

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

1. はじめに

冬季に顕著となる窓の曇りは搭乗者の呼気に含まれる水蒸気や濡れた衣服などが原因です。窓の曇り除去（デフォッグ）は低湿度の低温外気の導入やエアコンによる車内空気の冷却除湿を行い、その上で低温空気を加熱して乾燥空気として窓に吹き付けます。

そのため電気自動車（特にバッテリーのみで走行する BEV）では電力使用量の増大が走行可能距離の減少を招きます。BEV メーカーはユーザーの使い勝手を目的にバッテリーの大容量化を行いますが価格と車重増加の一因となっています。

ここではバッテリー消費が無視できるほど微小となるデフォッグ技術を紹介します。

具体策は樹脂系吸湿材（高分子収着剤）による除湿機能の適用です。この機能はデフォッグに限らず暖房あるいは湿潤地域での除湿にも有効ですのでバッテリー電力消費を大幅に削減できる省電力空調システムとなります。

2. BEV の寒冷時空調負荷

表 1 は日産リーフ（バッテリー容量 40kWh）を用いて走行時の空調消費電力量を計測した結果です。

試験は外気温が 7～10℃の 12 月の午後（曇天）に実施しました。一周 19.2km の登り下りのある周回コースにて、空調条件を、①暖房なし、②暖房 25℃、③暖房 25℃+デフォッグの 3 通りとしてコース 3 周後のバッテリー残量を示すパーセント値から消費電力量を算出しました。

表 1 日産リーフによる簡易電力消費量結果

空調システム設定	外気温 °C	消費電力量	空調負荷増分	%
なし（走行負荷のみ）	10～11	9.6kWh	0	100
25℃暖房	9～10	11.6kWh	2.0kWh	121
25℃暖房+デフォッグ	7～8	13.6kWh	4.0kWh	142

外気温 10℃程度で室内温度を 25℃に設定して走行した際の消費電力量は約 20%増加し、デフォッグを追加すると約 40%の消費電力量の増加となりました。

暖房やデフォッグに消費される電力は外気温と車内設定温度の差に比例しますので外気温度が更に低下する条件では消費電力量も増大し連続走行可能距離が急速に減少することになります。

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

3. 高分子収着剤を活用するBEV省電力空調システム

図1に高分子収着剤の吸放湿メカニズムのイメージを示します。

図2は高分子収着剤が空気中に置かれた際の吸湿率（吸湿された水蒸気重量と高分子収着剤重量の比率）と空気相対湿度の関係を示した吸着等温線図です。相対湿度の上昇と共に吸湿率が急速に上昇することが特徴です。

図3は高分子収着剤を担持したダンボール状シートを積層して製造する通風ブロックの写真です。

図1に示すように高分子収着剤（樹脂）表面の親水性収着サイトが空気中の水蒸気を捕獲します。捕獲された水蒸気は水分子となり樹脂内に移動します。この時、水蒸気が水へ相変化しますので凝縮熱相当の発熱（通過空気の温度上昇）が生じます。

相対湿度の高い空気から水蒸気を吸湿した高分子収着剤が相対湿度の低い空気に接すると吸湿膨潤した樹脂表面から水蒸気が空気中に飛び出しますので高速再生が実現します。この時は水が水蒸気へと相変化しますので蒸発熱相当の吸熱作用（通過空気の温度低下）が発生します。

