都市建築物における脱炭素化に向けた地中熱利用の経済性と環境性

明治大学政治経済学部　大森正之研究室
＜環境経済学＞
学部３年　共同論文
関口夏希、葛西結愛、間島かれん

【目次】

はじめに

1　地中熱利用システムの現状
1－1　地中熱利用システムの仕組みと特徴
1－2　地中熱利用システムの世界での導入状況
1－3　地中熱利用システムの日本での導入状況

2　地中熱利用システムの導入効果
2－1　公共施設における導入効果
2－2　福祉施設における導入効果
2－3　学校施設における導入効果
2－4　オフィスビルにおける導入効果

3　地中熱利用システムの経済性・環境性と普及拡大要因
3－1　導入コストと補助金制度
3－2　電力価格の将来的な上昇と建物のエネルギーコストへの影響
3－3　他のヒートポンプシステムとの比較
3－4　海外事例から見る地中熱の普及拡大要因

4　地中熱利用システム普及に向けた提案　―ZEB との関連を中心に―
4－1　制度的支援の現状と課題
4－2　他の脱炭素技術とのハイブリッド導入による普及促進
4－3　オフィスビルを中心とした導入戦略
4－4　政策提言

おわりに

謝辞

【注】
【参考文献・資料】
【参考 URL】
【調査協力企業・団体】

はじめに

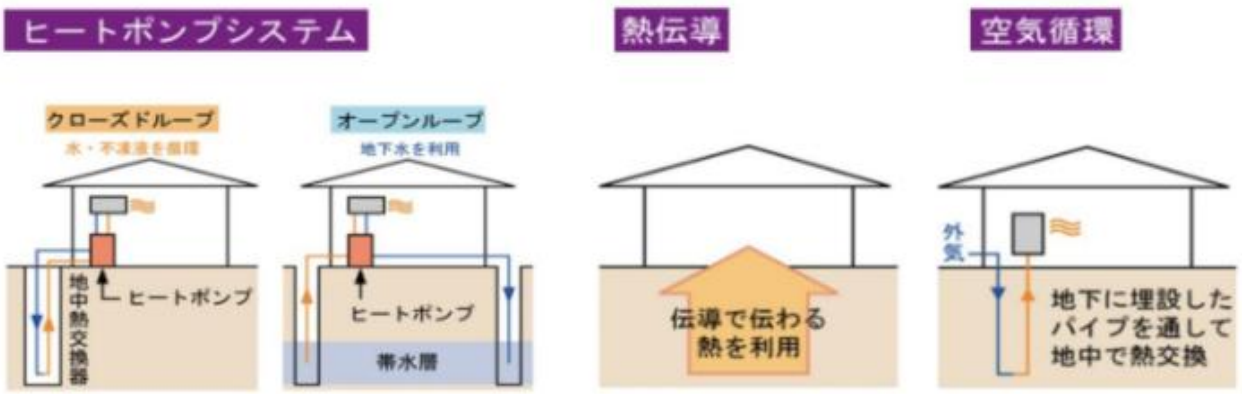
近年、地球温暖化の進行に伴い、世界各地で異常気象が頻発している。集中豪雨、猛暑、干ばつなどの気候リスクは経済活動や人々の生活に深刻な影響を及ぼしており、気候変動問題はもはや地球規模の危機として位置づけられている。こうした背景のもと、2016年に発効したパリ協定では、世界共通の長期目標として「産業革命前からの気温上昇を 1.5～2℃以内に抑える」ことが掲げられた。この目標の実現には、各国政府のみならず、企業や自治体レベルでの温室効果ガス排出削減が不可欠であり、日本国内でも建築物分野における省エネルギー化や再生可能エネルギー導入の取り組みが加速している。その中で、地中熱エネルギーは立地条件に大きく左右されない、安定的な再生可能エネルギーとして注目を集めている。本研究の目的は、都市建築物における地中熱利用の経済的および環境的有効性を明らかにすることである。第１章では、地中熱利用システムの概要、世界や日本における導入状況について説明する。第２章では、訪問調査や質問状調査、文献調査を踏まえ、現在の地中熱利用システムの導入状況について説明する。第３章では、地中熱が持つ経済性と環境性について検討を行った。第４章では、地中熱の ZEB(1)への導入を検討し、地中熱普及のための政策提言を行う。

1　地中熱利用システムの現状

1−1　地中熱利用システムの仕組みと特徴

地中熱とは、地中に蓄えられた低温の熱エネルギーである。地下約 10m～200m の地中における温度は、太陽や大気の影響をほとんど受けず、年間を通してほぼ一定である。また、この温度はその地域の年平均気温とほぼ等しい。夏は地中が外気よりも冷たく、冬は反対に地中が外気よりも暖かいため、地中の熱を建物内に取りこむことで、効率的な空調を実現する。日本では食料の貯蔵や住宅の保温のために、古くから利用されてきた歴史がある。図 1 に示したように、地中熱の住宅における利用方法はヒートポンプシステム、熱伝導、空気循環などの複数の方式が存在するが、特に多く利用されているのはヒートポンプシステムである。 この方式は、ヒートポンプの熱源に地中熱を利用し、得た熱を空調や給湯に利用する。

