

民生用空調利用による架線レス LRV の

空調消費エネルギー低減効果

○ [電] 門脇 悟志 [電] 田口 義晃 [電] 仲村 孝行 [機] 末包 洋士
 [電] 廿日出 悟 大江 晋太郎 [電] 小笠 正道 (鉄道総合技術研究所)

Low energy consumption of an air conditioner by using household type
 air conditioning equipments on a contact-wire-less LRV

○ Satoshi Kadowaki, Yoshiaki Taguchi, Takayuki Nakamura, Hiroshi Suekane,
 Satoru Hatsukade, Shintaro Ohe, Masamichi Ogasa
 (Railway Technical Research Institute)

It is important that the battery tram runs by low energy consumption on a contact-wire-less railway lines. Thus, we focus on the auxiliary electric power consumption. A new hybrid LRV type LH02 ("Hi-tram") mounts household type air conditioning equipments with high rate "COP". We measured the auxiliary electric power consumption during the last winter season at Sapporo City Transportation Bureau. This paper reports on the measurement results of the electric power consumption of the seeds line heater and the household type air conditioning equipment corresponding to the outside air temperature. Based on these results, this paper discusses the energy saving effect using the household type air conditioning equipment.

キーワード：エネルギー，空調装置，成績係数，電池，LRV，架線レス

Key Words : Energy, Air conditioning equipment, COP, Battery, LRV, Contact-wire-less

1. はじめに

バッテリー駆動方式における架線レスLRVの研究開発が広く注目を集めるようになってきている。筆者ら鉄道総研では主回路構成といった基幹技術開発は勿論のこと、鉄道特有の充放電パターンを想定したバッテリー特性の研究なども進めてきた。これまでの研究成果より、バッテリーを深く充放電する使用方法は、サイクル寿命を短くすることが実験的に明らかとなっている¹⁾。架線レス区間を長くできれば、架線を取り外すことによる都市景観向上を享受できるエリアも広がるが、バッテリーで走行する距離が伸び放電深度は深くなる。すなわち両者は相反した関係にあり、如何に消費エネルギーの低減を図るかが課題である。駆動に要するエネルギーの低減については文献 2)で議論することとし、本稿ではこれまで本格的な議論がなされてこなかった空調装置に代表される補機の消費エネルギーの低減に着目する。

一般に鉄道用の空調装置は、耐震性、耐燃性、信頼性の観点から専用設計のものが用いられるが、鉄道総研が開発し 2007 年に発表した架線・バッテリーハイブリッド駆動型

LRVのLH02形(愛称: ^{ハイ・トラム}Hi-tram)には車両用空調として一般の民生用空調を装備している。これは、空調消費エネルギー低減を目指す手法として、既存の鉄道車両用空調と比して高い成績係数COP (Coefficient Of Performance) を有するヒートポンプ型の民生用空調を採用した。また、同時に低コスト化、低メンテナンス化、軽量省スペース化も狙っている。

本稿では、平成 19 年度 11 月から 3 月までの冬季間に札幌市交通局で行われた LH02 形走行試験を通じて計測した、民生用空調利用による各種性能確認試験結果を示しながら、空調消費エネルギーの低減効果について述べる。

2. 特長的な主回路構成

図 1 に LH02 形の主回路構成を示す³⁾。架線からの DC1500V または DC600V 集電とバッテリーによるハイブリッド走行時、バッテリー単独走行時いずれの場合においてもバッテリーが投入された状態ではコンバータとインバータ間の中間回路は常に 750V で加圧された状態となり SIV が停電することはない。そのため、民生用空調機器には離線

