2	62,8	-27	82	62
-30	76,2	63,6	-28	83	63
-31	77,2	64,3	-29	84	64
-32	78,2	65	-30	85	64
-33	79,1	65,7	-31	86	65
-34	80,1	66,4	-32	87	66
-35	81,1	67,1	-33	88	66
-36	82,1	67,9	-34	90	67
-37	83,1	68,6	-35	91	68
-38	84	69,3	-36	92	69
-39	85	70	-37	93	69
			-38	94	70
			-39	95	70

通常、石炭ボイラーの排煙から煤塵を除去するために、バグフィルター（集塵装置）を設置する。しかし、モンゴルでは、HOB には設置されていない。日本企業が進出し、デモンストレーション用に 1 基設置（写真 9 参照）したが、現在は撤収している。



写真 9 日本企業が設置したバグフィルター

学校等の公共施設の暖房は、UB 市政府の Authority of Partial Engineering Supply (以下 APES) が行うケースと、UB 市政府から委託を受けて熱供給会社が行うケースがある。APES が所管する HOB の稼働状況を表 14 に示す。

表 14 APES が保有する HOB の稼働状況 (2015)

施設 名称	ボイラ 型式	製造国	出力 MW	保有 台数 台	2015 年		石炭 銘柄	暖房空間 体積 m ³
					稼働 台数 台	石炭 消費量 t/年		
24 小中学校	DZL	中国	1.4	4	1.5~2	4,639.1	ナライハ	43,150.8
14 小中学校	MUHT-1.4 MW	モンゴル	1.4	1	1~1.5	2,884.7	ナライハ	24,791.3
	Hasu Megawatt - 1 MW	モンゴル	1	1				
58 小中学校	MYXT-1.2 MBT	モンゴル	1.2	2	1	985.0	ナライハ	29,023.0
68 小中学校	TK Termoklori	モンゴル	0.7	2	1	647.3	ナライハ	13,637.9
114 小中学校	KCR-240	韓国	0.35	2	1	344.1	バガヌール	8,746.0
46 小中学校	KCR-240	韓国	0.7	2	1	610.6	バガヌール	14,956.0
61 小中学校	KCR-240	韓国	0.35	2	1	323.0	バガヌール	8,415.0
104 小中学校	KCR-240	韓国	0.4	2	1	344.1	バガヌール	8,415.0
117 小中学校	KCR-240	韓国	0.35	2	1	344.1	バガヌール	12,869.0
6 小中学校	KCR-350	韓国	0.35	2	1	344.1	バガヌール	7,102.0
79-1 小中学校	KCR-240	韓国	0.35	2	1	351.8	バガヌール	9,084.0
79-2 小中学校	NRJ - 300	モンゴル	0.35	1	1	236.2	バグヌール	7,302.0
102 小中学校	KCR-240	韓国	0.35	2	1	344.1	バグヌール	14,918.0
Glob	DZL	中国	0.7	2	1	426.3	バガヌール	—

2-3-2 製品・技術の検証活動

モンゴル国において、地中熱ヒートポンプが HOB による分散型暖房の代替設備として技術的に適合する要件は①外気温が -33°C の時も暖房ができ、②熱交換器を介して温水を供給できることである。

提案製品・技術は、クローズドループ方式の地中熱ヒートポンプにより暖房を行うものである。同方式は、地下 100m での地中温度を利用するため、地質条件に影響されることはなく、ヒートポンプ設備も、室内に設置されることから外気に影響されることはないことが強みであり、外気温が -33°C の時も問題なく暖房に使用可能であることを確認する。また、熱交換器を介して温水を供給できることを確認する。そのため、表 15 に示すように製品・技術の検証活動を行った。

表 15 製品・技術の検証活動

現地調査	調査日時	検証活動
第 1 回 現地調査	2017 年 5 月 15 日～19 日	UB 市・エネルギー省が推薦した 6 校の小中学校を調査し、UB 市と協議して、79-1 小中学校を ODA 事業で地中熱ヒートポンプシステムを設置する候補とした。同学校で、製品・技術の検証活動を行うこととした。
第 2 回 現地調査	2017 年 7 月 3 日～10 日	79-1 小中学校で、105m のボーリングを掘削し、地質データの分析を行うとともに、熱応答試験用の U チューブを挿入した。
第 3 回 現地調査	2017 年 7 月 24 日～ 8 月 5 日	熱応答試験の実施し、データの取得を行った。
第 4 回 現地調査 第 5 回 現地調査 第 6 回 現地調査	2017 年 9 月 25 日～29 日 2018 年 1 月 15 日～19 日	第 4 回調査で、79-1 小中学校の HOB 熱供給センターにのモニタリング用の流量計・温度計の設置し、モニタリングを開始した。 モニタリングは、暖房期間が終わる 5 月 15 日まで行う。

2-3-3 検証活動を行う小中学校の選定

(1) 候補学校の選定

普及実証事業候補の小中学校は、UB 市政府及びエネルギー省が推奨したゲル地域の小中学校 6 校（図 24 参照）を調査して選定した。そして、選定した小中学校で、検証活動を行った。UB 市政府及びエネルギー省が推奨したゲル地域の小中学校 6 校（図 24 参照）を調査し、以下の条件を満たす小中学校を候補とした。

- ・ HOB が環境対応していないボイラ（韓国製・中国製・モンゴル製等）であること。
（ハンガリー製 HOB は、日本の環境省が JCM 事業に選定していることから、環境対応していると判断した。）
- ・ UB 市政府の公共施設の HOB 管理部門である APES が運営管理を行っていること。
（熱供給会社への補償問題が発生しないこと）

条件を満たした 61 番小中学校と 79-1 番小中学校を選定した。76 番小中学校は、HOB が中国製で問題があるものの、運営管理を熱供給会社が行っており、加えて熱供給を幼稚園等にも行っており、想定している設備容量よりも大きな設備が必要なことから、対象から外した。

2017 年 5 月 17 日に UB 市と協議した。61 番小中学校は、改築中の校舎があり、実証事業の施工と改築工事スケジュールを合わせることが難しいことから、79-1 番小中学校を普及実証事業で地中熱ヒートポンプによる暖房システムを設置する候補とした。そして、同学校で、製品・技術の検証活動を行うこととした。

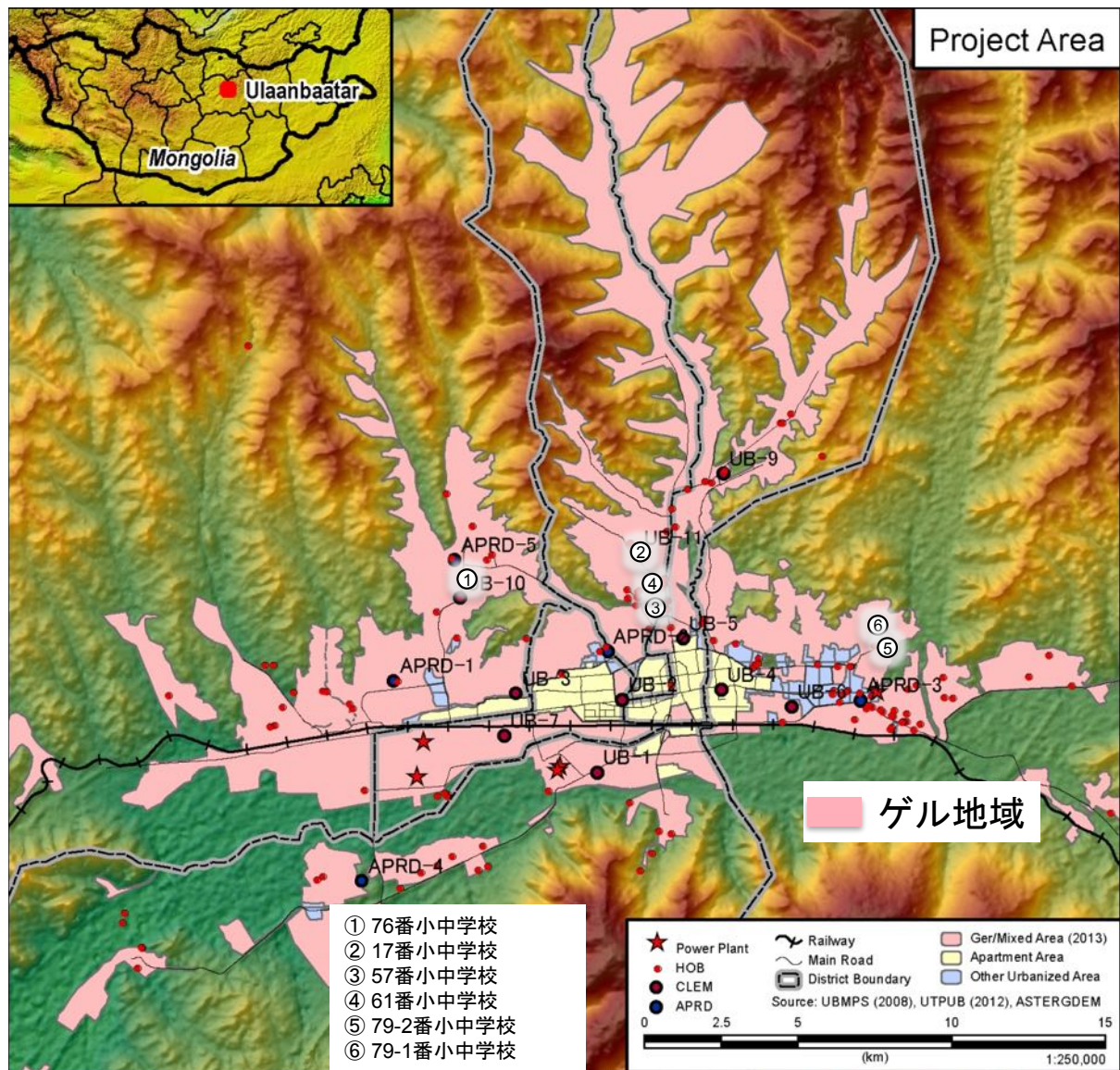


図 24 普及実証活動候補の小中学校

出展：地図 Capacity Development Project for Air Pollution Control in Ulaanbaatar City Phase 2 in Mongolia, JICA

(2) 76 番小中学校

76 番小中学校の暖房は、熱供給会社である Talst Erchim LLC が UB 市の委託で行っている。HOB は中国製のボイラで、76 番小中学校、3 番外来診療所、78 番幼稚園、163 番幼稚園、9-r khoroo 役所、保健所を暖房している。

校庭の面積が広く、ボーリングを行いやすい。また、将来、UB 市政府が、幼稚園、地区の事務所等まで、地中熱ヒートポンプに切り替えれば、地中熱ヒートポンプによる地域暖房のモデルとなる。

熱供給先が多く地中熱ヒートポンプの設備容量が想定よりもかなり大きくなるため、実証事業では小中学校のみの暖房を切り離して行うことになる。そのため、現状の暖房による環境負荷に対する改善効果を評価することが難しい。また、熱供給会社は、請負で行う暖房面積が少なくなり、収入源につながり、補償の問題が発生する可能性もある。総合的に判断して、不採用とした。



写真 10 76 番小中学校



写真 11 中国製の HOB

(3) 17 番小中学校

17 番小中学校の HOB は、ハンガリー製の新型のボイラで、環境省の JICM 事業対象である。熱供給は、熱供給会社である ANU Service LLC が UB 市の委託で行っている。HOB は、環境省が JCM 事業として採択しているハンガリー製の新型ボイラであることから、環境対応していると判断した。熱供給会社への補償の問題が発生する可能性もあることから、不採用とした。ANU Service LLC は、ハンガリー製ボイラのモンゴル国における販売代理店でもある。



写真 12 17 番小中学校



写真 13 ハンガリー製の HOB

(4) 57 番小中学校

57 番小中学校の HOB は、ハンガリー製の新型のボイラである。熱供給は、熱供給会社である ANU Service LLC が UB 市の委託で行っている。HOB が新型ボイラであり、熱供給会社への補償の問題が発生する可能性もあることから、不採用とした。



写真 14 57 番小中学校



写真 15 ハンガリー製の HOB

(5) 61 番小中学校

61 番小中学校の HOB は、韓国製のボイラ KCR-240 である。熱供給は、APES 行っている。HOB が、環境対策を行っていない韓国製ボイラであることから、候補とした。改築中の校舎があり、実証事業の施工と改築工事スケジュールを合わせる必要がある。また、校庭が狭く、施工工事で学生の安全上の問題が懸念される。



写真 16 61 番小中学校



写真 17 韓国製の HOB

(6) 79-2 番小中学校

79-2 番小中学校の HOB は、ハンガリー製の新型のボイラである。熱供給は、APES が行っている。HOB が新型ボイラであることから、不採用とした。



写真 18 79-2 番小中学校



写真 19 ハンガリー製の HOB

(7) 79-1 番小中学校

79-1 番小中学校の HOB は、韓国製のボイラ KCR-240 である。熱供給は、APES が行っている。HOB が、環境対策を行っていない韓国製ボイラであることから、採用した。



写真 20 79-1 番小中学校



写真 21 韓国製の HOB

2-3-4 79-1 番小中学校の暖房への適合性

(1) 79-1 番小中学校の概況

79-1 番小中学校は、図 25 に示すように、市の北東部のゲル地域である 17th Khoroo, Bayanzurku District に位置する。標高は、図 26 に示すように、市の中心部が 1,301m に対して 79-1 番小中学校は 1,365m である。図 26、写真 22 に示すように幹線道路から奥まったところに位置し、約 200m 弱の道路が未舗装である。地中熱ヒートポンプを運搬する際には、舗装が必要である。79-1 番小中学校の全景を、写真 20 に示す。教職員数は 46 名、従業員数は 24 名、生徒数は 728 名である。