図 1　主な 4 つの地中熱交換方式



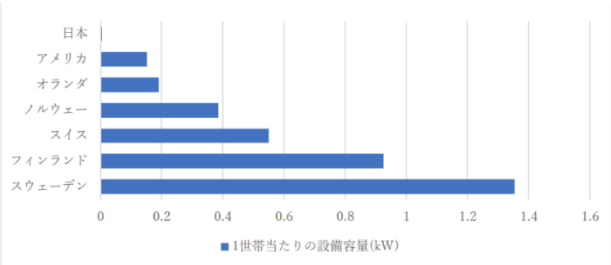
※地中熱促進協会 HP より引用

1−2　地中熱利用システムの世界での導入状況

国際的には、地中熱利用システムの導入は特にヨーロッパ諸国で進んでいる。図 2 に示したように、スウェーデンの世帯あたり地中熱設備容量は 1.345kW と、日本（0.004kW）の約 300 倍に達している。これらの国々では寒冷地気候に適した熱源として普及が進み、地中熱は脱炭素社会を支える主要インフラの一つとなっている。また、これらの国々では、高額な炭素税を導入しており、スウェーデンにおける二酸化炭素 1 トン当たりに課税される炭素税は、2018 年時点で 15,130 円(環境省，2018 年)と、日本(289 円)の約 50 倍に達している。スウェーデンやフィンランドでは、このような炭素税および再生可能エネルギー補助政策を背景に、住宅から都市部まで地中熱の導入が進んでいる。

また、北欧諸国に共通する政策的特徴は、①炭素税の導入、②導入への補助金、③税額控除
である。これにより、初期費用負担を軽減しつつ長期的なエネルギーコスト削減を実現している。

図 2　1 世帯当たりの GSHP の設備容量(kW)



※環境省「各国の設備容量」より著者作成

1−3　地中熱利用システムの日本での導入状況

環境省が発表した令和 6 年度の「地中熱利用状況調査」によると、2023 年度末時点で日本国内におけ る地中熱利用の総数は 9,188 件であり、そのうちヒー トポンプによる利用が 3,436 件（37.4%）と最も多い。用途別では、庁舎が最大の割合を占め、次いで事務所や病院・医療施設などの公共・業務施設への導入が多い。地域別にみると、寒冷地（北海道・東北）や気温差の大きい地域で導入が進んでおり、特に秋田県・岩手県・長野県では世帯あたりの設備容量が全国平均を大きく上回っている。これは、地中熱が外気温の変動を受けにくく、寒冷地における安定した熱源として有効であることを示している。しかし欧米諸国と比べると、日本では地中熱利用の普及が遅れているのが現状である。その最大の要因は、初期投資（イニシャルコスト）の高さと政策的支援の不十分さにある。オフィスビルや公共施設への導入には、数千万円から数億円規模の費用が必要であり、特に民間部門では投資回収期間が長期に及ぶため導入が進みにくい。また、地中熱単体を促進する明確な国家政策は存在せず、現在は建築物の ZEB 化推進の一環として補助対象に含まれるのみである（環境省, 2022）。

2　地中熱利用システム導入による環境効果

2−1　公共施設における導入効果

本研究では、品川区の学習環境施設「エコルとごし」への訪問調査を行った。本施設では、地中熱ヒートポンプチラー（ボアホール方式[(2)]）を採用している。導入の目的は、区の ZEB 化推進および地中熱利用システムの環境教育における教材としての活用にあり、教育的価値と環境配慮を両立する施設整備を目指したものである。また、この施設は緊急時に避難所としての利用が想定されている。当施設においては、工事費総額の 2 分の 1 に相当する約 1.6 億円が補助金により賄われた。また、設備の償却期間は 32 年とされている。これらの取り組みの結果、同施設はエネルギー消費量の削減に成功し、Nearly ZEB [(3)]認証を取得した。さらに、エコルとごしでは地中熱利用システムを環境学習の教材として活用しており、来館者が実際の設備構造や運転状況を学ぶことができるように工夫されている。このように、本施設における導入は、採算性よりも教育的・社会的価値を重視したものであり、公共施設における地中熱利用の有効性を示す事例と言える。

2−2　福祉施設における導入効果

本研究では、世田谷区にある福祉施設「世田谷区立保健医療福祉総合プラザ」への訪問調査を行った。本施設における地中熱利用システムの導入は「世田谷区地球温暖化対策地域推進計画」の一環で行われた。この計画は、地球温暖化対策として再生可能エネルギーの導入促進と建築物の省エネルギー化を進めることを目的としている。