この吸放湿特性をBEVのデフォッグや車内除湿に活用します。

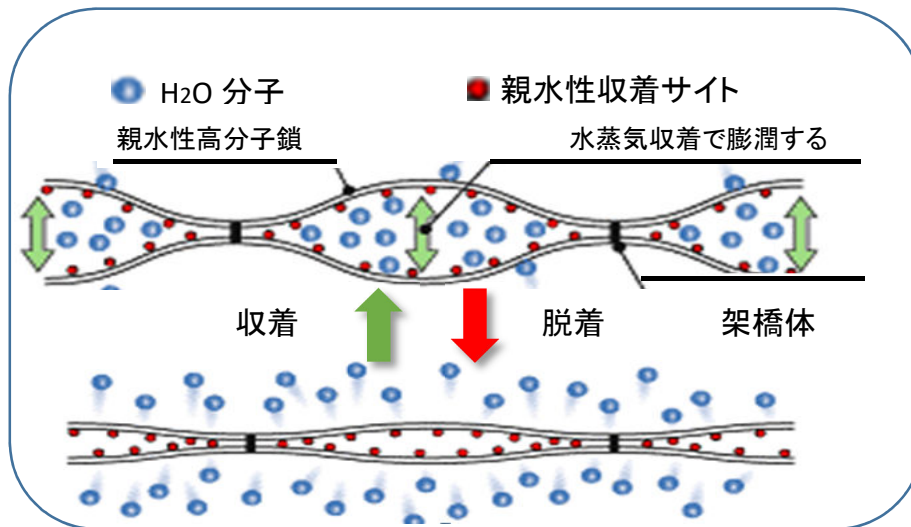


図1 高分子収着剤の水蒸気吸放湿メカニズム
(出典：岡山大学 堀部教授講演資料)

デフォッグに特化したE V省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

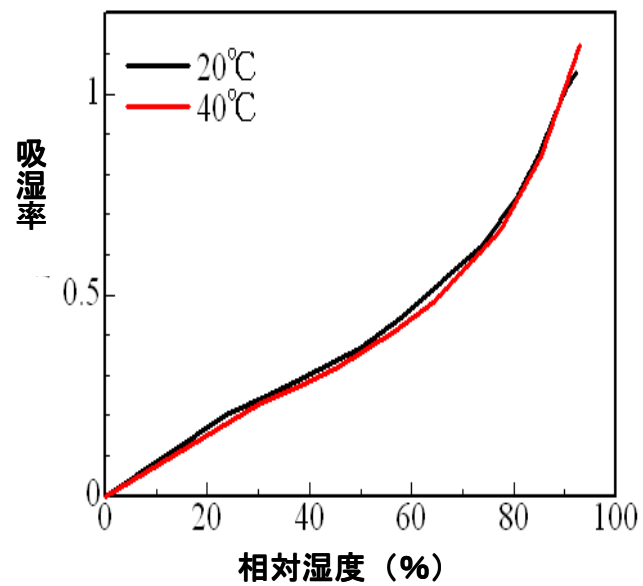


図2 高分子収着剤の吸着等温線

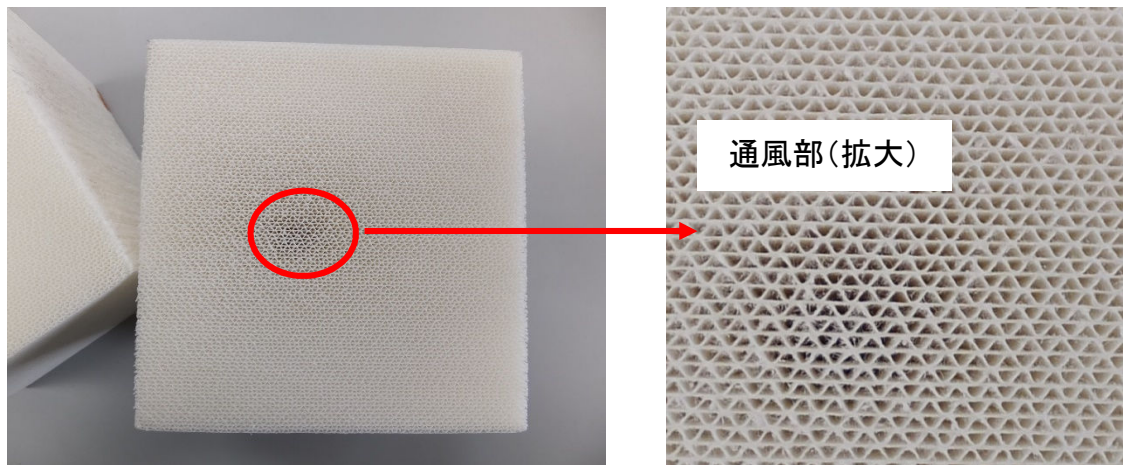


図3 高分子収着剤を担持した通風ブロック

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

4. 提供する BEV 省電力空調システムの具体例

冬季あるいは梅雨時などのデフォッグや除湿を目的に使用する吸湿材（高分子収着剤）は岡山大学と東洋紡グループの日本エクスラン工業が開発した世界初の樹脂材料です。

車室内で発生する水蒸気は乗客呼気中の水蒸気（男子で毎時 40～50g）あるいは濡れた衣服やタオルなどが原因です。これらの水蒸気が低温の窓ガラスに接触して結露して視界を悪化させます。