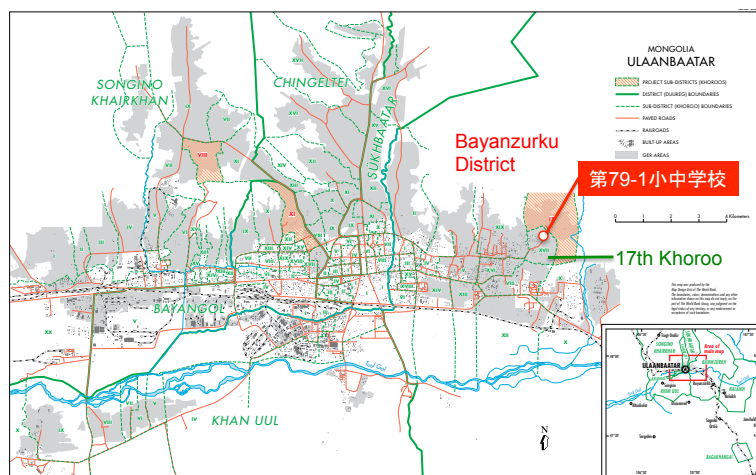


図 25 79-1 番小中学校位置図



79-1 番小中学校



市中心部

図 26 79-1 番小中学校の標高



図 27 79-1 番小中学校の衛星写真



写真 22 79-1 番小中学校前の道路

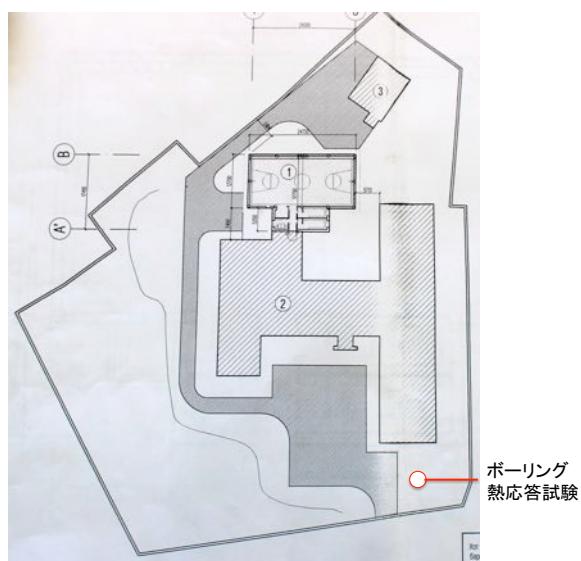


図 28 79-1 番小中学校の校舎の配置図

UB市の熱供給時期は、9月15日から5月15日である。この期間、79-1番小中学校では、HOBによる温水で暖房を行っている。HOBの管理はAPESが行っている。暖房システムは、図29の通りである。写真23に示すHOB温水供給センターに設置した韓国製のHOB（写真21参照）で温水を作り、写真24に示す熱交換器を介して、写真25に示す校舎内のラジエーターに温水を送り、暖房する。韓国製HOBの仕様は表13の通りである。

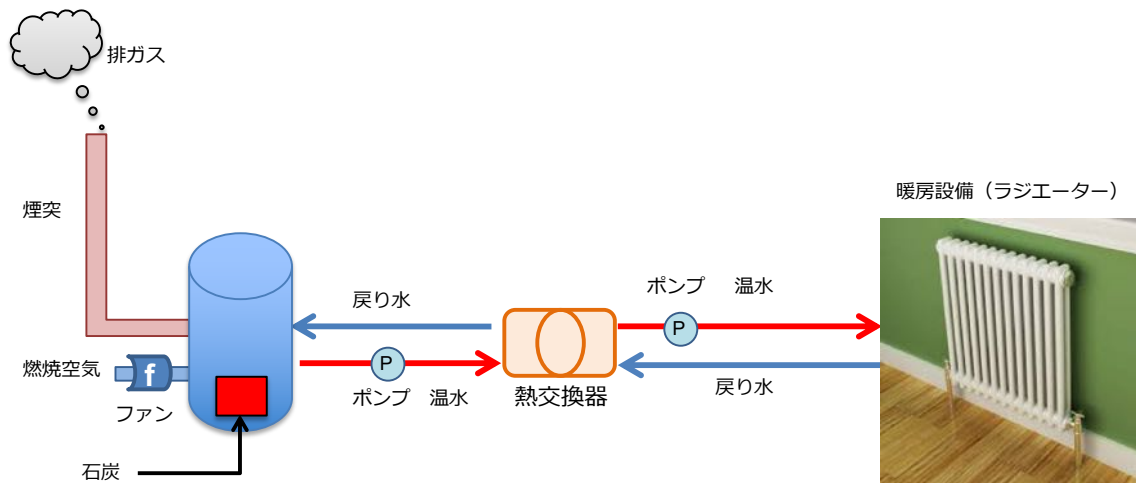


図 29 HOB による暖房システム



写真 23 HOB を設置している HOB 温水供給センター



写真 24 熱交換器



写真 25 学校内に設置されたラジエーター

(2) ボーリング

79-1 番小中学校の地質状況の把握と、熱応答試験を行う為、第2回調査においてボーリングを実施した。ボーリング箇所を、図 22、図 23 に示す。ボーリング実施にあたっては、UB 市環境部の許可を取得した。（写真 26 参照）2017 年 7 月 3 日に機材を搬入して設置し、4 日に 105m のボーリングを 1 本行って、5m 毎にサンプリングを行った、その後、熱交換器のダブル U チューブ 4 本と温度センサーの挿入を行い、ドロマイトでボーリング孔を充填し、ボーリング機材を撤収した。2017 年 7 月 5 日に、24 時間 6 気圧の空気を送って U チューブに破損がないことを確認した。その後、井戸上部の養生を行った。（写真 27 ～写真 42 参照）

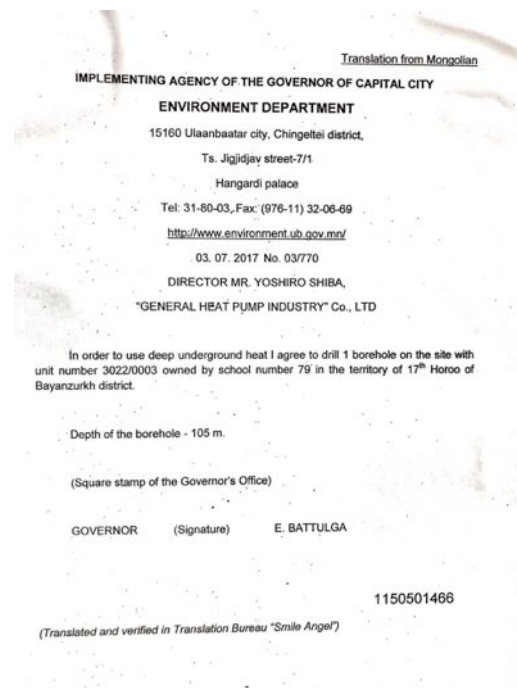
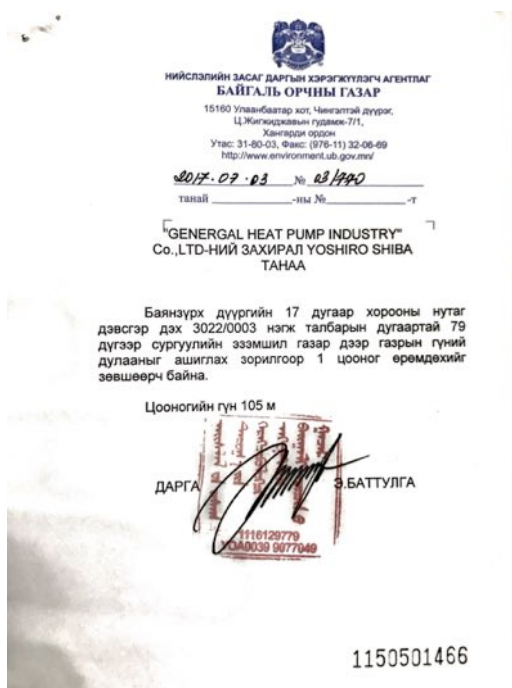


写真 26 UB 市環境部の許可証



写真 27 校舎の右手がボーリング箇所



写真 28 ボーリング実施状況



写真 29 サンプルング実施状況



写真 30 サンプルングした袋



写真 31 サンプルングの確認作業-1



写真 32 サンプルングの確認作業-2



写真 33 砂質の土壌



写真 34 粘土質の土壌



写真 35 Uチューブと温度センサーの挿入-1



写真 36 Uチューブと温度センサーの挿入-2



写真 37 Uチューブと温度センサーの挿入-3



写真 38 ドロマイトの注入



写真 39 ドロマイトの注入を確認



写真 40 6気圧の圧力をかけてUチューブの接続を確認(24時間)



写真 41 井戸上部養生(内部)



写真 42 井戸上部養生(外部)

図 30 79-1 番小中学校の地質柱状図

地質柱状図を、図 30 に示す。90 m 以深に地下水を確認した。地下水の流れの存在は熱の移流効果によって高い有効熱伝導率が得られる可能性があり、ここに熱交換器を設置することは、効果的な選択肢であると考えられる。凍土は、確認されなかった。

(3) 熱応答試験

79-1 番小中学校に設置する地中熱ヒートポンプの仕様、地中熱交換器の本数・長さを決定するためのデータを取得する為、熱応答試験を実施した。

熱応答試験は、地中熱利用ヒートポンプシステムにおける垂直型地中熱交換井を主な対象とし、地層の熱伝導率と熱交換井の熱抵抗の評価を行うための試験である。熱応答試験によって推定される熱伝導率や熱抵抗は、地中熱交換井の熱交換挙動を予測する上で不可欠な情報である。従って、地中熱ヒートポンプ導入にあたって、熱応答試験は必須であると考ええる。

地中熱ヒートポンプシステムの性能は、地中にどれくらい排熱（冷房）できるか、あるいは採熱（暖房）できるか、地中の熱の伝わりやすさの物理量である“熱伝導率”に左右される。熱応答試験は、この熱伝導率の評価を行うための試験である。

モンゴル国においては、クローズド方式の垂直型地中熱交換井による地中熱ヒートポン

プの導入が始まったが、まだ熱応答試験は行われていない。本試験結果は、モンゴル国において地中熱ヒートポンプを普及していく上で、初めての貴重なデータとなる。また、本試験には、ボーリングの段階から、モンゴル国の地中熱ヒートポンプの第一人者である、Mongolian University of Science and Technology の KH.ERDENKHUYAG が参加した。今後、熱応答試験をモンゴル国に導入し普及していく上で、貴重な体験をしていただいたと考えている。

熱応答試験は、実際の地中熱交換器に熱媒体（水）を循環させ、熱媒体の温度や地中温度の推移によって地盤の熱物性や熱交換能力を予測するために行う。熱応答試験の解析は循環時法と回復時法の 2 種類の試験方法で行い、有効熱伝導率 λ (W/(m・K))を求めた。

循環時法は地中熱交換器に 60 時間以上、ヒーターを用いて一定負荷で加熱した熱媒体を循環させ、熱交換器入口水温と出口水温、循環流量を測定する試験である。温度回復試験は、熱媒体循環試験後に地中熱交換井内に設置した地下温度計で、地中熱交換器に与えた熱負荷が周囲の地層によりどの程度下がっていくかを計測する試験である。モニタリング期間は、循環試験終了後、3 日間以上行う。

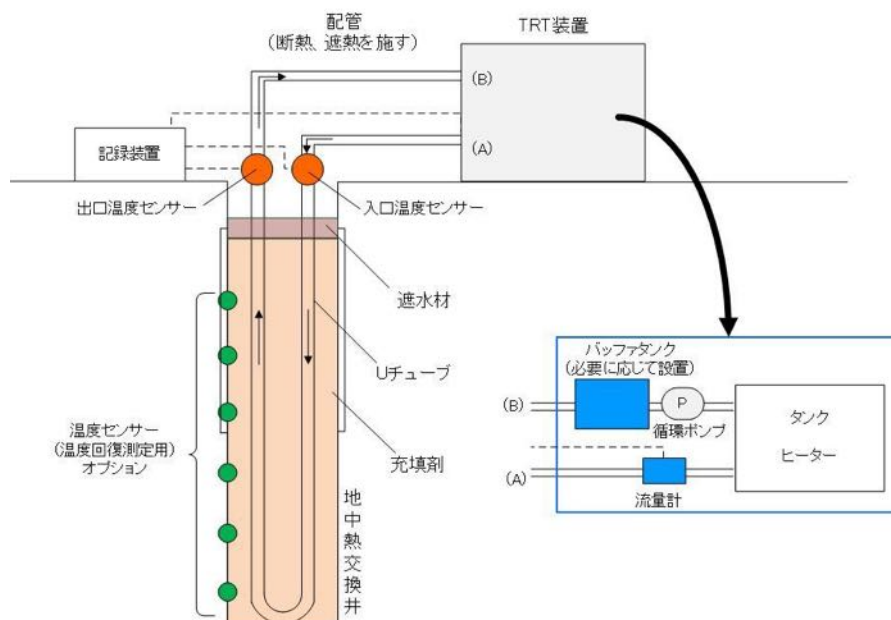


図 31 熱応答試験概要図

出展：一定加熱・温水循環方式熱応答試験(TRT)技術書(案) Ver. 3.2(公開) NPO 法人 地中熱利用促進協会

熱応答試験装置の概要図を図 31 に示す。熱応答装置は、熱媒体を加熱し、循環を行うための循環系と、熱媒体温度・消費電力・循環流量などを計測する計測系より構成される。循環系の主な構成要素は循環ポンプ、電気ヒーター、水タンクなどであり、計測系は温度センサー、流量計、電力計、データロガー（記録装置）などである。計測装置を写真 43 に、モニターの画面表示を写真 44 に示す。