本施設における地中熱導入にかかった費用の 2 分の 1 に相当する約 2,750 万円を東京都からの助成金で賄っている。本施設においては、導入時の試算によるとランニングコストが月 10 万円の削減となり、経済面での費用対効果は低い。また、施設全体での CO_2 削減量のうち地中熱利用による削減量は全体の 1.4%であり、環境面においても費用対効果の低さが課題となる。

2−3　学校施設における導入効果

本研究では、東京都渋谷区の渋谷本町学園における地中熱利用システム導入についてインターネットや文献を用いた調査を行った。

渋谷本町学園では、プールおよび体育館の冷暖房ならびにプール加温を主な用途として、地中熱ヒートポンプ(ボアホール方式)を採用している。　導入の目的は、渋谷区における地域全体の脱炭素化への貢献と、地域に存在する多様なエネルギーを利用すること

である。財政面では、工事費の 1/3 が NEDO の補助金により賄われている。環境省の実証事業のコスト試算では 40%のコスト削減という結果が得られているものの、経済性の確保は必ずしも重要な目的とはされていない。導入効果としては、地中熱利用によるエネルギー消費量の削減が確認されており、環境性能認証として ZEB Ready[4]を取得している。さらに、未利用エネルギーである地中熱の活用は、災害時におけるエネルギー供給の安定性向上にも資するものであり、地域防災の観点からも重要な意義を有する。2014 年に策定された「渋谷区まちづくり計画」において、本施設が位置する新宿駅周辺地域は「対象整備推進地域」として設定され、地域全体での省エネルギー化や緊急時のレジリエンス向上が目指された。本事例は、地中熱利用システムが環境性や経済性だけでなく、地域連携、レジリエンス強化といった多面的価値を生み出すことを示している。

2−4　オフィスビルにおける導入効果

本研究では、東京都港区のオフィスビル「TODA BUILDING 青山」と東京都内のテナントビル K ビルを対象とした訪問調査、質問状による調査を行った。

TODA BUILDING 青山では、空調設備として地中熱ヒートポンプシステムを導入しており、ボアホール方式および杭方式[5]を併用している。杭方式の導入については、基礎工事と地中熱交換井の掘削を一体化することによる工事費の削減を目的としている。地中熱利用システムの導入目的は、地中熱利用システム含む環境配慮型設備の試験的な導入である。また、環境配慮技術を積極的に導入する姿勢を示すことで、企業イメージの向上および環境先進性のアピールを図る意図がある。導入に際しては、導入費用の 1/2 を補助金により賄っている。しかし、本施設単体では投資回収を前提としていないことから、費用対効果よりも環境・社会的価値の創出や今後建設する施設への環境配慮型設備導入に向けた試験的導入を優先した導入であるといえる。地中熱利用システム導入によるメリットとしては、自社の環境配慮型技術のアピールにより対外的な評価が向上する点に加え、ZEB 認証等を通じて外資系企業を含む優良テナントの誘致につながる効果が報告されている。一方で、費用対効果の低さがデメリットとして挙げられている。また、地中熱利用システム稼働後の地中温度上昇という環境面での影響も確認されている。環境性能認証としては、CASBEE[6]において S ランクを取得し、加えて LEED[7]認証も得ていることから、建築物全体として高い環境性能水準を満たしていると評価できる。本事例は、地中熱利用システム導入が必ずしも経済性のみを目的としたものではなく、企業における環境評価の向上やそれに伴う企業価値向上の手段として位置づけられる場合があることを示している。

また、K ビルでは空調用途を目的として水平方式[8]の地中熱ヒートポンプが導入されている。今回の導入は、本施設における明確な経済的効果を期待したものではなく、地中熱利用の試験的導入を目的としたものである。補助金については、いずれの支援制度も利用しておらず、導入に要した費用は全額を事業者が負担している。また、採算性についても当該施設単体での評価は重視されていない。この点は、地中熱利用システムの知見蓄積や研究的価値を優先した導入事例であることを示している。本事例は、地中熱システムの普及初期段階における実験的導入として位置付けられ、今後の地中熱利用技術の発展に向けた基礎的データの蓄積に寄与していると考えられる。

3　地中熱利用システムの経済性・環境性と普及拡大要因

3−1　導入コストと補助金制度

今回の調査対象であるオフィスビルや公共施設では、地中熱の導入費用は数千万〜数億円かかり、補助金なしの場合、投資回収期間も 10〜30 年以上と長期にわたる。このような初期投資の負担を軽減するため

には、補助金が必要となるが、日本において地中熱導入に利用できる補助金には「義務に伴う補助ではなく、あくまで初期投資負担の軽減を目的としている」「モデル事業や地域連携型が多い」「募集時期・予算枠が限定的」という特徴がある。

3−2　電力価格推移とランニングコストへの影響

日本の電気料金は、今後長期的に上昇することが見込まれる。その主な要因としては、①化石燃料価格の高騰、②電力需要量の増加、③発電所の新増設に伴う設備投資、④供給電力量の減少、⑤政策・制度変更の五つが挙げられる。以下ではそれぞれの要因について検討する。