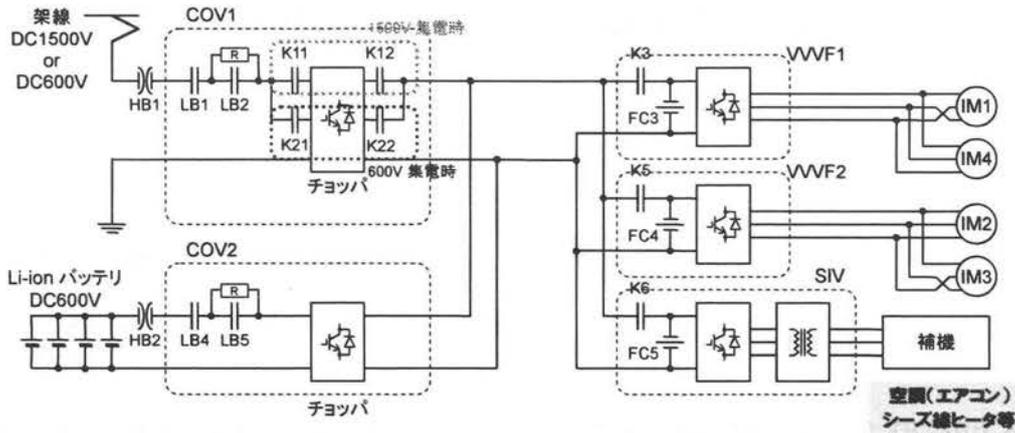


図1 LH02形架線・バッテリーハイブリッド主回路構成

等が発生した場合でも一般家庭と同様に常時安定した電源を確保できる回路となっているのが特長である。

3. 空調仕様

表1に空調およびシーズ線ヒータの仕様を示す。採用した2007年製ヒートポンプ型空調のCOPは非常に高く、開発競争が激しいこのクラスでは1990年代半ばに製造された機種と比べてCOPは約2倍にまで性能が向上している。大容量機よりも小容量機の方がCOPは高く省エネ性に優れる点と冗長性を高める観点から複数台分散搭載した方が有利と判断し、LH02形には図2のように室内機を前後2台ずつ計4台配置している。一般に12m級路面電車の標準的な暖房能力は7kW/両とされ⁴⁾、LH02形の暖房能力はそれを大幅に上回るが、これは夏場に必要な冷房能力等も加味している。

表1 空調・シーズ線ヒータ仕様

空調 (1台当り)	暖房定格能力 [W]	5000
	暖房定格消費電力 [W]	885
	エネルギー消費効率 (COP)	5.65
シーズ線	運転台・客室内合計 [W]	4150



図2 室内機取付状態

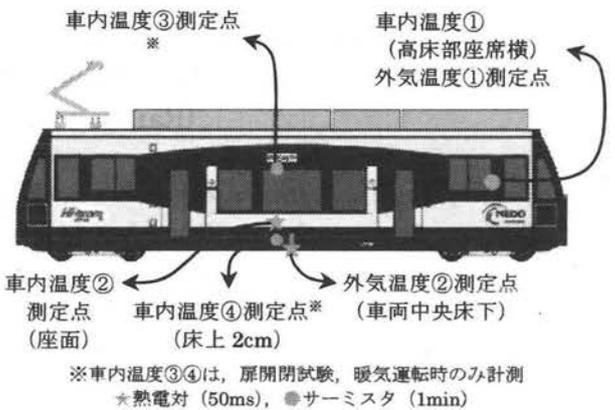


図3 温度測定点

4.2 本線走行時の消費エネルギー

冬季間延べ34日間に亘り、運行時間帯、天候を問わず、暖房条件を変えながら計測を実施した。図4は、本線走行試験時の測定結果の一例である。このときの暖房条件は「空調20℃設定4台稼働・シーズ線ヒータ切」で、路線両端点の「すすきの」から「西4丁目」までの片道を走行したときの空調消費電力(瞬時)、空調消費電力量、車内外の温度変化を表している。表2に図4における平均消費電力と平均外気温の関係をもとめた。ここで、平均空調消費電力と

