

【課題名】地下鉄の再エネを最大限活用したゼロエネルギー空調システムの技術開発・実証(委託・補助)

【代表者】横浜高速鉄道㈱ 千葉 直義

【実施年度】平成31年度～令和3年度

(1) 技術開発・実証の概要

①【課題の概要・目的】

地下鉄駅は、軌道や出入口等の開口部を持つ大規模空間で、車両冷房排熱が列車風によってホームに流入することもあり、冷房のエネルギー消費が大きく温熱環境に課題を抱える。駅の湧水(地中熱)の再エネ資源が利用可能であるが、現状あまり有効に使われていない。

本技術開発では、地下の深い位置で地中面接触している地下水槽を活用し地下水槽水を介した地中熱回収を行うと共に、その直接利用により冷房で消費するエネルギーを50%以上削減した。(本事業とは別に実施する補助熱源の電源を、回生電力の活用を想定して直流化することで、地下鉄の特性を最大限活用した新たな空調システムを、開発し空調消費エネルギーの100%再エネ化をめざすことができる。)

②【技術開発・実証の内容と成果】

○重要な開発要素

A1. 【地中熱空調システム】

課題) 地中熱回収設備の経済性、地中熱温度の利用法

地下水槽の地下水槽水を介した地中熱回収システムと、回収した地中熱を直接利用し、空調機の導入外気を冷却するプレクールや軌道からホームに流入する空気を冷却するクールゲートにより構成される地中熱直接利用型空調システムを開発した。(熱交換器・プレクール:2023年実用化見込、クールゲート:2027年実用化目標)

A2. 【クールゲート(気化潜熱利用型空調機)】

課題) 軌道設置する安全性確保、列車風の回収、冷気の攪拌

列車風を用いて湧水を気化させることで、WBまで低温化(約10K)させる空気から冷熱を回収し、駅舎へ送風する空気を冷却する装置を開発した。

A3. 【EMS(エネルギーマネジメントシステム)】

課題) 地中熱回収量の把握と冷水供給制御手法

地中熱回収量や駅舎の空調負荷特性から、地中熱を温度別に各機器へ供給するエネルギーマネジメントシステムを開発した。(2023年実用化見込み)

B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

B統合課題) 駅空調システムと統合できる、各機器をつなぐ冷水管路の設計

対応策) 開発するプレクールとクールゲートへの地下水槽水や地中熱の最適配分は、外気温度、軌道内温度、既存空調運転状態や排気量によって変化するので各システムを統合した制御システムが必要となる。既存設備と新技術を統合して低炭素化運用できるEMSを開発した。

冷水管路を小型軽量化するとともに、各機器の特性に応じて供給を自在に変換可能な管路ネットワークと制御システムを導入した。

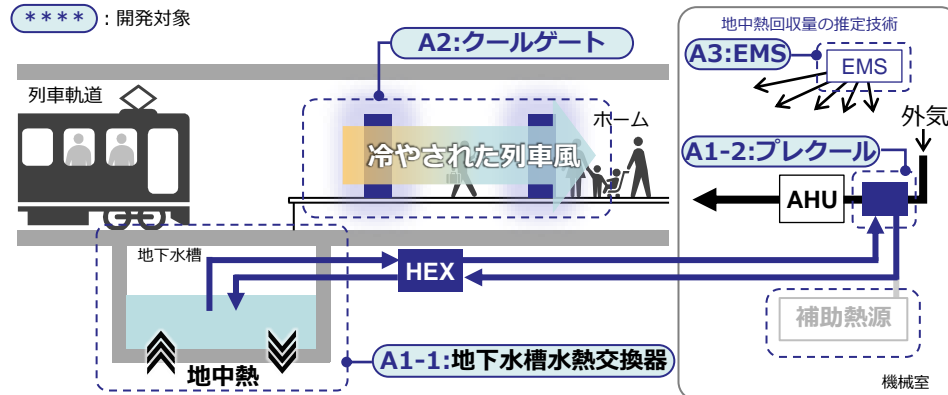
C実証課題) 列車風対策、地中熱の高温化、地下水槽熱交換機の金属付着、水槽間の熱だまりがない循環、終電から始発間で施工できるプレハブ化、事業モデルを確立した。