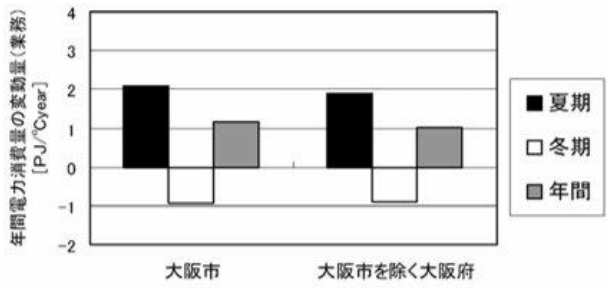
① 化石燃料価格の高騰

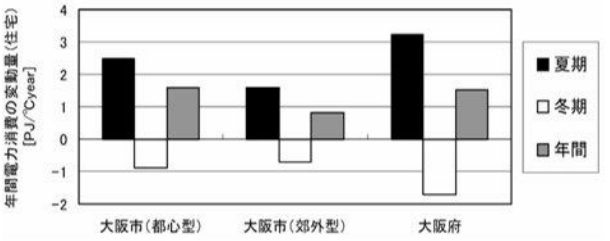
日本は一次エネルギー供給の約 8 割を海外輸入の化石燃料に依存しており、エネルギー自給率はわずか 13%にとどまっている（資源エネルギー庁, 2024)。このため、石油・天然ガス・石炭などの輸入価格が上昇すれば、その影響は電気料金へ反映される構造となっている。特に中東情勢やロシア・ウクライナ情勢など、国際的な地政学リスクによる燃料価格の高騰は、日本の電力コスト上昇を直接的に引き起こす要因となる。したがって、化石燃料市場の変動性は、日本の電気料金の長期的上昇圧力として機能しているといえる。

②電力需要量の増加

産業活動の拡大や平均気温の上昇に伴う冷房需要の増加などにより、国内の電力需要量は今後も増加すると予測されている。経済産業省の予測によれば、2034 年までに全国の電力需要量は約 4 万 GWh 増加する見込みである。さらに、図 3 に見られるように大阪府を例にとると、通年気温が 1℃上昇した場合、年間電力消費量が顕著に増加する傾向が確認されている。(鳴海大典ほか、2007)このように、地球温暖化の進行が電力需要を押し上げる「気候的要因」として働いており、需給バランスの逼迫が電気料金の上昇要因となる。

図 3　通年気温が 1 度上昇した時の電力消費変動量(上：業務用　　下：家庭用)





※鳴海大典ほか(2007)「気温変化が地域の電力消費に及ぼす影響」より引用

③発電所の新増設に伴う設備投資

2030 年度のエネルギーミックス目標では、再生可能エネルギーの導入比率を 2023 年度比で約 1.5 倍に引き上げることが求められている（経済産業省, 2023)。再エネ需要の増加に伴い、新規発電所の建設や老朽化した火力発電所の代替投資が必要となるが、これらの設備投資コストは最終的に電気料金へ転嫁される。特に、送配電網の整備や蓄電システム導入など、再エネ拡大に必要なインフラコストは膨大であり、今後の電力単価上昇に大きく寄与することが予測される。

④供給電力量の減少

既存発電所の老朽化や廃止により、供給電力量の減少が懸念されている。とくに老朽火力の休廃止が進む中で、新設設備の稼働が追いつかない場合、需給バラ

ンスが崩れ、電力価格が上昇するリスクが高まる。加えて、自然変動電源（太陽光・風力）の比率が上昇することにより、供給の安定性が低下し、調整電源や蓄電設備の確保に追加コストが発生することも、電気料金の上昇要因となる。

⑤政策・制度変更

電気料金は、基本的に「電力量料金」「燃料費調整額」「再エネ賦課金」の合計で構成されている。今後、2028 年度に予定されている炭素税（カーボンプライシング）の導入により、化石燃料を使用する発電所の運転コストが上昇し、燃料費調整額の増加が見込まれる。また、再エネ拡大に伴う再エネ賦課金も上昇する見通しである。これらの政策的要因は、長期的に電気料金を押し上げる構造的要素として作用する。

以上のように、①～⑤の複合的な要因により、日本の電気料金は今後も上昇傾向を示すと考えられる。その結果、空調や給湯における電力消費を大幅に削減できる地中熱ヒートポンプの経済的優位性は一層高まるといえる。初期投資こそ大きいものの、電気料金の上昇局面ではランニングコストの削減効果がより顕著に表れるため、地中熱利用システムは長期的なエネルギーコスト安定化策として有効である。

3－3　他のヒートポンプシステムとの比較

地中熱ヒートポンプ（GSHP）は、空気熱源ヒートポンプ（ASHP）およびガスヒートポンプ（GHP）と比較して、初期投資額（イニシャルコスト）は高いものの、運転時のランニングコストおよびメンテナンス費用が低く抑えられるという特徴を有している。これは、地中熱が外気温の影響を受けにくく、熱交換効率が年間を通じて安定しているためである。また、耐用年数の面でも、GSHP の熱交換器部分は 30～50 年と長寿命であり、ASHP の 10～15 年、GHP の 10～15 年に比べて大きな優位性を示す。したがって、設備更新の頻度を考慮に入れたライフサイクルコストで比較すれば、地中熱ヒートポンプは長期的に見て経済的に優位なシステムであるといえる。