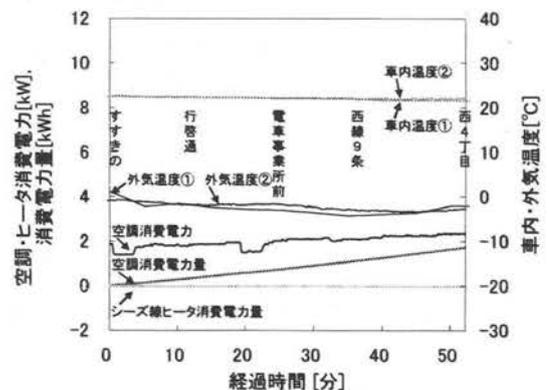


図4 本線走行試験時の一例

4. 試験結果

4.1 温度計測点

本試験における温度計測点は、外気温度2箇所、車内温度4箇所の計6点である。図3にそれぞれの計測位置を示す。

表2 図4の空調消費エネルギー

計測時間	52 ^m 38 ^s
空調消費電力量	1.88 kWh
平均空調消費電力	1.92 kW
外気温度① (平均)	-2.55 °C

は、空調消費電力量を当該試番の計測時間で除した平均電力である。外気温度は-2°C台で推移したが、空調のみの暖房でも車内温度①および車内温度②は、設定温度 20°Cを若干上回る 22°C前後で保持されている。

図5に「空調 20°C設定 4 台稼働・シーズ線ヒータ入」、「空調 20°C設定 4 台稼働・シーズ線ヒータ切」のときの、平均外気温度に対する暖房に要した平均消費電力と平均車内温度の関係についてまとめた。ここで、空調とシーズ線ヒータ併用の場合は両者の消費電力を合算した値であり、シーズ線ヒータのみの消費電力も追記した。シーズ線ヒータの消費電力は温度に関わらず、ほぼ一定で定格に近い平均 4.10[kW]であった。搭載した空調はヒートポンプ型の省エネ型家庭用空調で、暖房の場合は大気中の熱を回収し熱交換を行うことで入力した電気エネルギーの 3~6 倍の暖房性能を実現できる。しかし、寒冷地ではその原理から十分に外気の熱を回収できなくなるため不利といわれる。表 1に示す標準定格は外気温度+7°Cでの動作を想定したものであり、試験期間中は標準定格点以下での稼働がほとんどであったが、車内温度に着目する限り 0°Cを下回るような低温状態でも両者に顕著な暖房能力不足は観測されておらず実用上問題は伺えない。これは、車内容積に対する空調 4 台分の暖房能力の高さ、実際の運用と異なり運行上の制約で電停ごとに扉開閉を行わなかったためと考えられる。

表 3は、各測定点から外気温度を変数とする一次式の近似関数を求め、外気温度に対して求めた推定空調消費電力と、シーズ線ヒータの平均消費電力 4.10[kW]に対する消費電力割合の省エネ率を表している。外気温度±8°Cの全測定点に対する平均消費電力では約 50%の大幅な省エネが実現できた。なお、本試験はシーズ線ヒータ切の状態ですべて 22°C設

定、20°C設定、18°C設定について計測を行ったが、いずれの場合においてもシーズ線ヒータの平均消費電力 4.10[kW]を下回る結果が得られておりその省エネ性を確認している。

表3 近似式による推定空調消費電力と省エネ率

外気温度 °C	推定空調消費電力 [kW]	対シーズ線省エネ率 %
6.0	1.10	73.3
4.0	1.51	63.3
2.0	1.92	53.2
0.0	2.33	43.2
2.0	2.74	33.2
-4.0	3.15	23.2
-6.0	3.56	13.1
測定点全平均	2.08	49.3

4.3 扉開閉時の消費エネルギー

次に、営業走行を模擬し扉開閉を行った際の空調消費電力、空調消費電力量および車内温度の変化を計測した。この試験は車両を屋外留置状態でやり、電停での乗降を想定し 15 秒間前扉と後扉を開放、電停間の走行を想定し 1 分 45 秒間扉閉めとする 2 分 1 サイクルを 30 分間繰り返した。図 6に扉開閉試験結果の例を示す。