写真 43 熱応答試験装置

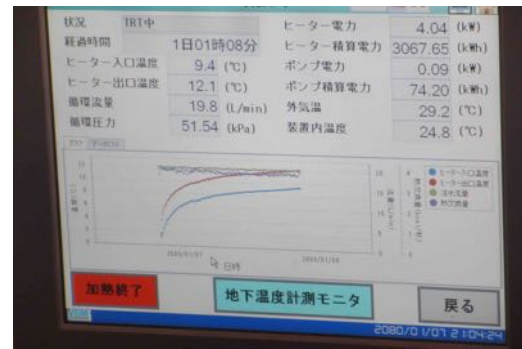


写真 44 モニターの画面

井戸は深さが 105 m であり、井戸 1 本に 2 対の U チューブが 100 m の深度まで入っている。この U チューブの隙間に地下温度センサーを配置した。地下温度センサーは T 型熱電対を用い、深さ 10 m 毎の温度を測定するために計 10 本入っている。

熱応答試験は写真 46 に示すように、降雨等の天候の影響を避け、また防犯のためゲルの中で行った。



写真 45 熱応答試験を行った井戸



写真 46 熱応答試験装置を設置したゲル

2017 年 7 月 4 日にボーリングを実施し、熱交換器のダブル U チューブ 4 本と温度センサーの挿入を行った。そして、7 月 24 日から 8 月 3 日まで、熱応答試験を実施した（表 16 参照）。

表 16 熱応答試験作業

7 月 4 日	ボーリング実施・熱交換器挿入 ボーリング実施・熱交換器挿入後、23 日間熱交換井を放置し、地温を自然状態へ回復させた。試験を行うボーリング周辺(半径 6 m 以内)において、他の掘削工事が行われていないことを確認した。ボーリングの結果、ボーリングの深度約 100m 以深に水分を含んだ土壌があるが、熱応答試験に影響を与えていないことを確認した。また、凍土がないことを確認した。
7 月 24 日	試験装置搬入
7 月 25 日	設置
7 月 26 日	配管・エア抜き・装置設置・循環（初期値記録）

	・熱応答試験装置を設置する前に、$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の確度を持つ温度計を用いて坑井内温度(自然地温)を地表から坑底まで測定した。測定深度間隔は約 10m である。 ・断熱を施したホースで 熱応答試験装置と熱交換井を接続し、配管を熱媒体満たした後、エア抜きをする。熱媒体としては、モンゴルの地中熱交換器で用いられている、中国製不凍液を使用した。 ・温度センサー、流量計をデータロガー（記録装置）に接続した。熱媒体の熱交換井出入口温度の測定は熱交換井の出入口にできるだけ近い位置で行った。熱媒体を充填して 23 日間放置し、熱媒体温度が地層温度と等しくなった後、ヒーターへ通電し、熱媒体の循環を開始した。開始時間は、2017 年 7 月 27 日 11 時（日本時間）である。
7 月 27 日	加熱循環試験 ・通電後、加熱しながら温度センサーで、熱媒体平均温度を測定し、加熱循環試験を行った。熱媒体の循環時間（加熱時間）は、2017 年 7 月 30 日 11 時（日本時間）まで 72 時間である。
7 月 28 日	加熱循環試験
7 月 29 日	加熱循環試験
7 月 30 日	循環停止・温度回復試験 ・2017 年 7 月 30 日 11 時（日本時間）にヒーターと熱媒体の循環ポンプを停止して、2017 年 8 月 2 日 11 時（日本時間）まで、温度センサーで、熱坑井内温度を測定し、回復試験を行った。
7 月 31 日	温度回復試験
8 月 1 日	温度回復試験
8 月 2 日	配管切断・装置撤去 ・循環終了後、熱応答試験装置と地上配管の熱媒体抜きをし、熱応答試験装置を撤収した。
8 月 3 日	片付け・試験装置梱包

循環試験は 7 月 27 日から 7 月 30 日の 3 日間、温度回復試験は 7 月 30 日から 8 月 2 日までの 3 日間で行った。また、熱応答試験を行う前に、設置した地下温度センサーにより、深度間隔が 10 m 毎の初期地層温度計測を行った。

循環試験はヒーターに電気を通電し、4 kW の熱負荷を熱媒体に与えた。この熱媒体はポンプで流量 20 L/min で循環し、72 時間連続して試験を行った。データの計測間隔は 1 分で行っている。循環試験の入口温度・出口温度、循環流量、これらより計算し求められた熱負荷を図 32 に示す。

温度回復試験は循環試験終了後直ちに行った。ヒーター及びポンプの停止を確認し、あらかじめ地下に設置した温度センサーを用い、停止後 72 時間の地下温度を計測した。温度回復試験時のデータ計測は 1 分間隔で行っている。

熱応答試験時のコンターを図 33 に示す。コンター図は循環試験終了までが循環試験、循環試験終了以降が温度回復試験の温度分布を表している。

循環時法による解析結果を図 34 に示す。グラフの X 軸は試験の経過時間の対数、Y 軸は熱交換器の入口温度と入口温度の平均値である。ケルビンの熱源理論を適用し、温度変化の傾きより地層の熱伝導率 λ (W/(m・K)) の推定を行った。グラフの傾きを求める際は、試験開始 17 時間以降の平均温度を用いた。

非公開

図 32 熱応答試験結果

非公開

図 33 熱応答試験中の地層温度の変化

非公開

図 34 循環時法による解析結果

非公開

図 35 ホーナープロットによる解析結果

回復時法は、初めに回復試験時の温度と時間の片対数グラフの近似曲線の傾きを求めた。X 軸に対数プロットで $(t+t_p)/t$ のホーナー時間、ただし熱媒体の総循環時間を t_p (min)、循環終了後の時間を t (min) とした。Y 軸に深度毎のそれぞれの温度 (°C) をプロットした。これらをプロットしたものを図 35 に示す。

それぞれの深度の有効熱伝導率を表 17 にまとめた。他の深度と比較して深度 90 m 及び 100 m 地点において比較的高い熱伝導率の結果が得られた。

非公開

表 17 各方法により推定された有効熱伝導率

非公開

表 18 飽和地層の有効熱伝導率

	有効熱伝導率 [W/(m・K)]		熱容量 [MJ/(m ³ ・K)]	
	飽和	不飽和	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19	3.03	2.15
砂 礫	2.0			
シルト	1.44			
粘 土	1.27	0.92	3.13	2.14
火山灰	1.18	0.90	3.05	2.01
泥 炭	1.22	0.88	3.20	2.07
ローム層	1.0	0.72		
岩 (重量)	3.1			
岩 (軽量)	1.4			
花崗岩	3.5			

出展：地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル

(4) 暖房の熱バランス

79-1 番小中学校に設置する地中熱ヒートポンプの仕様、地中熱交換器の本数・長さを決定するため、現状の HOB による暖房の熱バランスをモニタリングした。モニタリング項目は、温水の温度、流量と石炭の消費量である。セネラルヒートポンプは、2017 年 9 月 25 日から実施する第 4 回調査で、写真 47、図 36 に示す熱交換器の入り側と出側の 4 カ所に温度計を、校舎に温水を送るパイプに流量計を設置して、モニタリングを開始した。モニタリングは、暖房が終わる 2018 年 5 月 15 日まで行う。データは、データ集積盤（写真 48 参照）の USB に保存する。石炭の消費量は、石炭の購入伝票を集計する。



写真 47 暖房の熱バランスのセンサー設置箇所

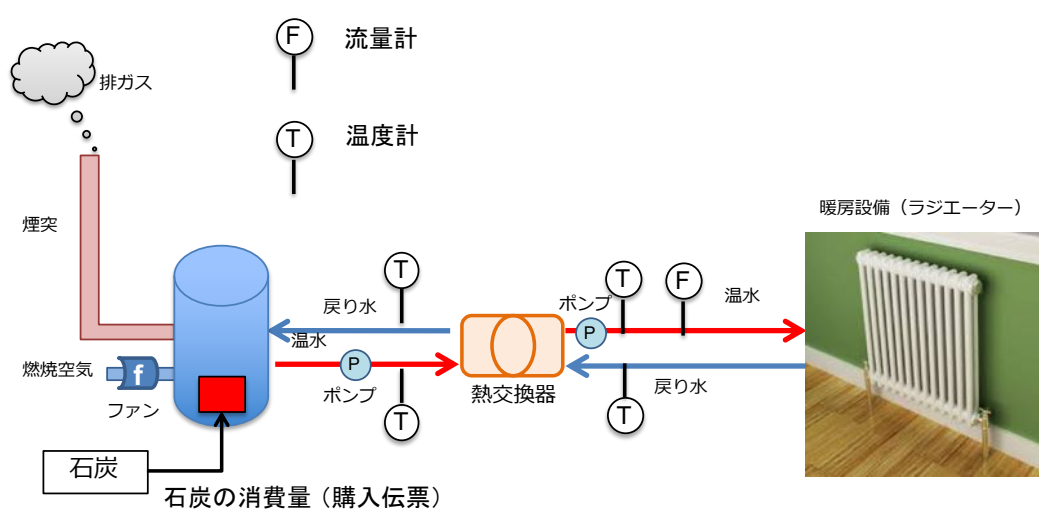


図 36 暖房の熱バランスのモニタリング

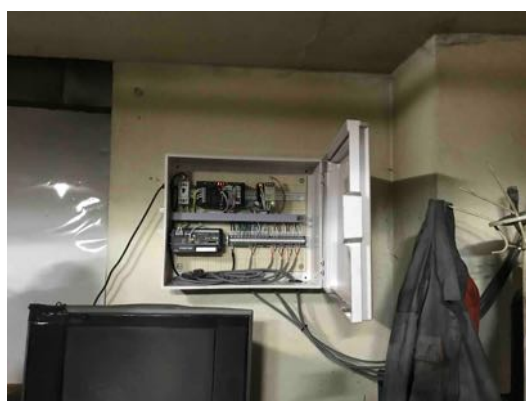


写真 48 データ集積盤

HOB からの温水は、熱交換器を介して教室に送られる。2018 年 2 月の HOB から熱交換器への送水温度、熱交換器から HOB への戻り水温度、熱交換器から教室のラジエーターへの送水温度、教室のラジエーターからの熱交換器への戻り水温度を図 37 に示す。熱交換器と HOB 間の温水の温度差、熱交換器と教室のラジエーター間の温水の温度差を図 38

に示す。熱交換器から教室のラジエーターへの温水の流量を図 39 に示す。校舎内の送水管・ラジエーターで消費した熱量を図 40 に示す。交換器が目詰まりして効率が悪いため、2017 年 12 月 17 日に交換を行った。これにより、温水流量が増加した。

非公開

図 37 HOB 温水温度変化

非公開

図 38 熱交換器の温水温度差変化

非公開

図 39 HOB 温水流量変化

非公開

図 40 校舎内消費熱量

非公開

表 19 79-1 番小中学校のバガヌール炭分析結果

非公開

表 20 HOB の石炭消費量

非公開

表 21 HOB の熱効率

非公開

地中熱ヒートポンプで生産した熱は、100%校内で消費される前提で、地中熱ヒートポンプの生産熱量と消費電力を試算した。モニタリングしていない2017年9月と2018年3月以降は石炭消費見込みとHOBの熱効率から校内の消費熱量を求めた。試算結果を、表22に示す。

表 22 地中熱ヒートポンプの生産熱量と消費電力量

非公開

(5) 地中熱ヒートポンプ設計

非公開

2-4 開発課題解決貢献可能性

UB 市では、石炭で暖房を行っているため大気汚染が深刻化し、SO_x、NO_x、微小粒子状物質（PM₁₀ 及び PM_{2.5}）など大気汚染物質により、慢性気管支炎や気管支喘息、肺がんなど、国民への健康被害が大きな問題となっている。また、石炭燃焼による CO₂ の排出が地球温暖化に影響を与えている。

今回提案する地中熱ヒートポンプシステムによる温水供給システムは、煤塵を発生させることがないクリーンなシステムである。地中熱ヒートポンプシステムを、モンゴル国で普及させることによって、モンゴル国の暖房の熱源を石炭から地中熱に切り替えることにより SO_x 等の大気汚染物質や CO₂、飛散する燃焼灰を削減して、市民の健康問題の改善に貢献することができる。

バガヌール炭鉱の褐炭の硫黄分含有量は、表 19 に示している。79-1 番小中学校の石炭消費量は、表 20 に示している。低位発熱量 5,120kcal/kg、燃焼性硫黄分は 0.18%である。

UB 市の 2015 年の火力発電所の SO₂ 排出量は、12,922.12t/年⁴である。モンゴル国と UB 市の石炭火力発電所の稼働電力供給量⁵、モンゴル国の年間の発電量⁶から、UB 市の石炭火力発電所の SO_x 排出原単位を試算した。試算結果を、表 23 に示す。

SO_x と CO₂ 削減効果を試算した。表 24 に示す通り、1.15t-SO_x/年と 794.5t-CO₂/年の削減効果が見込まれる。

表 23 UB 市の石炭火力発電所の SO_x 排出原単位(試算)

	稼働供給量	発電量	SO ₂ 発生量
モンゴル国	614.3 MW	5,113.0 GWh	
内 UB 市	554.7 MW	4,616.9 GWh (試算値)	12,922.12 t-SO ₂ /年
SO _x 発出原単位			0.002799 SO ₂ /MWh (試算値)

表 24 SO_x と CO₂ 削減効果(試算値)

	電力消費量	石炭燃焼量	石炭中の燃焼性 SO _x 含有量	SO _x 排出量	CO ₂ 排出量
HOB	23.3 MWh	466t/年	0.18 %	1.74 t- SO _x	1,036.0 t- CO ₂
地中熱ヒートポンプ	210.2 MWh	0t/年		0.59 t-SO _x	241.5 t-CO ₂
削減効果				1.15t-SO _x	794.5 t-CO ₂