3－4　海外事例から見る地中熱の普及拡大における成功要因

欧米をはじめとした海外では、日本と比較して地中熱普及が進んでいる。スウェーデン、フィンランド、アメリカの三国における地中熱利用システムの普及事例を比較すると、共通して政策的後押しの強さが普及の主要因である。三国はいずれも炭素税の導入を軸としつつ、地中熱利用設備に対する税制優遇や税額控除を組み合わせている。これにより地中熱利用システムの初期投資費用の高さという導入障壁が相対的に低減され、長期的な経済合理性が明確化されている。

加えて、経済的支援策としての補助金制度の充実も重要な役割となっている。三国はいずれも、一定の技術要件や性能基準を満たせば自動的に採択されるケースが多い。申請手続きの複雑さや不確実性が抑えられている点が日本との相違点である。

さらにスウェーデンとフィンランドは EU 加盟国であり、各国独自の支援策に加え、整備された補助制度や制作枠組みの影響も受けている。再生可能エネルギーの促進に関しては、EU 加盟国共通の目標や支援方針が示されており、これが制度の安定性を高めている。このような一元化された枠組みが地中熱利用システムの長期的な普及を支える基盤となっていると考えられる。

4　地中熱利用システム普及に向けた提案
―ZEB との関連を中心に―

4－1　制度的支援の現状と課題

本節では、現状の日本における制度的支援の現状と課題について検討する。現在、日本において地中熱普及に関連する政策は、「エネルギー基本計画」「地域脱炭素促進事業」「地中熱利用にあたってのガイドライン」「ZEB 普及政策」の 4 つである。

エネルギー基本計画において、地中熱単体としては第2次改訂エネルギー基本計画で登場して以降、各計画において1〜3文程度ではあるものの、未利用熱の1つとして言及されている。また、第7次エネルギー基本計画においては、再生可能エネルギーの導入拡大と建築物分野の省エネルギー化が重要な政策課題として位置付けられた。

さらに、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて策定された「地域脱炭素ロードマップ」に基づく地域脱炭素促進事業では、建築物の省エネルギー化が重点目標の一つとして掲げられている。また、同事業では、災害時のレジリエンス向上を目的として、再生可能エネルギー等の分散型エネルギーシステムの導入が推進されている。

また、建築物分野における脱炭素化を推進するため、ZEBの普及が推進されている。2024年に改定された地球温暖化対策計画では、公共施設における積極的なZEB化が明確な目標として掲げられ、国および地方自治体に対して率先的な対応が求められている。これに加え、建築基準法の改正により、2025年4月以降に着工される新築建築物の一部を除き、省エネルギー基準への適合が義務化されることとなった。この省エネルギー基準では、用途別にBEI[9]の基準値が設定されている。具体的には、工場等ではBEI≦0.75、事務所等ではBEI≦0.80、病院・飲食店・集会所等ではBEI≦0.85が求められており、省エネルギー性能の確保が制度的に義務付けられる。これらの基準を満たすためには、高効率な設備導入が不可欠であり、空調・給湯といった熱需要に対応可能な地中熱利用システムは、ZEB達成に資する技術として位置付けられる。

一方、制度的・技術的な不確実性を低減することを目的として、環境省が2012年に「地中熱利用にあたってのガイドライン」を策定している。同ガイドラインは、地中熱の技術進展や導入事例の蓄積を踏まえ、現在までに第4版まで改訂されている。本ガイドラインでは、地中熱ヒートポンプシステムの省エネルギー効果や温室効果ガス排出削減効果が整理されるとともに、公共施設や民間建築物における具体的な導入事例が紹介されている。さらに本ガイドラインは、各種地中熱利用方式ごとに、適用可能な地盤条件や設計・施工段階での留意事項を整理している。これにより、地中熱導入の初期検討段階における技術的判断を支援する役割を果たしている。また、地中熱利用システムの導入に関係する法制度として、他省庁が所管する関係法令についても言及されており、制度横断的な整理がなされている。

こうした政策的後押しの下、省エネルギー技術としての地中熱利用は着実に拡大している。実際、ZEB認証建築物における地中熱利用設備の導入件数は、2019年の23件から87件へと大幅に増加しており、建築分野における有効な省エネルギー技術として地中熱の需要が高まっていることがわかる。

しかし、このように地中熱の需要が拡大している一方で、日本の制度には構造的な課題が残されている。第一の課題は、補助制度の体系が複雑かつ不安定である点である。欧米の多くの国では補助制度が連邦レベルで一元的に設計されており、利用者にとって制度の予見可能性が高い。それに対し、日本では複数の省庁や自治体が個別に事業を実施しているため、制度の全体像が把握しにくい。また、毎年度の予算や要件変更により補助制度が安定しないという問題も生じている。

