

令和3年度
脱炭素社会実現のための
都市間連携事業委託業務

ウランバートル市における寒冷地の
建築・再エネ促進による
脱炭素都市形成支援事業
報告書

令和4年3月
(2022年)

株式会社オリエンタルコンサルタンツ
札幌市

目次

第1章 事業概要	1-1
1.1 事業の目的	1-1
1.2 事業概要	1-1
1.3 実施体制	1-1
1.4 実施内容	1-2
第2章 ウランバートル市の概要と気候変動に対する取り組み	2-1
2.1 ウランバートル市の概要	2-1
2.2 モンゴルの気候変動対策	2-1
2.3 ウランバートル市の気候変動対策	2-3
2.4 ウランバートルのエネルギー事情	2-4
2.4.1 既存のエネルギー供給システム	2-4
2.4.2 再生可能エネルギーの導入	2-5
2.5 ウランバートル市における電気・熱料金	2-10
2.5.1 電気料金	2-10
2.5.2 熱料金	2-11
2.6 二酸化炭素の排出係数	2-12
第3章 ウランバートル市の能力向上支援	3-1
3.1 ZEB、ZEH-Mの概要	3-1
3.2 札幌市のエネルギー施策の変遷	3-3
3.2.1 エネルギー施策の変遷	3-3
3.2.2 現在の地域熱供給システム	3-4
3.3 札幌市の住宅・建築分野における施策・取り組み	3-5
3.4 日本におけるZEB、ZEH-Mの実施事例	3-9
第4章 脱炭素型モデル建物の検討	4-1
4.1 モンゴルの建築物の仕様・エネルギー消費状況	4-1
4.1.1 モンゴルの人口推移・GHG排出量の現状	4-1
4.1.2 モンゴルの建設分野市場の状況	4-3
4.1.3 モンゴルにおける建築に関する基準の整理	4-5
4.2 寒冷地における「脱炭素型モデル建物」の検討	4-10
4.2.1 脱炭素型モデル建物を検討する上での前提条件	4-10
4.2.2 脱炭素型モデル建物の検討プロセス	4-11
4.2.3 寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討ケースの設定	4-12
4.2.4 モンゴルにおける建築仕様の検討	4-14
4.3 脱炭素型モデル建物を検討する対象施設の選定	4-16

4.3.1 対象施設の選定	4-16
4.4 脱炭素型モデル建物の効果検討	4-23
4.4.1 脱炭素型モデル建物の計算方法	4-23
4.4.2 エネルギー消費性能の算定	4-26
4.4.3 費用対効果の検討	4-31
4.5 寒冷地における「脱炭素型モデル建物」による効果と今後の検討	4-35
第5章 グリーンファイナンスに係る知見共有	5-1
5.1 グリーンボンドの概要	5-1
5.2 グリーンビルディングの概要	5-6
5.2.1 グリーンビルディングの定義	5-6
5.3 緑の気候基金（GCF：Green Climate Fund）の概要	5-7
第6章 オンラインワークショップの開催	6-1
6.1 第1回ワークショップ	6-1
6.2 第2回ワークショップ	6-2
6.3 第3回ワークショップ	6-3
6.4 第4回ワークショップ	6-4
附属資料	
第1回オンラインワークショップ議事録、発表資料	A1-1
第2回オンラインワークショップ議事録、発表資料	A2-1
第3回オンラインワークショップ議事録、発表資料	A3-1
第4回オンラインワークショップ議事録、発表資料	A4-1
日本における ZEB、ZEH-M の実施事例（モンゴル語版）	A5-1
日本における省エネ性能算定の概要（モンゴル語版）	A6-1

図表リスト

図 1-1	事業実施体制	1-2
図 2-1	ウランバートル市地図	2-1
図 2-2	土地利用ゾーニングと地域熱供給システムの導入地域	2-3
図 2-3	モンゴル国内における発電容量の実績および計画（2010年～2050年）	2-7
図 2-4	ウランバートル市近郊の太陽光発電所位置	2-8
図 2-5	農場内、農業用ハウスの屋根に設置された太陽光発電パネル	2-9
図 2-6	ソングノハイルハン区の農場における太陽光発電と営農の複合モデルイメージ	2-9
図 2-7	フーシク・フンディ太陽光発電所	2-10
図 2-8	フーシク・フンディの太陽光発電システム	2-10
図 3-1	ZEB、ZEH-Mを実現するための技術	3-1
図 3-2	札幌市のエネルギー施策の変遷	3-3
図 3-3	現況の地域熱供給ネットワークの全体像	3-5
図 4-1	モンゴルとウランバートルの人口推移	4-1
図 4-2	モンゴルとウランバートルの将来人口推計	4-1
図 4-3	モンゴルの温室効果ガス排出量と吸収量の推移	4-2
図 4-4	モンゴルの温室効果ガス排出の構成（2010～2019年）	4-2
図 4-5	モンゴルの温室効果ガス排出量の将来予測	4-3
図 4-6	モンゴルの名目 GDP および GDP 成長率の推移	4-4
図 4-7	ゲルのアパート化事業で建設された新しいアパート	4-5
図 4-8	モンゴルの建築分野における制度フロー	4-6
図 4-9	ZEB のデザインプロセス	4-11
図 4-10	アエロシティ居住区の概要と位置図	4-16
図 4-11	NOSK が運営管理をする主な住宅事業	4-17
図 4-12	劣化住宅の再生計画建築事業の位置図（左）と平面図（右）	4-19
図 4-13	位置図（SERENE TOWN）	4-20
図 4-14	複数の部屋タイプがある平面図	4-20
図 4-15	住居 C type の完成予想図	4-20
図 4-16	外観写真（SERENE TOWN）	4-21
図 4-17	サーモグラフィ撮影による熱損失の確認状況	4-21
図 4-18	位置図（ウランバートル市新市庁舎 B ブロック）	4-21
図 4-19	平面図と断面図（ウランバートル市新市庁舎 B ブロック）	4-22
図 4-20	外観写真（ウランバートル市新市庁舎 A ブロックと建設中 B ブロック）	4-22
図 4-21	Web プログラムにおける計算のイメージ	4-24
図 4-22	日本の ZEB における判定基準	4-24
図 4-23	Web プログラムにおける建築設備の仕様の入力イメージ	4-25
図 4-24	Web プログラムにおける BEI の算出画面	4-25

図 4-25	集合住宅における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量	4-26
図 4-26	オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量	4-28
図 4-27	集合住宅における脱炭素型モデル建物の GHG 排出量	4-29
図 4-28	オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の GHG 排出量	4-30
図 4-29	住宅（アパート）の供給状況	4-37
図 5-1	NOSK の建設事業に係る資金源と顧客の住宅購入に係る課題	5-1
図 5-2	グリーンボンド発行における一般的なスキーム	5-3
図 5-3	グリーンボンド発行における一般的なスキーム	5-5
図 5-4	GCF の手続き	5-7
表 1-1	実施工程	1-3
表 2-1	モンゴル NDC の GHG 削減量目標とアクションプラン	2-2
表 2-2	ウランバートル市の GHG 削減目標	2-3
表 2-3	一次エネルギー輸出入バランス	2-4
表 2-4	ウランバートル市の暖房システム	2-4
表 2-5	ウランバートル市の主要な熱源	2-5
表 2-6	改良燃料の特性と製造価格	2-5
表 2-7	モンゴルの風力密度ごとの風力発電導入容量および総出力	2-6
表 2-8	モンゴルの日射量および太陽光発電量（積算）	2-6
表 2-9	エネルギー法における数値目標（再生可能エネルギー関連）	2-7
表 2-10	ウランバートル市近郊における JCM 設備補助を活用した太陽光発電所	2-8
表 2-11	中央地方及び南地方の消費者別電気料金（一本建て税率、税抜）	2-11
表 2-12	利用時間帯別電気料金（税抜）	2-11
表 2-13	企業、事業体およびその他の組織に販売される熱料金	2-11
表 2-14	家庭用に販売する熱料金（付加価値税を除く）	2-12
表 2-15	ウランバートル市内の火力発電所からの CO2 排出量	2-12
表 3-1	札幌市都心の熱供給事業（2018 年時点）	3-4
表 3-2	施策別の取り組みと目標削減量	3-6
表 3-3	札幌版次世代住宅基準（新築住宅）	3-7
表 3-4	ZEB、ZEH-M 設計支援補助額	3-7
表 3-5	再エネ・省エネ機器導入補助金制度	3-8
表 3-6	CASBEE 札幌の重点評価項目	3-9
表 4-1	モンゴルの建設投資額と主な建設資材の生産動向	4-4
表 4-2	建設法（Construction Law 2016）の構成	4-5
表 4-3	モンゴルとチェコ（旧ソ連）における断熱基準の比較	4-7
表 4-4	モンゴルにおける建築物のエネルギー効率の分類	4-7
表 4-5	想定される段階的なエネルギー対策例	4-10
表 4-6	ZEB のデザインプロセスの各項目の手法	4-11
表 4-7	寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討ケース設定	4-13
表 4-8	モンゴルの一般的な建物と想定する脱炭素型モデル建物の建築仕様	4-14

表 4-9	日本の一般的な建物と ZEB 要件を満たした建物の建築仕様	4-15
表 4-10	対象施設として想定できる住宅事業例	4-18
表 4-11	選定した対象施設の概要と選定理由	4-19
表 4-12	集合住宅における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量	4-26
表 4-13	オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量	4-27
表 4-14	集合住宅における脱炭素型モデル建物の GHG 排出量	4-29
表 4-15	オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の GHG 排出量	4-30
表 4-16	仕様変更によるコスト比較	4-31
表 4-17	集合住宅（SERENE TOWN）を脱炭素型モデル建物として建設した場合の費用	4-32
表 4-18	仕様変更によるコスト比較	4-33
表 4-19	オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）を脱炭素型モデル建物として建設した場合の費用	4-34
表 4-20	ゲル地域土地再開発計画の目標	4-37
表 5-1	具体的な資金の用途としてのグリーンプロジェクト例	5-2
表 5-2	グリーンボンドの種類	5-2
表 5-3	グリーンボンド関係者	5-3
表 5-4	各国のグリーンビルディングの認証制度	5-6
表 5-5	GCF 資金拠出	5-8
表 5-6	気候変動に強靱で安全な島づくりプロジェクトの概要と承認経緯	5-9
表 6-1	ワークショップ開催実績一覧	6-1

略語表

略語	正式名称	日本語
BEMS	Building and Energy Management System	ビル・エネルギー管理システム
CFWH	Coal Fired Water Heater	小型温水供給石炭ボイラ
GHG	Greenhouse Gas	温室効果ガス
HOB	Heat Only Boiler	温水供給ボイラ設備
JCM	Joint Crediting Mechanism	二国間クレジット制度
NOSK	Capital city housing corporation (英語名称)	ウランバートル首都公団公社
ZEB	Net Zero Energy Buildings	ネット・ゼロ・エネルギー・ビル
ZEH-M	Net Zero Energy House Mansion	ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス・マンション

第1章 事業概要

1.1 事業の目的

平成28年11月に発効し、令和2年(2020年)より実施段階に入ったパリ協定では、中央政府に加えて自治体・都市を含む非政府主体による気候変動対策を加速させることが掲げられている。また、令和2年9月に開催された「新型コロナウイルスからの復興と気候変動・環境対策に関する「オンライン・プラットフォーム」閣僚級会合」においても、コミュニティに直結する活動を行う地方自治体の脱炭素政策が必要であること、地方コミュニティ主導の開発アプローチが重要であることが確認されている。日本でも、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにし、脱炭素社会を目指すことが宣言され、CO2排出実質ゼロを宣言する自治体は300以上にまで急増している。

上述の通り具体的な地域の気候変動対策・プロジェクトを検討・実施するうえで、都市や自治体の役割は重要性を増している。世界全体での脱炭素社会の実現に向けては、特に経済成長が著しいアジアにおいて、持続可能な脱炭素社会構築への動きを加速させることが必要であり、社会経済の発展を支える活動の場である都市の脱炭素化・低炭素化に向けて、国際的にも都市の取り組みを支援する動きが強化されてきている。

また、現下の新型コロナウイルス感染拡大の状況下において、都市は感染拡大関連の課題に対処すると同時に、持続可能な開発を達成するための新たな方策についての再調整や検討を迫られており、都市間の連携による新たな手法、新たな都市の構築が極めて重要である。

本事業では、日本の研究機関・民間企業・大学等が、脱炭素・低炭素社会形成に関する経験やノウハウ等を有する本邦都市とともに、海外自治体等における脱炭素・低炭素社会形成への取り組み、および脱炭素・低炭素社会の形成に寄与する設備の導入を支援するための調査事業を実施する。

1.2 事業概要

委託業務名：令和3年度脱炭素社会実現のための都市間連携事業委託業務

(ウランバートル市における寒冷地の建築・再エネ促進による脱炭素都市形成支援事業)

履行期間：令和3年9月13日～令和4年3月10日

発注者：環境省 地球環境局 国際連携課 国際協力・環境インフラ戦略室

受託者：株式会社オリエンタルコンサルタンツ

1.3 実施体制

本事業は、札幌市環境局と、ウランバートル市の都市開発を担うウランバートル市首都都市開発局、及びウランバートル市首都公団公社(以下、NOSK)を中心に実施した。ウランバートル市からは、インフラ整備を担当する副市長の協力も得て、ワークショップを通じた協議を行った。札幌市の提唱により始まった「世界冬の都市市長会」は、9か国22都市からなる国際ネットワークで、ウランバートル市は1998年に加盟し、両市の情報や技術交流がなされている。2016年度には、札幌市とウランバートル市との都市間連携事業を実

施しており、再生可能エネルギーの導入や廃棄物発電事業の調査が実施された。札幌市は、温室効果ガスを2050年には実質ゼロにする「ゼロカーボンシティ」を宣言し、明確な目標を掲げて施策を推進しており、同じ積雪寒冷地であるウランバートル市の脱炭素社会形成に向けた取り組みや技術の支援が期待されている。

2年次の本事業推進に際しても、札幌市も参加の下、各ワークショップでその知見共有を図ると共に、協力会社である岩田地崎建設株式会社、北電総合設計株式会社からは建物・住宅の低炭素化に係る設計検討、省エネ効果の算定及び技術的助言を、ゼネラルヒートポンプ工業株式会社からは、地中熱ヒートポンプシステムの導入検討に係る支援を得た。さらに北海道大学からは、寒冷地における建物・住宅の省エネ化の複合的な効果と健康被害対策について、ワークショップで調査結果を共有した。

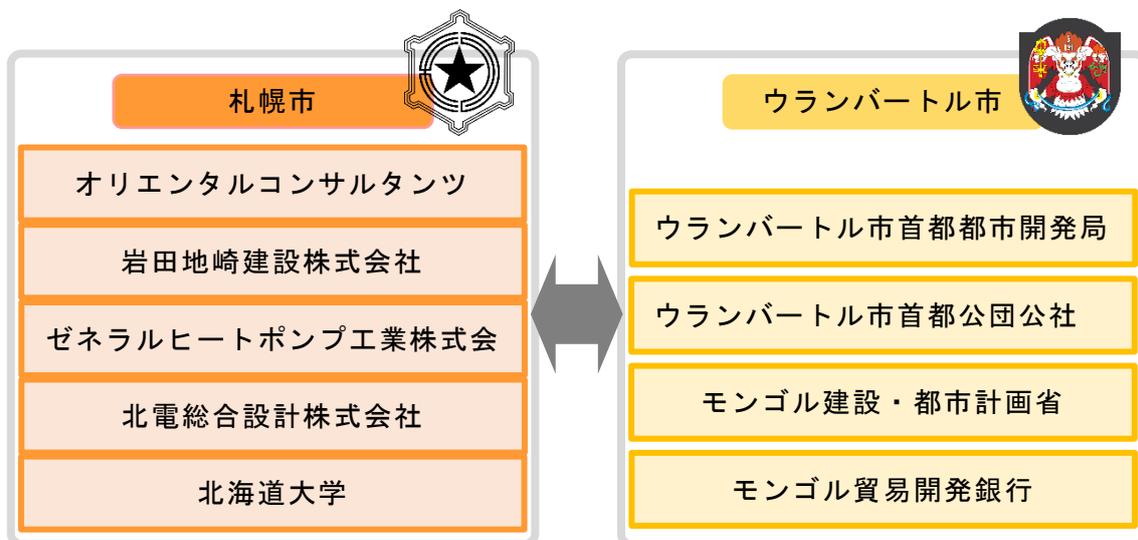


図 1-1 事業実施体制

1.4 実施内容

本事業は、2020年度に策定した3年計画に基づき2年次の調査を実施する。

1年次の調査では、モンゴルの建築基準やウランバートル市の住宅の状況を確認し、ウランバートル市のニーズ・関心を確認する基礎調査を実施した。モンゴルの建築基準は1960～1970年代に策定されたものがそのまま踏襲されており、大半が現状に適していない状態にある。ウランバートル市内の住宅については、市街地にあるレンガ造りあるいはプレキャストコンクリートの集合住宅と、ゲル地区にあるテント家屋あるいは戸建ての簡易住宅に大別される。市街地にある集合住宅は地域暖房システムに接続しているが、老朽化による熱損失が発生したり、断熱材が不十分なため熱供給システムに必要な以上の負荷がかかっている。一方、簡易住宅は地域暖房システムに接続しておらず、石炭や薪ストーブが使われており、断熱材が施されていないケースが大半であった。いずれの住宅も、気密性、断熱性など寒冷地に不十分な建築仕様であり、暖房用エネルギーの負荷が大きく、GHG排出量の増加、大気汚染悪化の原因となっていることが確認された。ウランバートル市では同市のマスタープランにより、ゲル地区の再開発や衛星都市の開発による人口分散計画されており、今後も住宅開発やインフラ整備の増加が見込まれることから、適切な基準と技術の導入が課題である。また同じ寒冷地として札幌市で用いられている技術や地域熱供給

システム、各種の省エネルギー・創エネルギーによりゼロエネルギーを目指す ZEB (ZEH-M) を紹介した。

1 年次の調査により、ウランバートル市の ZEB への関心が高いことから、2 年次では、日本の ZEB 仕様を活用して、ウランバートル市の現状に即したモデル建築仕様を検討した。具体的には、既にウランバートル市でも導入が検討されている地中熱ヒートポンプによる熱供給システムや断熱材の強化、高効率な設備導入の組み合わせにより 4 つのモデルケースを設定し、実際にウランバートル市内の集合住宅とオフィスビルを対象に、各モデルケースのエネルギー消費削減量を推計した。また、日本の省エネ性能の算定項目とその計算方法、および ZEB (ZEH-M) の実施事例を紹介した。

表 1-1 実施工程

項目	2021年				2022年		
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 打合せ・報告	キックオフ ミーティング ▲			中間報告 ▲		最終報告 ▲	
2. ウランバートル市の能力向上支援							
(1) 日本におけるZEB・ZEH-Mの実施事例				←→			
(2) 省エネ性能算定のための概要書					←→		
(3) 札幌市の知見共有、寒冷地技術の紹介によるJCM事業の促進を目的としたオンラインワークショップの開催	第1回 ▲			第2回 ▲	第3回 ▲	第4回 ▲	
3. モンゴルの実状に適した寒冷地における脱炭素型のモデル建物の検討							
(1) 脱炭素型モデル建築仕様の検討		←→					
(2) モデル住宅の展開可能性の検討		←→					
4. グリーンファイナンスの検討					←→		
5. 月次報告		▲	▲	▲	▲	▲	▲
6. 報告書作成				←→			提出 ▲

履行期間：令和3年9月13日～令和4年3月10日

第2章 ウランバートル市の概要と気候変動に対する取り組み

2.1 ウランバートル市の概要

ウランバートル市は、行政的には「首都特別区」に指定されており、市域面積は 4,704km² で、9つの区で構成される。モンゴルの人口約 335 万人に対し、ウランバートル市の人口は約 160 万人である。人口増加率はモンゴルの平均が約 3%であるが、ウランバートル市は 2018 年までの 5 年間で平均 5.6%に達しており、一極集中が進んでいる。

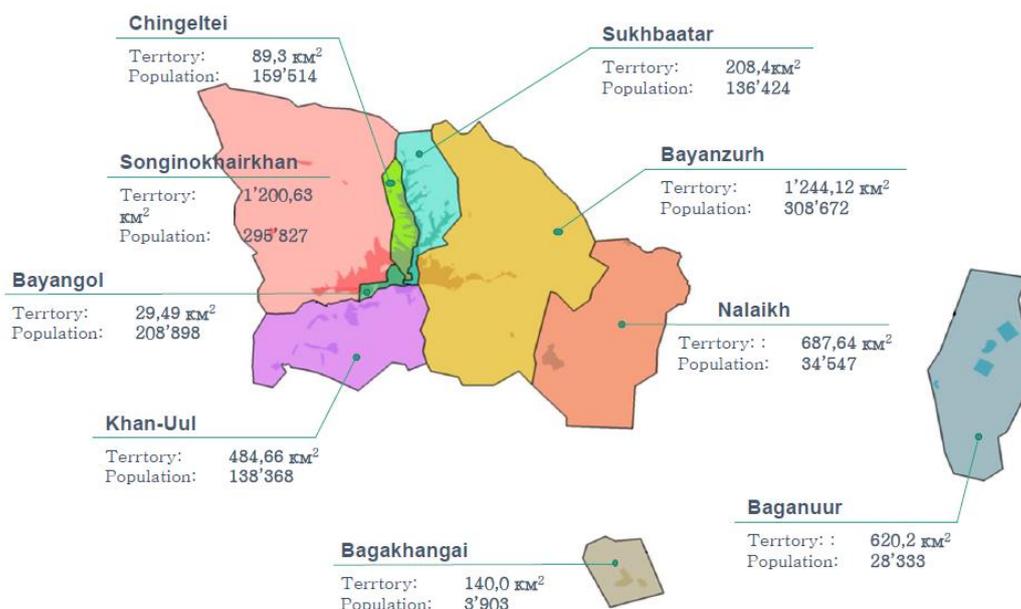


図 2-1 ウランバートル市地図

ウランバートル市の居住形態は、市街地の鉄筋コンクリート造のアパートと、市街地周辺のゲル地区のモンゴルゲルや木造住宅に大別される。急速な人口流入により都市インフラの整備が追いついておらず、また電力及び暖房用エネルギー源として使用される石炭の燃焼に起因する大気汚染も深刻化している。このような状況のもと、2020 年 5 月に策定された「長期ビジョン 2050」では、ウランバートル市と同市を取り巻くトゥブ県等からなる中央地域を、合理的な空間計画と適切な居住システムに基づき、衛星都市を備えた国際競争力のある首都圏として発展させることが掲げられている。

2.2 モンゴルの気候変動対策

モンゴルは、2020 年 10 月に気候変動枠組条約 (UNFCCC) 事務局に提出した NDC (国が決定する貢献) で、2030 年までに GHG 総排出量を 2010 年比で 22.7%削減する目標を掲げている。これは 2016 年に策定した約束草案 (INDC) の 14%から大きく引き上げられた目標である。NDC に示されている各部門の削減量目標とアクションプラン (表 2-1) では、ウランバートル市内の石炭利用の制限や再生可能エネルギーの利用、建物の断熱性能の向上が示されている。

表 2-1 モンゴル NDC の GHG 削減量目標とアクションプラン

アクションプラン	GHG 削減量 (Gg CO ₂ -eq.)
1.エネルギー関連分野	
1.1 エネルギー産業分野	
・再生可能エネルギーの導入 ・送配電ロス、熱供給ロスの削減 ・エネルギー生産の効率改善	8,340.5
1.2 エネルギー消費分野	
交通 ・燃料品質の向上 ・石炭輸送の自動車輸送から鉄道輸送への切替え ・旅客列車の暖房の電気暖房への切替え	1,048.8
建設 ・建物の断熱性能向上 ・ウランバートル市内の石炭利用の制限、改良燃料への切替え	830.1
産業 ・省エネ対策	
1.エネルギーセクター合計	11,264.6
2.エネルギー分野以外	
農業 ・家畜頭数の規制や削減 ・家畜ふん尿管理の改善	5,283.3
工業プロセス及び製品使用 ・セメント工場の廃熱利用 ・セメント生産でのフライアッシュ利用 ・炭層ガスの利用	234.1
廃棄物 ・埋立て処分する廃棄物量の削減 ・改善された衛生設備を利用できる人口の増加	106.1
2.エネルギーセクター以外合計	5,623.5
総計	16,888.1

出典：MONGOLIA'S NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONより調査団作成

国の長期開発計画である「長期ビジョン 2050」では、9つの政策目標が掲げられており、そのひとつに「低炭素かつ生産性と裨益効果の高いグリーン開発」がある。「低炭素で生産性と裨益効果の高いグリーン経済を発展させ、気候変動を緩和するための国際的な取り組みに貢献する」としており、具体的には 2041～2050 年のステージ 3 の段階で、GHG の排出量と吸収量を均衡させ実質ゼロとすることを目標としている。加えて、「ウランバートル市と衛星都市」も政策目標のひとつであり、「温室効果ガス排出の少ないグリーンテクノロジーを備えた快適な生活環境を持つ都市」が掲げられている。またこの長期ビジョン 2050 では、2019 年 5 月から首都圏におけるボイラ等での生石炭の使用が禁止されたこと、代替として改良固形燃料（石炭ブリケット等）の製造・普及が図られたことにより、2019～2020 年の間で大気汚染が 50%改善されたとしている。さらにもう 1 基の改良固形燃料の製造工場の稼働により、最大で 80%の大気汚染の改善が見込めるとしている。

2.3 ウランバートル市の気候変動対策

2020年に国連の支援により策定された「首都開発ビジョン」では、2030年までのGHG削減目標が示されている（表2-2）。ウランバートル市は、モンゴルの人口の46%が集中していることに加え石炭火力発電所（熱電供給システム）もあることから、主要なエネルギー消費のほとんどがウランバートル市に集中しており、GHG削減に果たす役割が大きいことが示されている。市の政策、計画の中に気候変動対策を位置づけ、効果的な計画や管理能力を向上させるためのメカニズムを確立すること、都市インフラ改善のための予算を確保することが目標に掲げられている。

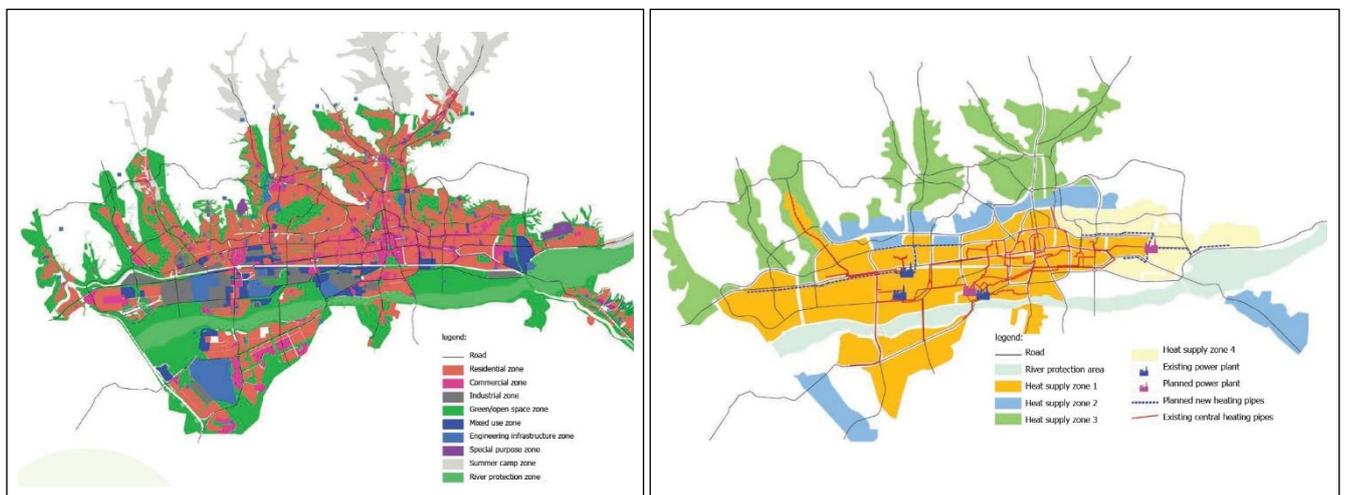
表 2-2 ウランバートル市の GHG 削減目標

単位：Gg CO₂-eq.