この暖房運転条件は、(a)「空調 20°C設定 4 台稼働・シーズ線ヒータ切」、(b)「空調 20°C設定 2 台稼働・シーズ線ヒータ切」である。車内温度②では扉開閉による温度変化を捉えており、その都度 2°C程度上下している。しかし、車内温度の変化に伴う空調消費電力に変動は見られない。(a)の条件では、車内計測点で最も温度が高い高床部①と最も低い低床部床面④の温度差は 4°C程度に収まっているうえ、床面も 20°C近くまで温まっており十分快適である。一方、(b)の条件では、③と④は徐々に温度差は広がり約 10°Cの開きが生じたうえ、床面は 10°Cを下回り寒くとも快適といえる状況にない。空調機器も温度低下検知し一時的に出力を強めているが、温度差を解消するまでには至っていない。

以上のように、空調機器分散により暖房設定の自由度は高いが適切な稼働状況を見極める必要がある。また、扉開閉試験は走行試験に対し試番数が少なく、扉開閉を行うことで扉開閉を行わない場合に対しどの程度消費電力が増加するか今回は定量的に把握するまでには至らなかった。

4.4 暖気運転時の消費エネルギー

車両起動時の速熱効果について示す。屋外留置状態で車内が十分に冷えた状態から早朝に計測した。ほぼ同じ温度から暖房運転条件が異なる 2 例を図 7に示す。暖房運転条件

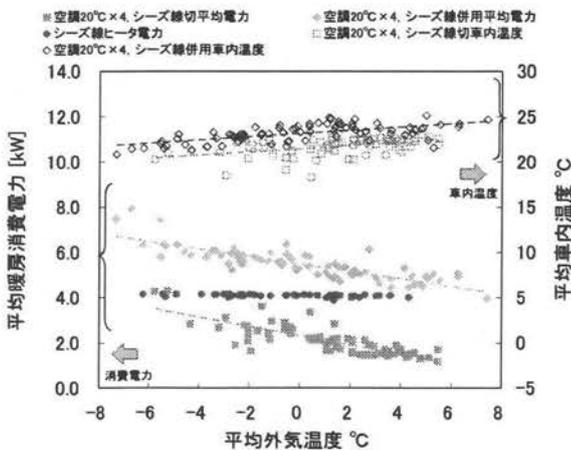
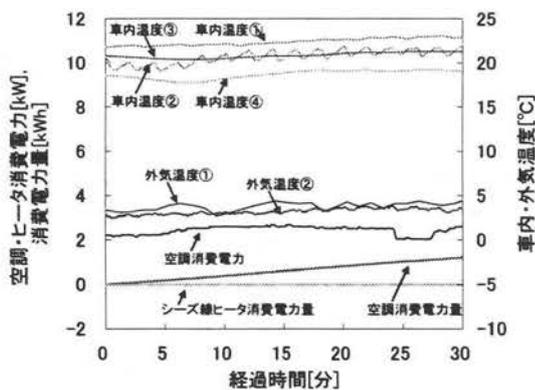


