

信号用電子機器の湿度環境改善に関する検討

神谷 剛志* 藤田 浩由 進藤 卓朗 高崎 建 一色 竜杜
(鉄道総合技術研究所)

Improvement of Humidity Environment for Signalling Electronic Equipment

Tsuyoshi Kamiya* , Hiroyuki Fujita , Takuro Shindo, Ken Takasaki, Ryuto Isshiki (Railway Technical Research Institute)

Along railway lines, there are a lot of signalling electronic equipment in cases. In recent years, the further cost reduction is required, and the demand for the longer life of equipment is increasing. Signalling electronic equipment is constantly exposed to stress factors such as temperature and humidity, so it is important to grasp and improve the usage environment in order to extend their life. Therefore, in this paper, we focused on humidity among the stress factors. We report our investigation on the environment and the methods to reduce humidity.

キーワード：鉄道沿線環境，信号用電子機器，湿度，劣化，寿命推定

(Keywords, Railway track environment, Signalling Electronic Equipment, Humidity, Deterioration, Lifetime Estimation,)

1. はじめに

安全安定輸送のため、鉄道沿線には踏切制御装置や自動列車停止装置などの多数の信号用電子機器が設置されている。近年では、一層のコスト削減が求められ、このような沿線電子機器についても長寿命化の期待が高まっている。一方、これらの電子機器は、沿線の収容箱内に設置されており、過酷なストレス要因に常にさらされている。長寿命化を実現するためには、機器の使用環境を把握し、寿命に影響するストレス要因を緩和する必要がある。

これまでに筆者らは、摩耗故障における沿線電子機器の代表的なストレス要因は温湿度であることを示してきた。また、使用環境に応じた摩耗故障期の故障率を算出する寿命評価手法の開発を行ってきた。(1)(2)

現在、筆者らは温度⁽³⁾や湿度の環境改善による電子機器の延命について検討している。本論文では、湿度に焦点を当て、使用環境の把握と湿度対策の効果について評価を行った。恒温恒湿槽や屋外において、収容箱内部の湿度について比較検証試験を行い、実使用環境や湿度改善効果を寿命の観点から検証した結果を示す。また、試験の過程で収容箱内部に設置されている棚板(木材)が湿度に大きな影響を及ぼすことがわかったため、その結果についても合わせて報告する。

2. 湿度対策材料

本論文では湿度対策材料として2種類の調湿材を用いた。

1 つ目は、安価で購入しやすい材料として「木炭」(28°C 59%RH で 74g)(図 1)を選定した。

2 つ目は、事業者等での使用が見受けられる結露対策シートの代表として、NTT アドバンステクノロジー社の「G-ブレス」(M サイズ)(図 2)を選定した。



図 1 対策材料|木炭
Fig. 1 Countermeasure:
charcoal



図 2 対策材料|G-ブレス
Fig. 2 Countermeasure: G-
breath

3. 恒温恒湿槽試験

〈3.1〉試験方法

恒温恒湿槽内に収容箱を 3 箱設置し試験を行った。収容箱として、踏切用制御子箱(500×430×350mm, 遮蔽版有り)を使用し、測定器は T&D 社のおんどとり(SHA-3151:高精度版 温湿度センサ)を制御子箱下段に設置して相対湿度・温度を測定した。試験手順については、①制御子箱内を空にし、箱の扉を開けた状態で恒温恒湿槽の温湿度を設定、②すべ

ての箱内の環境を同一にした後に、対策材料を入れて扉を閉めるとした。箱内に入れる材料については、「木板」「木板+木炭」「木板+G-プレス」とした。なお、本試験では、木炭は上段に設置しており、箱内に発熱体を設置していない。