また、UB 市のマスタープランの 6 つの開発アプローチの一番目に、「気候変動に強い、安全で、健全で、緑の都市」をあげている。そして、UB 市緑の都市開発 2020 で、緑の都市の 7 つのゴールのうち、1 つは大気汚染対策であり、1 つは気候変動対策である。本事業は、大気汚染問題と気候変動問題に貢献して、UB 市のマスタープランに沿っており、その実現に貢献することができる。

⁴ モンゴル国ウランバートル市大気汚染対策能力強化プロジェクトフェーズ 2 プロジェクト業務完了報告書 表 2.3-13 SO₂ の発生源別排出量の推移 表 2.3-12 SO₂ の発生源別排出量推移

⁵ ウランバートル市都市計画マスタープラン・都市開発プログラム調査 最終報告書 和文要約

⁶ IEA レポート

<https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2015&country=MONGOLIA&product=ElectricityandHeat>

第3章 ODA 案件化

3-1 ODA 案件化概要

ODA 案件は、JICA 中小企業海外展開支援事業の普及・実証事業とする。

UB 市の小中高等学校の冬季の暖房用に、分散型暖房システムの熱源に、石炭を燃料とする HOB の代替としてゼネラルヒートポンプ工業の地中熱ヒートポンプシステムを導入する。これにより、厳寒の冬季に安定して暖房が行われ、大気汚染物質である SO₂、PM10、NO_x が 100%削減されること、また、CO₂ の排出量が 60%削減されることを目標とし、大気汚染および地球温暖化の課題に貢献できることを実証する。

3-2 ODA 案件内容

3-2-1 具体的な協力計画

カウンターパートは、UB 市政府である。実施場所は、UB 市政府が所管するゲル地域の小中学校である 79-1 番小中学校で行う。石炭 HOB による暖房を、地中熱ヒートポンプによる暖房システムに切り替える。

想定している地中熱ヒートポンプシステムは、以下の通りである。

- ・ ヒートポンプチラー (ZQHs-135W22.5-R-C-INV) 1 台
ユニット式 温水専用 135 馬力
加熱能力:286.2KW
外寸:3900×1300×1800H 3600(kg)
定格:16.5KW×6 台 冷媒ガス:R407C
- ・ 制御盤 (インターネット遠隔監視機能付き)
- ・ 地中熱交換器 ダブルUチューブ使用、掘削深度 120m × 54 本

79-1 番小中学校に導入する地中熱ヒートポンプシステムのイメージ図を図 41 に、日本側が提供する地中熱ヒートポンプを図 42 に示す。校舎内のラジエーターは、更新する予定である。

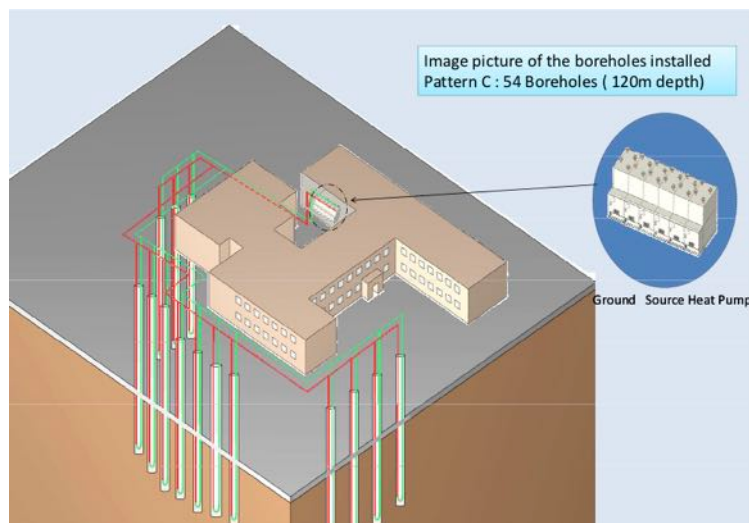


図 41 地中熱ヒートポンプシステムのイメージ図

日本側とモンゴル側の設備工事分担を表 25 に示す。地中熱ヒートポンプと制御盤の製造・輸送・設置は日本側、ボーリングをはじめとする付帯工事はモンゴル側が負担する計画である。

日本側が負担する設備費として 54,504 千円、輸送費・設置工事費として 4,000 千円を見込んでいる。モンゴル側が負担する付帯工事費として、同額を見込んでおり、現在 UB 市

が積算中である。

日本側が提供する地中熱ヒートポンプ図 4、地中熱交換井とヒートポンプ間の配管図、地中熱交換井図等の 79-1 番小中学校に導入する設計図等は別添資料に掲載する。ヒートポンプを設置する教室を写真 49 に示す。

表 25 日本側とモンゴル側の設備工事の負担分担計画

	日本側	モンゴル側
設備工事		
地中熱ヒートポンプシステムの製造・輸送	○	
機器類及び試運転		
タンク類機器一式	○	
循環ポンプ類機器一式	○	
自動制御機器類一式	○	
プレート式熱交換器		○
太陽熱集熱器本体	○	
自動制御盤	○	
試運転調整	○	
付帯工事		
地中熱交換井戸の掘削、Uチューブ挿入、不凍液注入工事		○
地中熱交換井～ヒートポンプまでの配管接続工事（保温含む）		○
地中熱ヒートポンプ以降の温水配管接続工事（保温含む）		○
地中熱配管及び温水配管材料の手配		○
暖房用温水配管とラジエーターの整備		○
熱交換器からラジエーターまでの配管工事		○
設置する部屋の提供、改築工事、コンクリート基礎工事		○
制御盤への電源の供給及び盤以降の動力・制御配線工事		○
給水、排水配管工事		○
太陽熱集熱配管工事一式		○
工事用フェンス等の安全対策		○
工事写真撮影等		○



写真 49 ヒートポンプを設置する教室

普及・実証事業活動では、UB 市の小中高等学校の冬季の暖房用に、ゼネラルヒートポンプ工業の地中熱ヒートポンプによる暖房システムを導入することで、厳寒の冬季に安定して暖房が行われ、大気汚染物質の排出減である SO₂、PM10、NO_x が 100%削減されることが、また、CO₂の排出量が 60%削減されることを目標とし、大気汚染および地球温暖化の課題に貢献できることを実証する。

UB 市は、エネルギー省等の政府機関と提携し、ナショナルプロジェクトとして地中熱

ヒートポンプを普及していきたい意向である。また、地中熱ヒートポンプは、表 26 に示す様に CO₂ 削減効果があることから、日本政府の二国間クレジット制度（Joint Crediting Mechanism:JCM）や緑の気候基金（Green Climate Fund:GCF）の活用が考えられる。そこで、普及活動においては、政府関係者、熱供給事業者等に、日本の地中熱ヒートポンプシステムの大気汚染対策・地球温暖化対策での技術的優位性、石炭代削減効果等の経済的優位性を紹介し、地中熱ヒートポンプによる暖房システムの普及を目指す。

79-1 番小中学校で、2017 年 9 月～2018 年 5 月までの暖房期間に、HOB の石炭を地中熱ヒートポンプで代替することによるコスト削減効果を試算した。暖房期間は、9 月 15 日から 5 月 15 日までである。HOB の石炭消費量は表 20、HOB の電力消費量は 2016 年 9 月～2017 年 5 月の実績値を採用した。石炭価格は実績値の 75,000 MNT/t（3,278 円/t）、電力量料金は実績値の 128.5MNT/kWh（5.6 円/kWh）で試算した。石炭 HOB と地中熱ヒートポンプの比較結果を別添資料に掲載する。

地中熱ヒートポンプ導入により CO₂ 削減効果、煤塵、SO_x、NO_x 等の大気汚染の改善効果がある。そして、コスト削減効果として、年間 10,937MNT（478 千円）が見込めることから、普及・実証事業で、UB 市はランニングコストとメンテナンスコストを負担することは可能である。

3-3 C/P 候補機関組織・協議状況

第 1 回調査において、UB 市政府及び鉱山資源・エネルギー省と、UB 市への「地中熱ヒートポンプによる環境配慮型暖房システム」導入について説明した際、両者はこれを歓迎し、協力することを約束した。UB 市政府の本事業のカウンターパートは、市長室の General Manager である Mr. T.GANTUMUR となった。

普及・実証事業を行う候補学校として、UB 市政府と鉱山資源・エネルギー省は、ゲル地域の小中学校から 6 校を推薦し、サイト調査で 2 校に絞り込み、UB 市と協議の結果、79-1 番小中学校を選定した。

同校は、幹線道路から奥まったところに位置し、約 200m 弱の道路が未舗装である。地中熱ヒートポンプを運搬する際には、舗装が必要であることを UB 市政府に説明したところ、UB 市政府は舗装を行うことを約束した。



写真 50 UB 市政府との協議(2017 年 5 月 15 日)

現地調査結果を踏まえて、普及実証事業活動計画を作成し、2017 年 11 月 29 日に UB 市長と面談した。BATBOLD 市長より、以下コメントおよび要請があった。

- ・ 本プロジェクトは大気汚染防止につながり、UB 市が目指すグリーン都市目標と

も合致しており、非常に有意義なものであるため、ぜひとも推進したい。

- ・ 来年度の予算として、本プロジェクトのために、すでに予算を確保している。
- ・ ゲル地域の 200 世帯を一つの集合住宅に集約することを検討しており、また、既存 HOB の入れ替えも今後発生するため、それらへの適用が可能であり、本プロジェクトの展開ポテンシャルは非常に大きいと考えている。

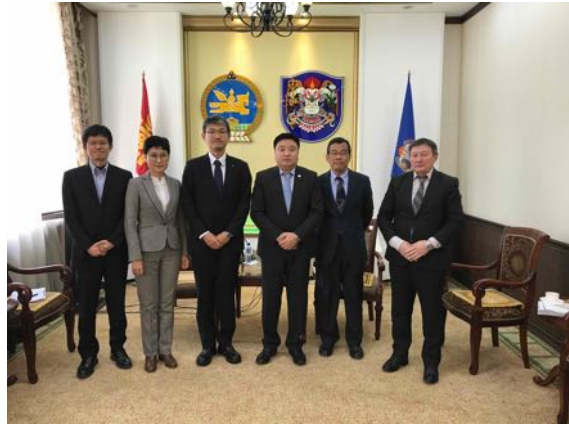
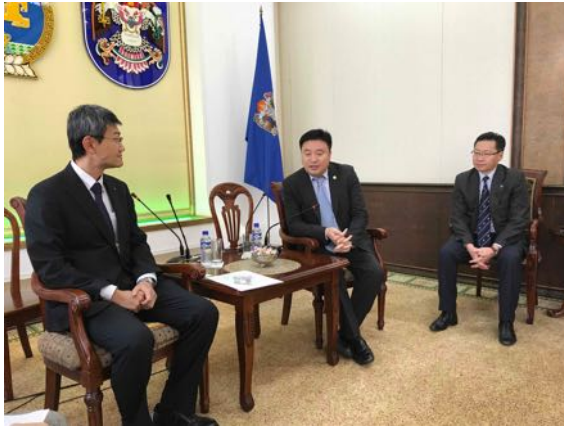


写真 51 BATBOLD 市長との面談

UB 市から市長室の General Manager である Mr. T.GANTUMUR 他 1 名、エネルギー省 1 名、モンゴル科学技術大学 1 名が、2018 年 1 月 10 日～15 日の日程で本邦受入活動を実施した。日本の寒冷地での地中熱ヒートポンプの稼働事例調査（地中熱ヒートポンプシステム施設視察）、日本の地中熱ヒートポンプの運転管理・メンテナンス事例調査（地中熱ヒートポンプシステム施設視察）、大高工場視察等を行った。そして、本社で、詳細な地中熱ヒートポンプシステムの計画図と仕様書を提示して説明し、図 44 の青は日本側、赤はモンゴル側が費用負担を行うことを再度提案した。概ね、第 5 回までの打ち合わせ内容が反映されていたことから、UB 市側は、これを持ち帰り、市長に報告した。

UB 市は、日本での本邦受入活動結果を踏まえ、予算措置を決定した。予算措置の概要は、別添資料に掲載する。

そして、第 6 回調査で、2018 年 1 月 17 日 UB 市市長室 General Manager Mr. T.GANTUMUR とゼネラルヒートポンプ工業 代表取締役 柴 芳郎との間で、覚書にサインした（写真 52、写真 53 参照）。



写真 52 UB 市との調印



写真 53 UB 市との覚書

現在、協議中のモンゴル側と日本側の事業分担は、表 26 の通りである。

表 26 モンゴル側と日本側の事業分担

事前作業		
ステークホルダーミーティング	○	○
ボーリング工事・地中熱ヒートポンプ設置・運転の関わる許認可		○
地中熱ヒートポンプ設備輸入の免税措置		○
プラントの運転・管理・メンテナンス技術の移転		
地中熱ヒートポンプ事業関係者の日本での教育	○	
普及・実証活動		
家庭ゴミの分別・収集・廃棄物の処理		
プラントの運転・管理		
コンポストの製造・販売		
モニタリング		
費用負担		
地中熱ヒートポンプ設備 * 日本側設備内訳	○	
地中熱ヒートポンプ設備輸送	○	
地中熱ヒートポンプ設備設置・試運転	○	
地中熱ヒートポンプ設備の遠隔モニタリング	○	
付帯設備		○
付帯工事		○
電気代・水道代・人件費等の全てのランニングコスト		○
メンテナンスコスト	○	
プラントの運転・管理・メンテナンス技術の移転	○	
地中熱ヒートポンプ事業関係者の日本での教育	○	
幹線道路から学校までの道路舗装		○