第二の課題は、採択の不確実性である。日本の補助金制度では、煩雑な書類作成や技術的な証明資料の提出が求められる一方、採択率が高くないため、申請に要するコストに見合う確実性が担保されていない。これに対し、海外では要件を満たせば自動的に採択される制度が広く導入されており、確実性の高い制度設計が普及の促進に寄与している。

第三の課題として、補助率の低さが挙げられる。特に欧州諸国では、設備費の30〜50%を補助する制度や、税額控除により初期投資の大幅な削減を可能とする制度が整備されている。これに比べ、日本の補助制度において地中熱は他設備との併せての補助金交付などの要因で相対的に低く、普及のインセンティブが十

分とはいえない。

以上より、日本の制度的支援は一定の成果を生みつつも、海外の先進事例と比較すると制度の一元化、採択の確実性の向上、補助率の拡大といった改善余地が依然として大きい。こうした課題の解消は、今後の地中熱利用のさらなる拡大に不可欠であると考えられる。

4−2　他の脱炭素技術とのハイブリッド導入による普及促進

地中熱利用システムの普及に向けては、高額な初期投資と長期の投資回収期間という経済的課題が存在する。このような課題に対する有効なアプローチとして、太陽光発電、蓄電池、断熱性能向上技術など、他の環境配慮型設備とのハイブリッド導入が注目されている。複数の脱炭素技術を統合的に導入することで、エネルギー需要の平準化や自家消費率の向上が可能となり、総合的なエネルギー効率の改善が期待できる。 特に、太陽光発電による創エネルギーと地中熱利用による省エネルギーを組み合わせることで、エネルギー需給構造を補完し合う効果が生まれる。加えて、断熱・日射遮蔽などのパッシブ技術の導入は冷暖房負荷そのものを低減するため、地中熱システムの容量を抑制でき、設備全体の最適化にも寄与する。このような複合的効果により、地中熱利用設備の経済性は相対的に向上し、導入インセンティブが高まると考えられる。

ハイブリッド導入の有効性を示す事例として、東急コミュニティー技術研修センターNOTIA が挙げられる。同施設では、パッシブ技術、太陽光パネル、地中熱利用システムを組み合わせた総合的エネルギーマネジメントを実施している。その結果、創エネルギー分を含めた一次エネルギー消費量を 75%削減し、「Nearly ZEB」認証を取得している。この事例は、複数の脱炭素技術の統合が地中熱の弱点を補完しつつ、高度な省エネルギー性能を実現し得ることを示す代表的成果といえる。

以上のことから、他の再生可能エネルギー技術や省エネルギー技術とのハイブリッド導入は、地中熱利用システムの普及を促進するための有力な手段であり、今後の脱炭素建築における中核的戦略として位置づけられる可能性が高い。

4−3　オフィスビルを中心とした導入戦略

オフィスビルにおける ZEB 認証の取得は、環境負荷の低減だけでなく、企業経営や不動産運営において多面的な利益をもたらす点で重要性が高まっている。特に、「企業価値の向上」「ESG 投資の増加」「安定した賃料収入」という三つの観点から、その経済的・社会的メリットが明確に示される。

第一に、ZEB 認証を取得したオフィスビルの保有・運営は、企業価値の向上に寄与する。環境問題への積極的な対応は企業の社会的責任（CSR）の遂行と位置づけられ、投資家や取引先など外部ステークホルダーからの信頼性の向上につながる。これにより、企業ブランドの強化や社会的評価の向上が期待され、長期的な企業価値の増大に結びつく。 また、企業がオフィスビルを ZEB にすることで、災害時に外部からの電力供給が停止した場合の事業活動が可能となる。これにより、緊急時の事業継続性が確保され、事業継続計画（BCP[10]）の策定が可能となる。さらに、策定した BCP が国からの認証を受けることで、税制優遇や補助金の優先採択を受けることができ、経済的利益へもつながる。

第二に、ESG 投資の拡大に伴い、環境性能の高いオフィスビルの市場価値は相対的に上昇している。ESG 評価を重視する投資家にとって、ZEB 建物を保有・運営する企業は環境配慮型経営を実践していると見なされ、持続可能な成長が見込まれる企業として投資対象に組み入れられやすい。この観点から、ZEB 化は資金調達面においても優位性をもたらす可能性がある。

第三に、ビルオーナーにとって、 所有するビルを ZEB 化することは、安定的な賃料確保へとつなが

る。環境負荷が少なく、かつ高性能な省エネルギー設備を備える建物は、入居企業の環境配慮姿勢やブランドイメージ向上に貢献するため、需要が高い傾向にある。その結果、入居率の安定化に加え、高い賃料水準の維持が期待でき、ビルオーナーにとって長期的な収益確保につながる。