対応策) シミュレーションによる課題把握と課題を解決するシステム設計の実施、洗浄装置の開発・冬季の外気熱交換による地中熱の冷却、プレハブ化、常時劣化診断装置を実証期間運用し列車運行支障を未然に防止した。

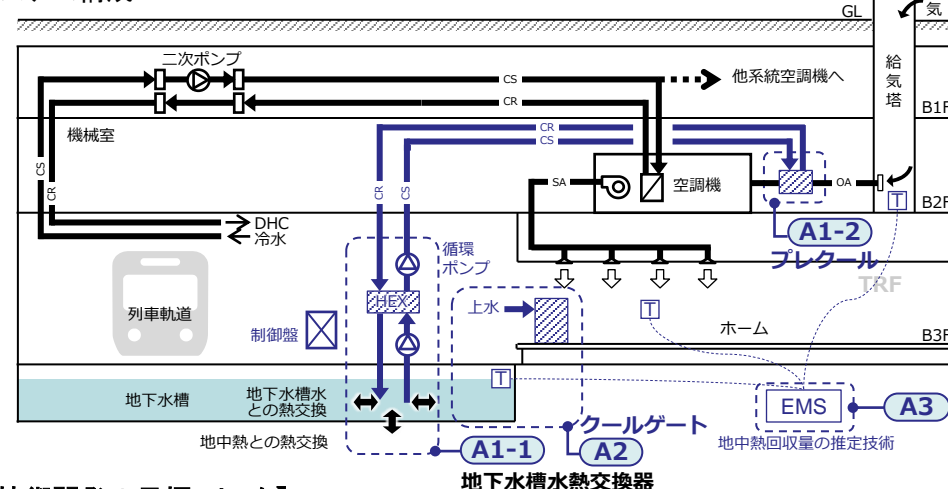
③【システム構成】

・システム環境

****: 開発対象



・システム構成



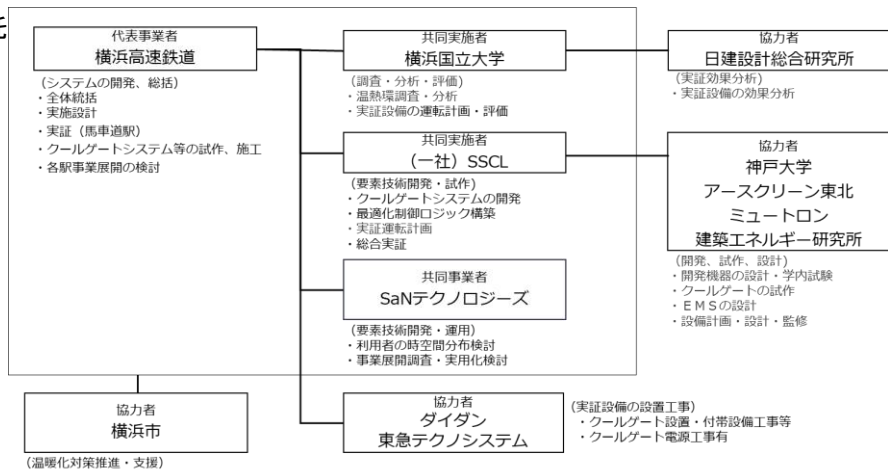
④【技術開発の目標・リスク】

- 想定ユーザ・利用価値 : 全国約600カ所の地下駅を有する鉄道事業者
- 目標となる仕様及び性能 : 地中熱利用量(顕熱)7,000kWh/年、(潜熱)108,000kWh/年、計115,000kWh/年(≒14GJ×30日)、熱交換器耐用年数15年、経年劣化3%/5年以下
- 開発工程のリスク・対応策: 地中熱の高温化、機器の劣化・損傷、短い施工時間、鉄道運行の支障(振動によるゆがみなど)
対策: 冬場に外気と熱交換し地下水槽躯体を冷蓄熱した。設置・交換時のプレハブ化。