年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
削減目標	1,524	1,671	1,818	1,966	2,113	2,406	2,700	2,993	3,287	3,580

出典：「首都開発ビジョン（ウランバートル市、2020年）」より調査団作成

また2014年に策定された「ウランバートル市マスタープラン 2020・開発方針 2030（Ulaanbaatar 2020 Master Plan, Development Approaches for 2030）」では、「気候変動に対応した、安全で健康的で緑豊かな都市であること」を目指すとしており、具体的には、都市の計画外の拡大を防ぐための土地利用ゾーニングを行うこと、ゲル地区の再開発、発電所の新設と地域熱供給システムの導入拡大等が示されている。



出典：Ulaanbaatar 2020 Master Plan and Development Approaches for 2030

図 2-2 土地利用ゾーニングと地域熱供給システムの導入地域

マスタープラン 2020 の方針は、現在策定が進められているマスタープラン 2040 に引き継がれており、気候変動に対応できる街、省エネ・資源節約に貢献する街、近隣の衛星都市を含めた一体的な開発などの方針を掲げている。

2.4 ウランバートルのエネルギー事情

2.4.1 既存のエネルギー供給システム

モンゴルは内陸国でもあり、暖房用燃料に使う石油・天然ガスを海外から輸入することはあまり行われていない。モンゴルでの主たるエネルギー生産は石炭であり、原油も生産されているが中国へ輸出されている。

表 2-3 一次エネルギー輸出入バランス

単位：石油換算千トン

	石炭	原油	油脂製品	ガス	電力	再生可能 エネルギー	水力	合計
国内生産	23,919	1,052				172	5	25,148
輸出	19,322	1,037						20,359
輸入	1		1,282		135			1,418
在庫・その他	1,080	15						1,095
国内供給量	3,518	0	1,282	0	135	172	5	5,112
1次エネルギー比率	69%	0%	25%		3%	3%	0%	100%

出典：IEA Energy Balances of Non-OECD Countries (2017年)

現在モンゴルでは、冬季の暖房燃料においては、石炭に大きく依存している。ウランバートル市の暖房システムは、表 2-4 のように、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）、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に分類されている。

表 2-4 ウランバートル市の暖房システム

暖房対象	暖房方式		
都市全体	中央暖房	集中暖房方式	3カ所の火力発電所からの熱水による集中暖房
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

出典：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（2018年）

近年、ゲル地区での電気暖房の使用が大幅に拡大している傾向にある。電力系統の容量は不十分であるため、これらの負荷に対応するため、4 万世帯分の送電系統の改善の工事が実施された。

以下にウランバートル市における熱源に関して整理したものを示す。石炭火力の発電所の電力は、主にアパートや公共施設で使用されており、ゲル地区や小規模家屋では使用量

は少ない。また、ゲル地区や小規模家屋の熱源は、主に石炭ストーブが使用されているが、プロパンガスの使用も増加傾向にあるとのことである。このプロパンガスは、従来は飲食店、一般家庭などでの利用が中心であったが、2020年からは政府方針を基に、学校、公共施設などでも利用されるようになってきている。

表 2-5 ウランバートル市の主要な熱源

燃料	燃焼設備	供給物	アパート・公共施設			ゲル・小規模家屋		
			暖房	調理	その他	暖房	調理	その他
石炭	発電所	電気	○	○	○	△	△	○
		温水	○			×		
	HOB	温水	○			×		
	石炭コンロ	熱	×	×		○	○	
プロパンガス	コンロ・ストーブ	熱	○	○		△	△	

凡例：○：使える、△：使えるがコスト高で使用量は少ない、×：使えない

出典：モンゴル国ウランバートル市環境インフラ整備に係る情報収集・確認調査（2021年）

2017年3月20日に承認された国家環境汚染低減プログラムの一環として実施される対策では、「UB市内で稼働中の温水ボイラの廃止、消費者の中央及び地域的な暖房供給システムへの接続を段階的に実施する」と規定されている。これにより、HOBは段階的に廃止されていくものと想定される。また、2020年11月から、HOBの使用燃料が生石炭から改良燃料に転換されている。改良燃料の特性などについては、以下の通りである。また、ウランバートル市の大気汚染の80%はゲル地区の石炭ストーブとウランバートル市内のHOBによるものとされている。

表 2-6 改良燃料の特性と製造価格

分類	種類	環境特性	製造価格
石炭	瀝青炭・褐炭	悪	安価
石炭ブリケット	瀝青炭・褐炭ベース		
	無煙炭ベース		
	バイオコールブリケット		
セミコークス	セミコークス	良	高価
	セミコークスブリケット		

出典：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 大気汚染対策案技術審査ガイドライン（2017年6月）

2.4.2 再生可能エネルギーの導入

(1) モンゴルにおける再生可能エネルギーの可能性

モンゴルにおけるエネルギー転換の傾向を把握するため、モンゴルにおける再生可能エ

エネルギーの導入可能性について整理する。2016年にモンゴルのエネルギー省とIRENAが共同で報告した「Renewables Readiness Assessment: Mongolia」によると、モンゴルでは、再生可能エネルギーの中でも太陽光と風力による発電量が、1,800万トン以上の石炭を使った火力発電に相当する15,000TWh/年にもなることがわかっている。

モンゴル内には風力によって300W/m²以上の風力密度が見込める地域が多くあり、1.1TW以上の発電容量で、少なくとも2,550TWh/年が風力発電によって得られる。

表 2-7 モンゴルの風力密度ごとの風力発電導入容量および総出力

風力密度 (地上30m)	風速* (m/秒)	総面積 (km ²)	導入容量 (MW)	総出力 (TWh/年)
300-400	6.4-7.1	130,665	905,500	1,975.5
400-600	7.1-8.1	27,165	188,300	511.0
600-800	8.1-8.9	2,669	18,500	60.2
800-1,000	8.9-9.6	142	1,000	3.4
合計		160,641	1,113,300	2,550.1

* 風速は、ワイブルk値1.8と標高1,400mに基づく

出典：US National Renewable Energy Laboratory (2001年)

さらに、モンゴルは年間の晴天日数が270~300日程度と多く、年間で2,250~3,300時間もの日照時間を確保できると見込まれている。このことから、国土の23,461km²で4,774TWh/年が太陽光により発電できる計算である。

表 2-8 モンゴルの日射量および太陽光発電量（積算）

日射量 (kWh/m ² /日)	国土 (km ²)	太陽光発電量 (TWh/年)
3.4	5,269	654
3.8	3,924	544
4.1	4,210	630
4.5	4,515	742
5.4	5,542	1,092
合計	23,461	4,774

出典：US National Renewable Energy Laboratory, National Renewable Energy Centre of Mongolia

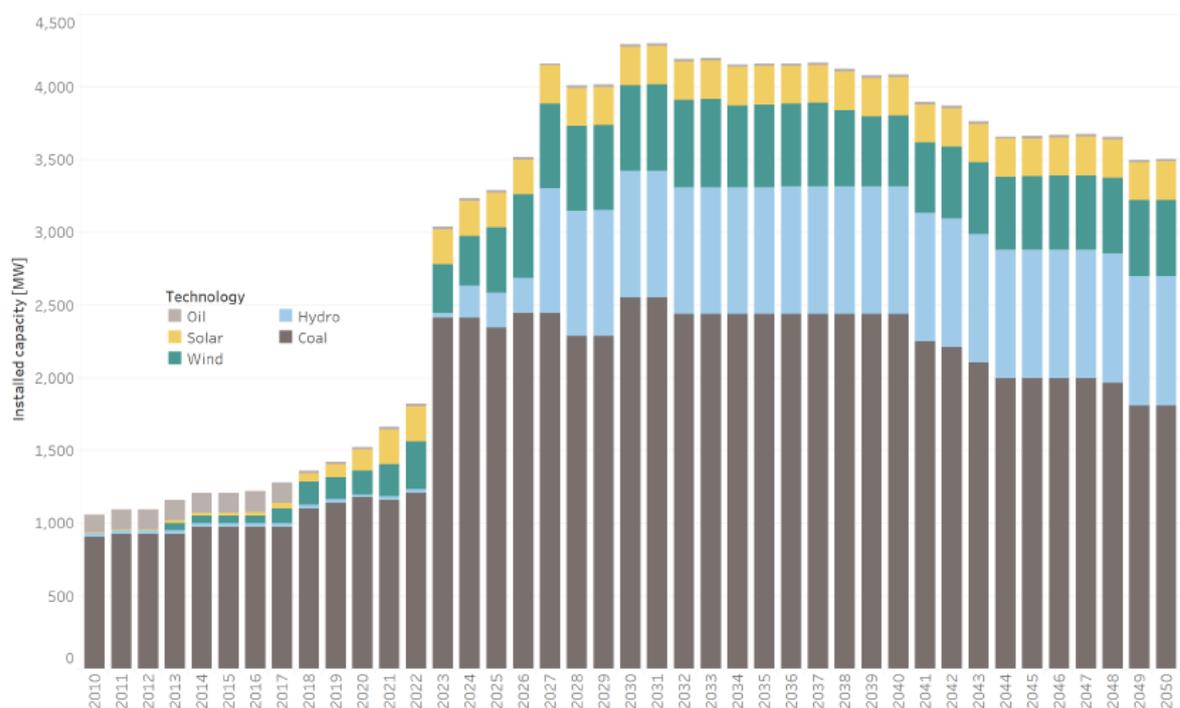
このように、モンゴルは再生可能エネルギー資源が豊富であるが、モンゴルの総発電量は、火力発電が約9割を占めているのが現状である。それらの火力発電所、小型ボイラ施設や冬季の暖房設備における生石炭燃焼、火力発電所の老朽化による燃焼効率の低下などにより、大気汚染物質やGHG排出量の増加を招いている。このような状況に対して、同国では再生可能エネルギーの利用促進が求められている。そこで、モンゴル政府は2015年に「State policy on energy 2015-2030」（エネルギー法）を定めた。このエネルギー法では、2015~2023年を第1段階、2024~2030年を第2段階として、いくつかの数値目標を定めている。その数値目標の1つに、電源構成比に占める再生可能エネルギーの割合があり、基準

年となる 2014 年の 7.62%から、2023 年までに 20%、2030 年までに 30%に引き上げることを目標としている。目標達成に向けて、国内では太陽光や風力をはじめとする再生エネルギーを利用した発電設備の導入が進められている。

表 2-9 エネルギー法における数値目標（再生可能エネルギー関連）

指標	基準年 2014 年	第 1 段階 2015-2023 年	第 2 段階 2024-2030 年
中央送電システムの利益率	-16.22%	0%	5%
地熱発電の内部利用	14.40%	11.20%	9.14%
送配電ロス	13.70%	10.80%	7.80%
電源構成比に占める 再生可能エネルギーの割合	7.62%	20%	30%
エネルギー生産 1Gkal あたりの GHG 排出量	0.52 tCO2 相当	0.49 tCO2 相当	0.47 tCO2 相当

出典：State policy on energy 2015-2030



出典：The Mongolian electricity sector in the context of international climate mitigation efforts

図 2-3 モンゴル国内における発電容量の実績および計画（2010 年～2050 年）

(2) モンゴルにおける JCM を活用した再生可能エネルギーの取り組み事例

ウランバートル市では、JCM 設備補助を活用した太陽光発電設備を市の中心部から北へ約 37km のソングノハイルハン区のモンナラン農場と、チンギス・ハーン国際空港の西南約 14km のフーシク・フンディの 2 箇所で導入済みである。図 2-4 に発電所位置、表 2-10 に各 JCM プロジェクトの概要を示す。



出典：地球環境センターJCMプロジェクト HP

図 2-4 ウランバートル市近郊の太陽光発電所位置

表 2-10 ウランバートル市近郊における JCM 設備補助を活用した太陽光発電所

JCM プロジェクト名	所在地	発電容量	想定 GHG 排出削減量
首都近郊農場での 2.1MW 太陽光発電による電力供給プロジェクト	ウランバートル市 ソングノハイルハン区 (モンナラン農場)	2.1MW	2,424 tCO2/年
首都近郊農場での 8.3MW 太陽光発電による電力供給プロジェクト		8.3MW	9,585 tCO2/年
新空港近郊における 15MW 太陽光発電システムの導入	トゥブ県セルゲレン郡 フーシク・フンディ	15MW	18,438 tCO2/年

出典：地球環境センターJCMプロジェクト HP

ウランバートル市から北へ約 39km の地点に位置するモンナラン農場へは、農場内の敷地への地上設置と農業用ハウスの屋根への屋根置き型の太陽光発電パネルが導入されている。導入した太陽光発電によって火力発電の一部を代替することで GHG 排出量を削減するとともに、電力の安定供給や冬季の大気汚染の軽減に貢献している。

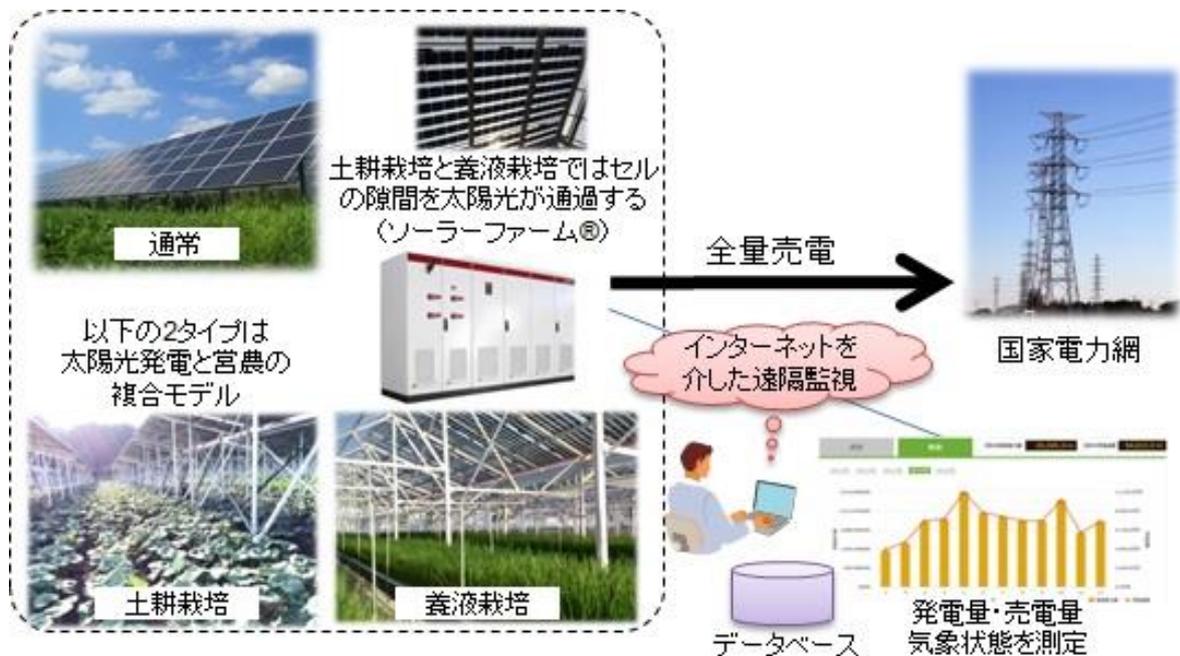
これに加え、同農場への太陽光発電の導入は、図 2-5 に示すような農業と太陽光発電を組み合わせた新たな複合モデルとしての普及を目指しており、モンゴル初のハイブリッド型メガソーラー発電所として稼働している。2017 年の運転開始以来、太陽光発電による総発電量は約 4 万 MWh、売電量は約 3.8 万 MWh にも上る（2019 年 12 月 31 日時点）。その

結果、営農ができず収入が不安定になる冬季に、売電による収入が得られるようになり、収益の安定化につながり、女性の雇用創出や教育訓練を実施することもできたため、モンゴル政府が掲げる持続可能な開発ビジョンの、ジェンダー平等の実現にも貢献している。



出典：在モンゴル日本国大使館

図 2-5 農場内、農業用ハウスの屋根に設置された太陽光発電パネル



出典：公益財団法人地球環境センター

図 2-6 ソンギノハイルハン区の農場における太陽光発電と営農の複合モデルイメージ

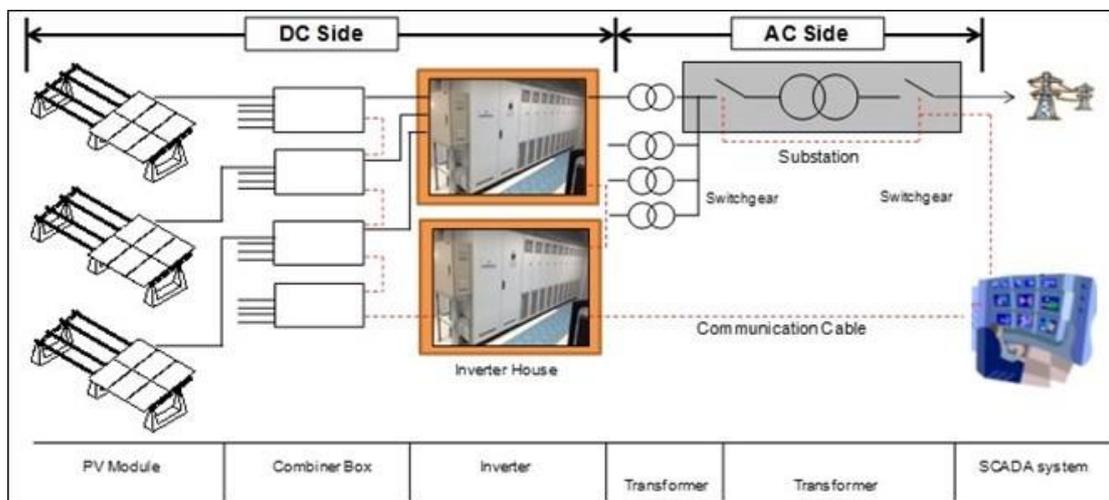
一方、チンギス・ハーン国際空港から南西に約 14km 程度に位置するフーシク・フンディ太陽光発電所は、広さ 48ha に 51,372 枚ものソーラーパネルが敷設されている。新設された 13.7km の長さの 110kV 送電線により、大きな電力消費が見込まれるチンギス・ハーン国際空港を含む、モンゴル国内で最も広範囲かつ電力需要の大きい中央送電システム (CES) へ電力を供給している。

一般的に、送電には発電所と電力利用施設の距離が長いほど多くの電力ロスが発生してしまうが、フーシク・フンディはチンギス・ハーン国際空港や市街地との近さから、効率の良い電力供給により電力ロスを抑えることができる点で、電力ロスの削減にも寄与している。



出典：Asian Development Bank

図 2-7 フーシク・フンディ太陽光発電所



出典：公益財団法人地球環境センター

図 2-8 フーシク・フンディの太陽光発電システム

2.5 ウランバートル市における電気・熱料金

前述 2.4 の表 2-4 より、ウランバートル市における暖房システムは中央暖房方式であるため、同市のエネルギー事情を反映した脱炭素型建築仕様を検討するため、電気・熱料金について調査した。

2.5.1 電気料金

ウランバートル市における電気料金を、表 2-11 および表 2-12 に示す。モンゴルは石炭が採れるため、エネルギー自給率が非常に高く、電気料金は安価となっているが、消費者区分や時間帯により異なっており、いずれも再生可能エネルギー課税が含まれている。

表 2-11 中央地方及び南地方の消費者別電気料金（一本建て税率、税抜）

(MNT/kWh)

消費者区分	料金
産業	
鉱業、製造業	167.78
その他産業、事業体および機構等	140.38
住宅	
1 か月の消費量が 150kWh 以下	110.28
1 か月の消費量が 150kWh 以上	130.08

再生可能エネルギー発電促進賦課税含（11.88MNT/kWh）

その他産業の契約容量：9,000 MNT/kWh/月

鉱業の契約容量：25,000 MNT/kWh/月

出典：Energy Regulatory Commission

表 2-12 利用時間帯別電気料金（税抜）

(MNT/kWh)

消費者区分	料金	
	鉱業	その他
産業		
シヨルダertime：午前 6 時～午後 5 時	167.78	140.38
ピーク時：午後 5 時～午後 10 時	287.88	221.68
オフピーク時：午後 10 時～午前 6 時	88.98	88.98
住宅		
シヨルダertime：午前 6 時～午後 9 時		116.18
オフピーク時：午後 9 時～午前 6 時		88.98

再生可能エネルギー発電促進賦課税含（11.88MNT/kWh）

出典：Energy Regulatory Commission

2.5.2 熱料金

ウランバートル市の企業・事業体、家庭用および工場などに適用する用途別熱料金を、表 2-13 及び表 2-14 に示す。例えば一般家庭としてのアパートの暖房は 3,421MNT/GJ（ギガジュール）とされているが、これは日本円で約 150 円/GJ であり、環境省調べで日本の一般家庭にて使用する年間電気量とその料金が 15～16GJ で 10 万円程度であることと比較すると、ウランバートルのアパート暖房の熱料金は安いことがわかる。

表 2-13 企業、事業体およびその他の組織に販売される熱料金

No	分類	単位	料金/税抜/
1	工場、企業、組織の熱	MNT/GJ	7,277.00
2	換気	MNT/GJ	3,703.00
3	オフィス用温水	MNT/人	5,955.00
		MNT/m3	2,060.00
4	技術的な温水（建物の制御された設計能力による）	MNT/GJ	3,703.00

出典：Energy Regulatory Commission

表 2-14 家庭用に販売する熱料金（付加価値税を除く）

No	分類		単位	料金（付加価値税なし）	
1	アパートの暖房 （寮、地下室、WS の部屋の暖房に適用）		MNT/m ²	506.00	
			MNT/GJ	3,421.00	
2	家庭用温水暖房	人数別	暖房シーズン中	MNT/人	1,870.00
			非暖房シーズン	MNT/人	2,806.00
	水の消費量による		MNT/m ³	1,632.00	
	測定による		MNT/GJ	3,421.00	
3	家庭用消費者向けの熱エネルギーサービスの料金				
3.1	最大 40 平方メートルの面積を持つ世帯		MNT/月	3,300.00	
3.2	面積が 41m ² から 80m ² の世帯		MNT/月	5,500.00	
3.3	面積が 81m ² を超える世帯		MNT/月	11,000.00	

出典：Energy Regulatory Commission

2.6 二酸化炭素の排出係数

ここでは、後述する脱炭素型モデル建物検討において温室効果ガス排出量の算定に活用するため、ウランバートル市内で稼働している火力発電所 3 か所について、それぞれ石炭消費量、CO₂ 排出量、CO₂ 排出係数を表 2-15 に示す。

表 2-15 ウランバートル市内の火力発電所からの CO₂ 排出量

細目	単位	第 2 火力 発電所	第 3 火力 発電所	第 4 火力 発電所	UB 市全体
石炭の年間消費量	i.tons	254	1,305.4	3,495.5	5055.0
発電による石炭消費量	千 t	201.9	676.3	2,315.5	3,193.7
エネルギー生産による石炭消費量	千 t	52.1	629.1	1,180.0	1,861.2
火力発電による CO ₂ 排出量	千 t-CO ₂	236.2	791.2	2,709.2	3,736.6
コージェネレーションによる CO ₂ 排出量	千 t-CO ₂	61.0	736.1	1,380.6	2,177.6
火力発電所からの CO ₂ 排出量	千 t-CO ₂	297.2	1,527.3	4,089.7	5,914.2
1kWh あたりの CO ₂ 排出量 （電力の排出係数）	kg- CO ₂ /kWh	1.49	0.75	0.68	0.75
分散型火力発電の 1GJ あたりの CO ₂ 排出量（熱供給の排出係数）	kg-CO ₂ /GJ	98.6	85.7	84.3	87.0

出典：Energy Regulatory Commission of Mongolia HP（2022 年 2 月時点）

第3章 ウランバートル市の能力向上支援

本章では、日本の ZEB、ZEH-M の概要、ウランバートル市と同じ寒冷地である札幌市の住宅・建築分野における施策や取り組みを整理し、具体的な取り組み事例をウランバートル市に共有することで、同市の住宅・建築分野に係る施策の推進と能力向上に貢献することを目的とする。

3.1 ZEB、ZEH-M の概要

経済産業省資源エネルギー庁「ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ(2015年12月)」で定義されている日本の ZEB (Net Zero Energy Building : ゼブ)、ZEH-M (Net Zero Energy House Mansion : ゼッチ・マンション) は、外皮の断熱性向上や効率的な設備・システムの導入により、快適な室内環境を維持しつつ大幅な省エネを実現した上で、再生可能エネルギーによる創エネにより、年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建築物である。建築物のうち、事務所、病院、ホテル、学校、物販店舗等を対象とするものを「ZEB」、戸建て住宅を対象とするものを「ZEH」、共同住宅を対象とするものを「ZEH-M」としている。ZEB は、ゼロエネルギーの達成状況に応じて、4 段階に分類されている。省エネ技術の導入により一次エネルギー消費量を基準値から 50%以上削減する「ZEB Ready」と、そこからさらに創エネ技術を加えて 75%以上を削減する「Nearly ZEB」と、100%以上を削減する「『ZEB』」がある。さらに、ZEB の達成が物理的に困難であった大規模な建物でも取り組みやすい判断基準としての「ZEB Oriented」は、延べ面積 10,000m² 以上の建物を対象として、建物の用途により、事務所、工場、学校などの場合は基準値から 40%以上の削減、ホテル、病院、百貨店、飲食店などの場合は基準値から 30%以上の削減を基準として定めている。ZEH-M も同様に、建物内のすべての住戸を対象に、ゼロエネルギーの達成状況に応じて、省エネ技術の導入により一次エネルギー消費量を基準値から 20%以上削減する「ZEH-M Oriented」と、そこからさらに創エネ技術を加えて、50%以上を削減する「ZEH-M Ready」、75%以上を削減する「Nearly ZEH-M」、100%以上を削減する「『ZEH-M』」に分類される。

ZEB、ZEH-M を実現するための技術は、消費エネルギーを減らすための技術（高効率設備等による省エネ技術）と、エネルギーを作るための技術（太陽光発電等による創エネ技術）に分けられる。さらに、BEMS（ビル・エネルギー管理システム）の活用により、エネルギー使用量を計測し見える化を図り、空調や照明設備等を制御することにより、継続的にエネルギー消費量を削減することができる。