図5 外気温度に対する消費電力と車内温度

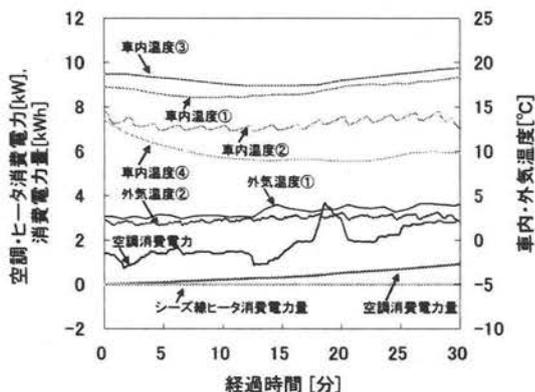
表 4 車内 20°Cまでの消費エネルギー比較

	(a)	(b)
所要時間	26 ^m	180 ^m #
消費電力量	4.04 kWh	12.45 kWh
消費エネルギー	14.54 MJ	44.82 MJ

温度変化から推定で算出

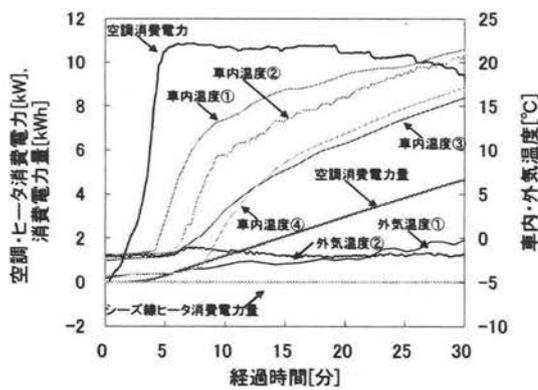


(a) 空調4台入・シース線ヒータ切

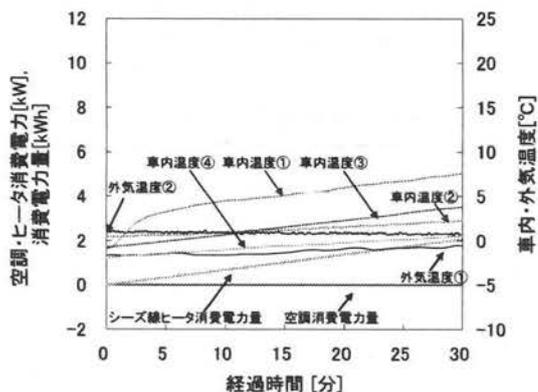


(b) 空調2台入・シース線ヒータ切

図6 扉開閉試験の一例



(a) 空調4台入・シース線ヒータ切



(b) 空調全切・シース線ヒータ入

図7 暖気運転の一例

は、(a)「空調4台稼動・シース線ヒータ切」、(b)「空調全切・シース線ヒータ入」である。表4に両者が車内温度20°Cまで要す消費エネルギー比較結果を示す。LH02形における空調とシース線ヒータでは暖房能力に差があるが、その消費エネルギーの差は歴然であり大幅な省エネルギー効果がある。

5. むすびに

架線レス区間における補機消費エネルギーの低減を目的としてLH02形に搭載した民生用空調を用い、冬季間の各種空調性能試験を実施した。以下にその知見を示す。

- (1) 冬期寒冷地でも顕著な空調性能低下は見られない。
- (2) 外気0°C前後で従来のシース線ヒータに対して約50%の高い消費エネルギー低減効果を確認した。
- (3) 暖房運転条件次第で車内に大きな温度むらが生じる場合がある。
- (4) 速熱性能が高く消費エネルギー低減効果も大きい。

民生用空調のため汎用性が高く、安価に導入を実現できた。なお、現在まで空調機器に不具合はなく、冬季試験後に空調機器を取外し配管等の検査を行ったが異常は見つかっていない。近年の鉄道車両用空調は旅客快適性重視のため、車両システムと連動した高機能化とともに消費エネルギーが増大傾向にある。本稿で示した民生空調利用による空調消費エネルギー低減には一定の成果があり、いくつか

の課題をクリアしたうえでLRVのような小型車両用空調機器のありかたに一石を投じることになれば幸いである。

最後に、本研究実施にあたり札幌市交通局殿をはじめとする関係各位、計測に際し多大なご尽力をいただいた㈱テスの入倉、星両氏に対し謝意を表す。

本研究は経済産業省からの交付金を原資とし実施する「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の一つとして、NEDO技術開発機構の委託契約に基づき実施した。

参考文献

- 1) 米山, 田口, 小笠, 山本: リチウムイオン二次電池の放電深度による寿命予測法, 平成17年電気学会産業応用部門大会, 3-32, Vol.3, pp.193-196, 2005.
- 2) 田口, 小笠, 門脇, 大江, 廿日出, 末包, 仲村: 架線ハイブリッドLRV寒冷地走行試験の消費エネルギーに関する考察, 第15回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2008)講演論文集[掲載予定], 2008.
- 3) 小笠, 田口, 前橋, 門脇, 末包: 架線ハイブリッド(架線レス)LRVの新車概要と車両性能, 第14回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2007)講演論文集, pp.119-122, 2007.
- 4) 浜崎, 堤, 白石: 快適な車両用空調装置, 鉄道車両と技術, No.91, pp.32-40, 2003.