高分子収着剤は車内空気から直接水蒸気を吸湿しますので車内温度を変化させずに除湿が可能です。むしろ吸湿時に凝縮熱相当の発熱を伴いますので若干の昇温が発生します。

この技術によりデフォッグ時の低温外気導入やエアコンによる冷却除湿が不要となり、加温のための電力消費が発生しません。

以下に BEV の用途（使用目的）に合わせた省電力空調システム例を紹介します。

また、BEV はガソリン車と異なりフロントやリア部に余裕がありますので空調システムをダッシュボードに無理して収める必要はありません。空調装置類をフロントやリア部などに置いてダクトで車室と接続する方式が一般的となります。

4-1. ミニ EV 向け（セカンドカーとして利用）

ミニ EV は自宅周辺の移動が主な用途となりますので車内容積もミニマムです。そのため 4 名乗車などでは窓の曇りが顕著となりデフォッグのニーズは高いのですが低価格車ですので空調システムも簡潔で低コストが要求されます。

図 4 に提案システムの構成を示します。高分子収着剤を担持する通風ブロック（図中 2）の容積は数リットル程度で十分です。設置もリアや天井部としてダクトにて乾燥空気を供給する方式が良いと思います。車内空気をファン 4 にて通風ブロック 2 に導き除湿します。製造された乾燥空気をノズル 6 から窓ガラス付近に還流させてデフォッグします。

通風ブロックの再生はバッテリー充電時に行います。ファン 4 と PTC ヒーター 3 を稼働して車外から導入した外気を（外部電力で）加熱して低相対湿度の空気とした上で通風ブロック 2 に送ります。低相対湿度の空気が通風ブロック 2 を通過する際に高分子収着剤中の水分を吸湿して高湿度となり流路切り替え弁 8 により車外へダクト 7 を経由して排出されます。

ミニ EV の走行中はファン 4 の動力のみでデフォッグが行われますのでバッテリー負荷は極めて僅かです。また通風ブロックを通過する空気は除湿に伴う発熱で温度上昇して車内へ還流しますので暖房補助の効果もあり好都合です。

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

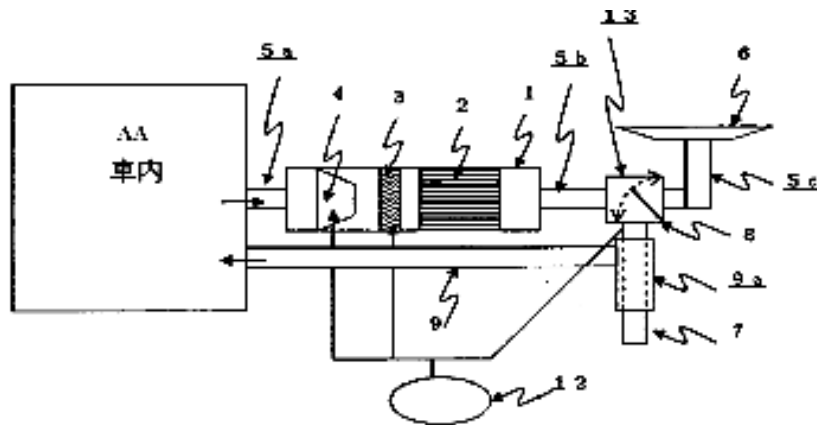


図4 軽自動車クラスのミニEVに適した省電力空調システム

4-2. 乗用車向け

長距離移動もカバーする乗用車向けBEVのデフォッグは、車内空気を高分子収着剤を担持した通風ブロックへ導き乾燥空気として窓ガラス近傍へ吹き付ける構成はミニEVと同様ですが、異なる点は連続走行中に通風ブロックの再生を行う点です。

高分子収着剤は再生温度が低くても相対湿度の低い空気であれば再生が進みますので除湿運転と再生運転を交互に繰り返し行うことで連続運転が可能となります。

また60kWh以上の大容量バッテリーの搭載が一般的ですのでバッテリーや電力機器の冷却排熱が通風ブロックの再生に利用可能です。場合によってはヒートポンプからの温風も再生に利用できます。

図5はバッテリーや電力機器の冷却排熱を再生に利用するシステム構成例です。

デフォッグ時は車内空気を図中4aのファンにより通風ブロック2を通過させて除湿しノズル7から窓ガラスへ還流させます。図中のPTCヒーター3は乾燥空気の相対湿度を更に低下させたい時に使用します。通風ブロック2の再生にはファン4aを停止させた後にファン4bを駆動し、バッテリーや車載電力機器11,12を冷却して温度上昇した冷却風を通風ブロック2へ導き再生します。再生により発生する高湿度空気はダクト5bから車外へ排出します。