出典：ZEB PORTAL、環境省

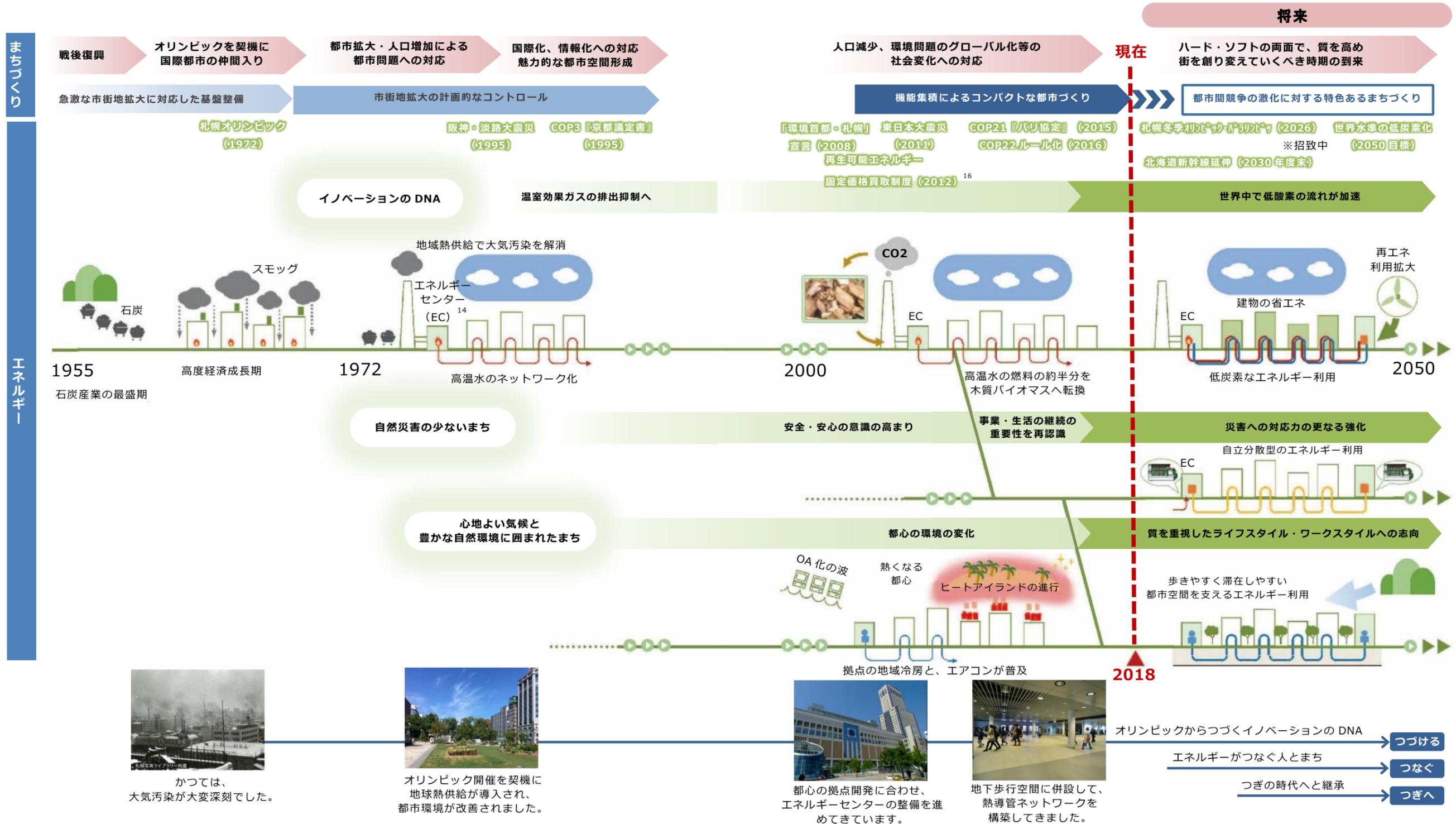
図 3-1 ZEB、ZEH-M を実現するための技術

日本では、2050年カーボンニュートラル宣言（2020年10月表明）や、パリ協定におけるNDC（国が決定する貢献）として、2030年度に温室効果ガスの46%削減（2013年度比）を目指すことを宣言したことを受けて、「第6次エネルギー基本計画（2021年10月閣議決定）」では、「既築住宅・建築物についても、省エネルギー改修や省エネルギー機器導入等を進めることで、2050年に住宅・建築物のストック平均でZEH・ZEB基準の水準の省エネルギー性能が確保されていることを目指す」目標を掲げている。同計画では、公共建築物における率先した取り組みを図ることが明記されており、2016～2021年間に、補助事業を通じて48件の公共建築物のZEB化を実現している。一方で非住宅建築物全体に占めるZEBの割合が0.42%と低い水準に留まっている現状もあり、今後も実証事業や普及拡大に向けた支援が図られる予定である。

3.2 札幌市のエネルギー施策の変遷

3.2.1 エネルギー施策の変遷

札幌市が位置する北海道では、石炭が採掘可能であることから1950年代に石炭産業が最盛期を迎えた過去がある。札幌市では、高度経済成長期には石炭による大気汚染が深刻であった。1972年の冬季オリンピックの開催を契機に地域熱供給システムの整備を進め、石炭燃料から天然ガスなどへの転換を行ってきた。また、近年では、木質バイオマスや雪氷熱などの再生可能エネルギーも活用している。これらのエネルギー変遷より、札幌市は、モンゴル国が現在直面している課題に先行して対応を図ってきた都市である。



出典：「都心エネルギーマスタープラン 2018-2050」札幌市

図 3-2 札幌市のエネルギー施策の変遷

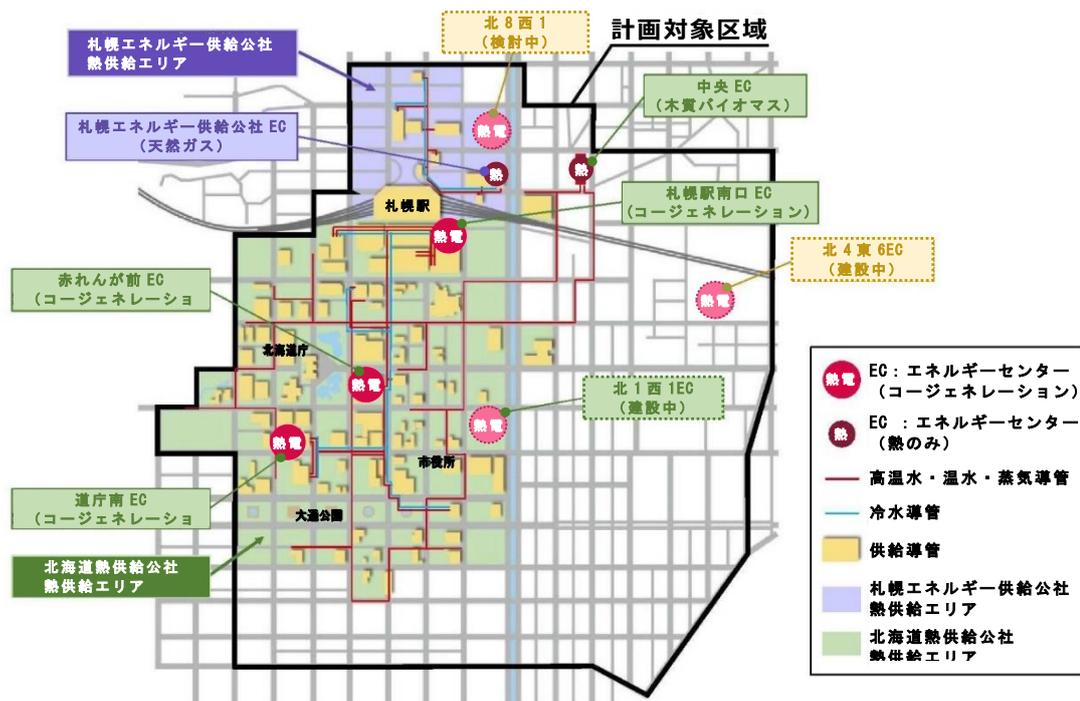
3.2.2 現在の地域熱供給システム

札幌市都心部では、1972年の冬季オリンピック開催に向けた煤煙対策を契機に地域熱供給が導入され、その後も「環境負荷の低いエネルギー有効利用都市の構築」をまちづくりのテーマとして熱供給基盤の整備を進め、国内では大規模である約130haのエリアにおいて様々な用途の建物に熱供給が展開されている。近年は木質バイオマスや雪冷熱などの再生可能エネルギーを積極的に活用すると共に、札幌駅南口をはじめとするエネルギーセンターへの天然ガスコージェネレーションの導入やプラントのネットワーク化など、効率的なエネルギー利用と環境性の向上を目指した取り組みが進められている。2018年時点で、供給エリア内の建物の接続率は、件数比で22%、延床面積比で57%であり、比較的大規模な建物を中心に導入が進んでいる。札幌市都心部のエネルギー基盤である地域熱供給に、建替に合わせてより多くの建物が接続していくことが低炭素化を図るうえで重要となる。

表 3-1 札幌市都心の熱供給事業（2018年時点）

事業者	(株)札幌エネルギー供給公社	(株)北海道熱供給公社
地区名	札幌駅北口地区	都心地区
供給面積	22ha	106ha
供給件数	10件	86件
主な熱源	天然ガス、電力、雪冷熱、フリークーリング	天然ガス、木質バイオマス、フリークーリング

出典：「都心エネルギーマスタープラン 2018-2050」札幌市



融雪槽の雪を冷水熱源に利用
(札幌駅北口地区)



木質バイオマス利用
(中央 EC)



天然ガスコージェネ
(札幌駅南口 EC)

出典：「都心エネルギーマスタープラン 2018-2050」札幌市

図 3-3 現況の地域熱供給ネットワークの全体像

3.3 札幌市の住宅・建築分野における施策・取り組み

2020年に札幌市は、市内から排出される温室効果ガスを2050年には実質ゼロにする「ゼロカーボンシティ」を宣言し、2021年には「札幌市気候変動対策行動計画」を策定した。これは、札幌市におけるまちづくりの最上位総合計画である「札幌市まちづくり戦略ビジョン（2013年2月策定）」で定める方針や、「第2次札幌市環境基本計画（2018年3月策定）」、気候変動対策に関する国内外の動向及び科学的知見を踏まえて策定されたものであり、2050年を見据えた2030年の目標として、温室効果ガス排出量を2016年比で55%削減、目標削減量として537万t-CO₂を掲げている。

省エネ分野における2030年の具体的な成果指標は、新築住宅の80%がZEH、ZEH-M相当以上、新築ビル等の80%がZEB相当以上となっている。また、灯油や重油をエネルギー源とする機器からの転換を進め、住宅においては、電気やガスをエネルギー源とする暖房機器の導入割合が約8割、給湯機器の導入割合が約7割、LED等の高効率照明の普及率が100%であることも成果指標として示されている。これらの取り組みの進捗状況や温室効果ガス排出量などは、毎年度公表される予定である。

表 3-2 施策別の取り組みと目標削減量

施策	取り組み	目標削減量
[省エネ]徹底した省エネルギー対策	(1)ZEH の推進	約 174 万 t-CO2
	(2)ZEB の推進	約 125 万 t-CO2
	小計	約 299 万 t-CO2
[省エネ]再生可能エネルギーの導入拡大	(1)建築物等への再生可能エネルギー導入の推進	約 218 万 t-CO2
	(2)地域への再生可能エネルギー導入の推進	
	小計	約 218 万 t-CO2
[移動]移動の脱炭素化	(1)ゼロエミッション自動車の普及推進	約 132 万 t-CO2
	(2)公共交通利用の推進	
	(3)コンパクトな都市の推進	
	小計	約 132 万 t-CO2
[資源]資源循環・吸収源対策	(1)省資源・資源循環の推進	約 7 万 t-CO2
	(2)森林等の保全・創出・活用の推進	約 0.2 万 t-CO2
	小計	約 7 万 t-CO2
[行動]ライフスタイルの変革・技術革新	(1)ライフスタイルの変革	—
	(2)技術革新	
	合計	約 656 万 t-CO2

出典：「札幌市気候変動対策行動計画（2021年、札幌市）」を元に調査団作成

札幌市は、建築物の耐用年数の観点から、将来的に長期にわたりCO2排出量に影響を及ぼす住宅・建築物のZEB、ZEH化を計画的に進めている。明確な目標を掲げ、次節以降に示す独自の制度や補助金などの支援を行いつつ、建築事業者への技術講習や、市民への情報発信に至る札幌市の多面的な取り組みは、ウランバートル市の住宅・建築分野における施策の推進にとっても有用である。

(1) 札幌版次世代住宅制度

札幌市は、家庭部門から排出されるCO2の割合が37%と最も多く、このうち暖房によるエネルギー消費に起因するものが、日本国内の他地域に比べて多いという特徴がある。住宅の断熱性能は、国の省エネルギー基準により定められているが、積雪寒冷地である札幌市では十分ではないため、2012年から「札幌版次世代住宅基準」により、国の基準を上回る高断熱・高气密住宅の基準を定め、家庭で使用される暖房エネルギー消費量の削減とCO2の削減を図っている。

表 3-3 札幌版次世代住宅基準（新築住宅）

札幌版次世代住宅の等級	外皮平均熱貫流率 (UA 値)[W/(m ² K)]	一次エネルギー消費量(全体)	一次エネルギー消費量(暖房+換気)	相当隙間面積 (C 値)[cm ² /m ²]
トップランナー	0.18 以下	等級 5	35%以下	0.5 以下
ハイレベル	0.22 以下	等級 5	45%以下	0.5 以下
スタンダードレベル	0.28 以下	等級 5	60%以下	1.0 以下
ベーシックレベル	0.36 以下	等級 5	75%以下	1.0 以下
ミニмумレベル	0.46 以下	等級 4	90%以下	1.0 以下

出典：札幌市ホームページ「札幌版次世代住宅基準について」より調査団作成

札幌版次世代住宅の普及は、「札幌市気候変動対策行動計画」の中で重点的な取り組みの一つに位置付けられており、この制度には「認定制度」と「補助制度」がある。認定制度は、建築主等の申請に基づき、住宅の断熱性能等が札幌版次世代住宅基準に適合しているかを審査し（適合審査）、適合する住宅を札幌版次世代住宅として認定するものである。さらに市が認定した札幌版次世代住宅には、住宅性能を表示する性能表示ラベルと評価書が交付され、申請により性能表示ラベルやロゴマークを広告等に使用することも許可している。性能表示ラベルやロゴマークは住宅性能の見える化、品質の明確化を図るものであり、札幌版次世代住宅の普及に活用されている。補助制度は、市内に新築する戸建てで札幌版次世代住宅基準の等級がスタンダードレベル以上の住宅について、建築費用及び適合審査に係る費用の一部として 50～160 万円を補助するものである。

(2) ZEB・ZEH-M 設計支援補助金

「札幌市気候変動対策行動計画」では、建築事業者により意欲的に ZEB、ZEH 化の取り組みがなされ供給されること、市民により ZEB、ZEH 化のメリットが理解され選択されることを重点的な取り組みに掲げている。この方針により札幌市は、ZEB や ZEH-M の建設に必要な設計費の上乗せ部分に相当する費用として、建築主等に 60～300 万円を補助する支援を行っている。

表 3-4 ZEB、ZEH-M 設計支援補助額

ZEB 延べ面積が 300m ² 以上 2000m ² 未満	ZEB 延べ面積が 2000m ² 以上	ZEH-M 延べ面積が 300m ² 以上 2000m ² 未満	ZEH-M 延べ面積が 2000m ² 以上
150 万円	300 万円	60 万円	100 万円

出典：札幌市ホームページ「ゼロエネルギー・ビル (ZEB)・ゼロエネルギー・マンション (ZEH-M) 設計支援補助金」より調査団作成

上記以外にも、札幌市では再エネ・省エネ機器の導入に際して、下記のような補助金制度を設けている。

表 3-5 再エネ・省エネ機器導入補助金制度

機器	補助額、機器要件
地中熱ヒートポンプシステム	<p>補助額：20万円（定額）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地中の熱（エネルギー）をヒートポンプシステムで汲み上げ、暖房（冷房含む）、給湯用のエネルギーとして利用するシステムであること ・システムを構成する機器は、未使用品であること
木質バイオマーストープ	<p>補助額：5万円（定額）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木質ペレットを燃料とする暖房機であること ・不燃材で形成された独立した暖房機であり、燃焼部については密閉できること ・排気ファンや煙突により煙を屋外へ排気できる構造であること。 ・薪を燃料として利用できない構造であること(薪ストーブとの併用は不可) ・本体価格は税抜き10万円以上であること ・未使用品であること(中古品は補助対象外)
太陽光発電	<p>補助額：1kWあたり3万円</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設又は新設の蓄電設備(定置用蓄電池、又はEV(電気自動車))と接続すること ※定置用蓄電池と接続する場合には、当該補助対象機器の定置用蓄電池の要件を満たしていること ※EVと接続する場合にはV2H充電設備があることが条件。「V2H(ヴィークル・トゥ・ホーム)充電設備」とは、電気自動車等と住宅との間で相互に電力を供給することができる設備のこと ・太陽光モジュールの出力の合計が1.5kW以上であること ・発電した電気を全量売電せず、少なからず自家消費していること(余剰型配線であること) ・JET(一般財団法人電気安全環境研究所)の認証品等であり、北海道電力ネットワーク株式会社の電力系統に連系できること ・未使用品であること(中古品は補助対象外)
定置用蓄電池	<p>補助額：1kWあたり2万5千円</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設又は新設の太陽光発電設備と接続すること ・リチウムイオン蓄電池を使用した製品(バインド電池含む)であること（鉛蓄電池のみで構成された製品は補助対象外） ・蓄電池容量が2.0kWh以上であること ・JET(一般財団法人電気安全環境研究所)認証品等であり、北海道電力ネットワーク株式会社の電力系統に連系できること ・未使用品であること。(中古品は補助対象外)
家庭用燃料電池（エネファーム）	<p>補助額：8万円（定額）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料電池ユニットと貯湯ユニットで構成される燃料電池システムであること ・使用する燃料がマイナス15度の環境下でも安定した動作をする耐寒性能を備えていること ・JIA(一般財団法人日本ガス機器検査協会)の型式認証された製品であること ・未使用品であること(中古品は補助対象外)

出典：札幌市提供資料「札幌市におけるSDGs達成に向けた取組」より調査団作成

(3) 札幌市建築物環境配慮制度（CASBEE 札幌）

札幌市は「生活環境の確保に関する条例」により事務所ビルやマンションなどの建築物の新築や改修を行う建築主に対し、省エネルギー、省資源、緑化、雪処理など環境配慮に努めることを定めている。具体的には、「札幌市建築物環境配慮制度（CASBEE札幌）」によ

り、床面積300m²以上の新築・増改築を行う際には「建築物環境配慮計画書」の提出を義務づけている。CASBEE札幌は、国の「建築環境総合性能評価システム（CASBEE）」の評価指標を基本とし、建築物の環境品質・性能（Q：Quality）と建築物が外部に与える環境負荷（L：Load）の2つに分けて評価を行う。さらに札幌市の地域性を反映し、特に表3-6に示す4項目を重点評価項目に位置づけ、全92項目について環境配慮の取り組みを総合的に評価する。

表3-6 CASBEE札幌の重点評価項目

重点評価項目	詳細
省エネルギー（10項目）	<ul style="list-style-type: none"> ・気密性の高い窓などによる建物全体の断熱性能の向上 ・高効率な冷暖房機の利用 ・太陽光や地中熱の利用 など
省資源等（20項目）	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル素材や道内産の木材の利用 ・壁材や設備機器の長寿命化 ・雨水利用 ・フロンなどの排出抑止 など
緑化（4項目）	<ul style="list-style-type: none"> ・建物周辺や屋上・外壁面の緑化 ・建物外観の景観への配慮 など
雪処理（3項目）	<ul style="list-style-type: none"> ・除排雪に対する取り組み ・集雪場の確保 など

出典：札幌市建築物環境配慮制度パンフレットより調査団作成

評価の結果はS～Cの5段階にランク付けされ、「札幌市建築物環境性能表示ラベル（環境性能表示ラベル）」により、建物内での掲示や広告に使用することができる。これらCASBEE札幌に係る評価ソフトや建築物環境配慮計画書の作成マニュアルはすべて札幌市のウェブサイトに公開されている。またCASBEE札幌の届出情報や評価結果シートなども公表されており、市民や事業者の環境意識の向上にも貢献している。制度を開始した2007年から2022年2月までの届出件数は、1,058件に達している。

3.4 日本における ZEB、ZEH-M の実施事例

日本での具体的な ZEB、ZEH-M の実施事例を以下に示す。寒冷地においては、エネルギー消費における空調の割合が大きく、また利用が長期間に及ぶことから、その大幅な削減には、事例①②に示すような高効率空調システムの導入と同時に、外皮性能を高め、再生可能エネルギーを活用する複合的な取り組みが重要である。また、事例④に示す地中熱と太陽熱のハイブリッド型の熱供給システムは、再生可能エネルギーの活用を進めるウランバートル市にとって、今後の導入検討に資する事例である。なお、以下の事例はモンゴル語に翻訳し、第4回ワークショップ開催時にウランバートル市の関係者に配布した。

事例①	ZEB
名称：	株式会社アリガプランニング社屋ビル（北海道札幌市）
北海道で初めて ZEB を実現した建物であり、BELS の最高ランク星 5 つにも認定されている。地中熱ヒートポンプを利用した冷暖房、融雪技術により省エネを図り、窓は Low-E 複層ガラス、照明は全館 LED、照明・空調制御や BEMS の導入により更なる効率化を図っている。屋上と壁面に設置した太陽光パネルにより、最大約 50kW の発電が可能。	

建物の外観と内観：



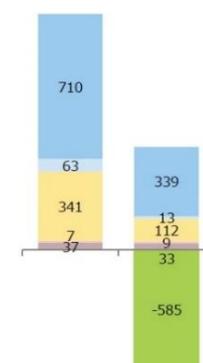
建物概要：	建物用途：事務所等 構造：鉄骨造 階数：地上 4 階、地下なし	延床面積：644m ² 竣工年：2018 年 新築／改築：新築
-------	---------------------------------------	--

導入設備：

省エネ (パッシブ技術)	外壁	吹付け硬質ウレタンフォーム断熱材 125mm
	屋根	吹付け硬質ウレタンフォーム断熱材 150mm
	窓	Low-E 複層ガラス
省エネ (アクティブ技術)	空調 (熱源)	地中熱ヒートポンプ
	空調 (システム)	全熱交換機システム、床暖房、ファンコイルユニット、床吹き出し空調システム
	換気 (システム)	温度制御
	照明 (機器)	LED 照明器具
	照明 (システム)	人感検知制御、明るさ検知制御、タイムスケジュール制御
	管理システム	BEMS (設備間統合制御システム、負荷コントロール)
創エネ	再生可能エネルギー	太陽光発電 (50kW)、リチウムイオン蓄電池

導入効果：

	1 次エネルギー消費量 (MJ/年 m ²)		BPI/BEI
	基準値	設計値	
PAL(外皮性能)	480	272	0.57
空調	710.27	339.05	0.48
換気	62.55	13.04	0.21
照明	340.65	111.61	0.33
給湯	7.12	9.02	1.27
昇降機	37.27	33.13	0.89
コージェネ発電量	0.00	0.00	-
創エネ	0.00	-584.50	-
その他	186.95	186.95	-
合計	1,334.81	108.30	0.09
合計創(エネ含まず)	1,334.81	692.80	0.52



基準値 設計値

出典：株式会社アリガプランニング HP、ZEB リーディングオーナー導入実績
(一般社団法人環境共創イニシアチブ)

事例②	ZEB Ready
名称：	介護老人保健施設・介護付有料老人ホームオー・ド・エクラ（宮城県仙台市）
施設内はオール電化されており、地中熱ヒートポンプの利用をベースに、高性能な断熱素材やガラスにより外皮性能を高め、さらに高効率の給湯器や空調機、LED照明等の機器を制御するシステムを取り入れている。	

建物の外観：



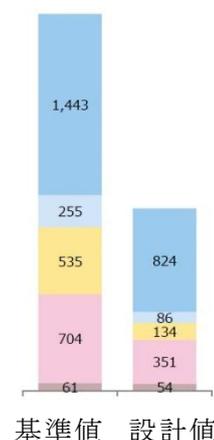
建物概要：	建物用途：病院等 構造：RC造 階数：地上6階、地下なし	延床面積：8,791m ² 竣工年：2018年 新築／改築：新築
-------	------------------------------------	---

導入設備：

省エネ (パッシブ技術)	屋根	ウレタンフォーム断熱材
	窓	Low-E 複層ガラス
	遮蔽・遮熱	庇
省エネ (アクティブ技術)	熱源	地中熱ヒートポンプ
	空調(システム)	高効率エアコン、高効率ビル用マルチエアコン、全熱交換機システム、床輻射冷暖房システム、流動可変制御システム
	照明(機器)	LED照明器具
	照明(システム)	人感検知制御、明るさ検知制御、タイムスケジュール制御
	給湯(機器)	ヒートポンプ給湯機
	給湯(熱源)	地中熱ヒートポンプ
	昇降機	VVVF制御
	その他	第二次トップランナー変圧器
管理システム	BEMS(設備間統合制御システム、負荷コントロール)	

導入効果：

	1次エネルギー消費量 (MJ/年 m ²)		BPI/BEI
	基準値	設計値	
PAL(外皮性能)	744	596	0.81
空調	1442.65	824.32	0.58
換気	254.65	86.3	0.34
照明	534.96	133.64	0.25
給湯	704.08	351.38	0.50
昇降機	61.20	54.41	0.89
コージェネ発電量	0.00	0.00	-
創エネ	0.00	0.00	-
その他	109.00	109.00	-
合計	3,106.54	1,559.05	0.51
合計創(エネ含まず)	3,106.54	1,559.05	0.51



出典：介護老人保健施設・介護付有料老人ホームオー・ド・エクラ HP、ZEB リーディングオーナー導入実績（一般社団法人環境共創イニシアチブ）

事例③	Nearly ZEH-M
名称：	ライオンズ芦屋グランフォート（兵庫県芦屋市）
<p>日本で初めて Nearly ZEH-M を実現した集合住宅であり、BELS の最高ランク星 5 つにも認定されている。躯体部分と開口部の断熱性能を高め、LED 照明等の高効率設備の導入により省エネを図り、創エネでは戸別の太陽光パネルと高い発電効率の燃料電池を設置。HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）により電力使用量が見える化し、利用者の省エネ意識の向上に役立っている。太陽光発電、燃料電池、蓄電池は、創エネのみならず災害時のライフライン確保も考慮して設計されている。</p>	

建物の外観：



建物概要：	建物用途：共同住宅 構造：鉄筋コンクリート造 階数：地下：1階、地上：5階、全79戸	延床面積：4,663m ² 竣工年：2019年 新築／改築：新築
-------	--	---

導入設備：

省エネ (パッシブ技術)	躯体部分	内断熱工法による断熱補強(UA 値 0.6W/m ² K 以下)
	開口部	アルミ・樹脂複合サッシ、アルゴンガス充填 Low-E 複層ガラス (U 値 1.9W/m ² K) 
省エネ (アクティブ技術)	設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ LED 照明 ・ 節水機器（台所、浴室、トイレ） ・ 高断熱浴槽 ・ エネルギー使用量の見える化（me-eco）
創エネ	再生可能エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光発電（50kW） -太陽光パネル：8～12枚／戸（全733枚） -供給能力：2.34～3.51kW -住戸毎の年間発電能力：2,508～3,773kWh/年 ・ 次世代燃料電池（エネファーム type S） ・ 蓄電池（1kWh）  

導入効果：各種の高効率な設備・機器の導入により、省エネ率は32%、太陽光発電による創エネは48%となり、全住戸平均で約80%の一次エネルギー消費量を削減し、「Nearly ZEH」を達成している。光熱費削減額では、1戸当たり約134,000円／年と試算されている。

出典：ライオンズ芦屋グランフォート HP、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス支援事業調査発表会 2019（経済産業省、一般社団法人環境共創イニシアチブ）

事例④	地中熱・太陽熱のハイブリッド型の熱供給システムの導入事例
名称：	るすつ子どもセンターぼっけ（北海道虻田郡）
建替えに伴う設備更新により、一時エネルギー消費を従来システムの約 53%減を実現した施設である。暖房は地中熱ヒートポンプ、換気は地中熱を利用するアースチューブ及び空気調和機、そして太陽熱を利用した給湯システムを採用している。また躯体の大部分に、地元北海道産のレンガや木材などの建材を多用していることも特徴である。	

建物の外観と内観：



建物概要：	建物用途：児童福祉施設等 構造：木造平屋建て	延床面積：1,500m ² 竣工年：2015年、新築
-------	---------------------------	--

導入設備：

施設は災害時の避難所としての機能もあることから、断熱は超高断熱仕様（Q 値約 0.93W/m²K 相当）である。通常の施設使用では、夜間にヒートポンプを稼働させて躯体に蓄熱し、日中は躯体の放熱等で暖房、冷房は熱源を使用せずに地中の冷熱を直接利用するフリークーリングを採用している。給湯は、太陽熱集熱器に高効率な真空管式を採用し、日中の太陽熱を活用し、電力負荷の平準化と経済性を両立している。照明は LED 照明とコントロールシステムの導入と共に、ハイサイド窓、トップライトにより積極的に自然光を取り込む工夫もされている。