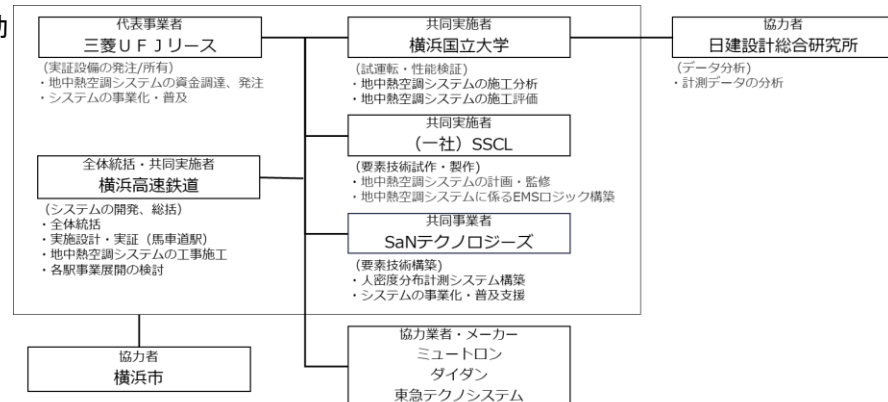
(2)技術開発・実証の実施内容

①【実施体制】

(ア)委託



(イ)補助



②【実施スケジュール】

単位:千円

	2019年度	2020年度	2021年度
A.調査・検討・評価	→		
A1.地下熱空調システム	→		
A2.クールゲート	→		
A3.EMS	→		
B.実証設備構築(補助)	→		
その他経費	6,746	12,171	8,217
合計(税含む):委託額	55,860	53,265	85,748
合計(税別途):補助額	0	36,342	0

③【成果発表状況】

- ・2019年11月1日 横浜高速鉄道株式会社よりプレスリリース(取組み開始)
- ・2019年11月5日 日本経済新聞 記事掲載
- ・2020年9月9日 環境副大臣にプレゼンテーション実施
- ・2021年1月4,11日 FMヨコハマ出演
- ・2021年7月12日 横浜高速鉄道株式会社よりプレスリリース(実証実験着手)
- ・2021年9月1日 横浜高速鉄道株式会社より広報用パンフレットを公開
- ・2022年3月3日 横浜市立みなとみらい本町小学校に出張授業
- ・ヨコハマSDGsデザインセンターWEBサイトへの掲載
- ・環境省パンフレットへの掲載(2021年度発行版)
- ・主な学会発表、論文投稿
君島裕輝,田中穂子,吉田聡;多様な温熱環境における移動が中高年の温熱感覚へ及ぼす影響-地下駅Aにおける被験者実験に基づいて-,日本建築学会関東支部研究発表会,環境工学-温熱環境・健康・知的生産性部門,2022年3月pp.13-16

(3)CO2削減効果の評価

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/駅・年)		363		
開発品(装置/システム)の耐用年数		15年		
年度	-	-	2025	2030
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	-	-	0.71	16.92
累積CO2削減量(万t-CO2)	-	-	20.41	569.59
CO2削減コスト(円/t-CO2)	-	-	6,173	4,115

※提案時はCO2削減量及び削減コストの計算方法が異なっていたため、共通した計算方法にて再計算した値を記入した。

【本資料作成時点見込み】 ※()内数値は法定耐用年数を示す(目標値)。

開発品1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/駅・年)		804		
開発品(システム)のリース耐用年数(本事業の執行体制)		8年(15年)		
年度	2022	2023	2030	2050
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)	0	0	12.94	57.33
累積CO2削減量(万t-CO2)	0	0	228.34(428.13)	7,175.54(13,454.14)
CO2削減コスト(円/t-CO2)	0	0	6,219(3,317)	4,664(2,488)