図6は通風ブロック13の再生に車載ヒートポンプ23で製造される温風を使用するシステムの構成例です。基本的には車載バッテリーや電力機器の排熱を利用することが経済的です。

再生運転時は乾燥空気の供給が中断されますが、窓の曇り発生は遅延性があるので視界確保は継続可能です。

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

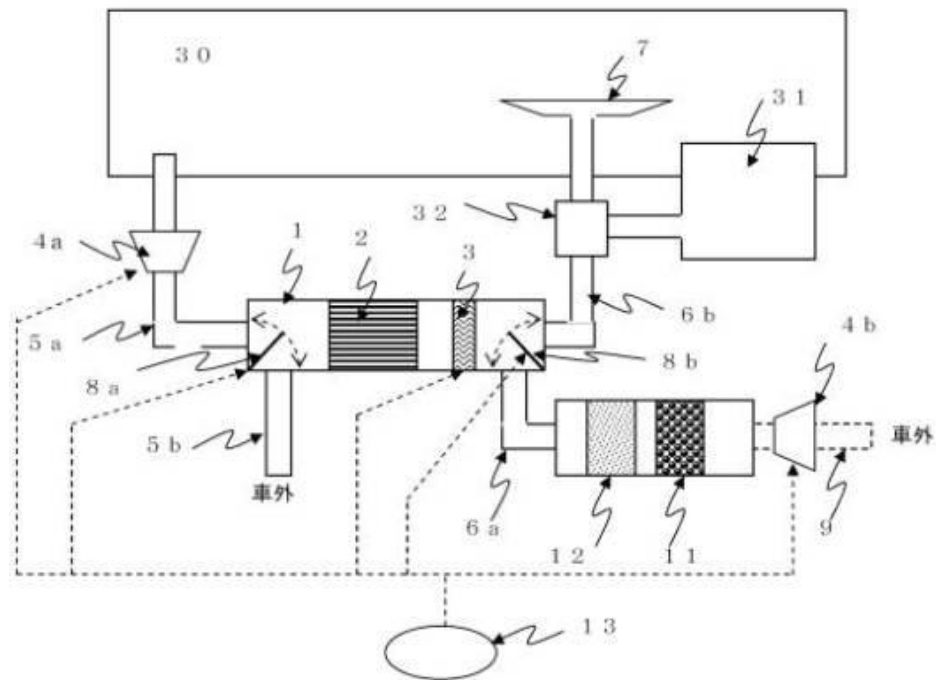


図5 乗用車用途のBEV向け省電力空調システム例

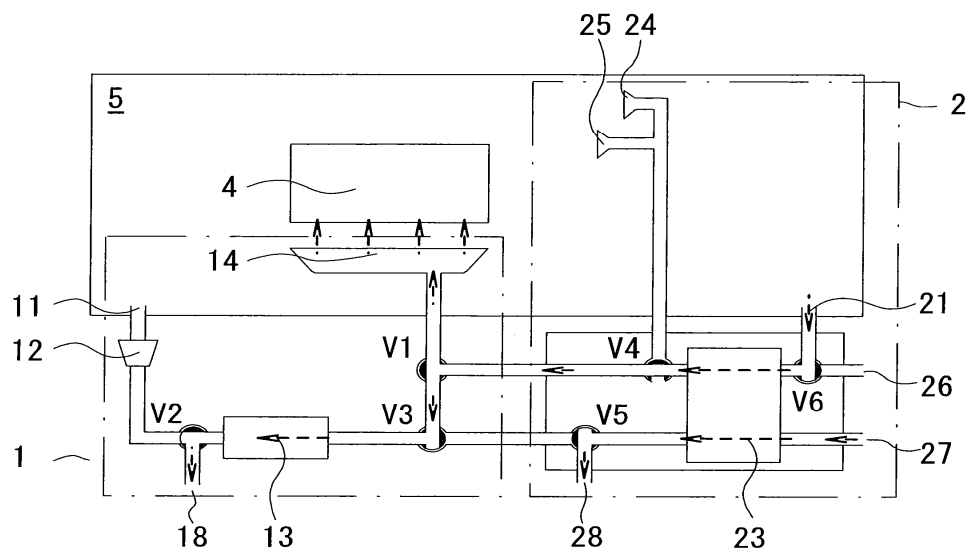


図6 車載HPからの温風にてデシカントブロックを再生する構成図

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

4-3. 大型乗用車向け

省電力であると同時に乗客の快適性を重視する大型乗用車あるいはバスなどでは、乗客周辺の温度と湿度を最適に組み合わせて空気供給を実施します（運転席のデフoggは乗用車と同じです）。