以上のように、オフィスビルにおける ZEB 化は環境面のみならず、経営戦略、投資活動、不動産運営の各側面において大きなメリットを有しており、今後もその導入拡大が見込まれる。

4−4　政策提言

本研究で得られた知見を踏まえ、ZEB 化および地中熱利用のさらなる普及に向けて、以下の四点の政策を提言する。「ZEB 化企業への税額控除」、「建築基準法の改正」、「補助率の引き上げ」、「公共施設への再エネ導入義務化」「BCP 策定企業の対象拡大」である。

第一に、「ZEB 化した企業への税額控除」は、企業が ZEB 化に向けて投資を行う際の強力な経済的インセンティブとして機能する。税制優遇措置を導入することで、ZEB 関連設備への初期投資の負担が軽減され、民間企業での ZEB 化の促進が期待される。

第二に、「建築基準の改正」は、建築物への再生可能エネルギー設備の導入を義務化するとともに、省エネ基準を現状より引き上げることを定めるものである。これは、補助金制度と連動させることで、新築建築物に対して再生可能エネルギーの導入、さらには一定水準のエネルギー消費削減を義務付ける仕組みを構築する。これにより、建築分野全体の脱炭素化が体系的に推進される。

第三に、「補助率の引き上げ」は、地中熱利用システム導入における経済的障壁の低減を目的とする。現行制度では補助率が低く、初期投資の高さが導入の妨げとなっている。補助率の引き上げや採択枠の拡大によって、企業における導入ハードルを下げ、普及の加速化を図ることが可能となる。

第四に、「公共施設への再エネ導入義務化」は、公共施設、特に緊急時の避難所として利用据える施設への再エネ導入を義務化するものである。災害時の地域レジリエンス向上に加え、公共施設での実証的な運用による民間導入への信頼度を高める効果が見込まれる。

第五に、「BCP 策定企業の対象拡大」は、現在介護施設や介護事業者のみに策定義務が課されている BCP(事業継続計画)の策定義務を負う対象企業を拡大するとともに、同制度での補助対象に地中熱利用システムを加えるものである。これにより、企業における事業活動の継続性を高めるとともに、地中熱導入の経済的インセンティブを作ることが可能となる。

以上の 5 点の政策は相互補完的に作用し、建築分野における脱炭素化を包括的に推進するものである。されに、これらの政策によって地中熱利用システムの需要が増加することで、導入の際にかかる設備費を低減させる効果が見込まれる。これにより、導入における経済的障壁の低減が見込まれる。

おわりに

本研究では、地中熱利用システムの経済的・環境的有効性を多面的に検証した。その結果、地中熱は CO_2 削減と長期的経済性を両立しうる有効なエネルギー技術であることが明らかとなった。

今後この研究をさらに進めていくうえで、いくつかの課題が存在する。1 つ目は、「日本において地中熱導入が進んでいる地域における普及要因の分析」である。日本において、比較的地中熱利用システムの普及が進んでいる地域内で進められている政策や、具体的な費用回収年数などについても分析する必要がある。2 つ目は、「カーボンプライシングが導入された場合の、純利益計算式の変化についての検討」である。炭素価格が大きく上昇した場合に地中熱導入によって GHG 排出量を削減すると、導入しなかった場合と比較して非化石証書の購入量を削減できるため、ランニングコストをさらに削減できたと考えることができる。3 つ目は「住宅における地中熱普及政策の検討」

である。家庭部門においては環境配慮の行動が経済的利益につながりにくく、民間企業や公共施設に向けた者とは別のアプローチを検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご協力とご助言を賜ったことに深く感謝する。調査にご協力いただいた企業の皆様、NPO の皆様、自治体の職員の皆様には、貴重な時間を割いて情報を提供いただき、誠に感謝する。以上の方々への感謝をもって本稿の結びとする。

【注】

(1) Net Zero Energy Building の略。快適な室内環境を実現しながら、建物で消費する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。

(2) 深さ 100m程度の地下に垂直に孔を掘削し、地下に水循環システムや地中熱交換器を設置して、地中の安定した熱を利用する地中熱利用システム。

(3) 設計段階で年間の一次エネルギー消費量を基準の75%以下に削減した建築物。

(4) 設計段階で年間の一次エネルギー消費量を基準の50%以下に削減した建築物のこと。

(5)建築物の基礎杭に地中熱交換器を取り付ける方式。

(5)建築物の環境性能評価。省エネルギー性能や環境負荷の少ない資機材の使用に加え、室内の快適性や景観への配慮なども含めた建物の品質を総合的に評価するシステム。

(6) Leadership in Energy & Environmental Design の略。高い環境性能の建築物を作るための戦略やそれがどう実現されているかを評価する環境性能評価システム。世界的に広く普及している。

(7) 水平方向に地中熱交換器を設置し、面的に熱交換する方式。設置スペースを必要とするが、建築工事との協業により一般的に掘削費が削減できるとされている。

(8) Building Energy Index の略。設計一次エネルギー消費量÷基準一次エネルギー消費量の値。

(9)Buisiness Continuty Plan の略。企業が自然災害をはじめとする緊急事態に遭遇した場合の事業継続のための方法、手段などを取り決めておく計画。