日本側は、ゼネラルヒートポンプ工業の地中熱ヒートポンプによる暖房システム技術の移転と、ヒートポンプ・制御盤の提供を行う。施工に関しても、日本側が技術指導を行い、技術の移転を行う。設備はインターネット遠隔監視機能付きとし、日本でモニタリングを行い、モンゴル側が行う地中熱ヒートポンプシステムの運転管理が適切に行えるように技術指導し、普及・実証事業後は、現地の提携企業と提携してメンテナンス体制を整えて継続して設備管理をサポートする。

モンゴル国側は、日本側の技術指導の下、ボーリングおよび地中熱交換器の施工、学校のラジエーター設置、配管工事、電気工事、地中熱ヒートポンプ用の部屋の改築を行うことを予定している。また、モンゴル側はプロジェクトを運営管理するとともに、電気代、不凍液、人件費、メンテナンス等のランニングコストの負担を行う予定である。

3-4 他 ODA 案件との連携可能性

JICA では、UB 市大気質庁（AQDCC）をパートナーに、UB 市の大気汚染対策能力を強化するため、「ウランバートル市大気汚染対策能力強化プロジェクトフェーズ 2⁷」を実施した。（2013 年 12 月から 2017 年 6 月 30 日）

フェーズ 2 では、図 42 のサイクルに基づき成果 1～9 を設定している。大気環境管理サイクルを構成するステップとしては、1) 大気環境・汚染源の分析、対策効果の評価（成果 1～3）、2) 大気汚染対策・戦略・政策の検討／意思決定（成果 4～5）、3) 大気汚染対策の評価・審査（成果 6）、4) 大気汚染対策の実施（成果 7～8）を想定する。それらのステップを有機的に結び付けるために、5) 大気環境管理サイクル構築（成果 9）として組織間連携・協調のための制度作りを支援する。特に、成果 1～3 では技術面での能力強化、成果 4～9 では大気汚染対策の検討・実施プロセスの改善を図ることに重点を置いている。

フェーズ 2 のレポートを入手したので、データを分析し、提案する普及・実証事業の評価を行いたいと考えている。

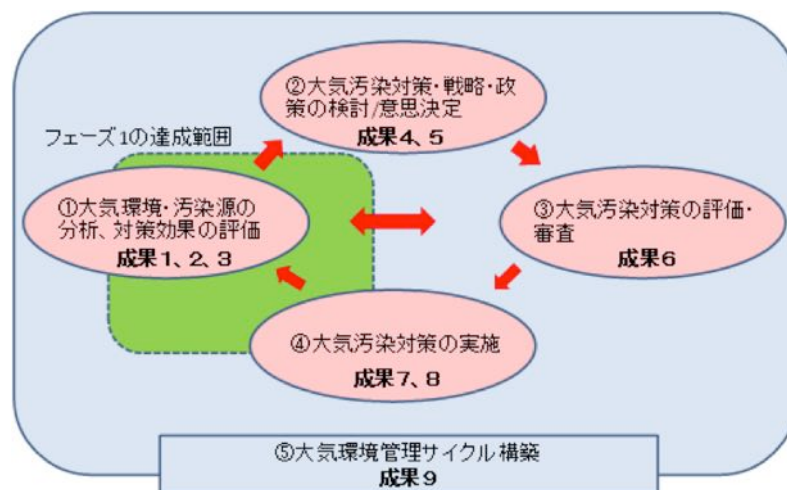


図 42 大気環境管理サイクル

出展：JICA ウランバートル市大気汚染対策能力強化プロジェクトフェーズ 2 プロジェクト概要

JICA では、UB 市戦略政策局、基本計画局をパートナーに、「ウランバートル市マスタープラン（MP）計画・実施能力改善プロジェクト」を実施している。（2014 年 9 月 1 日から 2018 年 12 月 31 日）

同プロジェクトでは、以下の様な活動を行う。

- ・ UB 市 MP2020 を含む都市開発に係る計画をレビューする
- ・ UB 市 MP2020 実施計画の実現へ向けた財務計画を策定する
UB 市 MP2020 実施計画（案）を策定し、最終化する
- ・ これまでのゲルの区画整理事業の到達点を整理し、事業実施上の課題を分析する
- ・ 再開発事業のために必要なるインフラ整備費等の 5 ヶ年の事業費を明確化する
- ・ 地区インフラシステム（特に上下水、ヒーティング）を策定する（上下水、ヒー

⁷ <https://www.jica.go.jp/project/mongolia/008/outline/index.html>

ディング)

- ・ モデルプロジェクトの事業準備を支援する
- ・ モデルプロジェクトの事業実施を支援する

前述した様に、UB 市は 2018 年度の予算で新設された「58.1.14. 環境保全・回復」の「無煙ウランバートルプログラム」の下で、地中熱ヒートポンプ事業を推進していく計画である。そして、UB 市長は、普及実証事業の成果を踏まえて、ナショナルプロジェクトとして推進していきたい意向である。従って、UB 市と連携を図り、地中熱ヒートポンプ事業を UB 市 MP2020 実施計画に組み込んでいく取り組みを行う。

3-5 ODA 案件形成における課題・リスクと対応策

地層は、熱伝導率が異なり、地域、深さ、地下水の有無などにより、掘削した孔の採熱、排熱性能が異なる。このため、本調査で熱応答試験を行い、事前に熱伝導率を把握して、適切なボーリング総延長、掘削深度を決める。これにより、地中熱ヒートポンプシステムが、現地の地質条件等に適合しないリスクを回避する。

地中熱ヒートポンプシステムは、モンゴル国で導入が始まったばかりであり、運転管理技術、メンテナンス技術が未熟である。普及・実証事業で運転管理技術、メンテナンス技術をモンゴル国側に移転し、故障が発生する等の技術リスクを回避する。また、地中熱ヒートポンプシステムはインターネット遠隔監視機能付きとし、日本でモニタリングを行い、モンゴル側が行う地中熱ヒートポンプシステムの運転管理が適切に行えるようにして、故障が発生した時に適切に処置できるようにする。

3-6 環境社会配慮等

地中熱ヒートポンプによる暖房システムは、排気、排水、騒音がないことから環境負荷は考慮しなくてよいと認識している。

APES の Zandanpurev 元所長によれば、HOB 設置において、特別な認可及び環境評価書は特に必要がないとのことである。地中熱ヒートポンプについては未確認のため、本調査で確認する。

大気汚染問題への解決策として、地中熱ヒートポンプシステムを導入することで、煤塵等の大気汚染物質の発生量が減り、石炭の消費量と石炭灰の発生量が減る。これによって大気汚染物質の発生と石炭灰の飛散を防止して市民の健康的な生活の確保に貢献できる。さらに、二酸化炭素の排出量も削減され、温暖化防止に貢献する。

3-7 期待される開発効果

普及・実証事業の目標・成果・活動を表 27 に示す。

表 27 普及・実証事業の目標・成果・活動

目標 UB 市の小中高等学校に、HOB による暖房システムの代替として、地中熱ヒートポンプシステムが導入されて暖房が行われ、大気汚染物質の排気量とCO ₂ が削減され、UB 市民の健康被害が軽減される。	
成果1 UB 市の小中高等学校に、HOB による暖房システムの代替として、地中熱ヒートポンプシステムが導入されて暖房が行われる。	活動 1-1 案件化調査結果に基づいて地中熱ヒートポンプシステムが設計、製造され、設置される
	活動 1-2 地中熱ヒートポンプシステムを稼働させて、UB 市の小中高等学校を暖房する。
	活動 1-3 地中熱ヒートポンプシステムを稼働時のモニタリングにより得られたデータ評価を行い、UB 市の大気汚染改善効果、地球温暖化緩和効果を評価する。
成果2 地中熱ヒートポンプシステムにより暖房する普及モデルが策定される。	活動 2-1 地中熱ヒートポンプシステムが適切に運転して暖房が行われているか確認し、必要に応じ改善する。
	活動 2-2 地中熱ヒートポンプシステムの運転・メンテナンスを行い、運転管理マニュアルを整備する。
	活動 2-3 日系企業を含む現地法人との業務提携により、日本から設備を輸入し、現地企業が販売・施工・メンテナンスを行うビジネスモデルが確立する。

普及・実証事業において、UB 市の小中高等学校で地中熱ヒートポンプによる暖房システムを運転し、同システムの有用性を実証することで、開発課題に対する以下の効果が期待できる。

効果 1. 大気汚染物質を削減し、石炭灰が 0 となって UB 市の小中高等学校の大気質が改善される。

効果 2. CO₂ 排出量を削減し、地球温暖化の緩和に貢献する。

第4章 ビジネス展開計画

4-1 ビジネス展開計画概要

地中熱ヒートポンプシステムのヒートポンプの製造は、原則として日本で行い、販売、メンテナンスは現地の提携企業が行う。

モンゴル国内で地中熱ヒートポンプによる暖房システムの販売、施工、プラントのメンテナンスを行う業務提携先として、モンゴル国において地中熱ヒートポンプ技術に精通している現地企業を考えている。普及・実証事業で提携企業に技術移転を行い、ビジネス展開がおこなえるようにする。

UB市の大気汚染問題の解決は、喫緊の課題となっている。

ユニセフは、「UB市の大気汚染レベルは、今後数年のうちに急速に削減されなければ、2025年には大気汚染が原因の病気に罹った子どもたちを治療するための財政上の経費は33%増加し、2025年以降は公共保健制度の経費が毎年48億MNT（約21,500万円）増加する。」と警告している。

大気汚染の深刻化を受けて、「NATIONAL PROGRAM ON REDUCTION OF AIR AND ENVIRONMENT POLLUTION」が、2017年3月20日の政府決議第98号によって承認された。このプログラムは、2017-2018年の短期間と2018-2021年の長期期の2段階で実施される。このプログラムには、地球環境、家庭、企業、組織が使用する石炭の恒久的禁止など、大気汚染を緩和するための59の行動が含まれている。そして、大気汚染防止基金の設立も行われる。

こうした状況下、BATBOLD UB市長は、普及実証事業をパイロット事業として成功させ、環境省や建設省、エネルギー省も巻き込んで、モンゴル国の国家プロジェクトに仕立てたい意向である。2017年12月4日に、UB市の2018年度の予算が批准された。UB市は、「58.1.14. 環境保全・回復」（新）の下に、「無煙ウランバートルプログラム」の下で大気汚染を削減するプロジェクトや対策の実施に38億MNT（約17,000万円）トグルグの予算があり、その一部とUB市長の予備金から普及・実証事業のモンゴル側の負担を支出する計画である。

従って、UB市とタイアップして、UB市と地方都市に、地中熱ヒートポンプシステムを普及していきたいと考えている。モンゴル政府の財政事情は厳しいことから、日本政府のJCM制度、GCF制度の活用を、UB市、モンゴル政府に働きかけていきたいと考えている。

4-2 市場分析

4-2-1 市場分析

モンゴル国では、学校等の公共施設や事業所は、モンゴル国基準（MNS5043）により0.10MW～3.15MWまでの能力の暖房用ボイラであるHOBで暖房が行われている。UB市内では約200カ所でHOBによる分散型の熱供給が行われており、地方の学校のHOBによる熱供給システムも加えて、これらの施設のリプレースを対象として、地中熱ヒートポンプシステムの販売を行う。これらの施設は地方行政機関か熱供給事業者であり、これらが顧客となる。また、UB市マスタープランにより新しい街づくり、ゲル地域の再開発が行われる。図8に示すHOBにより暖房を行う団地や公共施設向けに、さらには、小型のCFWHの市場向けへの販売を行う。

地中熱ヒートポンプによる暖房システムは、再生可能エネルギーの利用による暖房システムであり、既存のHOBによる暖房システムに比べて、CO₂排出量を削減することから、日本政府のJCMやGCFの活用が考えられる。

4-2-2 JCM の活用

日本政府は、途上国への温室効果ガス削減技術、製品、システム、サービス、インフラ等の普及や対策実施を通じ、実現した温室効果ガス排出削減・吸収への日本国の貢献を定量的に評価するとともに、日本国の削減目標の達成に活用するため、JCM を構築・実施している。モンゴル国政府とは、2013 年 1 月 8 日に調印している。

環境省では、優れた低炭素技術等を活用し、途上国における温室効果ガス排出量を削減する事業（JICA や他の政府系金融機関の出資・融資を受ける事業と連携する事業を含む）を実施し、測定・報告・検証（MRV）を行う事業を行っている。これにより算出された排出削減量を、JCM により我が国の排出削減量として計上することを目指して、事業者（国際コンソーシアム）に対し初期投資費用の 1/2 を上限として設備補助を行っている（図 43 参照）。

JCM では、日本法人を代表事業者とする国際コンソーシアムを設立し運用を行う。ゼネラルヒートポンプ工業は、豊田通商株式会社と提携して、JCM でインドネシアのホテルに「冷温同時取出し型ヒートポンプを導入にした実績を有する。