(4)事業化について

【事業化計画】

- ・2023年度までに、商品(クールゲート)の改良を実施し、馬車道駅に実装完了
- ・2024年度までに、商品化・販売開始
- ・2027年度までに、低コスト化、省力化を実施し、販売開始
- ・2032年度までに、全国規模の導入・運用体制を確立して、本格展開開始

○事業化の体制

共同実施者であるSaNテクノロジーズや補助事業者である三菱HCキャピタルおよび工事会社が提供主体となり、本事業の共同実施者や協力者と連携してお客様にサービス提供する体制を確立。地下鉄駅舎は工事に関する独自規定があり、認定等も必要なため、工事会社は顧客との受注実績がある事業者から都度選定する。

販売活動 : 三菱HCキャピタル・SaNテクノロジーズ

※みなとみらい線への展開については、横浜高速鉄道主体で推進

設備リース : 三菱HCキャピタル(お客様が設備リースを希望された場合)

調査設計、保守保全 : SaNテクノロジーズ

導入工事 : 工事会社(導入対象の地下鉄事業者からの受注実績がある会社)

技術支援 : 超スマート社会研究機構、横浜国立大学

EMS提供 : ミュートロン

導入機器 : アースクリーン東北等の製造メーカー

○事業展開における普及の見込み

- ・対象市場規模 : 国内の全地下鉄駅舎(713駅)
- ・導入コスト目標 : 5,673万円/駅(実証時の価格:12,952万円/駅)
- ・運用コスト目標 : 1,739万円/年・駅(実証時の価格: 2,999万円/年・駅)
- ・製品単純回収年数 : 6年程度

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2022	2025	2030
目標販売台数(駅)	1	5	100
目標累積販売台数(駅)	1	11	261
目標販売価格(万円/駅)	10,000	6,000	4,000

【本資料作成時点見込み】

年度	2023	2024	2027	2032	2050
目標単年度販売台数(駅)	試験導入	1	4	50	5
目標累積販売台数(駅)	0	1	11	261	713
目標販売価格(万円/駅)		7,516	7,516	6,595	5,673

○量産化・販売計画

- ・2027年度までに、設備の量産化体制を確立し、本格導入開始に備える
- ・2027年度までに、複数駅への展開を前提としたシステム標準化を検討すると共に、導入コア設備のパッケージ化実現などにより低コスト化を推進
※低コスト化を実現するまでの間は補助事業制度などを活用して販売したい
- ・2033年度以降は、本格的に多くの駅舎への導入が進むため、全国規模の導入、保守体制を確立。設備の量産化、および運用の効率化の実現により、さらに低コスト化が進む。