この場合、図7に示すように2セットの高分子収着剤を担持した通風ブロックユニットを用いて各ユニットによる乾燥空気製造ならびに加湿空気製造（再生運転）を組み合わせることで乗客への快適空調を提供します。

この構成例の特徴は2つのユニットを同時に除湿運転とするケースや片方のユニットを再生運転とすることで、大量の乾燥空気の供給や加湿空気の供給が可能となることです。この場合にも高分子収着剤の速乾性が有効となります。

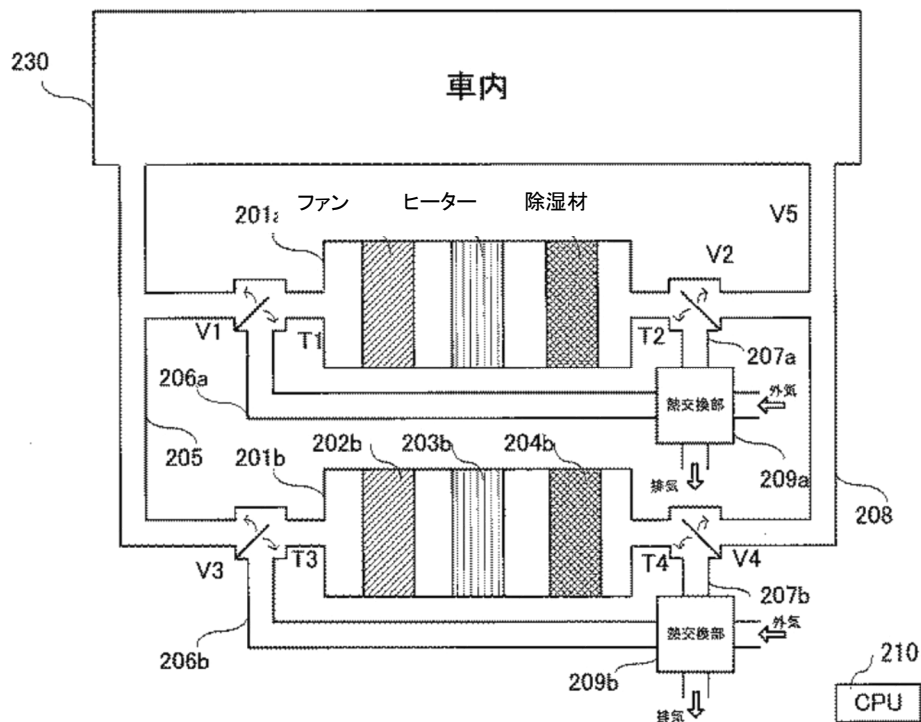


図7 2セットのユニットを組み合わせる大型 BEV 向け省電力空調システム

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

4-4. バッテリー交換車向け

100kWh 以上の大容量バッテリー搭載車では急速充電といえども 30 分以上の時間が必要となるため、数分で充電済バッテリーと交換するサービスが中国で出現しています。

頻発するバッテリー発火や充電停止などの不具合を回避する意味でも専門技術者が管理を行うサービスは幾つかのメリットがあるようです。

例えば、自宅に充電設備を持たないユーザーや都市部の集合住宅などに住むユーザーにとってもサブスクリプション的なバッテリーサービスは利点があります。

また、バッテリーの規格統一による BEV メーカー、バッテリーメーカー、バッテリーステーション事業者の連携型ビジネスもユーザーメリットがありそうです。

バッテリーステーションでのバッテリー交換時に再生済み通風ブロックを一緒に交換するサービスであれば、通風ブロック再生にバッテリーの充電排熱が利用できますので総合的な省エネ効果も期待できます。

図 8 は再生済み通風ブロック（カセットタイプ）を使用する省電力空調システムの構成例です。図に示す様に、バッテリー交換作業時にカセット交換を行います。ユーザーが複数の再生済みカセットを用意すれば長距離移動への対応も可能となります。