省エネ (パッシブ技術)	屋根	硬質ウレタン発泡板 200mm
	外壁	グラスウール 200mm
	床	ポリスチレン発泡板 100mm
	窓	木・アルミ複合サッシ、アルゴンガス充填 Low-E 複層ガラス (U 値 1.22W/m ² K)
省エネ (アクティブ技術)	空調 (熱源)	地中熱ヒートポンプ (定格暖房出力 28kWx3 台)
	空調 (システム)	(暖房) 地中熱交換機、蓄熱式電気床暖房 (冷房) ファンコイル：地中熱の冷熱を直接利用するフリークーリング
	換気 (システム)	アースチューブと地下ピットを利用し、導入外気を予熱・予冷後、全熱熱交換換気装置を通り給気。
	調湿・脱臭 (システム)	地下ピット内に珪質頁岩 (稚内産、26.5t) と木炭 (下川産、2.7t) を敷き詰め、導入外気の調湿脱臭
	給湯 (熱源)	真空ガラス管型太陽集熱器 (3m ² x2 基) で予熱し、夜間に給湯用空気熱源ヒートポンプで加熱
	給湯 (システム)	業務用ヒートポンプ給湯機 (7.2kWx1 台)、貯湯タンク
	照明 (機器)	LED 照明器具
	照明 (システム)	無線コントロールシステム (人感検知制御、明るさ検知制御、タイムスケジュール制御)

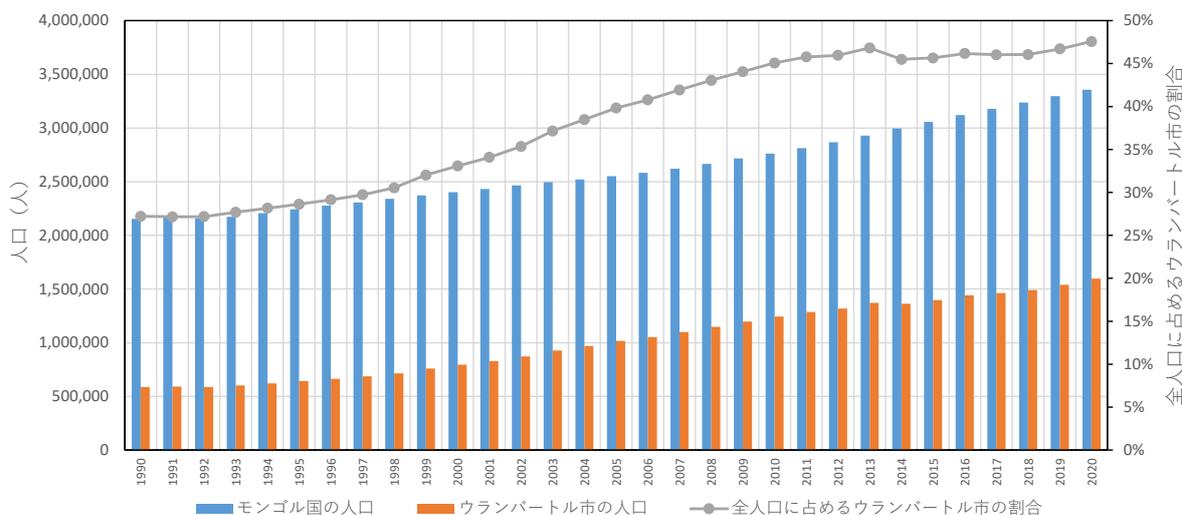
出典：センターレポート第 197 号（一般財団法人北海道建築指導センター）
るすつ子どもセンターぼっけ施設概要資料その 3（留寿都村）
地中熱ヒートポンプシステム改訂 2 版（北海道大学環境システム工学研究室）

第4章 脱炭素型モデル建物の検討

4.1 モンゴルの建築物の仕様・エネルギー消費状況

4.1.1 モンゴルの人口推移・GHG 排出量の現状

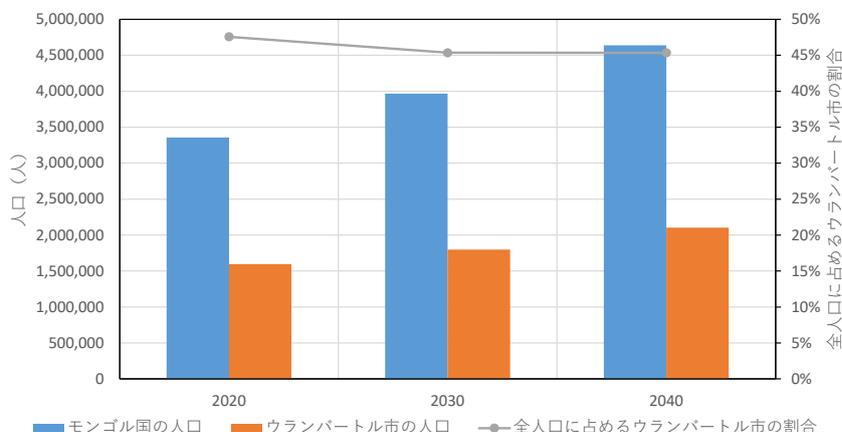
モンゴルは経済発展により、2000年以降に急激な人口増加が見られ、約240万人であった人口は、2020年には約335万人に増加している。また、地方からウランバートルに人口が流入しており、ウランバートルの人口は2000年に約70万人であったが、2020年には160万人と急激に増加し、20年間で2倍以上の人口となっている。全国の人口に占めるウランバートル市の人口は2000年の29%から2020年には48%となっており、人口の集中が顕著になっている。



出典：モンゴル統計局データベース

図 4-1 モンゴルとウランバートルの人口推移

また、将来推計においても、2030年、2040年に向けて、モンゴル国およびウランバートル市ともに人口増加が続く予測となっている。ウランバートル市の人口は、2040年には200万人を超える予測となっている。



出典：NOSK 資料（推計値）

図 4-2 モンゴルとウランバートルの将来人口推計

モンゴルにおける主な燃料は、安価に入手できる石炭であり、発電、暖房や炊事等における燃料消費量の90%以上を占めている。下表の通り、温室効果ガス排出量は、2000年以降、増加傾向にある。今後、省エネや再エネ導入などによる削減対策を促進しない場合、人口増加などによる温室効果ガス排出量がさらに増えることが予想される。

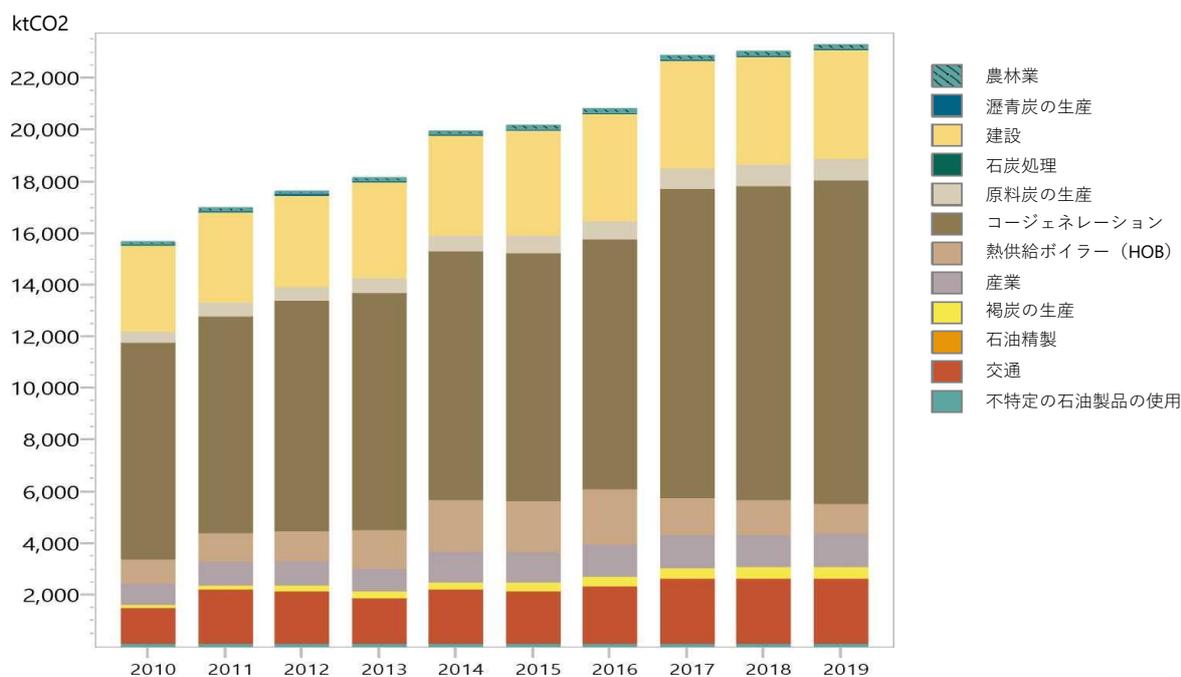


(1900-2016年、単位：MtCO₂e)

出典：MET 2018

図 4-3 モンゴルの温室効果ガス排出量と吸収量の推移

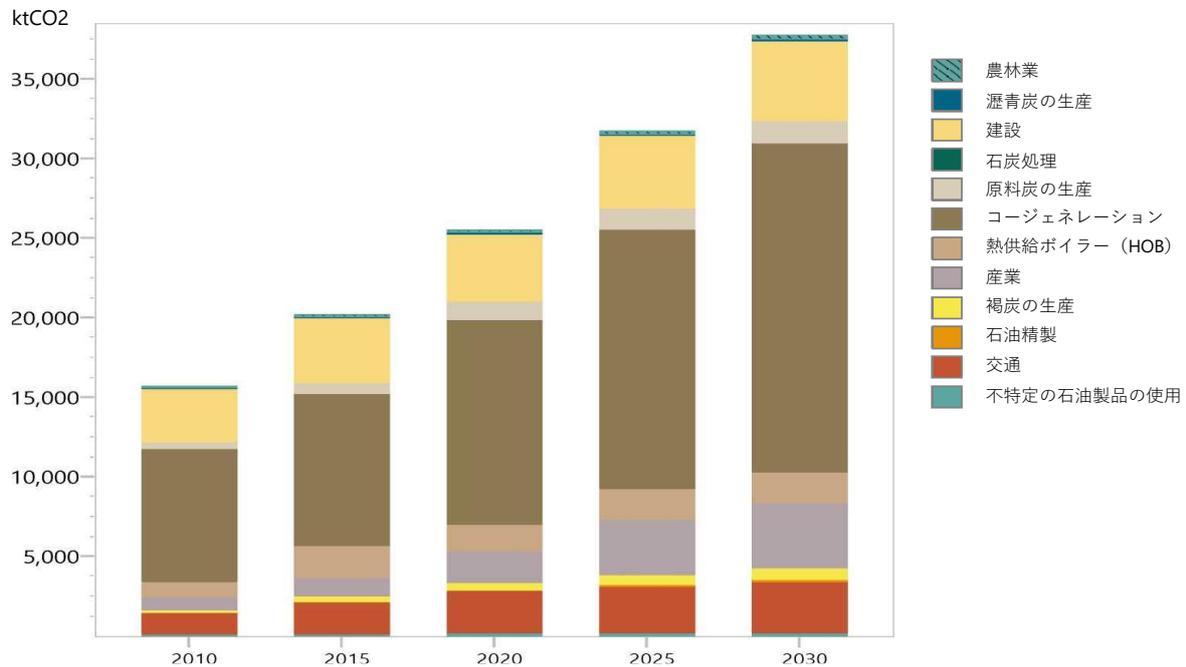
温室効果ガスの排出構成では、下図に示すとおり、熱電併給の火力発電所（コージェネレーション）、熱供給ボイラ（HOB）などが多くの割合を占めている。そのため、家庭や事業所における省エネ導入及び再生可能エネルギーの導入が促進されれば、エネルギー部門の温室効果ガス排出量の大幅な削減が期待できる。



出典：MONGOLIAN LEAP MODEL (Low Emissions Analysis Platform)

図 4-4 モンゴルの温室効果ガス排出の構成 (2010～2019年)

また、以下に将来的なモンゴル国における温室効果ガス排出量の推移予測を示す。熱電併給の火力発電所（コージェネレーション）や産業による排出量が今後も増加する傾向にあり、産業や家庭などでのエネルギー消費について、対策を講じていく必要がある。



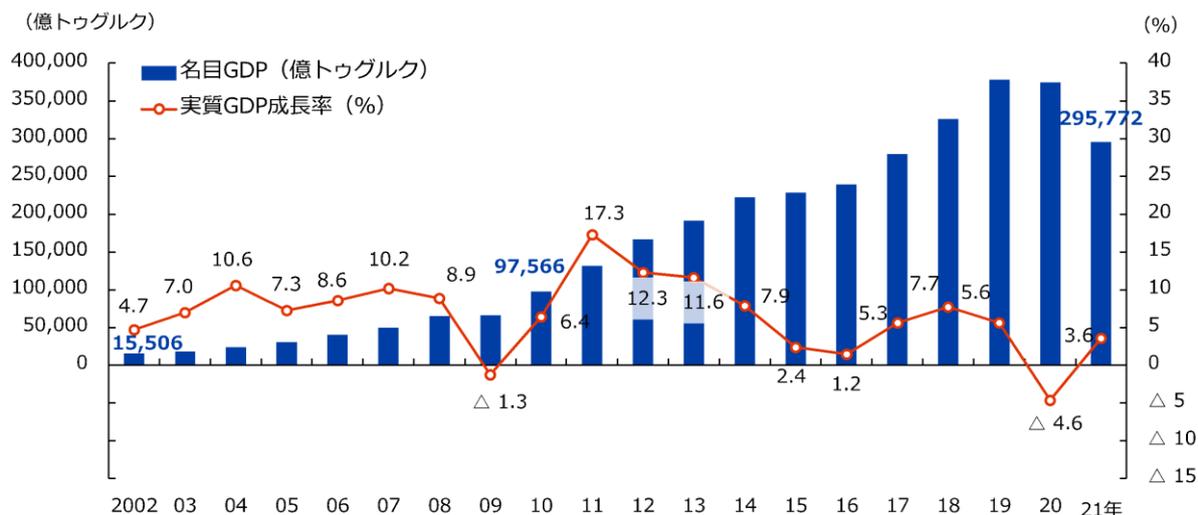
出典：MONGOLIAN LEAP MODEL (Low Emissions Analysis Platform)

図 4-5 モンゴルの温室効果ガス排出量の将来予測

4.1.2 モンゴルの建設分野市場の状況

(1) モンゴルの経済動向

モンゴル経済は、2011年には実質 GDP 成長率が 17%を超える水準を達成している。しかし、その後、鉱物資源価格の下落等の影響を受けて低下して、さらに 2015年の実質 GDP 成長率においては、2014年の 7.9%から 2.4%へと大幅に低下した。その主な要因は、外国からの直接投資の不調、鉱業セクターの資源価格の低迷と中国経済の後退による輸出減少などによる経済の減衰が挙げられる。また、2016年以降、実質 GDP 成長率は回復基調を示していたが、2020年には新型コロナの影響もあり、実質 GDP 成長率がマイナス成長に落ち込んでいるが、2021年は若干回復傾向にある。



出典：モンゴル経済概況調査レポート（2021年12月）、日本貿易機構
 図 4-6 モンゴルの名目 GDP および GDP 成長率の推移

(2) モンゴルの建設市場

建設投資額や建設資材の生産は、2000年から2014年まで増加基調を示している。しかしながら、2015年には外国からの直接投資の不調、鉱業セクターの資源価格の低迷と中国経済の後退を受け公共投資が減少し、2015年の建設投資額は約165億円(447,166百万MNT)に減少している。

表 4-1 モンゴルの建設投資額と主な建設資材の生産動向

投資額、製品生産額等	単位	生産量			
		2012年	2013年	2014年	2015年
国内建設投資額	百万MNT	1,307,864	1,102,839	1,146,557	447,166
住宅建設額	同上	389,418	856,903	1,430,863	N.A.
新築アパート	戸数	11,413	18,012	22,546	N.A.
住宅ストック増加	千m ²	531	906	1,604	1,263
セメント	千t	349.4	258.8	411.3	410.1
コンクリート、モルタル	千m ³	176.2	317.8	432.6	129.0
粘土性煉瓦	百万個	44.5	66.5	58.9	41.5
材木	千m ³	14.2	9.8	16.4	15.2
木製ドア・窓	千m ²	7.6	12.4	14.6	7.8
建設資材輸入額	百万US\$	279	336	330	N.A.

出典：モンゴルビジネス環境ガイド 2017年版

建設費の高騰要因としては、2015年には、「都市及び定住地の再開発に関する法律」が国会承認され、ゲル地域の開発事業、低所得者に対する新しい住宅政策の検討等が進められていることが考えられる。ゲル地区のアパート化事業で建設された新しいアパートでは、住民は上下水、温水、暖房に接続され、生活改善がされている。また、生活に必要な諸機能が近接した効率的で持続可能な都市を目指した都市政策により、今後、インフラ整備や住宅建設が促進し、建設投資も増加すると考えられる。

実際にモンゴル国家統計局のデータに基づくと、建設資材として代表的なセメント生産

量が表 4-1 では 410.1 千 t であるのに対して、2020 年では 1182.2 千 t と 3 倍近くに増加しており、建設需要が高まっているといえる。



(ウランバートル第 7 地区、2016 年 9 月)

図 4-7 ゲルのアパート化事業で建設された新しいアパート

4.1.3 モンゴルにおける建築に関する基準の整理

(1) モンゴルの建築基準・省エネ基準

① 建築基準

モンゴルの建築に関する法制度の枠組みは、建設法（Construction Law 2016）を基に規定されている。建設法の章立ては以下の通りである。

表 4-2 建設法（Construction Law 2016）の構成

章	題名	論文
1	一般規定	1-8
2	工事、建物及び構造物の分類	9-10
3	建設活動の基本要件	11-17
4	建設活動の免許と建設許可 ※建築物の新築等に際しては、建設許可の取得を義務付けている。	18-30
5	建設セクターの管理と組織	31-35
6	建設活動への利害関係者	36-46
7	州の技術検査	47
8	建物及び構造物の証明書 ※竣工後には、建設証明書の取得を義務付けている。	48-49
9	その他	50

上記の建設法に基づき、建設・都市開発省がモンゴル建設基準を作成している。モンゴル建設基準は、Construction Codes of Mongolia、Construction 3 Regulations and Other Guidance Documents、及び Administrative Documents で構成され、全部で約 450 本の文書がある。また規格類は、674 本のモンゴル規格 Standard に規定されている。

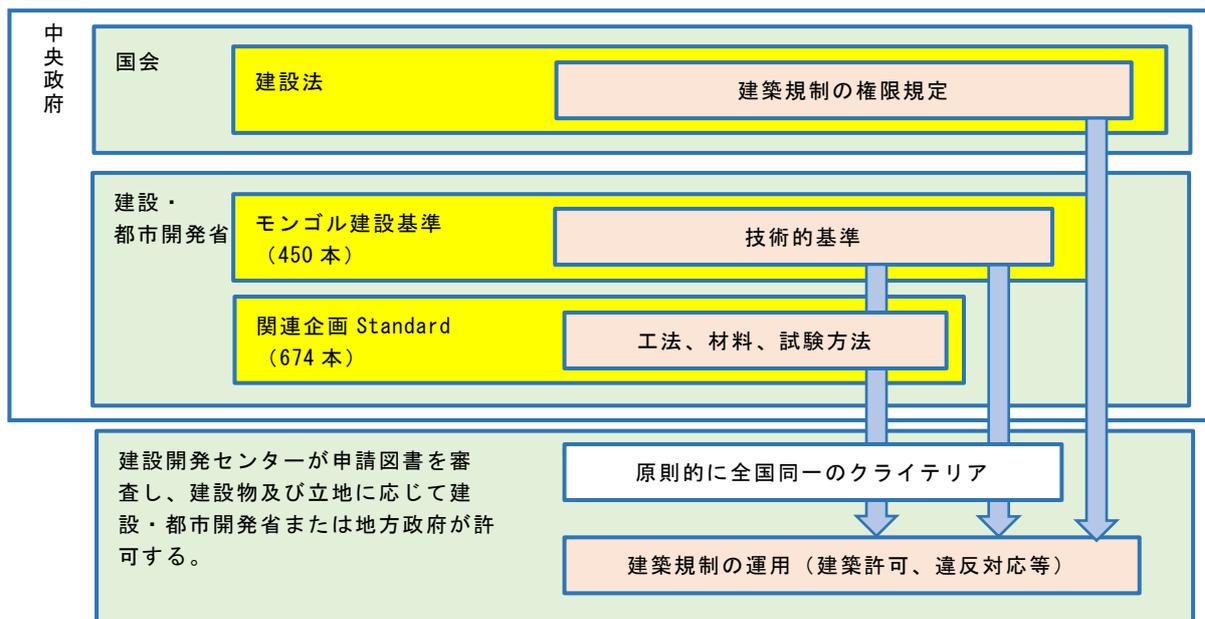


図 4-8 モンゴルの建築分野における制度フロー

モンゴルでは 1960～1970 年代の旧ソ連時代に制定された基準がそのまま踏襲されており、時代にそぐわず、また非常に複雑である。建設基準の約 3 分の 1 はまだロシア語のままであり、約 3 分の 1 はロシア語からモンゴル語にそのまま訳されたままである。残りの 3 分の 1 は、モンゴルの条件に合わせてある程度調整され、モンゴル語で公開されている。モンゴルの 30 歳以下の若年層はロシア語が読めないため実際に機能していないのが実情である。

またモンゴルの建設法は、建築にあたって実施すべき手続きが定められ「建物の仕様に関しては建築主事の指示に従うこと」と明記されているが、技術的な項目は定められていない。法律を補足する目的で技術基準が作られているが、標準仕様書のような建設基準を示しているのみで義務とはされていない。そのため、実際には建物により断熱性能に相当な違いが生じていると想定される。

モンゴルにおいては、建築着工前に実施設計図で建築許可を申請しなくてはならず、着工までに 144 の許可を得る必要があり、厳しい書類手続きが要求される。その厳しい手続きとは裏腹に、施工をチェックする仕組みが欠けており、設計図と実際に完成した建物の仕様に乖離があることは珍しくない。このような粗いチェック体制のもと、設計で指定された断熱技術が実際に施工されているか確認できていないと考えられる。設計図どおりに建築がなされるためには、法制度の改善に加え施工品質のチェックの仕組み作りとその運用確保も重要課題である。

② 断熱基準

モンゴルでの建物の外皮構造の熱技術の基準は、BCNS23-02-2009 (BCNS)で定められているが、エネルギー効率要件は、主に社会主義時代に策定された基準になっている。NERGY AUDITS OF CHOSEN TYPICAL BUILDINGS IN MONGOLIA 2013 においてモンゴルとチェコ（旧ソ連）の熱性能の基準が比較されており、これら2か国の建物の断熱要件は非常に似ていることから、社会主義時代のものが基準になっていることがわかる。

表 4-3 モンゴルとチェコ（旧ソ連）における断熱基準の比較

項目	チェコ共和国 $U_N(R_N)[W/(m^2K)]$	モンゴル $U_N(R_N)[W/(m^2K)]$
外壁	0,30(3,16)	0,26(3,70)
屋根	0,24(4,03)	0,20(5,00)
非加熱スペースの上の天井	0,60(1,33)	-
床	0,45(2,05)	-
窓	1,50(0,50)	0,30(3,16)
扉	1,70(0,42)	-

出典：モンゴル標準 BCNS23-02-2009 建物の熱性能とチェコ国家標準 CSN730 0540-2 建物の熱保護

モンゴルは、夏は涼しく冬は極寒の気候である。都市部では地域暖房が一般化しており、地域暖房への接続が義務化されている。2009年には建築基準の Building Thermal Performance(CCM 23-02-09)が施行された。本基準では、新築の際に一次エネルギーが一定基準以下（下表）となるように設計し、建築物の供用開始後に実測してその結果の確認を義務付けられている。A分類、B分類及びC分類は、新築あるいは改築する建物の設計段階に定められている。D分類とE分類は、2000年以前の建築物について補修作業の順序を確認する目的で定められている。

表 4-4 モンゴルにおける建築物のエネルギー効率の分類

分類記号	エネルギー効率の分類	建築物の暖房の熱エネルギーの比消費率の実測値 q^{des}_h 、指標化された基準値からの変域、%	国家行政機関による施設への措置
新築するまたは改築する建築物			
A	非常に高い	-51より小さい	—
B	高い	-10から-50まで	—
C	通常	+5から-9まで	-
既存建築物			
D	低い	+6から+75まで	建物の修復
E	非常に低い	76より大きい	建物を保温するための対策を近日中に必ずとる

民家などの一般の建築物では、この基準を順守して設計施工しているかは不明である。省エネのための断熱や設備設置においては、首都の一部では性能の高い日本製品を含む海

外製品を使用しているようである。しかし、現状では日本の高品質の資材を現地で使用しても、省エネのための高気密には技術力が必要であり、現地の施工技術では活用できない可能性がある。今後日本の資材や製品を使用し、適切な省エネ効果を促進するためには、製品だけでなく技術やノウハウをパッケージ化して導入をする取り組みなどが有効であり、モンゴルのインフラの整備や運営、街づくりの推進などで活用できると考えられる。

(2) モンゴルの建築の仕様とその課題

① 建具

モンゴルの集合建築は、ウランバートル市内においても、2010年頃までは、木製の二重窓が多く設置されており、適切な維持管理がされていなかった。また、ガラスのはめ込みは木枠で挟み込む程度、もしくは釘だけで固定されている状況も多く見られた。かつ、ガラス自身に関しても歪んでいるものも多かったため、そうした開口部からの冬季の外気流入は、室内環境の確保において大きな問題であった。

その対策として、小麦粉を練ったものをガラス端部に埋める等の施策を各家庭で講じていた。しかし、隙間に外部から雨水が流入し、湿潤と乾燥、それに伴う膨張収縮が繰り返され、木枠自身のひび割れや枠の歪みによる隙間ができ、気密性を保つことは困難であった。

2005年頃から、中国より安価な樹脂サッシが輸入され、モンゴル国内でも枠材を輸入してサッシ加工をする工場ができてから、新築建造物の開口部は樹脂サッシが多く採用され、古い建築も樹脂サッシに改装されるようになった。現在では、樹脂サッシがウランバートル市内では主流である。その流れで、ガラスも真空ペアガラスが使用されているが、冬季には内部に結露が発生するなど性能として不十分である。サッシやガラス製品の品質は、一部の外国からの輸入品や国内加工品を除き、製品の品質も保証されていない。

現在、モンゴルで使用される樹脂サッシは、内開きと内倒しが可能なツーアクション窓が主流である。しかしながら、品質保証もなく、故障やゆがみ等で気密性が失われやすい。よって、樹脂サッシ、真空ペアガラスを利用しても、気密性が確保されていない。

外部とつながる玄関などの建具では、従来の木製二重扉から、2000年頃には防犯性の観点より中国製の鋼製建具が使用されるようになり、現在主流となっている。建具と躯体の隙間部分には、ウレタンフォームで充填して仕上げているが、施工する職人の施工技術によって大きく異なり、断熱性能は必ずしも確保されていない。

② 断熱

2005年頃まで、レンガ造りの壁の厚みによって断熱が規定されていた。その後、コンクリートブロックによる壁面の構築や、組積造の中心部に断熱材を挟み込む仕様、スタイロフォーム断熱材による外断熱・内断熱の仕様などが取り込まれている。

モンゴルの建築工事に係る標準仕様書では、断熱に関してБНБД31-08-05 (BNBD31-08-05)で定められているものの、2005年以降更新されておらず、現状に見合っていない。本断熱の基準が、実際の建設工事で適用されているかどうかは定かではない。

ロシア基準によって、社会主義時代に作られた学校等の低層建築物では、屋根の断熱材として、石炭灰が敷き詰められ、アスファルト防水がされているが、モンゴルの厳しい気候条件で建築材の劣化が早く、雨漏りするケースが散見される。そのため、湿潤状態にな