○事業拡大シナリオ

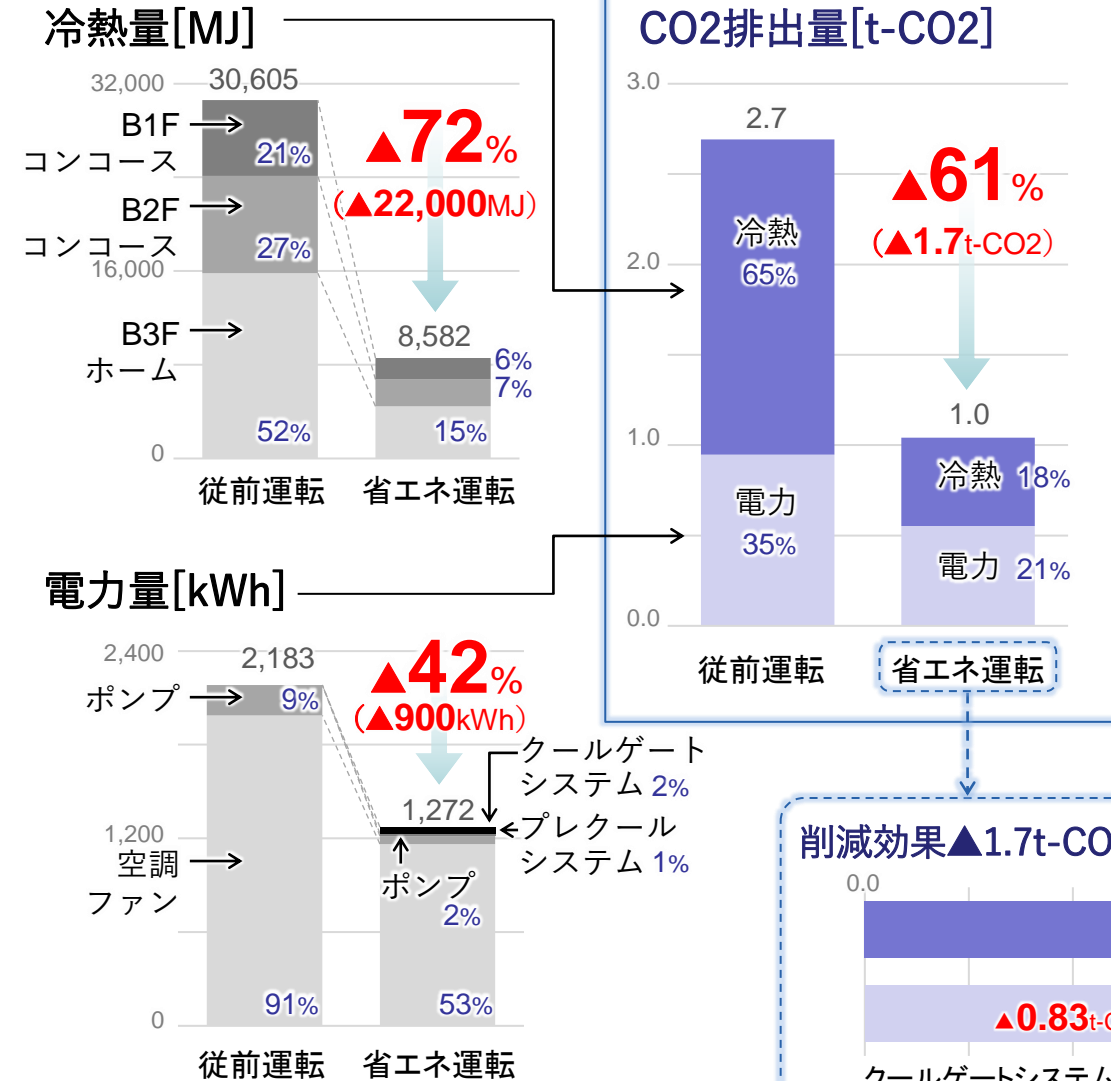
年度	2024	2025	2027	2032まで	2050まで (最終目標)
低コスト化技術開発	←				
全国大の導入・保守体制構築			←		
みなとみらい線展開	←				
全国地下鉄事業者展開			←	←	←

