冬季における新幹線車両床下機器の箱内環境解析

○［電］門脇 悟志（鉄道総合技術研究所）　　八木 聡一（東日本旅客鉄道）

Analysis of the in-box environment of shinkansen rolling stock underfloor equipment in a winter season

○Satoshi Kadowaki, (Railway Technical Research Institute)

Soichi Yagi, (East Japan Railway Company)

The dew condensation occurs in the underfloor equipment box of the shinkansen rolling stock which runs a cold district in a winter season. We measured the environment in the power converter (Converter - Inverter) equipment box to elucidate this phenomenon, and analyzed about influence of long tunnel and environment along the railway line. Only in poorly sealed boxes, the water vapor increases in long tunnels and rolling stock depot where the temperature is higher than the outside.

キーワード：箱内環境，床下機器，結露，温度差，水蒸気
Key Words：in-box environment, underfloor equipment, dew condensation, temperature difference, water vapor

1. はじめに

冬季に寒暖差の大きい線区を走行する新幹線車両の一部の床下機器箱内において，結露の発生に起因すると推定される水滴付着や痕跡が確認されている [1)]．結露は，機器箱内の電気回路の短絡や導通不良など故障の原因となり，安定輸送の弊害となることからその発生を防ぐ必要がある．

機器箱内の結露発生要因は，機器箱内外の温度差，長大トンネル走行時における急激な圧力変動に伴う水蒸気の流入，微小な隙間を有する機器箱における内部と外部の圧力差によって生じる呼吸作用などが考えられる [2)]．

そこで，この発生現象解明のために 2019 年度冬季に新幹線車両の箱内環境を実測し，測定結果について分析を実施したので以下に報告する．

2．測定概要

今回は，同一線区を走行する表 1 に示す新幹線車両 2 形式 3 編成で各編成中 2 箇所の密閉された主変換装置箱，計 6 箱を対象に測定を実施した．測定項目は，図 1 に示す箱内温度・湿度（雰囲気）3 箇所，箱内表面温度，箱内気圧である．効果的なデータ取得を目指して，A 系は高サンプリングで行路を絞った把握，B 系は主に冬季間通しての傾向把握を主眼とした．

表 1　箱内環境の測定対象

形式	編成	機器箱
A 系	No.1	Type(a), (b)×1
B 系	No.2	Type(c)×2
	No.3	Type(c)×2

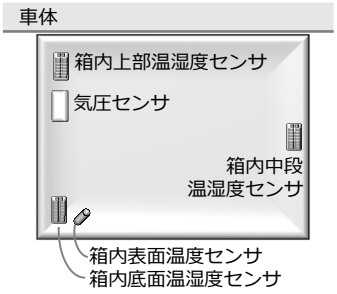


図 1　箱内測定箇所

3．結露発生判定と評価指標

機器箱における結露発生は，目視による確認ができれば確実に判定できるが，箱内にカメラを同梱するにしても撮影可能時間や仮設および記録上の課題がある．また，箱内に結露検知シールを貼り付けたとしても，結露発生歴の有無は判定できるが，どのタイミングで発生したかまで判断できない．

そこで，箱内底面温度・湿度（雰囲気）の実測値から

Tetens の近似式(1)を用いて飽和水蒸気圧 $e_s(T)$を求め，式(2)~(3)で露点 T_d を算出し，箱内表面温度の実測値が露点を下回った場合を結露発生と判断する．

$$e_s(T)=6.1078\times10^{7.5T/(T+237.3)} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$e(T)=e_s(T)\times H/100 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$T_d=237.3\times\log(e/6.1078)/\{7.5\times\log10+\log(6.1078/e)\} \quad \cdots\cdots (3)$$

ここで，T：箱内底面温度（雰囲気）[℃]，H：箱内底面相対湿度[%RH]，$e_s(T)$：飽和水蒸気圧[hPa]，$e(T)$：現在の水蒸気圧[hPa]，T_d：露点[℃].