〈3.2〉 試験結果

恒温恒湿槽を 35°C95%RH に設定して対策材を入れた時の相対湿度測定結果を図 3 に、試験後と対策材投入前の相対湿度の差を表 1 に示す。図 3 では、試験開始直後に相対湿度が一時的に下がっているが、これは対策材投入のために恒温恒湿槽の扉を開閉したためである。試験結果から、木板だけでも箱内の相対湿度を大きく下げる効果があることがわかった。また、木炭や G-プレスを加えた箱では木板のみの箱よりも相対湿度がより低下しており、相対湿度は「木板+G-プレス<木板+木炭<木板」の順となった。

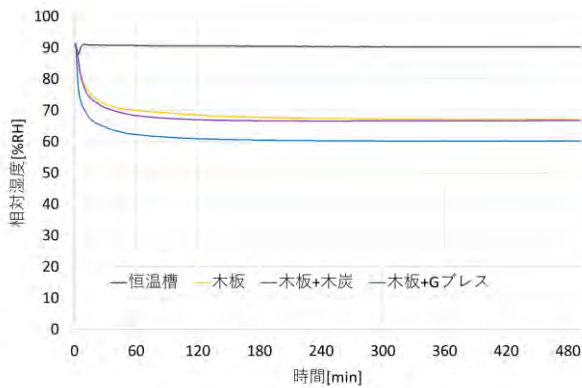


図 3 相対湿度変化測定結果(35°C95%RH)

Fig. 3 Experimental results for relative humidity(35°C95%RH)

表 1 対策材の導入効果

Table 1 Effect of countermeasures

(単位:%RH)

恒温槽	木板	木板+木炭	木板+G-プレス
-0.5	-23.3	-24.1	-31.1

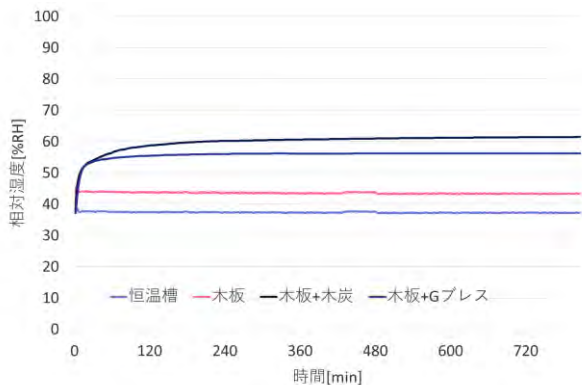


図 4 相対湿度変化測定結果(35°C45%RH)

Fig. 4 Experimental results for relative humidity(35°C95%RH)

続いて、高温高湿槽を 35°C40%RH に設定した際の測定結果を図 4 に示す。図 3 と異なり対策材投入後に相対湿度が上昇した。これは、木板や木炭、G-プレスは吸湿効果のみならず放湿効果も持っている調湿材であり、対策材の保管環境が恒温恒湿槽の設定相対湿度より高かったために発生したと考えられる。

このように調湿材は放湿作用を示すこともあるため、現場において結露等の原因により湿ってしまった木板がある場合は、乾いたものと交換することで湿度環境を改善できる。

4. 屋外試験

〈4.1〉 試験方法

湿度対策を施した収容箱を鉄道総研所内(国立)の屋上に設置して比較試験を行った。収容箱ならびに測定器は恒温恒湿槽試験と同一とし、収容箱が日陰に入らない位置で扉の向きを南向きに統一して設置した。また、百葉箱内にて外気温の測定も行った。収容箱は「木板無し」、「木板のみ」、「木板+木炭」、「木板+G-プレス」の 4 種類とした。