り劣化した石炭灰の断熱性能の効果を測ることは難しい。

③ 外壁の劣化に伴う気密性

モンゴルは年間の寒暖差が70°C近くあり、乾燥及び湿潤、また温度差による建築材料の膨張、収縮による劣化が激しい。モンゴルでは鉄骨造の建築物は少なく、多くの集合住宅の基本構造部は鉄筋コンクリート造（以下、RC造）である。

集合住宅の多くの建築方式は、RC造で主要構造部を建築し、外壁をコンクリートブロックなどで組積している。建物の応力が集まりやすい開口部にひび割れなどの減少が大きく、最終的には、モルタルなどの仕上げ材を利用し、開口部周りの補修を行う。しかしながら開口部において、開口補強であるとか、収縮目地などを設置しない場合が多い。開口部周りに関してもシーリングしている場合も見られるが、シーリング材料も1液式のカートリッジを使う場合が大きい上、バックアップ材も使用していないため、シーリングも切れやすい。建具と、建具周りに関してはシーリングさえもない場合も多く見受けられるため、そこから外気や雨水が流入し、気密性を損なったり、建築の性能を損なったりする例が多く見られる。

また、開口部周りの断熱処理、サッシ性能が不十分なため、室内での結露も問題となる。窓周りの躯体部分において水分が、融解、氷結を繰り返すことに劣化が速まり、外部、内部とも劣化が激しく、気密性を持続することが難しい状況である。

④ 気密性と換気

モンゴルにおいても、換気の標準仕様があり、換気口の設置が義務付けられている。一方、モンゴルでは「自然給気×自然排気」や「自然給気×機械排気」が一般的なため、冬季の平均気温がマイナス25度程度のなか、排気口を塞いで、冬季の外気流入を防ぐこともある。一般的な集合住宅・個人宅で全熱交換機を使うことはほとんどなく、換気システムが作用せず、汚染された空気で気密性が保たれていることも多い。気密性の確保や室内温度を快適に保ちつつ換気することは重要な課題である。

ゲル地区では、移動式テント式住宅の日常生活もいまだ多く、気密性の確保は難しい。開口部は天井にあり、煙突部を外に突き出す必要があるため、その部分の気密性の確保、出入り口も木の扉が一枚あるだけであるため、そこに中綿の入った布団状のものを張り付けるなど工夫はされているが、断熱性、気密性共に、十分な状況ではない。

⑤ 暖房システム

ウランバートル市内の集合住宅やオフィスビルでは、火力発電所から発生するスチームを熱源とし、市内に巡らされた配管で各建築物に配分する暖房システムが採用されている。各建物は、配管から最上階に送られた熱源を建物内の配管を通して各階のラジエーターに循環させる。そのため、地域による温度差や、同じ建物でも上階と下階での温度差が生じることもある。新築マンションでは、流量調整付ラジエーターが設置されており、各階の温度差問題は解決しつつある。しかしながら、暖房供給システム問題は残っており、供給の停止や秋口の寒い時の未供給、熱源が正常に建物に供給されても室内温度を快適に保てないことが挙げられる。その場合、個別ボイラを設置するなどの対応が必要となっている。

(3) モンゴルの建築業界の課題

モンゴルでは、建設業や製造業のように、長年に渡っての技術の蓄積、サプライチェー

ンの構築、ISO等の規格の導入といった、技術・調達・品質の確保が重要な分野においては、国産品が少なく、生産技術は日本と比較して遅れている。モンゴルの建築業界は、施工技術が不十分で、材料の選択肢も少ない。一定の品質材料を常に供給することは難しく、ISO等の規格及び行政の監視体制など建築の質向上が必要である。

また、モンゴルは政情が不安定なため、プロトタイプの建築をするにしても政府が主導となると、政権の移行や政府の財政状況により、当初の約束、契約と変わる場合が多い。そのため、民間の開発業者と建築会社が連携して、法整備や、条例の制定などを行政側に働きかけて行くことが求められている。

4.2 寒冷地における「脱炭素型モデル建物」の検討

4.2.1 脱炭素型モデル建物を検討する上での前提条件

第3章3.2で前述した通り、日本の札幌市においても過去には石炭を主体としたエネルギーシステムにより大気汚染が深刻であったが、石炭燃料から天然ガスなどへの代替燃料や木質バイオマスや雪氷熱などの再生可能エネルギーへの転換を徐々に実現してきている。

モンゴル国では、第2章2.2で前述した通り、NDCで2030年までにGHG総排出量を22.7%削減する目標を掲げており、前述表2-2の各部門の削減量目標とアクションプランにて、ウランバートル市内の石炭利用の制限や再生可能エネルギーの利用、建物の断熱性能の向上が示されている。そのため、今後は石炭火力発電とともに、再生可能エネルギーによる熱供給に置き換えていくことが想定される。石炭利用により排出されるCO2についても、その回収や固定、カーボンオフセットなどにより減らしていく必要がある。同様に、エネルギーを利用する側でも、徐々に石炭による熱需要を減らして電力での代替を増やすとともに、その電力は再生可能エネルギーに置き換わっていくことが考えられる。

将来的には、石炭利用は徐々に減っていくことが予想されるが、安価な石炭が大量にあるモンゴルでは、全ての石炭利用がなくなるわけではないため、部分的なエネルギー対策が段階的に図られるものと思われる。前述第2章2.4の通り、ウランバートル市の冬季における暖房方式に合わせて、例えば下表に示すようなフェーズ毎で想定される段階的な取組みによって、2030年のNDC目標達成のための取組みが促進されると考えられる。

表 4-5 想定される段階的なエネルギー対策例

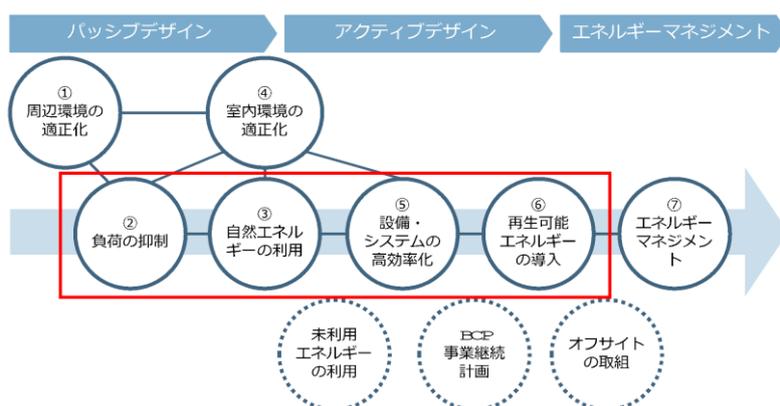
段階	対象例 【暖房方式】	想定される エネルギー転換例	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
フェーズ1	・ゲル地区の一戸建て住居等 【個別暖房方式】	・既存石炭ボイラー代替による地中熱ヒートポンプ、LPガス化促進 ・新規建物に対する外壁基準の適用、省エネ・再エネ設備の導入 ・既存建物に対する外壁改修、省エネ・再エネ設備更新									
フェーズ2	・ビル、学校、団地、小規模地区 ・事業所等小規模ビル 【中央暖房方式】 (分散型暖房方式)	・既存建物の外壁改修 ・省エネ・再エネ設備更新									
フェーズ3	・ウランバートル市全体 ・衛星都市開発 【中央暖房方式】 (集中暖房方式)	・カーボンオフセット ・コンパクトシティによる交通流の効率化									

本事業では、上述の NDC に示されるアクションプランに基づき、主に建物の断熱性能向上や再生可能エネルギーの一部導入を対象に、脱炭素社会実現のための貢献を検討する。具体的には、同じ日本の寒冷地である札幌市で既に取り組みがなされている ZEB の考え方や適用される技術を用いて、モンゴルの現状に合わせた脱炭素型の建物を検討するものとして、この建物を寒冷地における「脱炭素型モデル建物」と位置付ける。

本検討においては、建物のライフサイクルを考え、40～50 年後においても存在することを前提に、将来エネルギー源が脱炭素化によって電気に置き換えられることを想定するものとする。

4.2.2 脱炭素型モデル建物の検討プロセス

ZEB の考え方を取り入れた脱炭素型モデル建物を検討するあたり、一般的な日本の ZEB 設計ガイドラインにおける ZEB のデザインプロセスを下図の通り示す。寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討には、建物配置や建設計画、外溝計画といった①周辺環境の適正化や BEMS といった⑦エネルギーマネジメントなども該当する。しかしながら本事業での検討においては、主に建築設備そのものによる効果を検証するため、下図に示す通り、②負荷の抑制、③自然エネルギーの利用、⑤設備・システムの高効率化、⑥再生可能エネルギーの導入を主な対象として考えるものとする。



出典：ZEB 設計ガイドライン

図 4-9 ZEB のデザインプロセス

表 4-6 ZEB のデザインプロセスの各項目の手法

検討項目	脱炭素化のための手法
① 周辺環境の適正化	建物配置・建築計画の適正化、外構計画の適正化
② 負荷の抑制	建物外皮の断熱強化、内部発熱の低減
③ 自然エネルギーの利用	自然採光、自然通風利用
④ 室内環境の適正化	温熱環境、空気質環境、光環境の適正化
⑤ 設備・システムの高効率化	空調・換気設備、熱源設備、照明設備、給湯設備等の高効率化
⑥ 再生可能エネルギーの導入	太陽光発電、風力発電等
⑦ エネルギーマネジメント	BEMS の活用、ライフサイクル・エネルギー・マネジメントの実施、見える化等

出典：ZEB 設計ガイドライン

4.2.3 寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討ケースの設定

上述の ZEB デザインプロセスと各項目の手法を基に、対象とする各検討項目における脱炭素化のための手法を用いて、省エネルギーや脱炭素化への効果を検証する。モンゴルで想定される部分的なエネルギー転換も考慮して、次頁の表 4-7 に示す通り、複数の検討ケースを設定する。

ケース 1 を建物外皮における断熱の強化のみとして、ケース 2 ではそれに加えて、照明・給湯・換気といった設備・システムの高効率化を取り入れるものとする。

ケース 3 は、ケース 2 に加えて空調設備における再生可能エネルギーの導入を想定する。本ケースでは、空調システムにて地中熱ヒートポンプを利用するものとする。地中熱ヒートポンプは、再生可能エネルギーに該当するが、通常の空気式ヒートポンプが空気の熱を利用して暖房などを行うものに対し、地中の熱を採熱し、さらにヒートポンプの電力により熱を与える設備となるため、省エネルギー設備にも該当する。

なお、付随する設備として太陽熱利用設備を用いる。これは、地中熱ヒートポンプで採熱された地中の熱を太陽熱により回復させるものである。地中熱ヒートポンプにより連続的に採熱すると、地中の熱が奪われヒートポンプの効率が低下する。これを防ぐための補完的な設備となる。

ケース 4 では、ケース 3 に加えて再生可能エネルギーとしてさらに太陽光発電（創エネルギー）を採用することで、より脱炭素型を目指したモデル建物となるようにする。

上記のケースに加えて、脱炭素型モデル建物を取り入れないケース 0 を設定することで、ケース 1 からケース 4 によるエネルギー効果を比較するものとする。

なお、本ケース設定における検討では、省エネルギーや脱炭素化への効果を比較検討することが目的であるため、全てのケースにおいて現状の石炭火力発電による電気・熱の供給を想定し、脱炭素効果を比較する。

検討結果については、表 4-7 に対象建物における GHG 排出削減量の試算結果を示し、また 4.4.2 以降にエネルギー削減量、費用対効果の検討結果とともに詳細を後述する。

表 4-7 寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討ケース設定

ケース	ケース 0	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
エネルギー減の脱炭素化の方法	対策なし（既存建物） ※熱供給システム系統電力	外皮（断熱の強化）	外皮（断熱の強化） + 照明・給湯・換気	外皮（断熱の強化） + 照明・給湯・換気 + 省エネ（地中熱ヒートポンプ・太陽熱） ※太陽熱は、地中熱ヒートポンプで採熱された地中の熱を回復する補完的なシステム	外皮（断熱の強化） + 照明・給湯・換気 + 省エネ（地中熱ヒートポンプ・太陽熱） + 創エネ（太陽光発電）
変更点		熱供給システム系統電力のまま外皮変更による断熱の強化のみによる負荷の抑制	ケース 1 に加えて、設備・システムの高効率化による省エネルギー化の促進	ケース 2 に加えて、熱供給システムを再生可能エネルギー（地中熱）に変更	ケース 3 に加え、再生可能エネルギーとして太陽光発電（創エネ）により使用電力の一部を賄い系統からの購入電力を削減
オフィスビル					
GHG 削減量	2,091tCO ₂ /年	1,908tCO ₂ /年	1,774tCO ₂ /年	1,387tCO ₂ /年	1,185tCO ₂ /年
削減率	—	9%	15%	34%	43%
集合住宅					
GHG 削減量	12,018tCO ₂ /年	11,894tCO ₂ /年	9,259tCO ₂ /年	8,807tCO ₂ /年	8,765tCO ₂ /年
削減率	—	1%	23%	27%	27%

4.2.4 モンゴルにおける建築仕様の検討

モンゴルでの寒冷地における脱炭素型モデル建物の検討をするためには、モンゴルでの一般的な建物と ZEB の考えを適用した場合の建物で、建築設備や建具を比較整理する必要がある。モンゴルの建築関係者にヒアリングを実施して、部位ごとに整理した仕様を表 4-8 に示す。この仕様のうち、モンゴルにおける一般的な建物については、後述する表 4-10 にある「劣化住宅の再生計画 建築事業」がその代表例として位置づけられることが確認できたため、その集合住宅の建築図面のうち設備図等をもとに設定した。モンゴルに脱炭素型モデル建物については、日本の ZEB 仕様をもとに設定した。

さらに、モンゴルにおける一般的な建物と脱炭素型の建物の比較内容の妥当性を確認するために、日本における建築仕様と比較して整理したため、表 4-9 に示す。

表 4-8 モンゴルの一般的な建物と想定する脱炭素型モデル建物の建築仕様

一般的な建物（モンゴル）		
部位	モンゴル仕様	素材・性能
外壁	コンクリート下地 外断熱ポリエチレンフォーム（EPS） 120mm	熱伝導率0.034 W/m・K $0.12 \times 0.034 \times 1,000 = 4.08$
屋上	コンクリート下地＋防水 外断熱ポリエチレンフォーム（EPS） 120mm	熱伝導率0.034 W/m・K $0.12 \times 0.034 \times 1,000 = 4.08$
建具	アルミサッシ（断熱性能 不明） ペアガラスを想定	熱貫流率 3.3W/m ² ・KU
空調設備 （暖房）	①地域暖房（発電所からの熱水）利用 or ②温水ボイラー（石炭）にて、70℃温水供給 （どちらも建物内はラジエータを利用）	—
空調設備 （冷房）	冷房は無し	—
電気設備	一般的な電気設備 一般照明と想定（LEDなし）	—
その他	※全体的な施工精度（気密性）	△
脱炭素型モデル建物（モンゴル）		
部位	モンゴル仕様	素材・性能
外壁	コンクリート下地 外断熱ポリエチレンフォーム（EPS） 150mm	熱伝導率0.034 W/m・K $0.15 \times 0.034 \times 1,000 = 5.01$
屋上	コンクリート下地＋防水 外断熱ポリエチレンフォーム（EPS） 150mm	熱伝導率0.034 W/m・K $0.15 \times 0.034 \times 1,000 = 5.01$
建具	アルミサッシ（断熱性能H-3以上） Low-e ペアガラス、トリプルガラス	熱貫流率 1.6W/m ² ・KU
空調設備	地中熱利用水冷式ヒートポンプ（55℃供給） ＋太陽熱集熱パネルで地中の温度を回復 （建物内はラジエータを利用）	—
電気設備	省エネ的な電気設備 LED照明	—
創エネ設備	太陽光パネル	—
その他	※全体的な施工精度（気密性）	△

表 4-9 日本の一般的な建物と ZEB 要件を満たした建物の建築仕様

一般的な建物（日本・北海道）		
部位	日本（北海道）の仕様	素材・性能
外壁	コンクリートorコンクリート二次製品下地 内断熱発砲ウレタン 50mm	熱伝導率0.036 W/m・K $0.05 \times 0.036 \times 1,000 = 1.08$
屋上	コンクリート下地+防水 内断熱発砲ウレタン 50mm	熱伝導率0.036 W/m・K $0.05 \times 0.036 \times 1,000 = 1.08$
建具	アルミサッシ（断熱性能H-3以上） ペアガラス（5+6+5）or二重窓	熱貫流率 3.3W/m ² ・KU
空調設備 （暖房）	暖房各種（A重油、灯油、ガス、電気等）	—
空調設備 （冷房）	冷房エアコン（電気式）	—
電気設備	一般的な電気設備 LED照明	—
その他	※全体的な施工精度（気密性）	◎
ZEB（日本・北海道）		
部位	日本（北海道）の仕様	素材・性能
外壁	コンクリートorコンクリート二次製品下地 内断熱発砲ウレタン 100mm 外断熱発砲ウレタン 100mm	熱伝導率0.036 W/m・K $0.1 \times 0.036 \times 1,000 = 2.16$
屋上	コンクリート下地+防水 内断熱発砲ウレタン 100mm 外断熱発砲ウレタン 100mm	熱伝導率0.036 W/m・K $0.1 \times 0.036 \times 1,000 = 2.16$
建具	アルミサッシ（断熱性能H-3以上） Low-e ペアガラス、トリプルガラス	熱貫流率 1.6W/m ² ・KU
空調設備	冷房エアコン（電気式） 暖房各種（地中熱+HP） BEMS管理	—
電気設備	省エネ的な電気設備 LED照明	—
創エネ設備	太陽光パネル	
その他	※全体的な施工精度（気密性）	◎

4.3 脱炭素型モデル建物を検討する対象施設の選定

4.3.1 対象施設の選定

上述 4.2.4 の建築仕様の整理に基づき、脱炭素型モデル建物の検討ケースに適合する対象施設を選定するにあたり、以下の方針で抽出を進めた。

- ・対象施設は、今後、施工が予定されており、完成予定図等の具体的な計画があること
- ・ウランバートル市による今後の検討材料となるように、公共施設と住宅施設をそれぞれ抽出して、ZEB の考えを取り入れた事例を検討すること
- ・ウランバートル市から要望があった将来的な都市全体への展開も考慮して、本事業 1 年次に検討して現在開発が停滞中の新空港に隣接する衛星都市（アエロシティ）の居住区計画にも展開できるよう、同規模の住宅施設を検討すること

<p>【概要】</p> <ul style="list-style-type: none">・敷地面積：81,000m²・居住者：600 世帯、2160 人・集合住宅：5 階建 27 棟 3 階建 6 棟・コンパクトシティを目指した学校（生徒・児童約 420 人想定）、幼稚園（園児 360 人想定）、娯楽施設も併設	
---	--



出典：令和 2 年度「ウランバートル市・トゥブ県における脱炭素都市形成支援事業」

図 4-10 アエロシティ居住区の概要と位置図

上述方針に基づき、ウランバートル市直轄で住宅開発を担う NOSK) と協議を重ねて、適合する対象施設の検討を行った。

NOSK は、ウランバートル市における住宅開発のための法的環境を整備して、住宅政策と事業開発の計画及び提案を行い、その開発計画や集合住宅地区の計画等に従って資金を提供して、住宅建設を行う組織である。ウランバートル市内で持続的に廉価住宅の供給を増加させるため、金融機関と協力して国内外の株式市場で金融商品を立ち上げて、多面的

な資金調達を行っており、健全的な資本の確保を目指している。住宅ローン、補助金、インセンティブを提供するための条件の決定、ローン担保証券の発行、賃貸住宅基金の設立、賃貸収入の管理責任等も担っており、5つの部門で構成されて77人の正職員によって組織運営されている。

さらに、新しい環境配慮技術や材料を住宅計画と建設に導入して、建設部門の建設コスト削減や投資効率向上に向けた政策を追求して、民間部門の住宅建設の支援も行っている。ウランバートル市内1,744世帯の住宅セキュリティ管理も行っており、24時間のコールセンターや防犯カメラによる監視システムのサービス提供も実施している。NOSKが運営管理する主な住宅事業を図4-11に示す。



名称：Buyant-Ukhaa-2地区
場所：ハンオール区
対象：972世帯



名称：仮設住宅
場所：スフバートル区
対象：286世帯



名称：分譲住宅
場所：ソングインハリハン地区
対象：70世帯



名称：高齢者向け住宅
場所：スフバートル区
対象：300世帯



名称：仮設住宅
場所：ソングインハリハン地区
スフバートル区
対象：100世帯



名称：教職員向け分譲住宅
場所：バヤンズルフ地区
対象：16世帯

出典：ウランバートル首都公団公社概要

図 4-11 NOSK が運営管理をする主な住宅事業

NOSK とは、具体的な協議を行うにあたり、対象施設として想定できる住宅事業について表 4-10 の通り抽出した。

表 4-10 対象施設として想定できる住宅事業例

外国投資プロジェクト				
①	バヤンゴル住宅事業	出資者	韓国輸出入銀行	
		対象	2000世帯向けアパート	
		出資金	1億1470万ドル	
		場所	ソンギンハリハン地区	
②	ハニマテリアル住宅事業	出資者	欧州復興開発銀行	
		対象	740世帯向けアパート	
		出資金	2,500万ドル	
③	低所得者向けグリーン住宅事業 (AHURP)	出資者	アジア開発銀行	
		対象	10000世帯向けアパート	
		出資金	5億7,010万ドル	
		場所	ウランバートル市内6箇所	
国内投資プロジェクト				
④	集合住宅型低所得者向け住宅事業	出資者	民間企業	
		対象	840世帯向けアパート	
		出資金	500億MNT	
		場所	ハンオール地区	
⑤	市民向け再建住宅事業	出資者	銀行	
		対象	712世帯向けのアパート	
		出資金	600億MNT	
⑥	劣化住宅の再生計画 建築事業	出資者	ウランバートル市	
		対象	126世帯向けアパート	
		出資金	600億MNT	
		場所	ナライハ地区	
新住宅地帯開発プロジェクト				
⑦	モリン住宅事業	対象	5000世帯向けアパート	
		出資金	3,500億MNT	
		場所	ハンオール地区	
⑧	ナライハ住宅事業	対象	5000世帯向けアパート	
		出資金	3,500億MNT	
		場所	ナライハ地区	
⑨	ビオーソンギン住宅事業	対象	640世帯向けアパート	
		出資金	3,500億MNT	
		場所	ハンオール地区	

出典：ウランバートル首都公団公社概要

上述のリストより、当初、ウランバートル市が出資する⑥劣化住宅の再生計画建築事業であれば建物に係る情報も入手しやすいと判断して、検討を行った。本建築事業は、ゲル地区における集合住宅事業として、建物構造は地下1階から地上9階建て、2棟構成とされている。下図の通り位置情報に係る情報及び平面図を入手したが、具体的な検討のために必要な設備関連図面の入手に至らなかった理由で、具体的な検討を断念した。

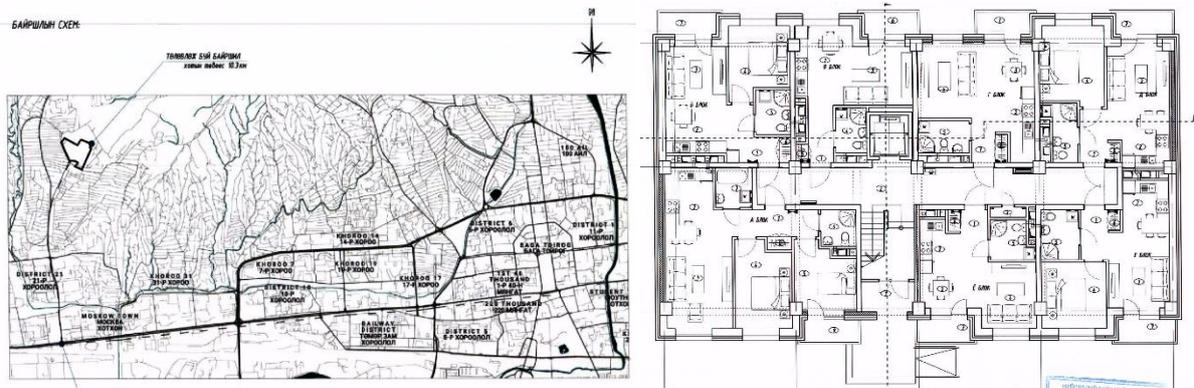


図 4-12 劣化住宅の再生計画建築事業の位置図（左）と平面図（右）

一方、ウランバートル市の建設事業の責任者である同市副市長と協議の上、ニーズを再確認したところ、新築物件であり今後のウランバートル市施策においてもモデルケースとなり得るゲル地区再開発事業における集合住宅とウランバートル市新市庁舎を紹介されたため、集合住宅と公共施設（オフィスビル）をそれぞれ1つずつ対象として検討するに至った。対象とする2施設の概要と選定理由は下表の通りである。

表 4-11 選定した対象施設の概要と選定理由

対象	集合住宅 (例：SERENE TOWN)	オフィスビル (例：ウランバートル市新市庁舎)
写真		
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> ・市中心部から東に約5kmに位置 ・全15棟による計画が進行中 ・建物の構造は、棟ごとに異なる（平均約72m²（1部屋）） ・ゲル地区集合住宅の開発事業 	<ul style="list-style-type: none"> ・市中心部から南西10kmに位置 ・ウランバートル市新市庁舎（延床面積：33,631m²）のうちBブロックは、建築面積約2,500m²、地下1階地上13階建ての庁舎を建設予定
選定理由	典型的なゲル地区の集合住宅で中規模のため、脱炭素化モデル建物の検討可能性が見込まれるため	近年建設された代表的な公共施設のオフィスビルであり、エネルギー消費量も多く、省エネ効果が見込まれるため

(1) SERENE TOWN

SERENE TOWN は、生活に必要な諸機能が近接した効率的で持続可能な都市を目指して 2019 年よりモンゴル開発業者である Batkhereid LLC により開始された、ゲル地区における集合住宅の開発事業である。市中心部から東に約 5km の場所に位置して好立地で（図 4-13 参照）、かつ最新設備が整った住宅として注目されており、全 15 区画のうち、現在 5 区画目の住宅販売中である。図 4-14 に示す通り、各棟においても、複数の部屋タイプがあり、60m² から 80m² とファミリー向け住宅となっており、お年寄りや子供向けの遊び場や緑の遊歩道等も整備されている。



図 4-13 位置図 (SERENE TOWN)



図 4-14 複数の部屋タイプがある平面図



図 4-15 住居 C type の完成予想図

本施設を対象に検討するにあたり、現場視察を実施した（図 4-16 参照）。さらに、赤外線サーモグラフィカメラを用いて、建物における熱損失の状況を簡易的に測定したところ、バルコニーや窓において熱損失が生じていることが確認された（図 4-17 参照）。



図 4-16 外観写真 (SERENE TOWN)



図 4-17 サーモグラフィ撮影による熱損失の確認状況

(2) ウランバートル市新庁舎 B ブロック

ウランバートル市では、新空港と市中心部の間に位置する Yarmag 地区に大規模な住宅開発事業が計画されており、市庁舎も移転した新都心の形成が目指されている。新市庁舎の位置を図 4-18 に示す。同地区では雨水貯水施設の計画もあり、環境配慮型の都市形成が検討されている。同地区で建設が進められているウランバートル市の新市庁舎は、既に完成した A ブロック庁舎と現在建設中の B ブロック庁舎、さらに C ブロック庁舎で構成され総面積は 68,000m² である。そのうち B ブロックの建築面積は約 2,500m²、地下 1 階地上 13 階建てとなっており、2022 年 6 月頃には職員の移動が計画されている。

本施設において脱炭素型モデル建物を検討するにあたり、検討対象の B ブロック庁舎の施工図 (図 4-19) を入手のうえ、既に完成している A ブロック庁舎と建設中の B ブロック庁舎の現場視察 (図 4-20) を実施した。



図 4-18 位置図 (ウランバートル市新市庁舎 B ブロック)