また，箱内状態は式(4)により水蒸気量（容積絶対湿度）$a(T)$ [g/m³]で評価する．

$$a(T)=217\times\{e_s(T)/(T+273.15)\}\times H/100 \quad \cdots\cdots (4)$$

4．測定結果

4.1 A系の箱内環境

図 2 は，A 系の機器箱 Type(a)における 1 行路の箱内環境推移の一例である．同図中において箱内表面温度の実測値が露点を下回った期間を結露フラグとして併記している．経過時間 t=0[h]に車両基地を出庫してから，箱内底面温度（雰囲気）と箱内表面温度は徐々に乖離していき，一旦駅据付後に寒冷地で高速走行を始めたタイミングから一気に表面温度が低下し，結露フラグが立っている。その後，外気温よりも坑内温度が高い長大トンネルで一時的に解消されるも，再び結露フラグが立ち同様に結露発生が疑われる．図 3 は，飽和水蒸気量曲線と，箱内表面温度と直上にある雰囲気温度・湿度から算出した水蒸気量との関係を示している．この結果，長大トンネル入坑直前の経過時間 t=1.12[h] で 10.8℃のときの飽和水蒸気量に対して約 1.3[g/m³]の水蒸気量超過と算出され，この分が結露として箱内表面（底面部）に発生していた可能性が考えられる。

なお，A 系同一編成中の機器箱 Type(b)には，結露フラグは観測されなかった．

4.2 B系の箱内環境

（1）長期傾向

B 系は，表 1 に示す通り同型の機器箱 Type(c)を搭載した 2 編成で測定を実施したが，No.2 編成と No.3 編成で大きく測定結果が異なった．図 4 に冬季約 1 ヶ月間の両編成同一号車の箱内環境推移を示す．比較にあたり両編成の期間中の運用実績も調査しており，図 4 (a)に示す No.2 編成において温暖地で折り返す運用がやや多い傾向にあったものの，図 4(b)に示す No.3 編成ともに充当線区全線にわたって広く運用されていることを確認している．

以下，各測定値に着目する．箱内底面温度（雰囲気），箱内表面温度は，両編成とも同程度の温度帯であり明らかな差は認められない．一方，箱内湿度は No.2 編成において Peak to Peak 20%の範囲で安定に推移しているのに対して，No.3 では Peak to Peak 60%と広範に変化し高い点が特徴的である．その結果，No.3 で箱内表面温度と露点が接近するケースが複数日で確認できる．但し，No.2，No.3