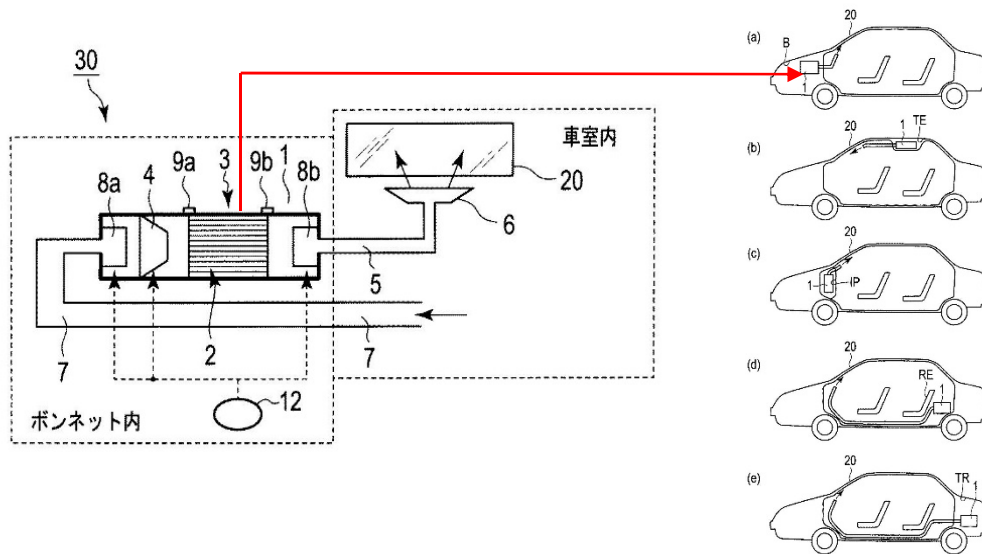


図 8 カセットタイプの通風ブロックを使用する省電力空調システム
(多様なカセット設置場所が想定できます)

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

4-5. 湿潤地域向け

これまでは冬季のデフォッグを対象に省電力空調システムを説明しましたが、高分子収着剤を担持した通風ブロックは一般空調でも調湿機器として多用されています。

従って、東南アジアや中国南部、日本の梅雨時など湿潤地域や季節で使用される BEV の省電力空調システムとして有効です。

このような条件での空調は除湿と冷房（快適な湿度と温度を実現する冷房）が中心で、BEV の消費電力は除湿負荷に応じて増大します。また冷却後の空気の相対湿度は 100% となりますのでそのまま客室へ吹き出すと不快感を伴います。

快適性を得るには適温までの加温処理が必要となります。同様にデフォッグ+弱暖房が要求される季節もありますので十分に機能する省電力空調システムが要求されます。

図 9 は湿潤地域で使用される BEV 向け省電力空調システムの構成例です。

車内空気はファン 104a にて車載冷凍機の蒸発器 102 に送気され、露点温度以下に冷却され結露が生じます。空気は相対湿度 100% で通風ブロック 103 に入りますので高分子収着剤の高い吸湿作用（+加温）を受けます。その後、流路切り替え装置 108b にてダクト 115 から車内へ還流されます。結果的に車内は適度な温度の低湿環境となり快適性が向上します。通風ブロックが行う吸湿作用は冷凍機の冷却除湿負荷を軽減しますので消費電力量が軽減されます。

通風ブロック 103 の再生はファン 104a を停止し、ファン 104b を稼働させて外気または搭載バッテリーの冷却空気などを取り込み、凝縮器 105 にて加熱された後に通風ブロック 103 と蒸発器 102 を通過してダクト 113 から車外へ排気します。再生運転は高分子収着剤の速乾性が効果を発揮しますので短時間で完了します。

次に若干の暖房やデフォッグを行う場合の作動について説明します。車内空気をファン 104a にて蒸発器 102 で冷却（相対湿度は 100% 近くまで上昇）の後に通風ブロック 103 による吸湿後、凝縮器 105 を通過させることで、蒸発器 102 で通過空気が冷凍機冷媒に放出した熱と通風ブロックでの吸湿熱、更に冷凍機が消費した電力相当の熱を受け取ります。その結果、通過空気は高温乾燥空気となり車室内へ戻りますのでデフォッグ効果と暖房効果が得られます（温度不足の場合にのみ PCT ヒーター140 にて追加加熱を実施）。