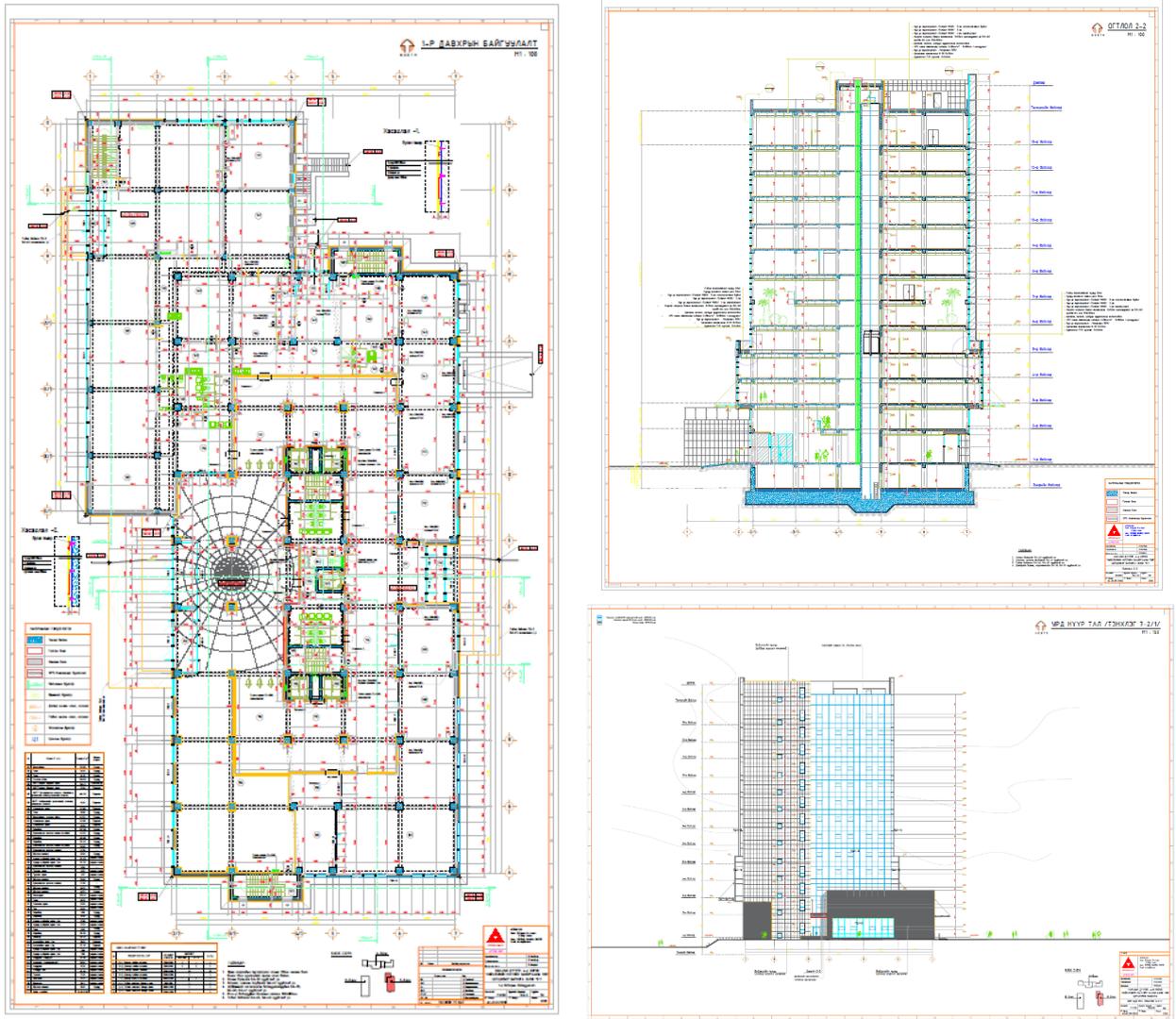


図 4-19 平面図と断面図（ウランバートル市新庁舎 B ブロック）



図 4-20 外観写真（ウランバートル市新市庁舎 A ブロックと建設中 B ブロック）

4.4 脱炭素型モデル建物の効果検討

4.4.1 脱炭素型モデル建物の計算方法

脱炭素型モデル建物の計算においては、日本の国立研究開発法人建築研究所が作成している「エネルギー消費性能計算プログラム（ver3.1.2）（通称：Web プログラム）」を使用して計算を行う。

この Web プログラムは、日本国内の建築物省エネ法で定められる年間の一次エネルギー消費量を計算するために開発された計算ツールである。計算方法には、標準入力法、モデル建物法、小規模モデル建物法があるが、日本国内で ZEB・ZEH の認証を受けるためには、標準入力法による計算が必須となる。

■日本の Web プログラムにおける標準入力用およびモデル建物法の概要

① 基準省令第 1 条第 1 項第 1 号イによる方法（「標準入力法」）

算出告示第 1 の 1 に定める計算方法により算出した設計一次エネルギー消費量が、同告示第 1 の 2 に定める計算方法により算出した基準一次エネルギー消費量を超えないことを確認することにより基準への適合確認を行う方法。建築物内にある全ての室単位で床面積や設置設備機器等への入力が必要となる。

② 基準省令第 1 条第 1 項第 1 号ロによる方法（「モデル建物法」）

申請された建築物と同一の用途のモデル建築物の設計一次エネルギー消費量が、当該モデル建築物の基準一次エネルギー消費量を超えないことを確認することにより基準への適合確認を行う方法。標準入力法とは異なり、室単位ではなく建築物全体としての主たる建材や設備機器等の性能値を入力する。

図 4-21 に Web プログラムの計算のイメージを示す。Web プログラムの計算では、標準的な仕様（基準仕様）および省エネ手法を考慮した仕様（設計仕様）のそれぞれにおいて、空調や換気、照明などのエネルギー消費量を積み上げて、年間の一次エネルギー消費量の計算を行う。

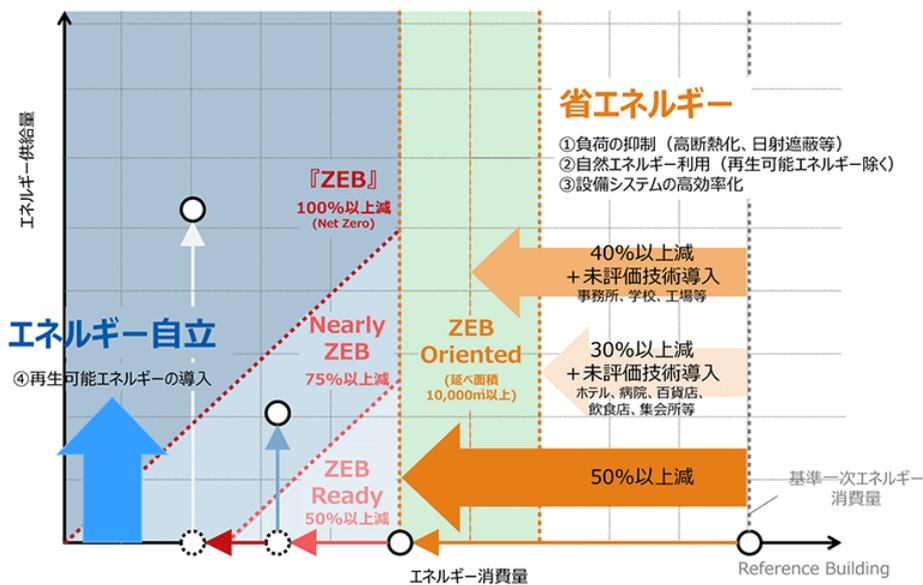
日本の基準においては、住宅・建築物の一次エネルギー消費量の基準の水準として、BEI（Building Energy Index）という指標を用いる。BEI は、実際に建てる建物の設計一次エネルギー消費量を、地域や建物用途、室使用条件などにより定められている基準一次エネルギー消費量で除した値で評価するものである。

BEI \leq 0.50 の場合に 50%以上削減の ZEB Ready、さらに再生可能エネルギー導入によって 0.00<BEI \leq 0.25 となる場合には 75%以上減の Nearly ZEB、BEI \leq 0.00 となる場合には 100%以上削減、すなわち NET ZERO となり『ZEB』を満たしていると判定される（図 4-22 参照）。

なお、ここで言う一次エネルギー消費量とは、加工されない状態で供給されるエネルギーで、石油、石炭、原子力、天然ガス、水力、地熱、太陽熱などを示し、二次エネルギーは、一次エネルギーを転換・加工して得られる電力、都市ガスなどとなる。



図 4-21 Web プログラムにおける計算のイメージ



名称	定性的な定義
『ZEB』	年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物
Nearly ZEB	『ZEB』に限りなく近い建築物として、ZEB Ready の要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近づけた建築物
ZEB Ready	『ZEB』を見据えた先進建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物
ZEB Oriented	ZEB Ready を見据えた建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備に加え、更なる省エネルギーの実施に向けた措置を講じた建築物

出典：ZEB PORTAL、環境省

図 4-22 日本の ZEB における判定基準

Web プログラムにおいては、外皮や空調、照明などの性能について、以下に示すような形でエクセルファイルなどに入力を行う。それを Web プログラムに取り込むことで、Web 上で計算結果が算出されるものである。

日本国内においては、ZEB・ZEH の計算の基本的な手法として採用されており、建築の一般的な知見を有する技術者であれば、取り扱えるものとなっている。

① 外皮名称 (入力)	② 方位 (選択)	③&④入力または⑤入力			⑥ 断熱仕様名称 (転記)	⑦ 建具仕様名称 (転記)	⑧ 建具等個数 (入力)	⑨ ブラインドの有無 (選択)	⑩ 日焼け効果係数	
		幅 W [m] (入力)	高さ H [m] (入力)	外皮面積 [m ²] (入力)					冷房 (入力)	暖房 (入力)
西面外壁	西			840	断熱材 2	窓A	10	有		
						窓B	10	有		
						窓C	10	有		
東面外壁	東			840	断熱材 2	窓A	10	有		
						窓B	10	有		
南面外壁	南			800	断熱材 2	窓A	10	無	0.92	0.96
						窓B	10	有	0.92	0.96
						窓C	10	有		
北面外壁	北			800	断熱材 2	窓C	10	有		
						窓C	10	有		
						窓C	10	有		
屋根部	屋根			1000	断熱材 1					

図 4-23 Web プログラムにおける建築設備の仕様の入力イメージ

WEBプログラムによるBEIの算出画面

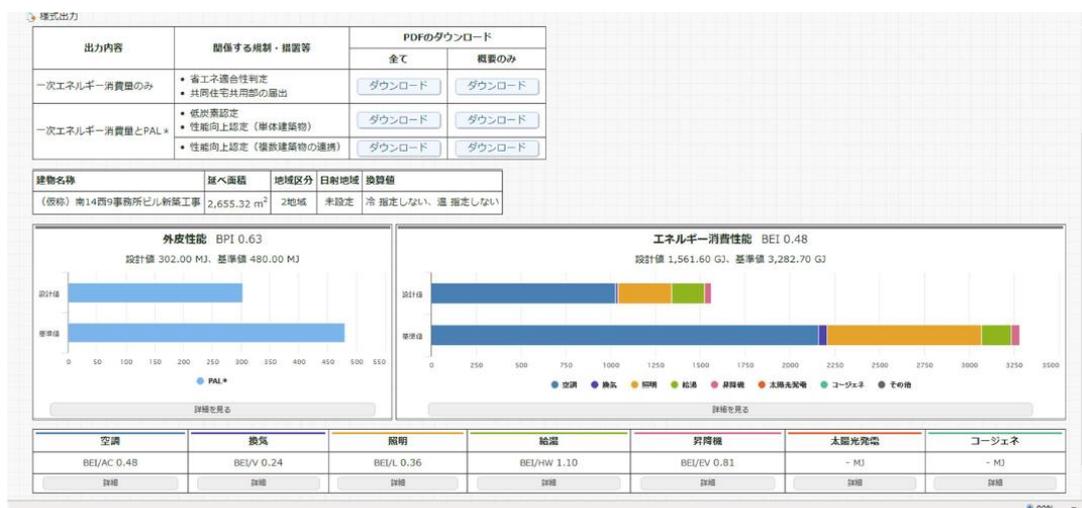


図 4-24 Web プログラムにおける BEI の算出画面

本 Web プログラムの概要をウランバートル首都公団公社の技術者に説明したところ、興味関心がありニーズが高いことが確認された。今後、JCM を促進する場合にも、エネルギー消費性能の計算を適切に実施する必要があるため、当初計画していた JCM 事業促進手引書の代替として本 Web プログラムの概要書をモンゴル現地側の視点で興味関心が高いところを中心に整理した。日本の本 Web プログラムをそのままモンゴルで適用させることはできないため、ZEB の要件を満たすためにどのようにエネルギー消費性能を算出しているのか、考え方の概要を整理した。とりまとめた概要書はオンラインワークショップでウランバートル市側に説明のうえ、モンゴル語に翻訳したものを共有した（附属資料）。

4.4.2 エネルギー消費性能の算定

(1) エネルギー消費削減量の算定

1) 集合住宅 (SERENE TOWN)

集合住宅 (SERENE TOWN) における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量の算定結果を下表に示す。

前述 4.2.3 に示したケースごとに脱炭素型モデル建物技術を適用することで、一次エネルギー消費量を削減できていることが、下表の「エネルギー削減率」のうちケース 0 と比較したケース 1 からケース 4 の削減率推移より確認できる。特に、ケース 2 からケース 3 において 1,622GJ (ギガジュール) のエネルギー削減となっているため、地中熱ヒートポンプによる効果が大きいことがわかる。ケース 4 までの技術を適用した場合、対策無し (ケース 0) と比べて、年間でのエネルギー消費量の削減率は約 43%程度 の改善が得ることができる。

表 4-12 集合住宅における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量

単位:GJ

ケース	ケース0	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ケース概要	(対策なし)	(ケース0+外皮)	(ケース1+照明・給湯・換気)	(ケース2+地中熱)	(ケース3+太陽光)
暖房設備	5,455	4,688	4,013	2,526	2,526
冷房設備	37	39	39	39	39
換気設備	228	228	385	385	385
給湯設備	1,752	1,752	1,752	1,618	1,618
照明設備	231	231	185	185	185
その他の設備	1,058	1,058	1,058	1,058	1,058
発電設備(太陽光)	--	--	--	--	-846
合計	8,763	7,997	7,433	5,811	4,966
BEI(参考)	1.03	0.94	0.87	0.68	0.58
エネルギー削減率		8.7%	15.2%	33.7%	43.3%

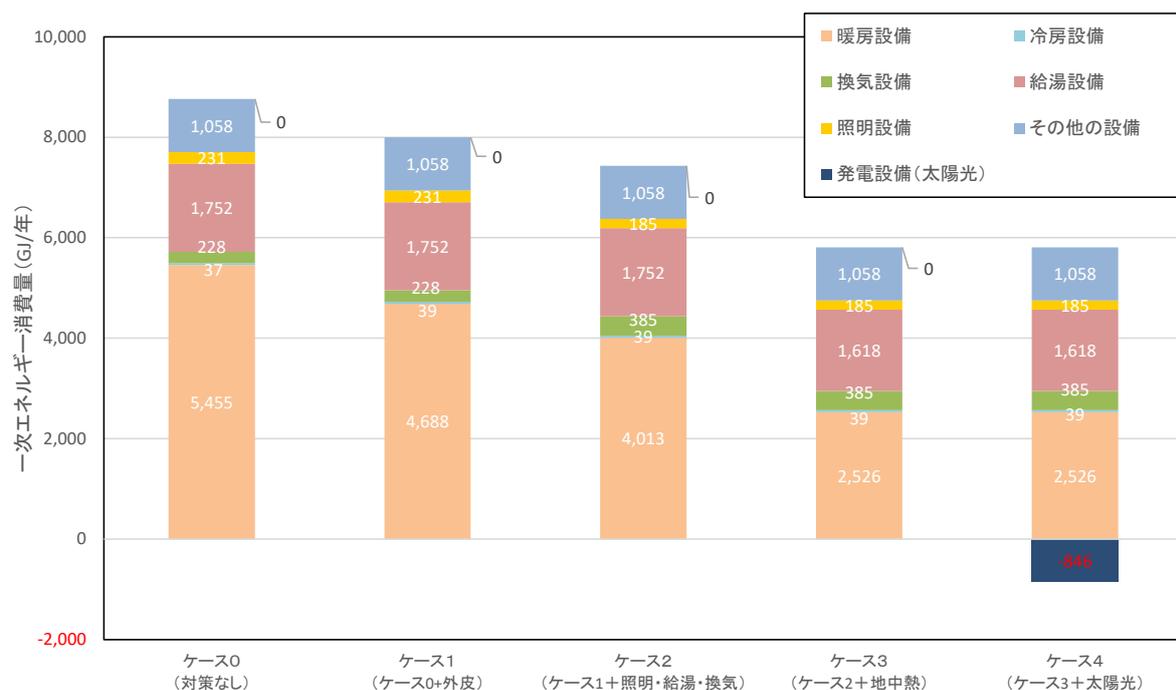


図 4-25 集合住宅における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量

2) オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）

オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎 B ブロック）における脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量の算定結果を下表に示す。

比較的新しい建物で断熱性能も良いことが想定されるため、ケース 1 の外皮の高断熱化においては、エネルギー削減率が 1%であるため、その効果はほとんどない。ただし、ケース 2 の設備の高効率化においては、エネルギー改善率が 23%となるため、照明や換気設備の改善による効果が大きいことがわかる。

ケース 3 の地中熱ヒートポンプにおいては、対象としたオフィスビルが新築であり空調設備のエネルギー消費量が今回検討した集合住宅ほど見込まれないことから、エネルギー削減率の大きな効果が得られない結果となっている。さらに、ケース 4 の太陽光発電では、全体のエネルギー消費量に対する発電割合が小さいため、大きな効果が見られない。

オフィスビルの脱炭素化モデル建物に取り組む場合、断熱性能があまり良くない老朽化施設で、空調によるエネルギー負荷の割合が大きい施設を対象とすることで、より大きな脱炭素効果を得られることがわかる。

なお、地中熱ヒートポンプについては、採熱のためのボアホール型地中熱交換器が必要であり、空調負荷が大きいほどボアホール型地中熱交換器の本数と延長が必要となる。ボアホール型地中熱交換器を設置するためには一定のスペース（面積）が必要であり、今回対象とした新市庁舎のような大規模な施設の場合、空調負荷が大きく相当面積が必要となるため導入は現実的ではないことが想定される。一方、中小規模の施設であれば、ボアホール型地中熱交換器の本数と延長がそれほど求められないため、地中熱ヒートポンプを適用しやすいと考えられる。

表 4-13 オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量

設計一次エネルギー消費量		単位: GJ/年				
		ケース0	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
		(対策なし)	(ケース0+外皮)	(ケース1+照明・給湯・換気)	(ケース2+地中熱)	(ケース3+太陽光)
内訳	空調設備	17,122	16,598	15,841	13,945	13,945
	換気設備	0	0	0	0	0
	照明設備	20,567	20,567	10,284	10,284	10,284
	給湯設備	956	956	956	956	956
	昇降機	0	0	0	0	0
	発電設備	0	0	0	0	-175
	その他	11,724	11,724	11,724	11,724	11,724
合計		50,368	49,845	38,804	36,908	36,733
合計(その他除く)		38,645	38,121	27,080	25,184	25,009
BEI(参考)		0.80	0.79	0.56	0.52	0.52
エネルギー削減率			1.0%	23.0%	26.7%	27.1%

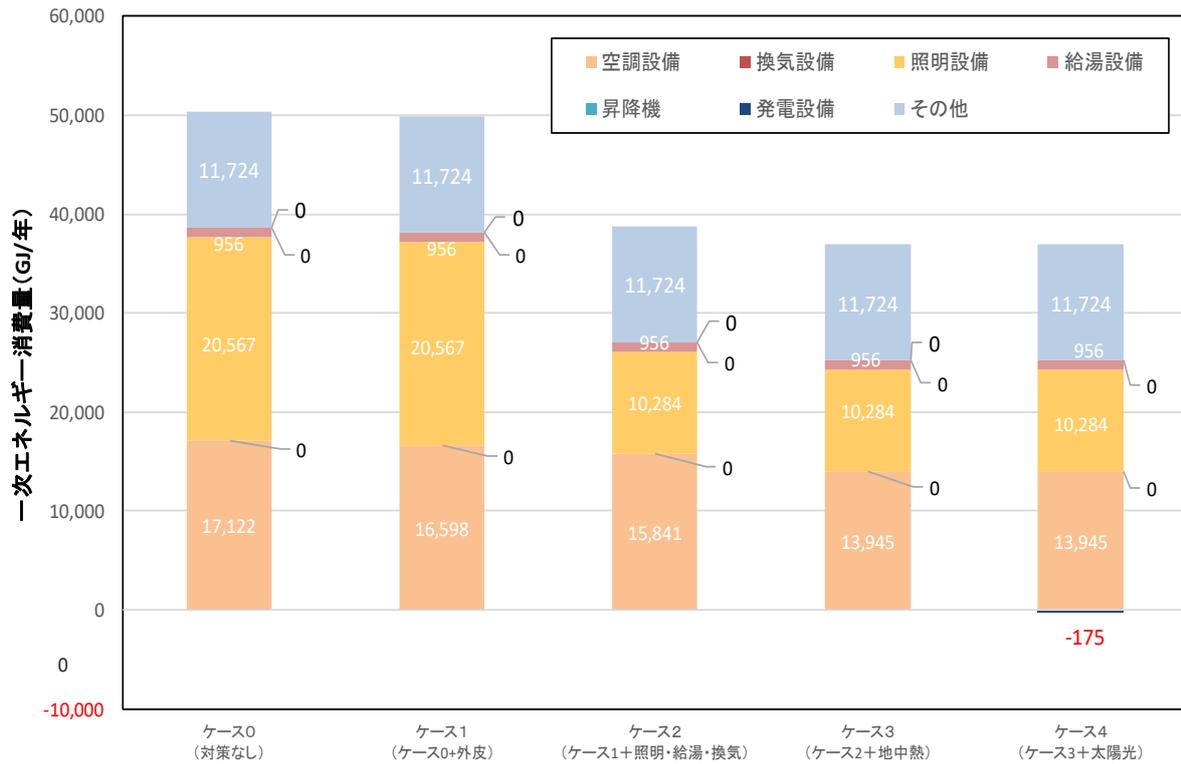


図 4-26 オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の一次エネルギー消費量

(2) GHG 排出削減量

温室効果ガスの削減量については、以下算定式のように CO₂ の排出係数をエネルギー消費量に乗じて算出する。なお、現状からの削減効果を把握するため、排出係数はモンゴル国における現状の排出係数（石炭火力発電によるもの）を使用する。

■GHG 排出量の算定式

CO₂ 排出係数（モンゴル）×エネルギー消費量
 （ケースごとに算出し、その差分により削減量を算出）

■ウランバートル市における排出係数

排出係数 0.859kg-CO₂/kWh
 0.239kg-CO₂/MJ

出典：令和 3 年度 JCM 設備補助事業 排出係数

1) 集合住宅 (SERENE TOWN)

集合住宅における脱炭素型モデル建物の GHG 排出量を算出した結果を下表に示す。ケース 3 で地中熱ヒートポンプを導入することで、ケース 0 より 704tCO₂/年の GHG 削減によって 34%の削減率が見込まれるため、大きな効果が期待できる。ケース 4 で太陽光発電まで適用した場合、906tCO₂/年の GHG 削減によって約 43%の削減率となるため、より大きな効果を得られる。

表 4-14 集合住宅における脱炭素型モデル建物の GHG 排出量

	エネルギー消費量	GHG排出量	削減率
	(GJ/年)	(tCO ₂ /年)	
ケース0	8,763	2,091	-
ケース1	7,997	1,908	9%
ケース2	7,433	1,774	15%
ケース3	5,811	1,387	34%
ケース4	4,966	1,185	43%

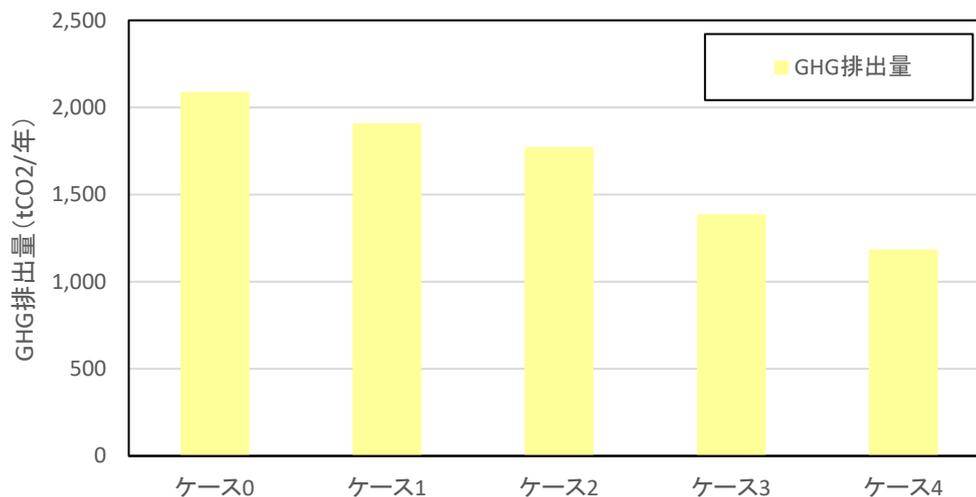


図 4-27 集合住宅における脱炭素型モデル建物の GHG 排出量

2) オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）

オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の GHG 排出量を算出した結果を下表に示す。エネルギー消費量と同様に、ケース 2 で設備の高効率化をした場合の削減率が 23%であるため、ケース 0 と比較して 2,759tCO₂/年の排出の削減効果が得られる。

一方、ケース 4 の太陽光発電を適用しても、GHG 排出量の削減率はケース 3 と比較して約 27%のままで GHG 排出削減量も 42CO₂t/年しか見込めないため、ほとんど効果がないことがわかる。対象としたウランバートル市新市庁舎は、もともと電力によるエネルギー消費の割合が大きく、空調によるエネルギー消費割合が小さいため、このような結果になったことが示唆される。

以上より、ケース 2 の設備の高効率化に取り組むことが確実に削減効果につながるため、空調によるエネルギー消費量が大きく、断熱性能の高くない建物を対象とすることで、より高い GHG 排出削減効果が得られると考えられる。

表 4-15 オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の GHG 排出量

	エネルギー消費量 (GJ/年)	GHG排出量 (tCO ₂ /年)	削減率
ケース0	50,368	12,018	-
ケース1	49,845	11,894	1%
ケース2	38,804	9,259	23%
ケース3	36,908	8,807	27%
ケース4	36,733	8,765	27%

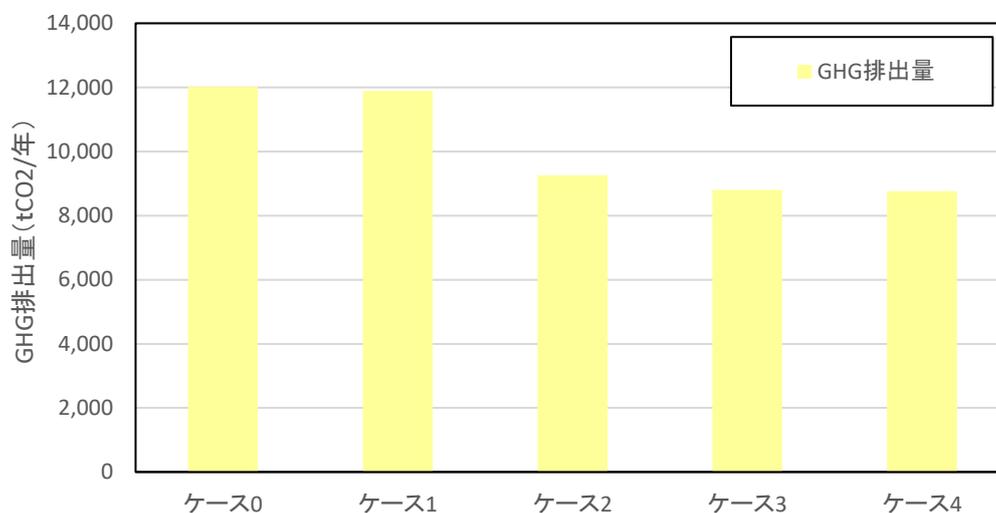


図 4-28 オフィスビルにおける脱炭素型モデル建物の GHG 排出量

4.4.3 費用対効果の検討

脱炭素型モデル建物を適用したときの建設費と費用対効果について、以下の式により算出するものとする。一般建物から脱炭素化モデル建物に仕様を変更した場合に想定される建設費の増額分を検討のうえ、4.4.2 で前述した想定される GHG 排出削減量より、CO2t あたりの削減量を算出するものとする。