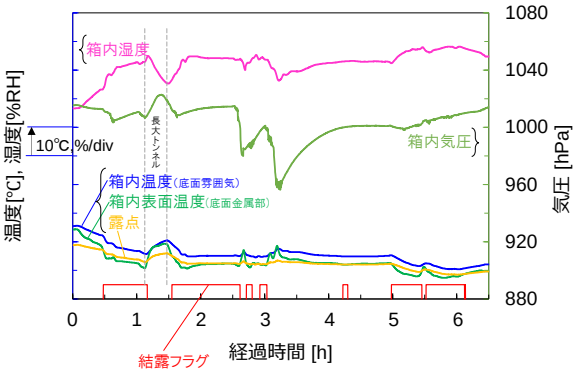


図 2　A 系 Type(a)箱内環境の推移

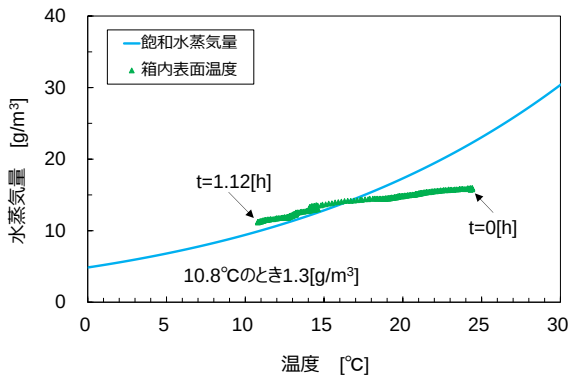
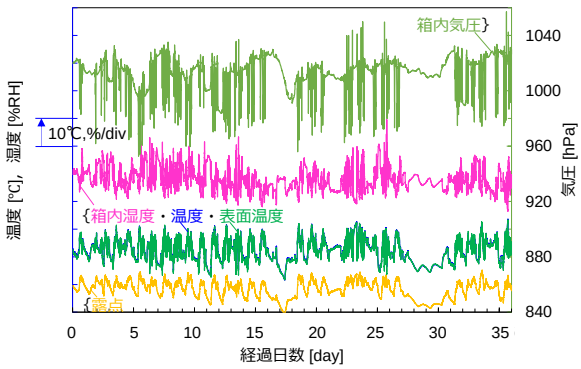
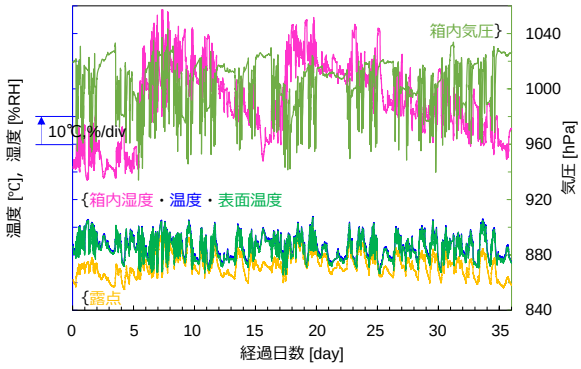


図 3　A 系 Type(a)箱内水蒸気推移



(a)　No. 2 編成 Type(c)箱内環境の推移



(b)　No. 3 編成 Type(c)箱内環境の推移

図 4　B 系箱内環境の推移（冬季 1 ヶ月）

で計測した 4 箱とも測定期間中，箱内表面温度の実測値が露点を下回る結露フラグはなかった．

（２）同一運用での比較

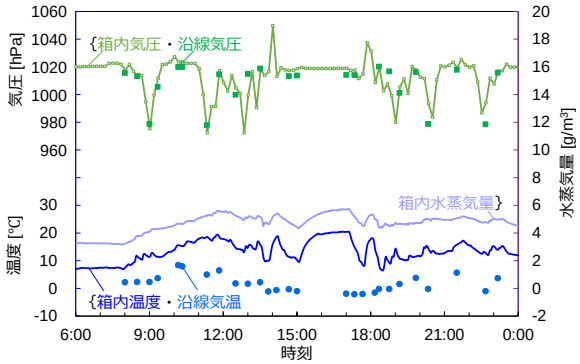
次に，場所依存性等の詳細を検証するために No.2 編成，No.3 編成それぞれが同じ運用に入り，かつ外気温度が同等の条件となった 1 日の箱内環境推移を評価した。ここで，沿線外気温度と気圧は，当該列車の運行実績から同列車の駅停車時または通過時刻における近傍気象台のアメダスデータから取得した．

図 5(a)が No.2 編成，図 5(b)が No.3 編成の箱内環境測定結果と沿線環境を示している．ここでは式(4)により算出した水蒸気量（箱内底面）も併記している．No.2 編成，No.3 編成とも水蒸気量は，箱内温度に依存して変化する傾向が認められるが，No.2 編成に対して No.3 編成の水蒸気量変化が顕著である．特に No.3 編成の水蒸気量は，15 時台から 16 時台にかけて約 2 倍に急増している．これは，車両基地の建屋内に入庫したタイミングである．また，14 時前後，18 時前後にも水蒸気量の増加が認められるが，これは長大トンネル走行中である．