結果的に湿潤地域で使用される BEV の電力消費は低減すると共に快適な車内環境の形成が可能となります。

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

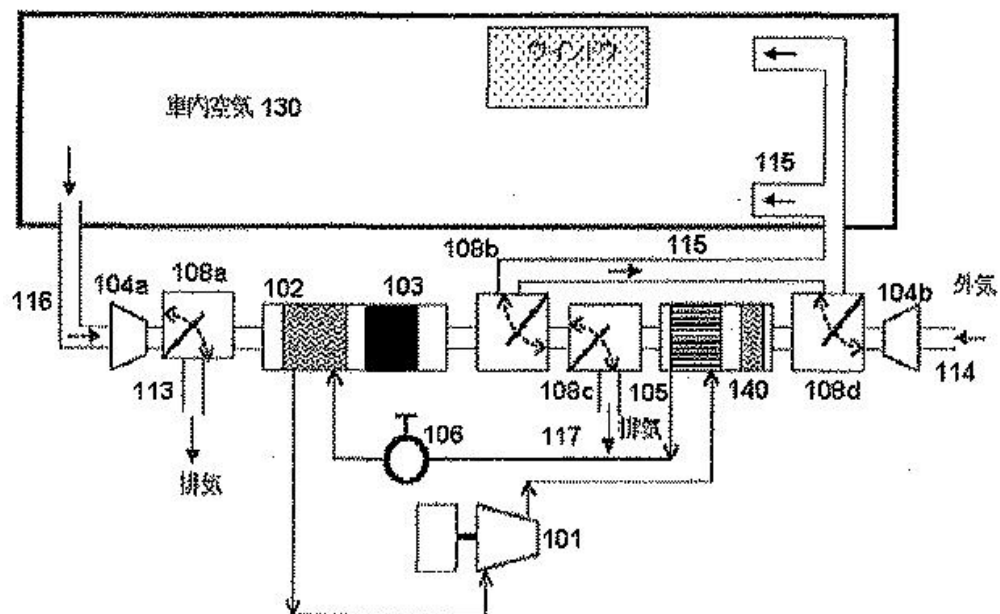


図9 多湿な環境で使用するBEV向けの省電力空調システム

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

5. 実車による防曇効果の実証

12月、外気温度が0℃の条件で、日産リーフを使用して防曇効果確認試験を行いました。

車内に加湿器をセットし窓に曇りを発生させた後、図10に示す高分子収着剤を担持した通風ブロック（容量3リットルで事前に相対湿度20%の空気により再生済）に車内空気を小型ファンで送気した後にフロントウインドウヘダクト供給しました。

図11は曇り状態のフロントウインドウヘ乾燥空気を供給した際、瞬時に曇り除去が行われた状況です。この実験結果から、通風ブロックを通過した乾燥空気は少量であってもフロントウインドウの曇りを瞬時に除去できることが実証されました。

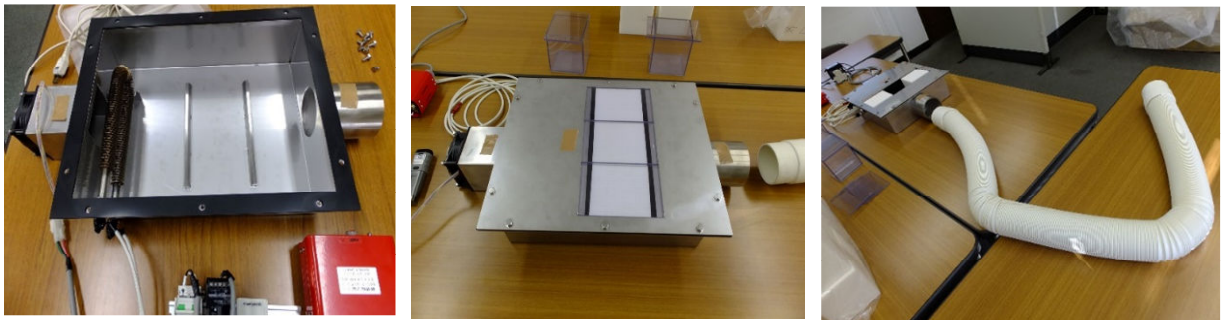


図10 容量1リットルの通風ブロック3個を並列に使用する乾燥空気供給ユニット



図11 リーフ窓ガラスの曇り 並びに 乾燥空気供給時の曇り除去の様子

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

6. まとめ

高分子収着剤を担持した通風ブロックが省電力効果を発揮する3つのケース。

- ① 冬季のデフォッグ（窓の曇り止め）、
- ② 湿潤地域での除湿（一般空調も同様です）
- ③ 快適空調

ここではこれらのケースを対象にBEV別に効果的な省電力空調システムを紹介しました。

ポイントは高分子収着剤を担持した通風ブロックによる吸湿と再生のための電力使用量を最小化したことです。高分子収着剤は東洋紡のグループ会社である日本エクスラン工業と岡山大学が共同で開発したもので、既に衣類や寝具など広く使用され安全性の高い樹脂材料です。