■費用対効果の算出式

$$\text{費用対効果 (円/t-CO2)} = \frac{\text{脱炭素型モデル建物による建築物の増加費用}}{\text{脱炭素型モデル建物による GHG 排出削減量}}$$

1) 集合住宅 (SERENE TOWN)

日本の「集合住宅における ZEH の設計ガイドライン」では平成 28 年省エネ基準で分譲マンションを建設した場合と ZEH-M ready の仕様を採用した場合の差額について、メーカーヒアリングやカタログ単価を基に下表の通り試算しており、建設費の増額率は全体で約 15%であることがわかる。

表 4-16 仕様変更によるコスト比較

区分	標準仕様 (ケース0に該当)	増額分 (千円)	増額含む概算費用 (ケース4に該当)	増額率
	(千円)		(千円)	
仮設	93,370	4,840	98,210	105%
土工	43,910	0	43,910	100%
地業	58,360	0	58,360	100%
躯体	326,810	0	326,810	100%
外皮断熱	411,850	33,430	445,280	108%
電気設備(照明・太陽光)	89,480	36,020	125,500	140%
衛生設備(給湯・コジェネ)	115,610	86,980	202,590	175%
空調設備(冷暖房・換気)	22,790	12,360	35,150	154%
昇降機	11,670	0	11,670	100%
諸経費	148,950	26,530	175,480	118%
合計	1,322,800	200,160	1,522,960	115%

出典：「集合住宅における ZEH 設計ガイドライン」を基に調査団作成

この費用の増額率を基に、集合住宅 (SERENE TOWN) を脱炭素型モデル建物の仕様で建設した場合の建設費を試算する。なお、建設費の算出においては、ケース 4 の太陽光発電も含めた全ての脱炭素化の対策を実施した場合を想定するものとする。

集合住宅の 1 棟あたりの建設費について、脱炭素型モデル建物としない場合のレファレンスとなる標準の建設費においては、ウランバートル市東部の不動産価格情報で確認した通り、ウランバートル市での集合住宅の建設費 (1,950,000MNT/m²) と設定して、SERENE TOWN1 棟の延床面積 (4,800m²) より、以下の通り試算した。

■SERENE TOWNの建設費の想定

ウランハートル市の集合住宅のm2あたり価格 (ウランハートル市東部の不動産価格情報より)	1,950,000 MNT/m2
SERENE TOWN1棟の延床面積	4,800 m2
SERENE TOWN1棟の建設費(想定)	9,360,000,000 MNT 25 MNT/円 374,400,000 円

一方、プロジェクトとなる脱炭素型モデル建物の仕様を適用する場合、ケース4の太陽光発電も含んだ建設費を算出するために、表4-16に示した工事区分ごとの建設費を基にSERENE TOWN 1棟の建設費を按分してケース0の区分毎の建設費を算出するとともに、ZEH-M ready仕様の増額率を基に表4-17の通り工事区分ごとにケース4の建設費を試算した。なお、表4-17中における「空調設備」の地中熱ヒートポンプ費用は、JICA「モンゴル国 地中熱ヒートポンプによる環境社会配慮型暖房システムの案件化調査」のkWあたり単価及び設備容量を同じモンゴルでの実績として使用して、以下の通り試算した。

地中熱ヒートポンプのkWあたり単価 (JICA案件化調査の実績より)	330,000 円/kW
地中熱ヒートポンプの設備容量	402 kW
地中熱ヒートポンプによる増額費用	132,660,000 円

表 4-17 集合住宅 (SERENE TOWN) を脱炭素型モデル建物として建設した場合の費用

区分	増額率	建設費 (ケース0)	建設費 (ケース4)
		(千円)	(千円)
仮設	105%	24,144	25,396
土工	100%	10,795	10,795
地業	100%	14,347	14,347
躯体	100%	80,342	80,342
外皮断熱	108%	109,466	118,351
電気設備(照明・太陽光)	140%	30,853	43,273
衛生設備(給湯・コジェネ)	175%	49,804	87,274
空調設備(冷暖房・換気)	154%	8,641	132,660
昇降機	100%	2,869	2,869
諸経費	118%	43,139	50,823
合計	115%	374,400	566,130

上記より、レファレンス費用である374,400,000円とプロジェクト費用である566,130,000円の差額を基に、費用対効果を算出した結果を次頁に示す。費用対効果2,251円/tCO₂は、JCM設備補助の条件となる4,000円/tCO₂年以下を満たすものであるため、一定の費用対効果が見込まれると判断できる。但し、JCM設備補助の対象は設備のみであり、ケース4のうち外皮の断熱強化は対象外となるため、参考値となる。

脱炭素モデル建物化による増額費用	191,729,781 円
JCM設備補助率	50%
脱炭素モデル建物化による実質負担費用	95,864,891 円
CO2削減量(ケース0および4による削減量)	906 tCO2/年
建築物の耐用年数	47 年
費用対効果	2,251 円/tCO2

2) オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）

日本の「ZEB 設計ガイドライン（中規模事務所編）」では平成 28 年省エネ基準で中規模事務所を建設した場合と ZEB ready の仕様を採用した場合の差額について、メーカーヒアリングやカタログ単価を基に下表の通り試算しており、費用の増額率は全体で約 12%であることがわかる。

表 4-18 仕様変更によるコスト比較

区分	増額分	増額含む概算費用 (ケース4に該当)	増額率
	(百万円)	(百万円)	
建築工事仕上(高断熱/日射遮蔽)	120	1,160	112%
空調設備(空調+換気)	160	423	161%
電気設備(照明)	56	393	117%
衛生設備(給湯)	1	191	100%
昇降機	0	69	100%
仮設	24	246	111%
土工	0	111	100%
地業	0	144	100%
躯体	0	741	100%
諸経費	53	457	113%
合計	414	3,935	112%

この費用の増額率を基に、オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）を脱炭素型モデル建物の仕様で建設した場合の建設費を試算する。なお、建設費の算出においては、集合住宅同様にケース 4 の太陽光発電も含めた全ての脱炭素化の対策を実施した場合を想定するものとする。

ウランバートル市新市庁舎の建設費について、脱炭素型モデル建物としないレファレンスとなる標準の建設費においては、3 ブロック全体の総事業費が 970 億 MNT (約 39 億円) とされていることを基に、延床面積より B ブロックの庁舎の事業費を以下の通り試算した。

ウランバートル市新市庁舎3ブロック全体	延床面積	68,000 m ²
	総建設費	97,000,000,000 MNT
		25 MNT/円
		3,880,000,000 円
ウランバートル市新市庁舎Bブロック	延床面積	33,631 m ² (想定)
	建設費	1,919,000,000 円(想定)

一方、プロジェクトとなる脱炭素型モデル建物の仕様を適用する場合、ケース 4 の太陽光発電も含んだ建設費を算出するために、表 4-18 に示した工事区分ごとの建設費を基にウ

ランバートル市新庁舎 B ブロック全体の建設費を按分してケース 0 の区分毎の建設費を算出するとともに、ZEB ready 仕様の増額率を基に表 4-19 の通り区分ごとにケース 4 の建設費を試算した。なお、表 4-19 における「空調設備」の地中熱ヒートポンプ費用は、JICA「モンゴル国 地中熱ヒートポンプによる環境社会配慮型暖房システムの案件化調査」の kW 当たり単価及び設備容量を同じモンゴルでの実績として使用して、以下の通り試算した。

地中熱ヒートポンプのkWあたり単価 (JICA案件化調査の実績より)	330,000 円/kW
地中熱ヒートポンプの設備容量	2,340 kW
地中熱ヒートポンプによる増額費用	772,200,000 円

表 4-19 オフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）を脱炭素型モデル建物として建設した場合の費用

区分	増額率	建設費 (ケース0)	建設費 (ケース4)
		(百万円)	(百万円)
建築工事仕上(高断熱/日射遮蔽)	112%	566	634
空調設備(空調+換気)	161%	206	772
電気設備(照明)	117%	192	225
衛生設備(給湯)	100%	93	93
昇降機	100%	34	34
仮設	111%	120	133
土工	100%	54	54
地業	100%	70	70
躯体	100%	361	361
諸経費	113%	223	252
合計	112%	1,919	2,628

上記より、レファレンス費用である 1,919,000,000 円とプロジェクト費用である 2,628,000,000 円の差額を基に、費用対効果を算出した結果を以下に示す。費用対効果 2,318 円/tCO₂ は、JCM 設備補助の条件となる 4,000 円/tCO₂ 年以下を満たすものであるため、一定の費用対効果が見込まれると判断できる。但し、JCM 設備補助の対象は設備のみであり、ケース 4 のうち外皮の断熱強化は対象外となるため、参考値となる。

脱炭素モデル建物化による増額費用	708,950,000 円
JCM設備補助率	50%
脱炭素モデル建物化による実質負担費用	354,475,000 円
CO ₂ 削減量(ケース0および4による削減量)	3,254 tCO ₂ /年
建築物の耐用年数	47 年
費用対効果	2,318 円/tCO ₂

以上より、参考値ではありながら JCM 設備補助事業としての一定の費用対効果が想定できるため、今後、具体的に JCM を活用する場合には、ケース 4 のうち外皮（断熱の強化）を除いた、照明・給湯・換気、省エネ（地中熱ヒートポンプ・太陽熱）、創エネ（太陽光発電）がその対象になると考えられる。JCM 設備補助事業の採択事例として、スマート都市

開発のため、高効率チラー、全熱交換機組込み空調機、ヒートポンプ温水器、駐車場換気システムの導入を目指す取り組みもあるため、モンゴルにおいてもウランバートルが目指す分散型都市計画のなかで建物にかかるエネルギー改善に向けた具体的な提案につなげることは可能である。

4.5 寒冷地における「脱炭素型モデル建物」による効果と今後の検討

上述 4.4 の集合住宅及びオフィスビルに脱炭素型モデル建物を各ケースで適用した場合の検討結果について、以下の通り整理した。

集合住宅（例：SERENE TOWN）

- ・ ケースごとに脱炭素型モデル建物の技術を適用することで、一次エネルギー消費量を削減可能（特に、地中熱ヒートポンプによる空調の効果が大きい）
- ・ ケース 4 までの脱炭素型モデル建物の技術を適用した場合、対策無しのものに比べて、エネルギー消費量および GHG 排出量の削減は年間で約 45%程度可能

オフィスビル（例：ウランバートル市新市庁舎）

- ・ 比較的新しい建物で断熱性能も良いと想定され、ケース 1 の外皮（高断熱化）による効果は大きくない
- ・ ケース 2 の設備の高効率化においては、照明や換気設備の改善による効果が大きい
- ・ 脱炭素型モデル建物の適用において、オフィスビルを対象とする場合、断熱性能が高くなく、空調による負荷の割合が大きいものを対象とすると、より大きな脱炭素効果が期待できる
- ・ エネルギー消費量および GHG 排出量の削減は約 30%程度可能

以上より、集合住宅やオフィスビルを対象として脱炭素型モデル建物を適用することで、十分に大きな脱炭素効果が期待されることがわかった。本検討結果をもとに、今後の取り組み方針を以下に整理する。

(1) 対象建物に合わせた脱炭素型モデル建物の適用ケースを提案する

対象建物の用途や熱供給システム等の前提条件によって、建物外皮（断熱材の強化）、照明・給湯・換気、再エネ（地中熱・太陽熱、加えて太陽光発電）の可能な組み合わせが異なってくる。脱炭素型モデル建物によるエネルギー消費量・GHG 排出量の削減効果がより高くなるような組み合わせを検討する必要がある。対象建物の断熱性能の状態、空調によるエネルギー消費割合等も確認のうえ、実現可能かつ効果の見込める提案をすべきである。例えば、建物外皮による断熱性能の強化は、新築の建物と既設の建物を改修する場合には、取り組み方法やレファレンスの設定も異なる。地中熱ヒートポンプを導入する場合は、地中の熱を採熱するためのボアホールの設置が前提となるため、その設置が可能な広場や駐車場などを近隣に有する建物が対象となる。

また、今回の検討では、脱炭素効果の算定に重点を置いたため、その取り組みに必要な建築資材等の現地での調達可能性、価格などの確認は不十分な状況であるため、詳細検討を進めるときにはその確認も必要となる。

(2) 照明や空調設備の高効率化や室内環境の適正化も提案する

ケース2で想定した照明など設備の高効率化は、対象とする建築物を問わずにある程度確実に効果が得られることがわかる。ウランバートル市内では、前述第2章2.4で説明した通り、冬季における暖房システムが安価な石炭を燃料とした熱供給システムが主流であるため、脱炭素型モデル建物に100%短期間で切り替えることは現実的ではない。日本のZEB Readyのように、部分的な取り組みからまずは試験導入して、脱炭素型の生活様式を少しずつ促進させることも考えられる。照明や空調設備等の高効率化は、初期投資も大きくなく、比較的容易に取り組めて、かつ確実に効果が得られる提案であると考えられる。

今回の脱炭素型モデル建物の検討においては、表4-6にあるZEBのデザインプロセスのうち「室内環境の適正化」は検討対象から除外したが、照明・空調管理と共にBEMS(Building Energy Management System)やHEMS(Home Energy Management System)等も促進することで、ZEBで推奨する取り組みに近づけられると考える。

特に、モンゴルにおいては石炭炊きの熱供給システムによって供給熱の調整が適切ではないことが、人々への健康にも影響を与えると懸念されている。「室内環境の適正化」として、高性能フィルターや空気清浄機能も取り入れられて、適切な換気が実現することは、新型コロナウイルス感染拡大の防止にも貢献して、コロナ禍における新たなニーズにもつながると考えられる。

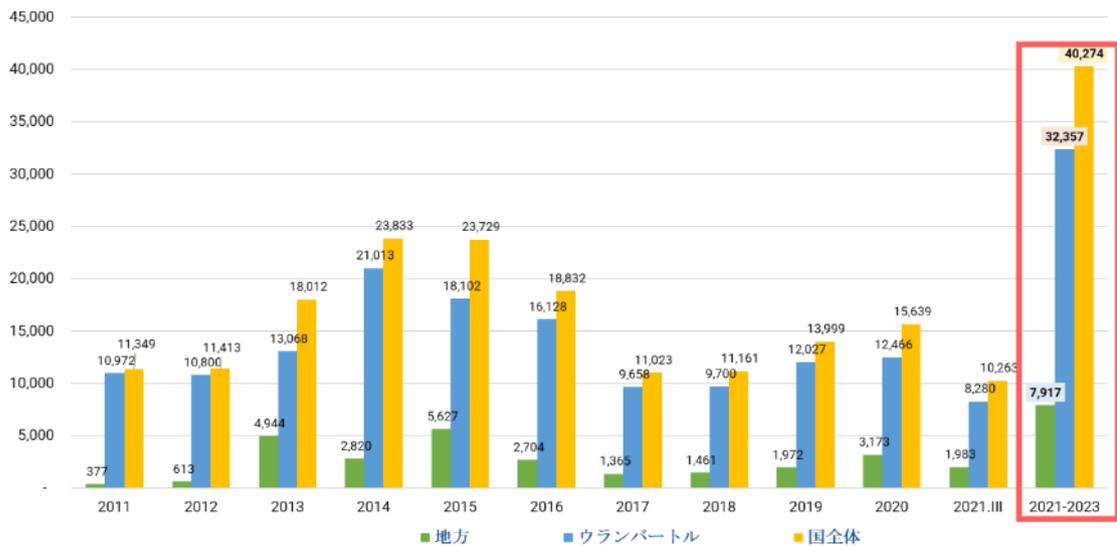
本事業の2年次の活動でウランバートル市側にも紹介されたように、寒冷地である札幌の建物において室内空気環境を改善することで建物内のエネルギーコントロールによって省エネ効果にもつながったという北海道大学の事例発表もあるため、石炭依存からエネルギー転換を実現してきた札幌市の知見共有も引き続き期待される。

(3) 将来的な都市開発と集合住宅に係る需要を見込んだ提案をする

モンゴルでは、ウランバートル市マスタープランやゲル地区再開発計画、新空港開設に伴い計画中の衛星都市(アエロシティ)構想等、将来的な都市開発の計画が進められている。首都ウランバートルでは、分散型の都市計画を目指す政策のもと、ウランバートル市公郊外(トゥブ県やフシグ谷)にアパート地区、病院、学校、各種サービスセンターの建設も計画されている。

今回、脱炭素型モデル建物の検討対象となったウランバートル市新庁舎を中心に大規模な住宅開発によって副都心の形成が考えられており、SERENE TOWNといったコンパクトシティ構想によるゲル地区再開発計画も進められている。

NOSKの調査によると、図4-29の通り2021-2023年にモンゴル全体で40,274戸の新築住宅の供給が確認されている。過去10年と比較しても、そのニーズが2倍以上に急増していることがわかり、今後の衛星都市の実現によって、その需要がさらに高まることが予測される。



出典：「ウランバートル市住宅状況に関して」

図 4-29 住宅（アパート）の供給状況

ゲル地区再開発計画においても、表 4-20 の通り 2030 年の NDC 目標達成の一部となる計画が示されており、グリーンビルディングや建物の熱損失の削減、建設分野における GHG 排出削減量の目標値も設定されている。ウランバートル首都公団公社によると、住宅費用の高騰要因として、グリーン設備に対するコスト負担がもっとも大きいという調査結果もあるため、JCM 設備補助の活用も含めた脱炭素型モデル建物の仕様を取り入れる需要は高いため、将来のマーケットも見据えた提案が可能であると考えられる。

表 4-20 ゲル地域土地再開発計画の目標

基準	単位	2018 年	2021 年 目標	2025 年 目標	2029 年 目標
建設工事の機械化	%	60.9	61	62	65
工事量	10 億 MNT	2,944	4,343	8,338	12,330
グリーン認定ビル	件	-	5	10	20
建物の熱損失の削減	%	-	20	30	40
建設分野における 温室効果ガスの削減	1000 トン CO2	0.3	10.9	30.1	53.7

出典：「ウランバートル市住宅状況に関して」

(4) 熱供給の実情と将来的なエネルギー転換も見据えた提案をする

モンゴルは豊富な石炭資源に恵まれているため、エネルギーに占める石炭依存度は極めて高い。発電にはほとんど石炭が使用されている。一方、モンゴル政府は 2015～2030 年の国家エネルギー政策の下、再生エネルギーの割合を 2023 年までに 20%、2030 年までに 30% に引き上げる目標を掲げている。

2017 年に承認された国家環境汚染低減プログラムの第 4 章プログラムの一環として実施される対策の 4.1.9 では、「UB 市内で稼働中する温水ボイラの廃止、消費者の中央及び

地域的な暖房供給系統への接続を段階的に実施する」と規定されている。火力発電所の増強に伴い中央熱供給エリアが拡大され、それに伴い毎年 30～40 カ所の熱供給ボイラ (HOB: Heat Only Boiler) が廃止されている。2020 年 3 月時点で 406 箇所の HOB が稼働している状況にあり、毎年 HOB を減らしていく方針であるため、ウランバートル市内で新たな温水ボイラの導入は現実的ではない。2020 年 11 月から既存 HOB の使用燃料が生石炭から代替燃料に転換されている。

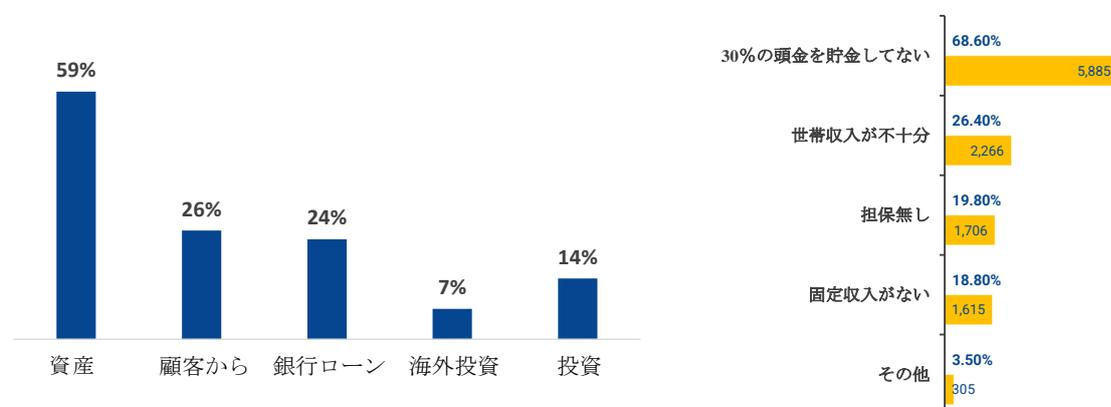
代替燃料としては、ガス、油及び石炭や再生エネルギーにより発電された電気が挙げられるが、ガスと油は現在輸入に頼っている。再生可能エネルギーは、第 2 章 2.4.2 でも前述の通り、風力、水力、太陽光、地中熱等の活用がウランバートル市及び近郊で期待できるが、電力供給量としてはまだ十分ではない。

電化による石炭代替策は、コストを別にした場合、ゲル地区の推定 95% の世帯が配電網に接続されているため、モンゴルでは最も実践的な方法であるかもしれない。但し、コスト問題に加えて、現在のネットワーク容量は不十分で、ピーク負荷時には供給制限されている現状がある。

上述の通り、ウランバートル市及びモンゴルにおける熱供給の実情を把握しつつ、将来的なエネルギー転換も見据えた提案が求められる。さらに新たなエネルギー源も提案していくことが必要になると考えられる。例えば、モンゴルでは、森林の立ち枯れ被害が増大し、モンゴル環境観光省森林政策調整局統計では 12 億 m² の森林材積のうち 4 億 700 万 m³ という膨大な立ち枯れ木が未伐採のまま放置され、森林火災の発生や森林再生の妨げとなっているという情報もある。札幌市における地域熱供給の事例も参考にして、バイオマス資源による熱供給を提案することも考えられる。

第5章 グリーンファイナンスに係る知見共有

前章で示した脱炭素型モデル建物を促進するためには、現在、NOSK が取り組んでいる住宅開発や集合住宅事業における資金計画が重要になる。第4章の図4-29で示す通りウランバートル市における住宅需要が増加するなか、持続的に廉価住宅の供給を実現するためには、NOSK によるモンゴル商業銀行等の金融機関と協力した国内外の株式市場での金融商品や多面的な資金調達による資金確保に加えて、グリーンファイナンスの仕組みを促進することが必要になっている。特に、NOSK による建設計画の資金源は現状では図5-1通り内訳となっているところ、一方では顧客からの住宅購入に係る課題として図5-2の通り資金計画が挙げられるため、脱炭素型モデル建物に対する資金支援の対策がなされることで導入の実現性が高まることが期待される。



出典：「ウランバートル市住宅状況に関して」

図 5-1 NOSK の建設事業に係る資金源と顧客の住宅購入に係る課題

本事業2年次では、日本や世界におけるグリーンファイナンスやグリーンビルディングの要件を整理してウランバートル市に知見共有をした（附属資料）。また、環境省が推奨する途上国の気候変動対策とファイナンスの取り組みとして、緑の資金 GCF の活用可能性とプロジェクト形成について議論するために緑の気候基金（GCF：Green Climate Fund）に係る概要とその認証機関であるモンゴル貿易開発銀行の取り組みより、今後の低炭素型モデル建物の導入を促進するための可能性を検討した。

5.1 グリーンボンドの概要

グリーンボンドとは、グリーンファイナンスの手法の一つであり、企業や国際機関等が、地球温暖化をはじめとする環境的問題の解決に資する事業（グリーンプロジェクト）に要する資金を調達するために発行する債券のことである。調達資金の用途がグリーン事業に限定されており、調達資金がレポーティングによって確実に追跡管理される透明性の確保された債券である。我が国においても、手法や要件が確立されているため、ここに紹介する。

グリーンプロジェクトでは、環境面での包括的かつ持続可能な目標、戦略、政策等（中期経営計画、サステナビリティ戦略、CSR 戦略等）とその規準やプロセスに関する情報（潜

在的な環境リスクや社会的リスクも含む) が、評価・選定する際の根拠と一緒に投資家に説明される。例えば、「気候変動の緩和・適応」を環境面での目標とする場合、温室効果ガス排出削減効果のある事業などのグリーンプロジェクトを調達資金の充当対象にすることが明らかにされている。主なグリーンボンドの種類とその調達資金の用途とした具体的なグリーンプロジェクト例を表 5-1 と表 5-2 にそれぞれ示す。

表 5-1 具体的な資金の用途としてのグリーンプロジェクト例

再生可能エネルギー事業	発送電、機器も含む事業等
省エネルギー事業	省エネ性能の高い建築物の新築、建築物の省エネ改修、エネルギー貯蔵、地域冷暖房、スマートグリッド、機器も含む事業等
汚染の防止・管理事業	排水処理、温室効果ガス排出抑制、土壌汚染対策、廃棄物の 3R や熱回収等
自然資源の持続可能な管理事業	持続可能な農業・漁業・水産養殖業・林業等
生物多様性保全事業	沿岸・海洋・河川流域環境の保護
クリーンな運輸に関する事業	電気自動車や水素自動車等の低公害車、公共交通機関、鉄道、自転車、複合輸送、そのインフラ整備等
持続可能な水資源管理事業	飲用水確保のためのインフラ、都市排水システム、洪水緩和対策等
気候変動に対する適応事業	気候変動の観測や早期警報システム等
環境配慮製品、環境に配慮した製造技術・プロセスに関する事業	環境配慮型製品やエコラベルや認証取得製品の開発および導入等

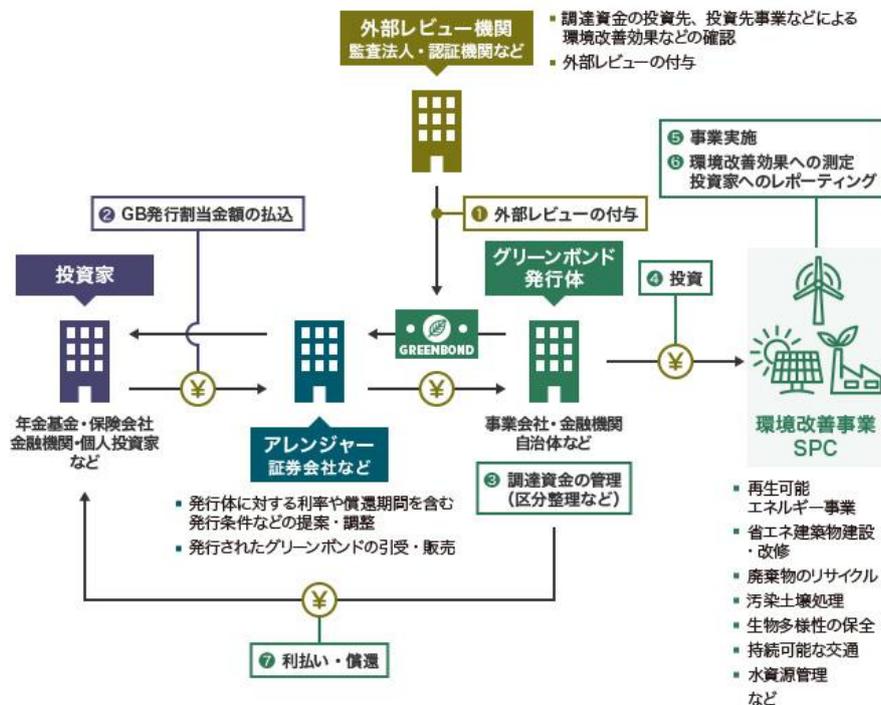
出典：環境省グリーンボンドガイドライン 2017 年版

表 5-2 グリーンボンドの種類

種類	概要
Standard Green Use of Proceeds Bond	グリーンプロジェクトに要する資金を調達するために発行する債券。特定の財源によらず、発行体全体のキャッシュフローを原資として償還する。
Green Revenue Bond	グリーンプロジェクトに要する資金を調達するために発行する債券。調達資金の充当対象となる公的なグリーンプロジェクトのキャッシュフローや、当該充当対象に係る公共施設の利用料、特別税等を原資として償還する。 (例) 外郭団体が行う廃棄物処理事業に必要な施設の整備や運営等を資金用途とし、当該事業の収益のみを原資として償還を行う債券
Green Project Bond	グリーンプロジェクトに要する資金を調達するために発行する債券。調達資金の充当対象となる単一又は複数のグリーンプロジェクトのキャッシュフローを原資として償還する。 (例) 再生可能エネルギー発電事業を行う SPC が発行する、当該事業に必要な施設の整備や運営等を資金用途とし、当該事業の収益のみを原資として償還を行う債券
Green Securitized Bond	グリーンプロジェクトに係る通常複数の資産（融資債権、リース債権、信託受益権等を含む）を担保とし、これらの資産から生まれるキャッシュフローを原資として償還を行う債券。 (例) ソーラーパネル、省エネ性能の高い機器、設備、住宅等、電気自動車や水素自動車等の低公害車などに係る融資債権等を裏付けとする資産担保証券