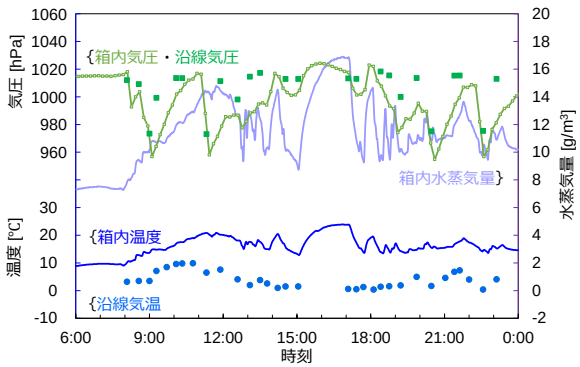
図 4，図 5 とも No.3 編成の機器箱は，微小な隙間を有すると考えられる結果となったが，現時点において箱構造上の弱点箇所は調査中である．

4.3 トンネル内圧力変動の影響

新幹線列車がトンネルを走行すると，トンネル内に圧力変動が発生する [3]．機器箱内もその影響を受けることが考えられるため確認した．



(a)　No. 2 編成 Type(c)箱内水蒸気量の推移



(b)　No. 3 編成 Type(c)箱内水蒸気量の推移

図 5　B 系箱内環境の推移
（同一運用で外気温同等の冬季 1 日の比較）

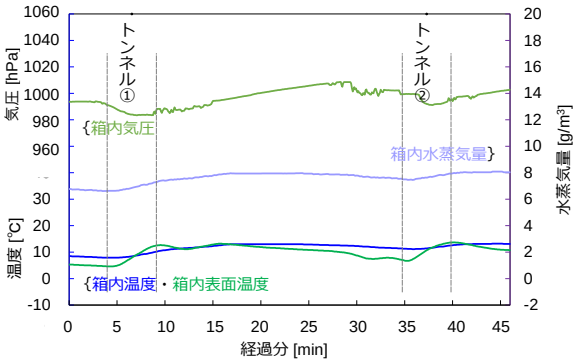


図 6　トンネル内圧力変動と水蒸気量変化

図 6 は，A 系車上モニタ装置に記録されたキロ程と時刻から評価対象とする 2 トンネルの位置関係を特定し，トンネル内圧力変動に伴い変化した Type(a)箱内気圧と，温度，水蒸気量の関係を示している．この結果より，評価対象トンネル走行中に水蒸気量が微増していることが確認できる。しかし，箱内圧力変化よりも温度変化と水蒸気量変化が相似しており，箱内温度上昇による影響の方が支配的と推察される．また，トンネル①退出後とトンネル②突入前の間にも全長数 km 程度のトンネルを数本走行しているが，水蒸気量に変化が見られないことからも温度の影響が支配的であると示唆される．

５．まとめ

新幹線電車床下機器における結露発生現象の解明のため，2019 年度冬季間 2 形式 3 タイプ計 6 箱を対象に箱内環境を測定した．その結果，以下の知見を得た．

i. 新幹線床下機器箱の結露は，箱内水蒸気量の高い状態で，かつ外気で箱が急激に冷やされることにより発生していると考えられる．
ii. 箱内水蒸気量は，微小な隙間を有すると考えられる箱のみ，坑内温度が沿線温度よりも高い長大トンネルや，在線時間の長い車両所留置中に顕著に増加する．
iii. トンネル走行時の圧力変動により箱内圧力も変化しているが，箱内水蒸気量の増加には至っていない．

2019 年度は暖冬のため，十分な結果は得られておらず，本結果を踏まえ今季も継続して測定を計画している．

参　考　文　献

1) 上東直孝，藤井義博，梅田啓：新幹線車両の床下機器における結露対策の検討，No.1205，第 25 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2018)講演論文集，2018.
2) 関西電子工業振興センター信頼性分科会 編：故障をゼロにする信頼性技術，pp.87-88，1990.
3) 小林實，鈴木康文，阿久津勝則，小澤智：新幹線トンネル走行時の車外・車内圧変動解析，日本機械学会論文集(B 編)，61 巻，591 号，pp.256-262，1995.