従って、同制度を活用する場合には、国際コンソーシアムの代表事業者は、提携している豊田通商株式会社を予定している。

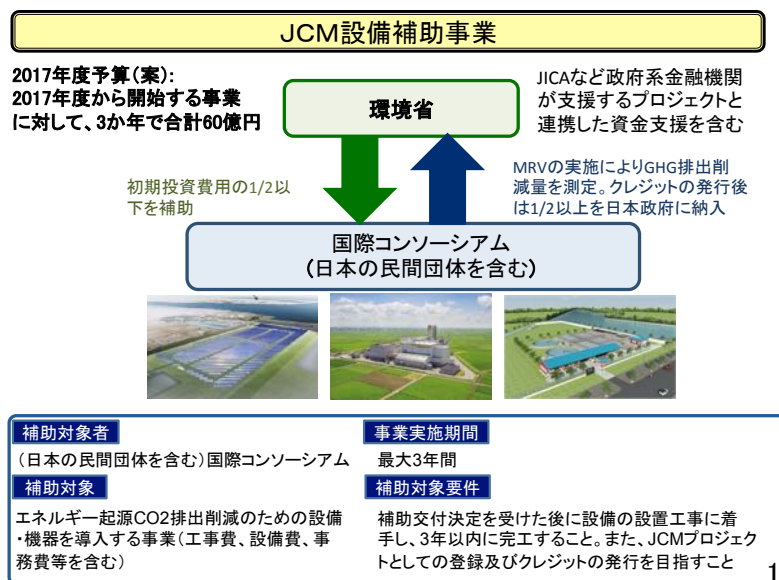


図 43 環境省 JCM 設備補助事業

4-2-3 GCF の活用

国連が創設した GCF は、2020 年に官民合わせて 1,000 億 US\$を動員することを目指す長期ファイナンスの主なチャンネルとされる。2010 年の COP16 で、開発途上国の温室効果ガス削減と気候変動の影響への適応対策を支援する基金として設立が決まり、2015 年 5 月、日本国が 15 億 US\$の拠出を決めたことで、各国拠出表明総額の 50%を超えたことから、正式に発足した。世界銀行が信託契約に基づいて基金の資金管理を実施する。基金は、その 50%を途上国の温暖化ガスの削減対策（緩和策、mitigation action）にあて、残りは気候変動による水不足や異常気象に悩まされる途上国の対策（適応策、adaptation action）に使われる。

地中熱ヒートポンプシステムは、再生可能エネルギー利用であることから「緩和」のカテゴリーとなる。そして、暖房用の熱供給事業であり、GCF の対象分野であるエネルギー

アクセスであることから、GCF 支援の活用が可能と考える

民間企業が活用する場合の基本要件図 44 に示す。地中熱ヒートポンプシステムは、CO₂ を削減して緩和に貢献し、地中熱ヒートポンプによる暖房というパラダイムシフトをもたらし、加えて GCF 資金の活用も必要で、全ての要件を満たす。

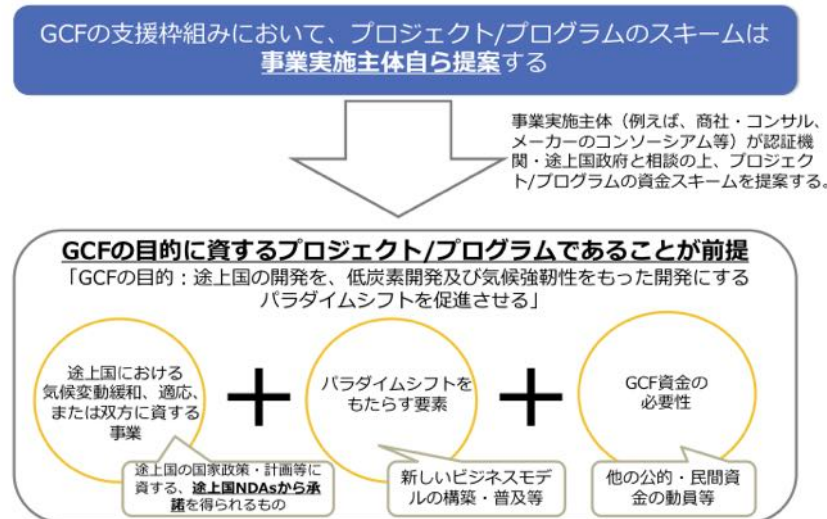


図 44 GCF の基本要件

出展：緑の気候基金(GCF)採択案件 事例紹介 2017 年 2 月 28 日 みずほ情報総研株式会社

民間企業による GCF の活用イメージを図 45 に示す。本事業の場合は、パターン 1 の事業出資型とパターン 3 のスペックイン型の活用可能性がある。

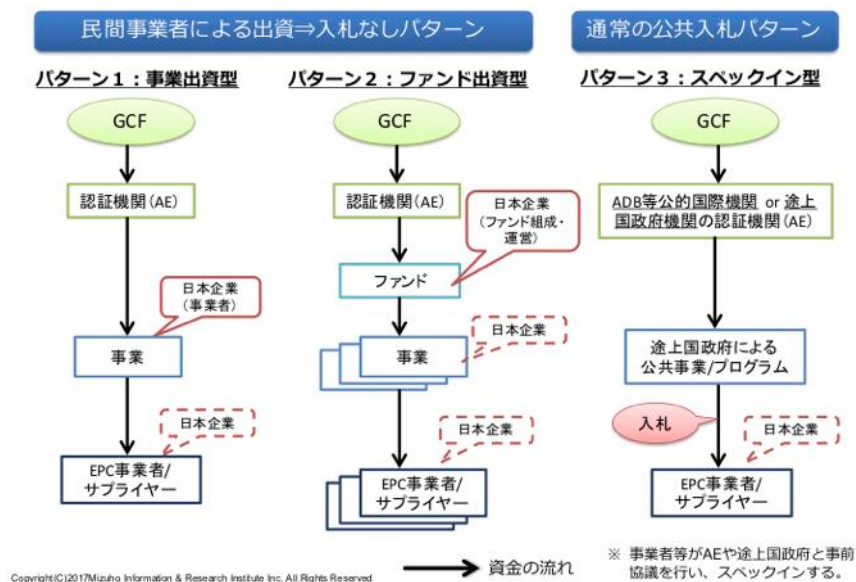


図 45 民間企業による GCF 資金の活用イメージ

出展：緑の気候基金(GCF)採択案件 事例紹介 2017 年 2 月 28 日 みずほ情報総研株式会社

パターン 1 の事業出資型は、GCF が、民間企業がスポンサー出資する事業の SPC へ融資を行うケースが想定される。図 46 に、チリ:タラパカ地域における太陽光発電事業の事例を示す。

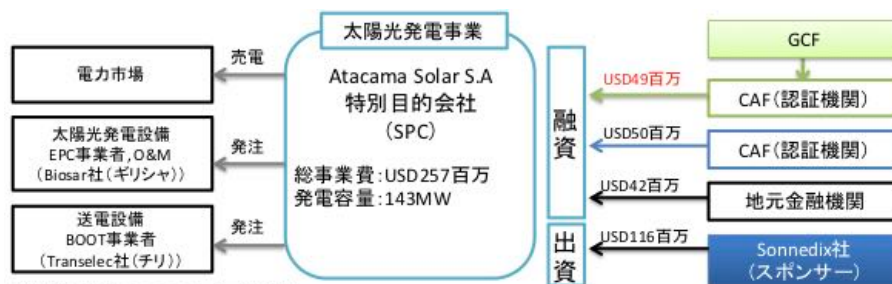


図 46 チリ:タラパカ地域における太陽光発電事業

出展：緑の気候基金(GCF)採択案件 事例紹介 2017 年 2 月 28 日 みずほ情報総研株式会社

モンゴルでは、XacBank LLC の Renewable Energy Program #1 – Solar (FP046)の事例がある。（表 28 参照）

XacBank LLC は、GCF における認証機関（Accredited Entities（以下 AE））である。モンゴルの民間企業であり、包括的バンキング、公正な投資およびその他の金融商品等の多岐にわたる金融サービスを、個人、中小規模から大企業まで提供している。当行は、コーポレート・ガバナンス、社会的および環境的責任の最高水準を設定し、公正価値を株主に還元する一方、モンゴル金融部門におけるダイナミックなリーダーであることを目指している。

表 28 GCF における役割: Accredited Entities(認証機関)

種類	ダイレクト・アクセス機関
サイズ	スモール
支援メニュー	ベーシック、プロジェクト管理、ローン、出資、保証の供与
リスクカテゴリー	B および C
事業規模	小および極小
コンタクト先	Tuul Galzagd (Director, Eco Banking Department) tuul.g@xacbank.mn Anand Batsukh (Senior Project Development Officer, Eco Banking Department) anand.b@xacbank.mn

XacBank による GCF プロジェクト概要は、以下の通りである。

Renewable Energy Program #1 – Solar (FP046)

事業形態	民間事業
GHG 削減量	30.6 万トン CO2
種別	緩和
サイズ	スモール
E&S リスクカテゴリー	中
プロジェクト総投資額	1760 万米ドル
上記の内訳	GCF ローン: 870 万米ドル プロジェクト開発者出資: 890 万米ドル
プロジェクト事業者	XacBank LLC
事業期間	10 年
概要	モンゴルは、NDC の目標の一環として、2030 年までに国のエネルギーの 30%を再生可能エネルギーで供給することにコミットしてい

	る。しかし、再生可能エネルギー投資は、高い金利を含むファイナンス障壁や石炭火力発電所よりも再生可能エネルギープロジェクトをコスト高にする短期間の融資条件等によって、制限されている。このプロジェクトは、モンゴル国内で2番目の大規模太陽光発電となる10MW太陽光発電所の開発、建設、発電運用を可能にするもの。
--	---

モンゴル貿易開発銀行（TDB）は、現在 AE の申請を行っており、地中熱ヒートポンプ事業に関心を寄せている。2018 年 1 月 17 日に Executive Vice Chairman の Randolph S.Koppa 氏と面談した。地中熱ヒートポンプ事業単体では、事業採算性が悪く SPC 事業とすることは難しい。現在、ADB 資金等によるゲル地区の再開発事業の話が進んでおり、同事業の SPC に対して、地中熱ヒートポンプ施設への資金に GCF 資金の活用可能性があると考えている。従って、継続して、TDB と検討を加えていきたいと考えている。

図 47 に、パターン 3 のスペックイン型を活用したビジネスプランを示す。モンゴル政府が GCF の資金で地中熱ヒートポンプを購入する。その際の国際入札に、ゼネラルヒートポンプ工業が応札するアイデアである。

GCF の申請にあたってのモンゴル国の窓口である国家指定機関（NDA）は、環境省であり、担当者は Mr. Batjargal Zamba である。2018 年 1 月 16 日に Mr. Batjargal Zamba と面談し、地中熱ヒートポンプ事業の紹介を行った。AE は、ADB を予定している。継続して、UB 市、エネルギー省、NDA、ADB に働きかけを行う。

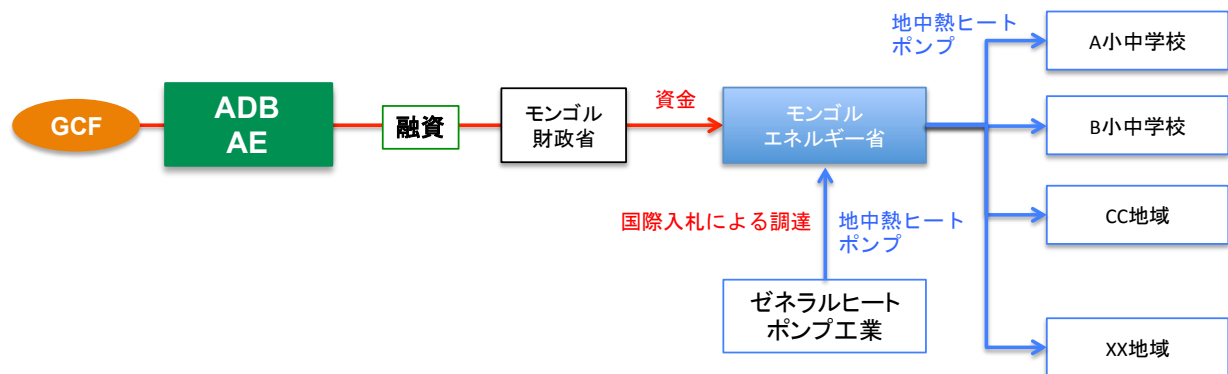


図 47 パターン 3 のスペックイン型を活用したビジネスプラン

4-3 バリューチェーン

非公開

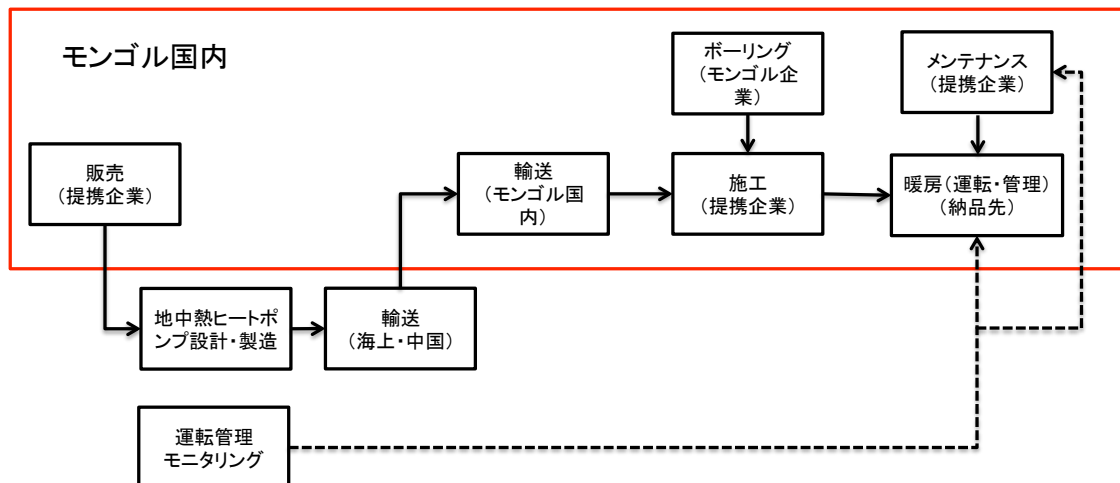
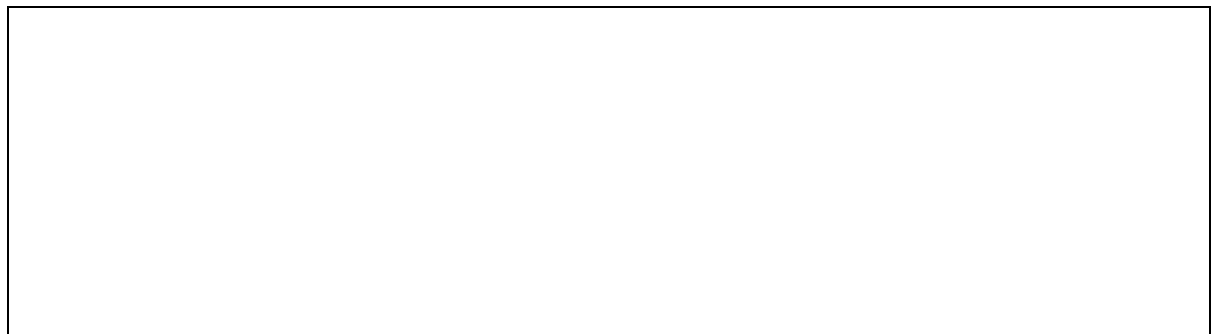