出典：グリーンボンドガイドライン グリーンローン及びサステナビリティ・リンク・ローンガイドライン（環境省）

グリーンボンド発行における一般的なスキームを図 5-2 の通り示す。発行体と投資家、アレンジャーに加えて、環境性に関する外部レビュー機関が関与する部分が通常の債券と異なる。その主な関係者と、その役割や事業者・機関例を表 5-3 に示す。



出典：環境省「グリーンボンド発行促進プラットフォーム」

図 5-2 グリーンボンド発行における一般的なスキーム

表 5-3 グリーンボンド関係者

関係者	役割	事業者・機関例
発行体	グリーンボンドの発行を実施する	<ul style="list-style-type: none"> 自らが実施するグリーンプロジェクトの原資を調達する一般事業者 グリーンプロジェクトに対する投資・融資の原資を調達する金融機関 グリーンプロジェクトに係る原資を調達する地方自治体
投資家	発行されたグリーンボンドに対し、投資する	<ul style="list-style-type: none"> ESG 投資を行うことを表明している年金基金、保険会社などの機関投資家 ESG 投資の運用を受託する運用機関、資金の使途に関心ある個人投資家
アレンジャー	発行されたグリーンボンドの引受け、投資家への販売を実施	<ul style="list-style-type: none"> グリーンボンドを発行する際に、発行条件（利率や償還期間等）を提案・調整する組織・機関（主に証券会社）
外部レビュー機関	グリーンボンドの発行により調達した資金使途の適切性や、グリーンプロジェクトによる環境改善効果等を客観的に評価する機関（監査法人・認証機関等）	<ul style="list-style-type: none"> 監査法人・認証機関等 グリーンボンド発行体に対する外部レビューの発行（随時）

出典：環境省「グリーンボンド発行促進プラットフォーム」より調査団作成

上述関係者のうち、発行体及び投資家にとってグリーンボンドに対するメリットは以下の通りである。

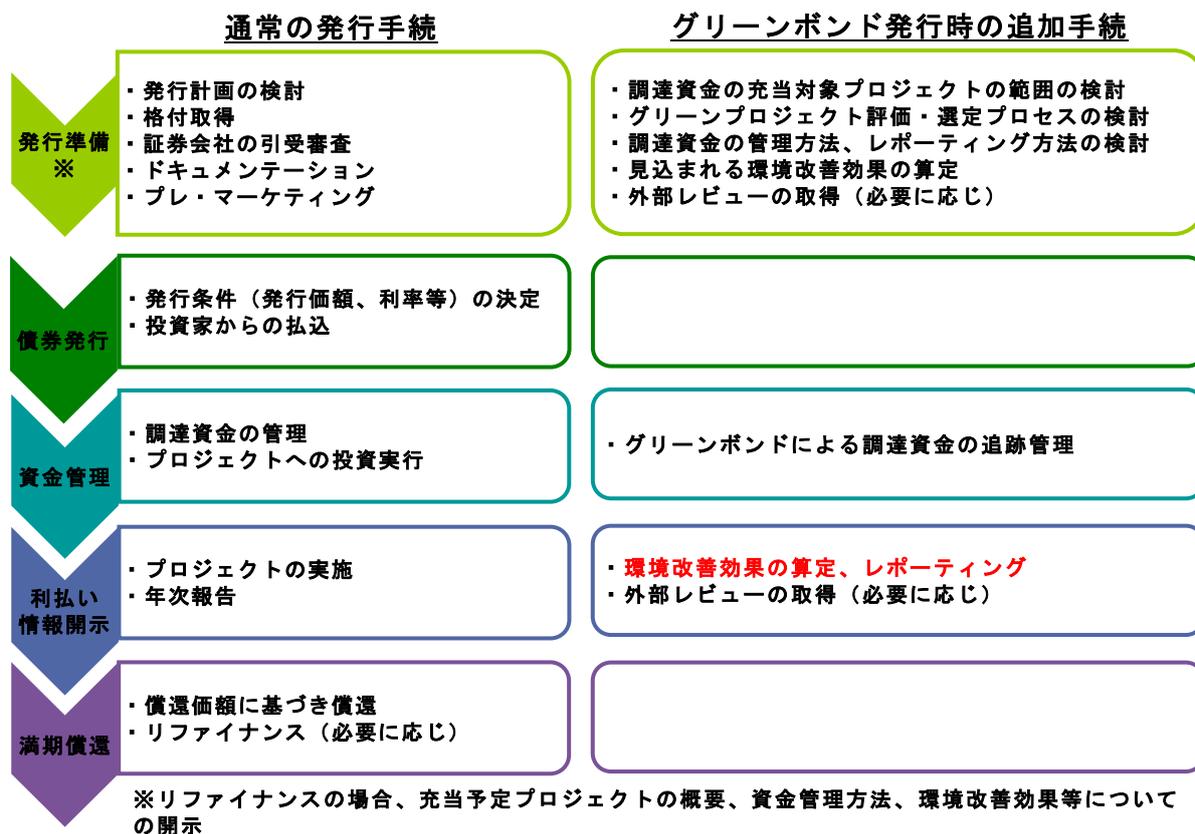
<発行体>

- ・サステナビリティ経営の高度化につながる
- ・透明性が確保されているため、グリーンプロジェクト推進に関する積極的なアピール及び社会的支持の獲得につながる
- ・環境問題やエコ技術に関心が高い新たな投資家との関係構築による資金調達基盤の強化につながる
- ・新興の再生可能エネルギー事業者等に対して比較的好条件で資金調達の可能性がある

<投資家>

- ・環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）要素も考慮した ESG 投資として、透明性が高く安定的な利益をもたらす投資対象となる
- ・「パリ協定」採択に伴い、大きな投資需要がある関連したグリーンボンドを通して事業に直接投資ができる
- ・プロジェクトの評価及び選定のプロセスに関して十分な事前説明がなされる
- ・投資を通じた投資利益と環境面等からのメリットの両立が可能となる

特に、グリーンボンドへの投資家は、自らの拠出した資金がグリーンプロジェクトに充当され、環境改善効果への貢献を期待している。よって、発行体としても、発行した債券がグリーンボンドであることを主張・標榜し、透明性を確保することが必要である。発行体は、図 5-3 に示す発行フローのうち情報開示において、債券発行後に調達した資金の使用に関する最新の情報をウェブサイト等で一般開示している。「風力発電事業」「エネルギー効率の高い機器の導入に関する事業」「廃棄物リサイクル関連施設の建設・運営に関する事業」といったように事業項目毎に資金明細と環境改善効果も明記されている。環境改善効果の開示は、可能な場合には算定方法や前提条件とともに定量的な指標が示されているが、定量化が難しい場合には、表 5-4 に後述する LEED、CASBEE 等の外部認証を取得して透明性を確保している。



出典：環境省「グリーンビルディングガイドライン」

図 5-3 グリーンボンド発行における一般的なスキーム

上述のグリーンボンドによるグリーンプロジェクトの推進による環境面等から以下のようなメリットが期待されている。

- ・地球環境の保全への貢献
グリーンボンドの普及により、再生可能エネルギーや省エネルギー等やグリーンプロジェクトへの民間資金の導入拡大が図られ、これを通じて、国内外における温室効果ガスの長期大幅削減に資する。また、企業等の長期的利益の基盤である自然資本の劣化の防止等も見込める。
- ・グリーン投資に関する個人の啓発
グリーンボンドの普及により、グリーン投資に関する個人の啓発を通じ、当該個人の資産の受託者たる機関投資家等がより積極的にグリーン投資を行うことの動機付けとなり、資金の使途への個人の関心が高まり、経済全体の「グリーン化」にも期待ができる。
- ・グリーンプロジェクト推進を通じた社会・経済問題の解決への貢献
グリーンプロジェクトの推進により、エネルギーコストの低減、エネルギー安全保障の強化、地域経済活性化、災害時のレジリエンスの向上等も見込める。

5.2 グリーンビルディングの概要

5.2.1 グリーンビルディングの定義

グリーンビルディングについては、特定の定義は定まっていない。持続可能な建物、高性能の建物、グリーンアーキテクチャ、自然の建物などと呼ばれることが一般的であり、近年では従来の建物に比べてエネルギー消費量を削減した高機能の建物をいうことが多い。

世界各国におけるグリーンビルディングの認証制度は下表の通りである。日本では、寒冷地の札幌市でも運用されている CASBEE がある。

表 5-4 各国のグリーンビルディングの認証制度

評価基準	国	評価対象	概要
LEED	米国	<ul style="list-style-type: none"> 対象種別毎（新築、既存、商業用不動産内装、学校、小売用、ヘルスケア、住宅） その他（近隣開発） 	<ul style="list-style-type: none"> 1996年に建築の各分野の代表で構成される U.S.Green Building Council によって開発された。グリーンビル設計・構造・運用に関する評価基準の提供を目的としている。 評価項目は景観維持、エネルギー効率、資源保護、環境の質、水資源保護、設計の6分野に分類される。
BREEAM	英国	<ul style="list-style-type: none"> 対象種別毎（オーダーメイド基準、裁判所、サステナブル住宅、既存住宅、保健・衛生、工業施設、インターナショナル、刑務所、オフィス、小売店舗、教育、地域施設） 	<ul style="list-style-type: none"> 英国建築研究所 BRE(Building Research Establishment)と、エネルギー・環境コンサルタントの ECD(Energy and Environment)によって1990年に開発された。 「法律より厳しい基準を掲げることにより所有者、居住者、設計者、運営者の環境配慮の自覚を高め、最良の設計・運営・維持・管理を奨励するとともにそれらの建物を区別し認識させること」を目的としている。 既存・新築のどちらにも適用でき、管理、健康と快適、エネルギー、交通、水資源、材料、敷地利用、地域生態系、汚染の最大9分野で評価される。 世界で最初の環境価値評価指標であり、英国外でも広く利用されている。
HQE	フランス	—	<ul style="list-style-type: none"> HQE Association が提供しており、1996年から利用されている不動産の環境価値評価基準 当初認証制度はなかったが、2004年から認証制度が開始された。 「環境に配慮した建築」、「環境に配慮したマネジメント」、「快適性」、「健康」の4つの視点から不動産を評価している
CASBEE	日本	<ul style="list-style-type: none"> 事業段階毎（企画、新築、既存、改修） 対象種別毎（建築系、住宅系、まちづくり系） その他（ヒートアイランド） 	<ul style="list-style-type: none"> 2001年から現在に至るまで、国土交通省の主導の下、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置した委員会において、環境に配慮した建築物の普及を目的として開発が行われている。事業段階に応じた企画、新築、既存、改修の4つの基本ツールと、個別目的に応じた建築、住宅、まちづくり等の拡張ツールがある。 ①建築物のライフサイクルを通じた評価ができること、②「建築物の環境品質(Q)」と「建築物の環境負荷(L)」の両側面から評価すること、③「環境効率」の考え方をういて新たに開発された評価指標「BEE(建築物の環境効率、Building Environmental Efficiency)」で評価すること、の3つを理念としている。

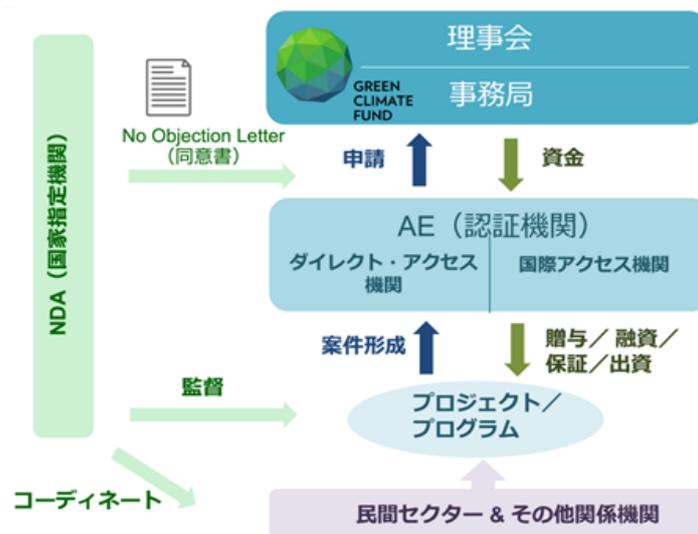
出典：(財)建築環境・省エネルギー機構ウェブサイト、USGBCウェブサイト、BREEAMウェブサイト、「Sustainable Buildings in France: Progress Report」(Sustainable Building Conference 08)

5.3 緑の気候基金（GCF：Green Climate Fund）の概要

Green Climate Fund（以下、GCF）は、開発途上国が GHG 排出抑制・削減・吸収（緩和）と気候変動による影響への対処（適応）を実施するための努力を支援する国際基金（ファンド）である。途上国の開発を低炭素及び気候強靱性を持ったものにする「パラダイムシフト」の促進を目指したもので、2010年に開催された COP16（気候変動枠組条約第16回締約国会議）で設立が決定され、2015年から支援案件の承認を開始している。

GCFの資金拠出において、は、緩和対策と適応対策に半分ずつ振り分けられ、そのうち適応対策の資金のうち半分は、島嶼国、後発途上国、アフリカ諸国に振り分けられる方針がある。戦略的優先分野として、緩和対策は主に「発電とアクセス」「運輸交通」「森林・土地利用」「ビル・都市・産業・家電」、適応対策は主に「健康・食料と水の安全保障」「住民の生活とコミュニティ」「生態系とそのサービス」「インフラと建築環境」が挙げられている。本事業で検討する低炭素型モデル建物の促進は、緩和対策の「ビル・都市・産業・家電」もしくは適応対策の「インフラと建築環境」に該当すると考えられる。

GCFは、途上国の開発計画や気候変動政策の優先順位に沿ったプロジェクトを途上国自身から提案し、それを実施・管理するものであり、途上国自らによるプロジェクトの主導性を確保する仕組みとなっている。具体的な手続きは下表の通り、GCF資金を活用するためには、認証機関（AE：Accredited Entities）を通して資金申請書（Funding Proposal）を提出する必要がある。資金申請時には、事業実施国政府（NDA（国家指定機関）からの同意書（No objection letter）も提出が必要である。資金申請書は年3回程度開催されるGCF理事会で議論されて、承認されるとGCFの資金がAEを通じて、プロジェクト等に提供される。



出典：環境省ホームページ

図 5-4 GCF の手続き

認証機関である AE は、GCF に対して資金申請を行う機能・役割を有する機関として、GCF 理事会から認定されることで AE となることができる。国際機関のみならず、地域機関や国家機関、民間企業や NGO も AE になることが可能であり、2017年7月に日本の機関として初めて JICA と三菱東京 UFJ 銀行が認定されている。

モンゴルにおいては、ハスバンク銀行に引き続きモンゴル貿易開発銀行（以下、TDB）が2020年にAEに認定されており、GCFからの最大2億5000万ドルの長期融資を受けて、温室効果ガス排出量を削減して気候変動関連の災害のリスクを軽減するための国家プロジェクトやプログラムに融資することができる体制にある。モンゴルで持続可能なグリーンファイナンスを拡大することを目的としたGCF技術支援プロジェクトの立ち上げも進めている。

TDBは2020年からグリーンファイナンス部門を設立して、グリーンローン商品の販売を開始している。電気ヒーター、断熱材、小規模処理プラント、エコトイレ、電気自動車、スクーター、エネルギー効率の高い住宅、およびエネルギー効率の高い製品を対象に、2020年には、1879億MNTが688の中小企業の顧客に支払われ、約2,566億MNTが4,322人に支払われた。大気汚染削減、再生可能エネルギー、エコカー、水と省エネ、廃棄物削減の分野で合計1,093件のグリーンローンを発行しており、グリーンローン商品の開発とグリーンローンの成長を目指している。TDBの社会融資額は2019年から2020年にかけて15%増、2020年も資産構成のうちグリーンローン部分は第3四半期から第四半期に2020年のポートフォリオ（資産構成）のうちグリーンローン部分は約67%増であり、2021年以降も増加が予測されている。TDBは本事業にも関心表明に基づき協力を受けているため、本事業で目指す低炭素型モデル建物の導入の具体的な検討段階では、TDBのグリーンローンやGCFによる資金支援についても検討が可能である。

GCFについては、その資金拠出において、日本は英国に次いで累積で第2位である（下表参照）。日本はGCF理事会に理事及び理事代理の席を有しており、基金の運営に積極的に貢献しているため、本事業においても日本とモンゴルの連携に基づく都市間連携事業として、同資金の活用可能性を3年次の取り組みとして検討を視野に入れる。

表 5-5 GCF 資金拠出

国	初期拠出	第1次増資
英	12億ドル（7.2億ポンド）	18.5億ドル（14.4億ポンド）
仏	10億ドル（7.7億ユーロ）	17.4億ドル（15.5億ユーロ）
独	10億ドル （7.5億ユーロ）	17億ドル（15億ユーロ）
スウェーデン	5.8億ドル（40億クローネ）	8.5億ドル（80億クローネ）
米	30億ドル（うち10億ドル拠出）	拠出せず
日本	15億ドル	最大15億ドル
その他諸国	計20億ドル	計23.6億ドル
プレッジ総額	約103億ドル （拠出は約83億ドル）	約100億ドル

出典：外務省ホームページ

なお、日本では、JICA が GCF に申請した「気候変動に強靱で安全な島づくりプロジェクト」が、2021年7月に理事会にて承認された。但し、表 5-6 に承認までの経緯を示す通り、長期間になることが予測されるため、活用においては長期的な取り組みを視野に入れて検討する必要がある。

表 5-6 気候変動に強靱で安全な島づくりプロジェクトの概要と承認経緯

国名	モルディブ共和国	
案件名	気候変動に強靱で安全な島づくりプロジェクト	
実施予定期間	2022年4月～2028年9月（78か月）	
GCF 資金申請額	25.1 百万米ドル（約 26.5 億円）（案件総額：約 66.0 百万米ドル（約 26.5 億円）	
実施機関	環境・気候変動・技術省	
対象地域	モルディブ国全土	
具体的事業内容	<p>同国は低標高で土地も狭く居住島の海岸浸食が顕在化しており気候変動に伴う海岸上昇・波力増大によりさらに海岸浸食が加速するため、気候変動の影響を考慮した海外保全・防護対策を促進するための体制構築に取り組み、国土の強靱化及び安全性向上を目指す</p> <p>① 総合沿岸域管理計画の構築 ② 海岸保全/防護対策の実施 ③ 災害時の情報伝達システムの整備 ④ 気候変動に関連する基礎情報・データの収集及び共有システムの整備</p>	
承認までの経緯	2017年7月 2017年10月 2018年9月 2019年1月～ 2020年1月 2020年1月～21年4月 2021年5月 2021年10月	GCF モルディブ理事代理から打診 現地予備調査 コンセプトノート提出 基礎情報収集・確認調査開始 Funding Proposal 初版提出 事務局との調整 理事会 GCF-JICA 間資金活動契約書締結

出典：日本工営株式会社「モルディブにおける GCF 事業提案の取組み紹介」より調査団作成

第6章 オンラインワークショップの開催

本事業では、計4回のワークショップをオンラインで開催し、札幌市とウランバートル市の関係機関より各市の施策や取り組みを共有した。また寒冷地での低炭素型住宅の設計・施工実績を有する企業や地中熱ヒートポンプメーカーの参加も得て、技術提案やモンゴルでの導入可能性について協議した。ワークショップの開催実績一覧と各回の実施内容を以下に示す。質疑応答の内容（議事録）と発表に用いたプレゼンテーションは、付属資料に示す。

表 6-1 ワークショップ開催実績一覧

	開催日
第1回ワークショップ	2021年9月29日
第2回ワークショップ	2021年12月1日
第3回ワークショップ	2022年1月25日
第4回ワークショップ	2022年2月16日

6.1 第1回ワークショップ

(1) 目的

- ・3年間の事業実施方針と計画、昨年度の成果について確認し、今年度の活動内容について合意を図る。
- ・ウランバートル市で進められている住宅開発について、最新の状況を把握する。

(2) 成果

- ・本事業の実施方針と3年間の計画、今年度の活動内容について説明し、札幌市の住宅・建築分野における技術・取り組みの知見共有、ウランバートルの実情に適した低炭素型モデル住宅仕様の検討を進めることを確認した。
- ・NOSKが管轄する住宅開発事業と、その進捗を確認した。

(3) 議事次第

モンゴル時間 (日本時間)	内容	発表者
10:00～10:30 (11:00～11:30)	ウランバートル市開会挨拶 札幌市開会挨拶 岩田地崎建設株式会社挨拶	
10:30～11:40 (11:30～12:40)	昨年度の成果と今年度の取り組みについて	株式会社オリエンタル コンサルタント
	NOSKの概要と住宅開発事業について	NOSK
11:40～11:55 (12:40～12:55)	質疑応答	
11:55～12:00 (12:55～13:00)	札幌市閉会挨拶	

(4) 議事録、発表資料（付属資料 A1-1～7）

6.2 第2回ワークショップ

(1) 目的

- ・ウランバートル市の住宅開発に関する政策、将来計画を把握する。
- ・JCM 設備補助事業の理解を促進する。
- ・日本の ZEB、ZEH-M を紹介し、住宅・建築分野における省エネ効果、低炭素化の有用性について理解を促進する。

(2) 成果

- ・ウランバートル市の将来的な住宅の需要と供給に関する予測、及びゲル地区の再開発や地域熱供給システム導入の必要性が示され、計画的な開発と住宅・建築分野における低炭素化の取り組みの必要性が認識された。
- ・JCM 設備補助事業の概要とモンゴルで実施された事例を紹介し、JCM 設備補助事業活用の有用性が認識された。
- ・建築・住宅分野における低炭素化の取り組みとして、日本の ZEB、ZEH-M を紹介し、寒冷地に即した技術を導入した仕様の必要性が認識された。

(3) 議事次第

モンゴル時間 (日本時間)	内容	発表者
09:00～09:10 (10:00～10:10)	開会：ウランバートル市挨拶	ウランバートル市
09:10～09:45 (10:05～10:25)	ウランバートル市の住宅開発事業の計画・進捗について	NOSK
09:45～10:00 (10:45～11:00)	質疑応答	
10:00～10:15 (11:00～11:15)	JCM 設備補助事業の事例紹介	株式会社オリエンタル コンサルタンツ
10:15～10:35 (11:15～11:35)	日本における ZEB 設計について	北電総合設計株式会社
10:35～10:55 (11:35～11:55)	質疑応答	
10:55～11:00 (11:55～12:00)	閉会：札幌市環境局挨拶	札幌市環境局

(4) 議事録、発表資料（附属資料 A2-1～7）

6.3 第3回ワークショップ

(1) 目的

- ・寒冷地における適切な空調管理の重要性と健康被害について理解を促進する。
- ・地中熱ヒートポンプシステムの技術が理解され、ウランバートル市での導入検討に資する。
- ・検討中の低炭素型モデル住宅仕様について報告し、今後の実施方針を確認する。

(2) 成果

- ・北海道大学の発表により、寒冷地における空調管理と健康被害について学術的な知見が共有され、適切な空調管理の重要性が認識された。
- ・ゼネラルヒートポンプ工業株式会社の発表により、地中熱ヒートポンプシステムの技術と、モンゴルで実施中の導入調査を紹介し、ウランバートル市においても地中熱の活用が有用であることが認識された。
- ・集合住宅（SERENE TOWN）とオフィスビル（ウランバートル市新庁舎）を対象とした提案について進捗を報告し、省エネ効果の算定とともに、初期の設備費用とランニングコストの推計も重要であることを確認した。

(3) 議事次第

モンゴル時間 (日本時間)	内容	発表者
11:00～11:10 (12:00～12:10)	開会：ウランバートル市挨拶	ウランバートル市
11:10～11:30 (12:10～12:30)	省エネのための適切な空調管理及び健康被害対策（PM2.5 対策）	北海道大学
11:30～11:50 (12:30～12:50)	地中熱ヒートポンプとモンゴルでの取り組みについて	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
11:50～12:05 (12:50～13:05)	質疑応答	
12:05～12:30 (13:05～13:30)	モンゴルにおける寒冷地住宅モデル仕様の検討に係る経過報告	岩田地崎建設株式会社
11:30～11:50 (13:30～13:50)	質疑応答	
12:50～13:00 (13:50～14:00)	閉会：札幌市挨拶	札幌市

(4) 議事録、発表資料（附属資料 A3-1～8）

6.4 第4回ワークショップ

(1) 目的

- ・今年度の成果を振り返り、来年度の取り組み方針について協議する。
- ・低炭素型モデル建築仕様の検討結果を報告し、来年度以降の実施方針を確認する。
- ・日本の ZEB の実施事例及びその経済的効果を紹介し、ウランバートル市での適用可能性検討に資する。

(2) 成果

- ・今年度の成果として、低炭素型モデル建築仕様について4つのモデルケースを設定し、集合住宅（SERENE TOWN）とオフィスビル（ウランバートル市新市庁舎）を対象に、省エネ効果の算定結果を報告した。来年度は、対象施設の追加や地域単位での取り組みを検討し、モンゴルでの資機材調達の可否、費用対効果、資金調達に関する調査を進めることを確認した。
- ・日本の ZEB・ZEH-M の概要とその実施事例を紹介した。来年度は、特に公団公社の技術者を対象にした ZEB・ZEH-M への理解促進を提案した。
- ・株式会社アリガプランニングの発表により、寒冷地の建物における具体的な ZEH の取り組みを紹介し、BEMS を含む導入技術の有効性が理解された。

(3) 議事次第

モンゴル時間 (日本時間)	内容	発表者
15:00～15:10 (16:00～16:10)	開会：ウランバートル市挨拶	ウランバートル市
15:10～15:30 (16:10～16:30)	・今年度の活動の振り返り、来年度の取り組み方針について ・省エネ性能算定のための概要書、ZEB・ZEH-M の実施事例集について	株式会社オリエンタル コンサルタンツ
15:30～15:45 (16:30～16:45)	・モンゴルにおける寒冷地住宅モデル仕様の検討結果	岩田地崎建設株式会社
15:45～16:00 (16:45～17:00)	質疑応答	
16:00～16:30 (17:00～17:30)	・ZEB の取り組み、ZEB100% オフィスビルの紹介	株式会社アリガプラン ニング
16:30～16:50 (17:30～17:50)	質疑応答	
16:50～17:00 (17:50～18:00)	閉会：札幌市環境局挨拶	札幌市環境局

(4) 議事録、発表資料（附属資料 A4-1～7）