また、通風ブロックは軽量で衝撃にも強く、形状自由度も高いので搭載箇所を選びません。

弊社（横浜熱利用技術研究所：<https://y-hut.com/>）ではBEV用途の高分子収着剤を担持した通風ブロックの提供や使い方、技術相談、共同開発に応じていますのでご相談頂ければ幸いです。

デフォッグに特化したEV省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

7. BEV 向け省電力空調システム特許

弊社で保有する関連特許を紹介します。弊社ではこれら特許の実施許諾に応じていますのでご利用ください。

【海外特許】

1: 電気自動車用防曇・空調システム (セカンドカー、マイクロEV向け) (ANTI-FOG AND HVAC SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLE)

基礎出願番号: 2009-281860、優先出願日: 2009/12/11

国際出願番号: PCT/JP2010/073639

国際出願日=2010/12/8

出願人: 渡邊琢昌 TAKUMASA WATANABE (横浜熱利用技術研究所が権利管理する案件です)

中国 登録 No. 102712236、登録日: 2015/3/25

欧州(独、仏、英) 登録 No. 2511116 (DE 登録 No. 602010025639.1) 登録日: 2015/7/1

米国 登録 No. 9463683、登録日: 2016/10/11

2: 電気自動車用防曇・空調システム、除湿ユニット、除湿カセット、及び除湿部材 (バッテリー交換車向け) (ANTI-FOGGING AND AIR-CONDITIONING SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLE, DEHUMIDIFYING UNIT, DEHUMIDIFYING CASSETTE, AND DEHUMIDIFYING MEMBER)

基礎出願番号: 2010-202201、優先出願日: 2010/9/9

国際出願番号: PCT/JP2011/070335 国際出願日=2011/9/7

出願人: 渡邊琢昌 TAKUMASA WATANABE (横浜熱利用技術研究所が権利管理する案件です)

中国 登録 No. 103097155、登録日: 2016/4/6

韓国 登録 No. 10-1810420 登録日: 2017/12/19

欧州(独、仏、英) 登録 No. 2614973 (DE 登録 No. 602011046982.7) 登録日: 2018/3/28

米国 登録一出願 No. 13/821036

3: 乗物用除湿装置 (バス、乗用車、東南アジアなど高湿度域用途) (DEHUMIDIFYING DEVICE FOR VEHICLE) 分割済

基礎出願番号: 2012-173502、優先出願日: 2012/8/5

国際出願番号: PCT/JP2012/079534、国際出願日=各指定国の出願日: 2012/11/14

出願人: (株) 横浜熱利用技術研究所 YOKOHAMA HEAT USE TECHNOLOGY

欧州(独、仏、英) 登録 No. 2881274 (DE 登録 No. 602012061300.9) 登録日: 2019/6/19

米国 登録 No. 9592796、登録日: 2017/3/14

デフォッグに特化したE V省電力空調システム

横浜熱利用技術研究所 CTO 渡邊 裕

【国内特許】

No.	特許番号	出願番号	出願日	発明の名称
1	<u>4801197</u> <u>公開特許</u>	特願 2009-281860	2009/12/11	電気自動車用防曇・空調システム
2	<u>5887644</u>	特願 2012-532995	2011/9/7	電気自動車用防曇・空調システム、除湿ユニット、除湿カセット、及び除湿部材
3	<u>5741895</u>	特願 2010-207334	2010/9/15	電気自動車用防曇・空調システムの受電装置
4	<u>5783558</u>	特願 2011-091604	2011/4/16	自動車用空調装置
5	<u>5522550</u>	特願 2012-126628	2012/6/2	電気自動車等の空調装置
6	<u>6131439</u>	特願 2012-205037	2012/9/18	電気自動車等の充電設備
7	<u>6268358</u>	特願 2013-122276	2013/6/10	除湿装置
8	<u>6513170</u>	特願 2017-241489	2017/12/18	乗物用除湿装置
9	<u>6433098</u>	特願 2017-241467	2017/12/18	乗物用除湿装置

以上