図 48 バリューチェーン

4-4 進出形態とパートナー候補

地中熱ヒートポンプシステムのヒートポンプの製造は日本で行い、販売・施工・メンテナンスは現地の提携企業が行う。従って、当面は出張ベースで事業展開を行う。

地中熱ヒートポンプは、モンゴル国に導入が開始されたばかりであり、JCM や GCF 制度を活用してモンゴル国に普及していくには、普及・実証事業で政府関係者、熱供給事業者等に、日本の地中熱ヒートポンプシステムの大気汚染対策・地球温暖化対策での技術的優位性、石炭代削減効果等の経済的優位性を認知されることが不可欠である。また、普及・実証事業で、ゼネラルヒートポンプ工業は、モンゴル国の提携企業に技術移転を行い、施工・メンテナンスが確実に行われるようにする必要がある。

非公開

表 29 事業実績

非公開

4-5 収支計画

非公開

表 30 販売計画

非公開

4-6 想定される課題・リスクと対応策

- 1) 品質管理リスク：提携先である企業のモニタリングを怠ると、施工ミスやメンテナンス対応が出来ないなどで、市場の信頼を失ったり、ブランド価値を損ねたりする。そこで、提携先としては、地中熱ヒートポンプ技術に精通した現地企業を選択することで、施工、メンテナンスの体制を整えたいと考えている。提携企業に出張ベースではあるが日本から技術者を派遣して、技術移転をしっかりと行い、施工、メンテナンスの管理レベルを高める。また、ゼネラル制御監視システムには通信機能を標準装備しているため、インターネットを用いて日本から遠隔で故障の有無、温度、熱量、消費電力量等のモニタリングを行い、適切に設備の運転管理が行え、故障対応ができるようにする。こうすることで、施工時のトラブルや設置後の故障時でも現地企業への指示が的確に行え、日本から技術者を派遣する頻度を極力少なくすることができる。
- 2) 技術流出リスク：技術流出リスクを回避するため、地中熱ヒートポンプの設計、製造は日本の自社工場で行うことで、当該リスクの顕在化を極力抑えたいと考えている。
- 3) ロイヤリティの回収リスク：国によっては技術供与によるロイヤリティの海外送金が規制されたり、ロイヤリティ料率の上限規制がなされるなど、対価の回収が難しくたりする。モンゴル国でも、同様の懸念があるため、事前に規制等の情報収集を十分に行い、それに抵触しない契約を行う。

4-7 期待される開発効果

ビジネスをモンゴル国で展開し、地中熱ヒートポンプ設備が普及することにより、以下の効果が期待できる。

効果 1. UB 市をはじめ、モンゴル国の小中高等学校等で石炭ボイラ（HOB）で行われている暖房が、地中熱ヒートポンプで代替され、大気汚染物質の排出量が削減される。そして、モンゴル国民の慢性気管支炎や気管支喘息などの健康被害が軽減される。

効果 2. 石炭ボイラで燃焼している石炭を地中熱エネルギーに代替することで、モンゴル国の CO₂ 排出量を削減し、地球温暖化の緩和に貢献する。

4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

ゼネラルヒートポンプ工業は、2017 年 11 月に本社の営業・設計・総務部門を本社統括営業本部として名古屋駅前の名古屋市中村区名駅へ移転、名古屋市緑区大高町にある本社・工場を本社工場・サービスセンターに変更した。これに合わせて、海外事業を拡大させて、地元雇用の拡大と経済に貢献していく。また、量産体制を整えて、販売価格を下げることにより、日本国内の各地で、様々な分野において地中熱ヒートポンプを普及し、省エネルギーや再生可能エネルギーの利用で地域の活性化、地元経済の発展に貢献したいと考えている。

SUMMARY

1. Purpose of the Survey

A survey was conducted to examine the potential use of Japanese companies' products and technologies for Japanese ODA projects in Mongolia. The scope of the survey included network building and information gathering to develop ODA projects.

The survey confirmed the situation and technologies of various heating installation such as coal boiler and Ground source Heat Pump (GHP) system for schools in Ulaanbaatar (UB) city and then determined the applicability of the proposed system to Mongolia. Furthermore, feasibility and sustainability of the proposed project to provide heat by GHP system appropriately was estimated by the survey work. Tangible ODA project and business plan was also proposed through the survey.

2. Survey Outline and Schedule

Survey was conducted in alliance with UB city government and Ministry of Mineral Resources and Energy (MMRE) in Mongolia. Field survey counted 6 times as in May, early July, late July, September, November in 2017, January in 2018.

The survey comprised 2 areas as below:

- 1) Feasibility proposal of ODA, and
- 2) Schedule for the business development

Toward the implementation of the ODA enterprise, No. 79-1 elementary and junior high school was chosen out of similar schools in 6 different locations administered by UB city government in Ger area which was recommended by UB city government and Ministry of Energy. In the site of No. 79-1 elementary and junior high school, geological survey, thermal response test (TRT), and measurement/analysis of energy balance as to the heating by HOB was carried out. Based upon the data acquired thereby, specifications of the ground source heat pump and boring depth and number of holes for the ground source heat exchangers were duly determined.

Through the talk with UB city, data, policy, UB city's budget, and other important information collected were discreetly analyzed and verified. And then, UB city and General Heat Pump Industry Corp.(hereafter, ZQ) agreed upon the introduction of the GHP system as an alternative to the heating system by the conventional coal boiler into #79-1 elementary and junior high school in UB as a model project for JICA's verification survey with the private sector for disseminating Japanese technologies, thus, concluded a memorandum on January 17, 2018.



Photo 1 Drilling on the site



Photo 2 TRT system and well head



Photo 3 Signing event with UB city government

3. Concerned Development Issues

Mongolia is a country in a cold district and winter season is 9 months from September to May. Energy consumption for heating depends mostly on coal because of abundant coal resources in Mongolia. Air pollution becomes serious problem due to large consumption of coal for heating in UB city and damage for public health by smog is much concerned. Especially affects to respiratory disease of students and global warming by increasing CO₂ emissions are serious problems.

Against a background of above, UB city establishes “Ulaanbaatar 2020 Master Plan and Development Approach for 2030” and identifies “become a safe, healthy and green city that is resilient to climate change” as one of 6 development approaches. In the Master Plan 7 interconnected green goals are identified including cleaner air and climate change resilient.

Although Mongolian government initiates an effort to replace heating by coal boilers with GHP system as one of solutions for such problems, domestic companies don’t have a technology of the system and don’t disseminate the technology.

Therefore, Japanese contribution for introduction of GHP system is expected.

4. Products and Technologies

Heat pump is literally an equipment to draw up heat from low temperature to higher temperature. GHP provide heat by extracting heat from ground source and transferring it into a building.

Although many countries experience seasonal temperature extremes -- from heat in the summer to sub-zero cold in the winter—a few meters below the earth's surface the ground

remains at a relatively constant temperature. The GHP takes advantage of this by exchanging heat with the earth through the ground heat exchanger and bring heat to a building.

In Mongolia, coal fired boilers are generally used for heating hot water and distribute to the school buildings, hospitals, residences and public facilities. In this project, as shown in Figure 1, this coal fired heating system will be replaced with the GHP system, aiming at reduction of air pollution and CO₂ emission.

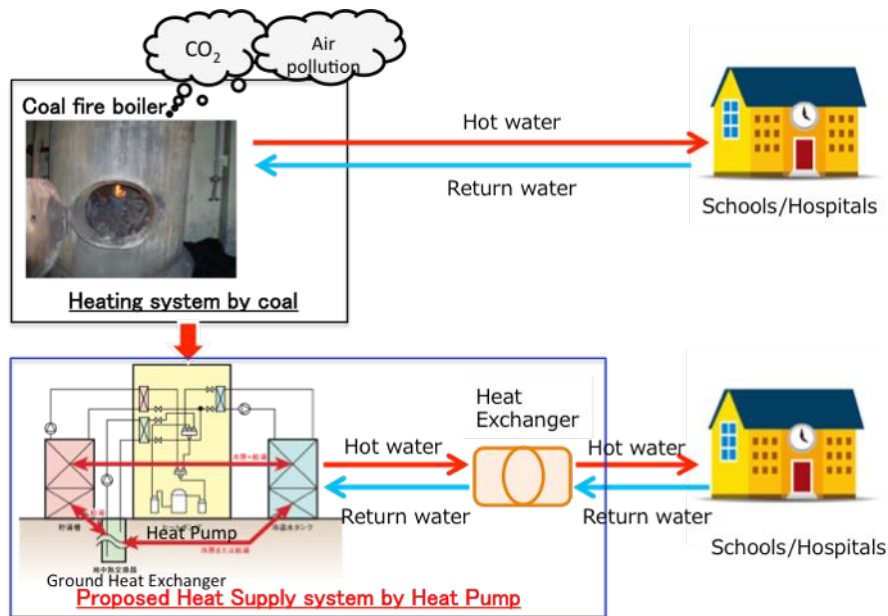


Figure 1 Ground Source Heat Pump System

Figure 2 indicates general concept of GHP system. Most geothermal heat pumps circulate an antifreeze solution through a closed loop -- usually made of plastic tubing called as U-tube-- that is buried in the ground. A heat exchanger transfers heat between the refrigerant in the heat pump and the antifreeze solution in the closed loop.

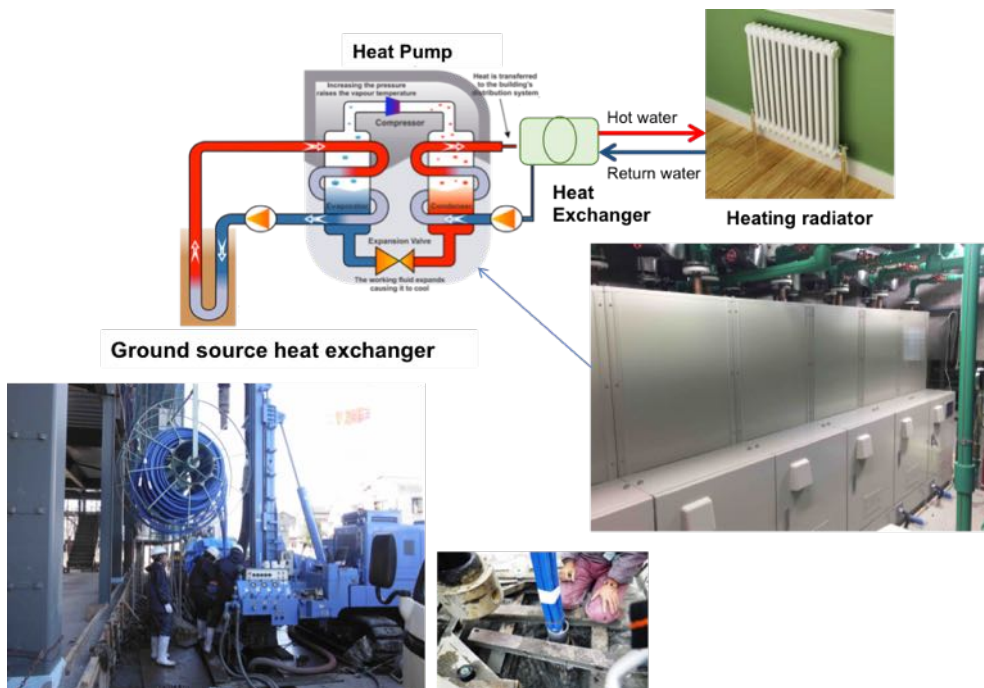


Figure 2. Conceptual Diagram of Ground Source Heat Pump

The heat pump to be used in the ground source heating system is a high efficiency water cooled type heat pump chiller ZQH as shown in Photo 4. The compressor inverter is operating in high efficiency, and the dimension is compact; 650Wx1300Lx1800H mm.

It includes data transfer function EMS as standard equipment, which can be monitored cause of trouble, temperature, heat quantity and electric power consumption at a remote place even in Japan. This heat pump can be a semi-order made so that capacity of the heat pump and its optimal control can be designed in accordance with the local heat load. In this ODA project, 5 modules are connected each other with a total dimension of 3250Wx1300Lx1800H. In case of shipment, it can be separated as one module.

Specifications of the heat pump are as follows;

Name: Water cooled type heat pump chiller

Eco-standard series

Type: ZQHs-112.5W22.5-H-C-INV

Maximum heating capacity: 243.6kW

Heat source water: 169.9kW

Electric consumption: 78.3kW

Standard price: Japanese Yen 32,250,000. (Domestic price)



Photo 4 High Efficiency Water Cooled Type Heat Pump Chiller ZQ H

5. Proposed ODA Projects and Expected Impact

Mongolian counterparts for this survey and ODA project are MMRE and UB city government. The survey was conducted at a school of UB city which was decided through discussion with UB city.