【補論】

(オフィスビルにおける企業の純利益計算式)

(1)環境配慮型設備導入なしの場合

$N=I-D-R-T$

(2)ZEB（地中熱導入なし）の場合

$N_1=(I+\Delta I)-(D+\Delta D)-(R-\Delta R)-(T-\Delta T)$

N_1 を N と比較した場合、$N_1-N>0$ となるのは、$\Delta I+\Delta R+\Delta T-\Delta D>0$ の場合である。つまり、$\Delta I+\Delta R+\Delta T>\Delta D$ の場合、N1 は N より大きくなる。

(3)ZEB（地中熱導入あり）の場合

$N_2=(I+\Delta I+\Delta I')-(D+\Delta D+\Delta D')-(R-\Delta R-\Delta R')-(T-\Delta T-\Delta T')$

N_2 を N_1 と比較した場合、$N_2-N_1>0$ となるのは、$\Delta I'+\Delta R'+\Delta T'-\Delta D'>0$ の場合である。つまり、$\Delta I'+\Delta R'+\Delta T'>\Delta D$ の場合、N_2 は N_1 より大きくなる。

この時、補助率引き上げや税額控除により$\Delta I'$や$\Delta T'$を大きくすると、企業における純利益が増加し、地中熱を導入する経済的インセンティブが生まれる。

N：建築物 1 坪当たりの純利益

Ⅰ：収入

D：減価償却

R：ランニングコスト

T：税金

ΔI：N_1 において増加したオフィスビルの賃料や補助金

ΔD：N_1 において導入した環境配慮型設備の減価償却費

ΔR ：N_1 において減少したランニングコスト
ΔT ：N_1 において税額控除があった場合に削減された税金
ΔI‘：N_2 においてさらに増加したオフィスビルの賃料や補助金
ΔD’ ：N_2 において導入した地中熱利用システムの減価償却費
ΔR’：N_2 においてさらに減少したランニングコスト
ΔT’：N_2 において税額控除があった場合に削減された税金

【参考文献・参考 URL】

・窪田ひろみ、海江田秀志(2023)「地熱・地中熱エネルギー開発の現状と課題：今後の発電利用と地中熱利用に向けた展望」『日本原子力学会誌』日本原子力学会
・笹田政克(2015)「地中熱利用の有効性と可能性」『日本不動産学会誌』日本不動産学会
・笹田政克(2022)「地中熱利用の現状と展望」『えねるみくす』日本エネルギー学会
・鳴海大典、二浦尾友佳子、下田吉之(2007)「気温変化が地域の電力消費に及ぼす影響」『エネルギー・資源』エネルギー・資源学会
・NPO 法人地中熱利用促進協会(2019)「地中熱利用ガイドブック vol.6」
・安川香澄(2023)「世界の地中熱ヒートポンプ利用動向と利用先進国における普及の経緯」『日本地熱学会誌』日本地熱学会
・一般社団法人環境共創イニシアチブ「ZEB リーディングオーナー」
https://sii.or.jp/zeb06/leading_owner/ (2025.10.25 最終閲覧)
・エコルとごし HP
https://ecoru-togoshi.jp/ (2025.10.25 最終閲覧)
・環境省 HP
https://www.env.go.jp/index.html(2025.10.25 最終閲覧)
・経済産業省　資源エネルギー庁
https://www/enecho.meti.go.jp(2025.10.25 最終閲覧)
・経済産業省　中小企業庁 HP
https://www.chusho.meti.go.jp/ (2025.10.25 最終閲覧)
・ 篠ヶ瀬恵市(2012)「 TODA BUILDING 青山『環境最先端テナントビル』における地中熱ヒートポンプ採用事例」『ヒートポンプとその応用』
http://enec-n.energia.co.jp/enec_data/chikunetsu/heatpump/hp84/hp84_11.pdf(2025.10.25 最終閲覧)
・国土交通省(2014)「渋谷まちづくり計画概要」
https://www.mlit.go.jp/common/001057806.pdf （2025.10.25 最終閲覧)
・地中熱利用促進協会 HP
https://www.geohpaj.org/ (2025.10.25 最終閲覧)
・John W. Lund, Leif Bjelm, Gordon Bloomquist, Anette K. Mortensen (2008) “Development and Utilization of Geothermal Resources”
https://www.researchgate.net/publication/226005395_Development_and_Utilization_of_Geothermal_Resources (2025.10.25 最終閲覧)

【調査協力企業・団体】
・品川区都市環境部環境課　様
・品川区立環境学習交流施設エコルとごし　様
・戸田建設株式会社　様
・特定非営利活動法人地中熱利用促進協会　様
・世田谷区立保健医療福祉総合プラザ　様
・株式会社再生可能エネルギー推進機構　様