モデル駅導入(5駅) 全国地下鉄駅への展開

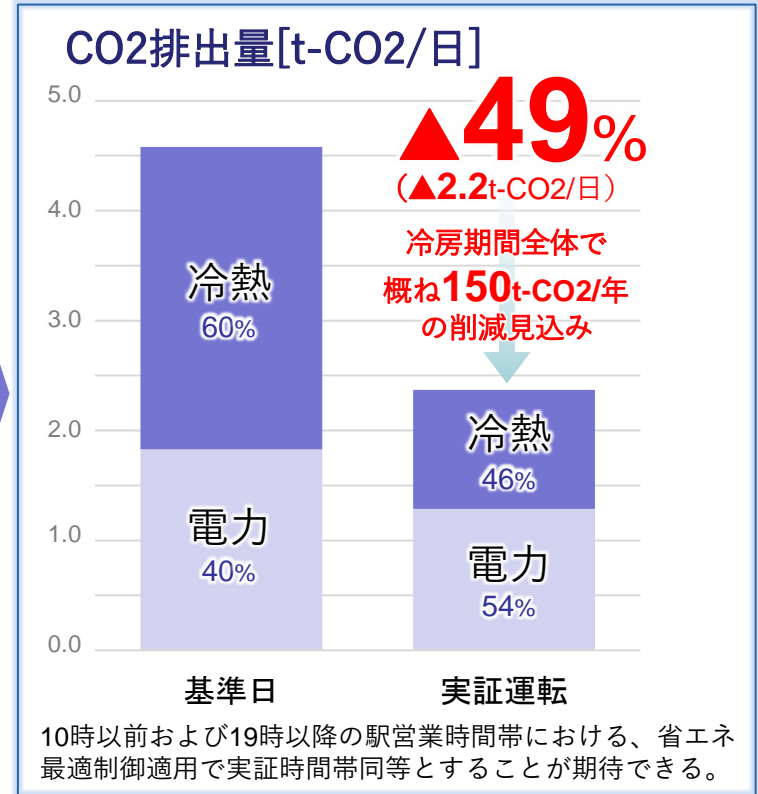
○事業化におけるリスク(課題・障害)とその対策

- ・事業化に向けた導入設備(クールゲート)の改良、再実証
- ・低コスト化実現のための設備のパッケージ化、量産化
- ・地下鉄駅舎は工事コストが高いため、さらなる作業時間や工数削減検討
- ・全国展開に必要な導入・保守網拡大のための体制強化
- ・外部環境変化(新型コロナの影響による利用客減少が継続、電気料をはじめとした物価上昇など)による、鉄道事業者の経営が悪化しており、回復するまでは、補助事業制度などの活用を検討する

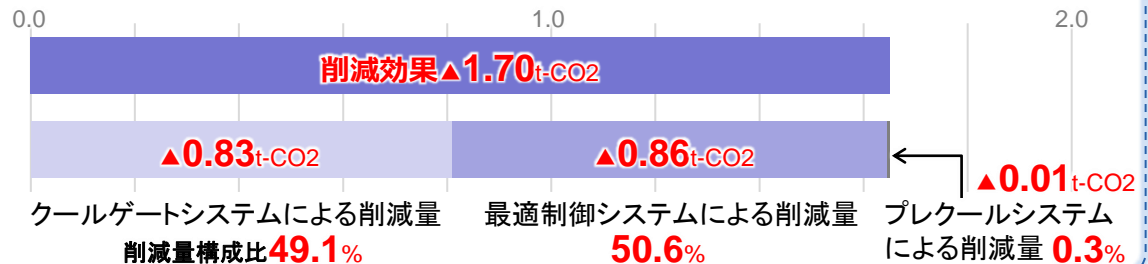
■実証運転時間帯（10～19時）積算での評価



■実証運転代表日積算での評価



削減効果▲1.7t-CO2の内訳（推計）



事後評価結果

評価点 7.2 点 (10点満点中。(10点:特に優れている、8点:優れている、6点:問題ない、4点:多少問題がある、2点:大きな問題がある))

評価コメント

[評価される点]

- ・ 年度別販売見込みが当初計画より後ろ倒しになる見込みであるが、省エネの技術開発目標を達成しており、また今後の事業展開についても具体的に想定している点は評価できる。

[今後の課題]

- ・ 馬車道駅の実証では地中熱利用が本質ではないことが分かったが、気化熱を利用して空冷するクールゲートの再エネ性能を定量化して説明することが望まれる。また、地下水槽の活用が見込まれる地下鉄駅も存在することから、その活用を最大化する仕組みを引き続き検討することが望まれる。

[事業化に向けたコメント]

- ・ 新しい地中熱利用の省エネ技術として全国展開するためには、馬車道駅の例を紹介しつつ、クールゲートによる気化熱の利用、冷水供給方法の最適化、地下水槽の活用、スポット空調などの技術開発要素に分けて紹介するよう工夫することが望まれる。さらに国外展開についても検討して欲しい。その際に、開発技術の特許化も進めるべきである。
- ・ エネルギー使用合理化事業者支援事業(エネマネ事業)の活用検討も有用と思われる。