The proposed GHP system consists of the following equipment:

- GHP 240kW
- control panel with remote monitoring system through the internet
- ground heat exchanger double U tube 100m x 64 tubes

Japanese side provided the following know-how during the survey:

- provision of a heat pump and control panel
- technology transfer of GHP system by ZQ
- advise and technology transfer for drilling, installation and commencement of operation.

As the heat pump is equipped with a remote monitoring system, Japanese side is able to monitor operational conditions and give advice to Mongolian side to operate the system appropriately including after ODA project finished.

Mongolian side will conduct drilling, construction of ground heat exchanger, radiator, piping and electricity under Japanese instruction. Mongolian side also take a responsibility to control and operate the system and to bear running cost such as electricity, antifreeze solution, personnel and maintenance.

Expected impacts by implementation of ODA project are:

Impact 1 Ground source heat pump system is installed and coal boilers for schools heating in UB city is to be replaced by GHP system.

Impact 2 Air pollutants and coal ash are reduced and air quality is improved in UB city.

Impact 3 CO₂ emissions is reduced, and contributing to mitigation of global warming.

Impact 4 Technology advantage of GHP system is confirmed based on its stable operation in schools of UB city. Furthermore, advantage and availability of the technology in Mongolia is recognized by economical evaluation according to data such as heat production and electricity consumption.

Impact 5 It is confirmed that GHP system has features such as available anywhere (versatility), unaffected by the weather or climate (stability), high efficiency and cost-effective energy source in Mongolia. Ground source heat pump system is disseminated as distributed heat supply system in Mongolia.

6. Intended Business Development

There are more than 200 heat supply facilities by using HOB combined inside UB city with local area. We will target these facilities to sell a GHP system and to replace HOB. These facilities belong to local governments or heat supply companies. Furthermore, as a new urban development and a get redevelopment are conducted according to the Master Plan of UB city, we will disseminate the system to residential complexes and public facilities in such area.

Basically, Japanese side will manufacture heat pumps and a local alliance company will sell and maintain the system.

Japanese companies, who already have expanded their business into Mongolian market, will be considered as alliance companies to cooperate in sales, construction and maintenance of the system. If amount of cost saving of coal consumption by replacing coal boilers with GHP system is attractive for local government or heat supply companies, they will be able to pay for introduction of GHP system. Also JCM scheme is utilized to expand heat supply business using GHP due to the limitation of Mongolian government fund.

7. Survey Outline and Schedule

The survey was conducted with MMRE and UB city government. Duration of the survey was 12 months as from May, 2017 to the end of April, 2018. The objective of the survey was to contribute for the realization of “become a safe, healthy and green city that is resilient to climate change” under the Ulaanbaatar 2020 Master Plan and Development Approach for 2030. As GHP system has been just introduced to Mongolian market today, it was necessary that the following issues became well-known in public through the survey to disseminate such technology in Mongolia:

- technology advantage which produces heat stably in severe winter
- advantages of environmental friendly because of no emissions of air pollutants and CO₂
- advantage of mitigation of impact for public health
- advantage of economical benefit by reduction of coal consumption

During the survey we researched the following issues:

- research environmental problem caused by consumption of coal for heat supply and planning of introduction of GHP system
- select a targeted school for ODA project
- obtain data of selected school such as heat supply volume of current HOB, result of thermal response test and data required for design of GHP system.

Based on research results mentioned above, a system design and business plan for ODA project was developed. Furthermore, operational status of both coal boilers and GHP was obtained for market evaluation and our business model was mostly established.

8. Proposed ODA Projects and Expected Impact

The counterparty will be UB city government. The implementation site will be No. 79-1 elementary and junior high school which belongs to UB city government in Ger area. The HOB by using coal currently will be replaced with GHP system in the ODA project.

Currently, as shown in Photo5, No.79-1 elementary and junior high school operates HOB for heating by using coal within the grounds. It is desirable to replace HOB with GHP system from the point of view of students' healthy.



Photo 5 HOB of No.79-1 elementary and junior high school (Korean product)

No. 79-1 elementary and junior high school is located in 17th Khoroo, Bayanzurku District, North-East part of the City as shown in Figure 3. The altitude is 1,301m in the city center and 1,365m in the school. Photo 6 shows a full view of the school. The number of faculty staff, employee and students are 46, 24 and 728, respectively.

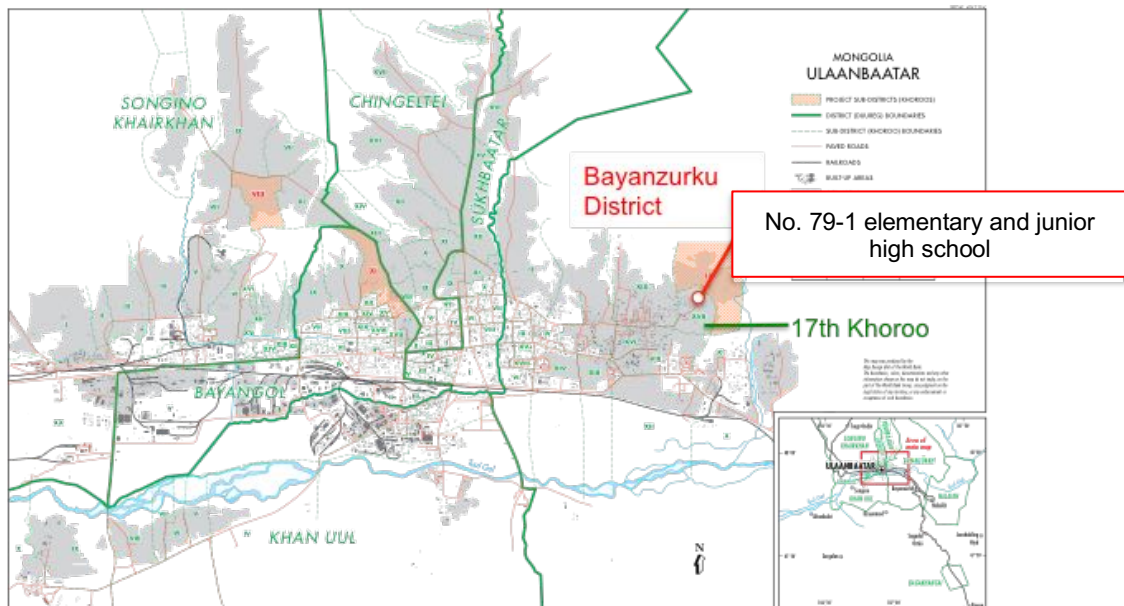


Figure 3 Location of No.79-1 elementary and junior high school



Photo 6 Full view of No.79-1 elementary and junior high school

Proposed GHP system is as follows:

- Heat pump chiller (ZQHs-135W22.5-R-C-INV) 1 piece
Unit type, hot water only 135HP
Heating capacity: 286.2KW
Outer dimension: 3900×1300×1800H, 3600(kg)
Rated power: 16.5KW×6pieac, Refrigerant: R407C
- Control panel (with remote monitoring device through Internet)
- Underground heat exchanger, double U-tube, drilling depth: 120m X 54 hole

Figure 4 show an image of proposed GHP system and GHP components prepared by Japanese side, respectively. Radiators inside the school will be renovated.

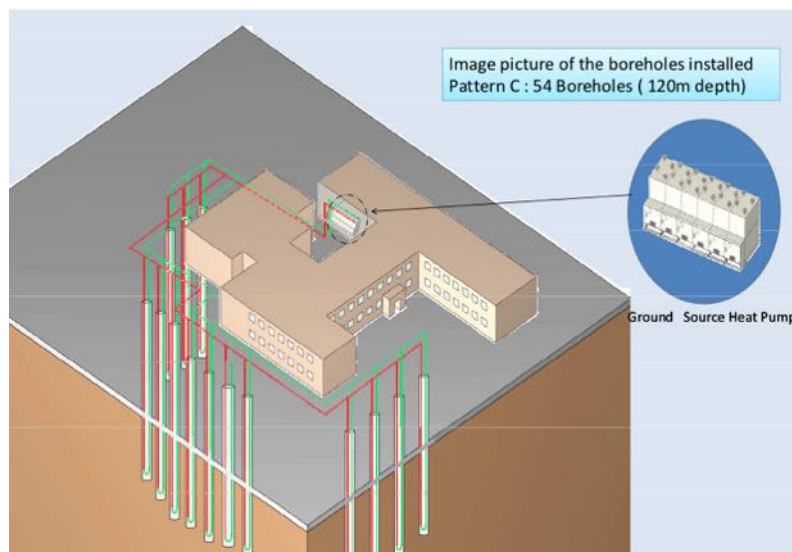


Figure 4 Image of GHP system

Table 1 and Figure 6 show the sharing of construction work for facilities between the Japanese side and the Mongolian side. Production, transportation and installation of GHP and control panel are borne by the Japanese side and other works including a boring work are borne by the Mongolian side.

It is expected that the Japanese side will bear JPY54,504,000 as equipment cost and JPY4,000,000 as transportation and installation cost. UB city government is now estimating cost of additional works which should be borne by the Mongolian side.

Table 1 Work sharing plan between Japanese and Mongolian

	Japan	Mongolia
Installation of Equipment		
Manufacturing and Transportation of GSHP Sytem	○	
Equipment and Commissioning		
Tanks and related equipment	○	
Circulating pump and related equipment	○	
Automatic-controlling equipment	○	
Plate type heat exchanger		○
Main body of solar heat collector	○	
Automatic control panel	○	
Commissioning and adjustment	○	
Supplimentary works		
Drilling of GSHP heat exchangers, U-tube insertion, Anti-freeze brine filling		○
Pipe laying work between heat source wells and the heat pump (including thermal insulation.)		○
Hot water pipe laying work beyond heat pump (including thermal insulation)		○
Material arrangement of GSHP piping and hot water piping		○
Maintenance of hot water piping layout for heating, and the radiator		○
Pipe laying work from heat exchangers to the radiator		○
Provision of sytem installation room, reconstruction work, concrete basment work		○
Power supply to control panel and wiring work for power and control after the control pannel		○
Water supply and drain piping work		○
Pipe laying work for solar heat collector		○
Safety measure by the fence, etc.		○
Piture taking of the work, etc.		○

In the diffusion and demonstration project to install GHP system manufactured by ZQ for providing heat to schools in UB city, the following goals and issues will be demonstrated:

- ✓ Stable heating in the cold winter season,
- ✓ 100% emission reduction of air pollutants such as SO₂, PM10 and NO_x,
- ✓ 100% reduction of coal ash,
- ✓ 60% emission reduction of CO₂ and
- ✓ Contribution for mitigation of air pollution and climate change.

Table 3 indicates goal, outcomes and activities of a diffusion and demonstration project.

Table 3 Goal, outcomes and activities of diffusion and demonstration project

Goal GHP system is introduced as an alternative to heating systems by HOB at elementary and junior high schools of UB city. GHP system produces heat to schools appropriately and air pollutants and CO2 are reduced and health damage to UB citizens is mitigated.	
Outcome 1 GHP system is introduced as an alternative to heating system of HOB and produces heat to elementary and junior high schools in UB city.	Activity 1-1 GHP system is designed, manufactured and installed according to results of the survey.
	Activity 1-2 GHP system is operated to produce sufficient heat to schools in UB city.
	Activity 1-3 Effect of reduction of air pollutants and CO2 is estimated based on data which is obtained during operation of GHP system.
Outcome 2 Diffusion model is established as heating by GHP system.	Activity 2-1 It is confirmed whether GHP system is operated appropriately and operation is improved if necessary.
	Activity 2-2 GHP system is operated and maintained. A manual for operation and control of GHP system is prepared.
	Activity 2-3 A business model, where local entity (including Japanese company) provides import, sale, installation and maintenance of GHP system, is established.

9. Intended Business Development

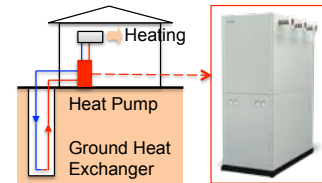
Basically GHP system is manufactured in Japan and sale and maintenance are conducted by a local alliance company in Mongolia.

A local company, who is familiar with GHP technology, will be appropriate for a alliance partner to sale, construct and maintain the GHP system. During diffusion and demonstration project, the technology/know-how will be transferred to such company for preparation for business extension.

Feasibility Survey with the Private Sector for Utilizing Japanese Technologies in ODA Projects Mongolia, Feasibility Survey for Environment-Friendly Ground Source Heat Pump System

SMEs and Counterpart Organization

- Name of SME: ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd
- Location of SME: Nagoya, Aichi Pref., Japan
- Survey Site · Counterpart Organization:
 - Ulaanbaatar(UB) city and Tuv province
 - Ministry of Energy and Ulaanbaatar city



Concerned Development Issues

- Air pollutant caused by coal-fired boiler is growing into a serious health hazard problem in UB city.
- CO₂ emission by coal fired boiler is increasing, so that the effect on global warming is a country concern.

Products and Technologies of SMEs

- Circulating antifreeze liquid in a ground source heat exchanger (a drill hole) down to around 100m deep, ground temperature is raised up to a heating temperature in a heat pump.
- Ground temperature is constant throughout an year, even in a severe winter around -30 deg. C.

Proposed ODA Projects and Expected Impact

- Heating system of schools by means of coal boilers will be replaced by ground source heat pump system, which contributes to emission-reduction of air pollutant. Consequently, health hazard such as chronic bronchitis and bronchial asthma will be alleviated in Mongolia.
- By replacing coal fired boiler with heat pump, CO₂ emissions from coal boiler in Mongolia is reduced and the project contributes to mitigate global warming.

別添資料

1. 日本国内への販売実績

非公開

2. 79-1 番小中学校に設置する設備設計図等

非公開

3. 石炭 HOB と地中熱ヒートポンプの比較

非公開

4. UB 市の予算措置状況

非公開