試験は、9 月上旬に 6 日間実施した。

〈4.2〉 試験結果

試験日の天候を表 2 に示す。日照時間は試験場所最寄り気象庁アメダス観測所の府中の値である。

表 2 試験日の天候

Table 2 Weather on the test days

	天気概況	日照時間[h]
Day1	雨	0
Day2	曇	1.5
Day3	晴	4.3
Day4	晴	6.9
Day5	晴	8.1
Day6	晴	3.5

最も温度が上昇した Day4(晴)の相対湿度・温度の測定結果を図 5、図 6 に示す。また、測定値より水蒸気圧、絶対湿度を算出した結果を図 7、図 8 に示す。水蒸気圧の計算過程では式(1)の Tetens の式を用いて温度T[°C]から飽和水蒸気圧e[hPa]を算出し、絶対湿度は状態方程式から求めた。

$$e(T) = 6.1078 \times 10^7 \times 10^{\frac{7.5T}{237.3}} \quad (1)$$

図 5 より、木板無しの収容箱は夜間の相対湿度は他の収容箱と比べて高くなっていることがわかる。結露が生じると、さびの発生や絶縁不良の原因となるため、吸湿材・調湿材を入れる等の対策をしなければいけないことがわかる。一方、対策材を入れた収容箱では、最高湿度が 70%RH 程度に抑えられていた。

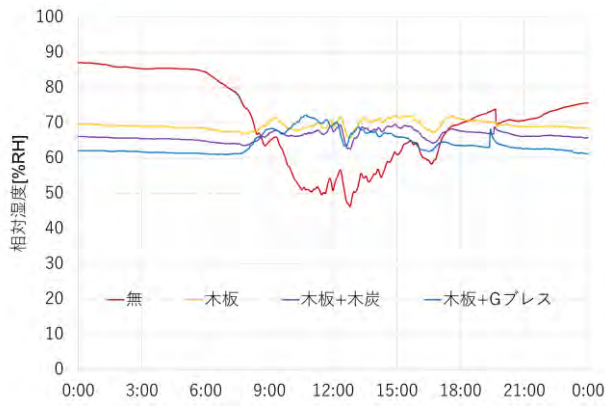


図 5 晴天時の筐体内部相対湿度
Fig. 5 Relative humidity on the sunny day

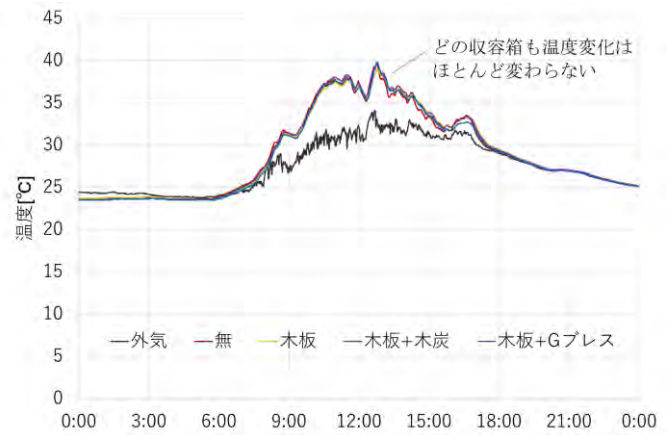


図 6 晴天時の外気温と筐体内部温度
Fig. 6 Outside and inside temperature on the sunny day

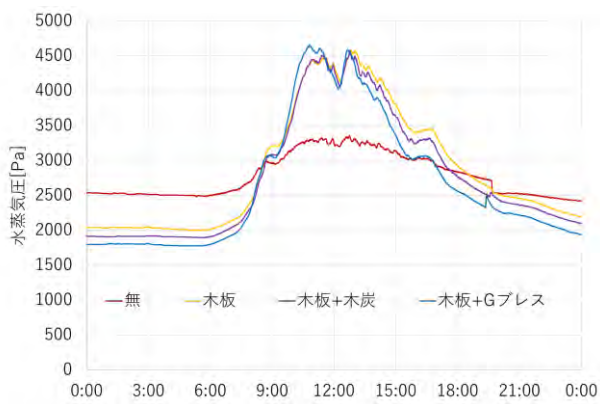


図 7 晴天時の筐体内部水蒸気圧
Fig. 7 Vapor pressure on the sunny day

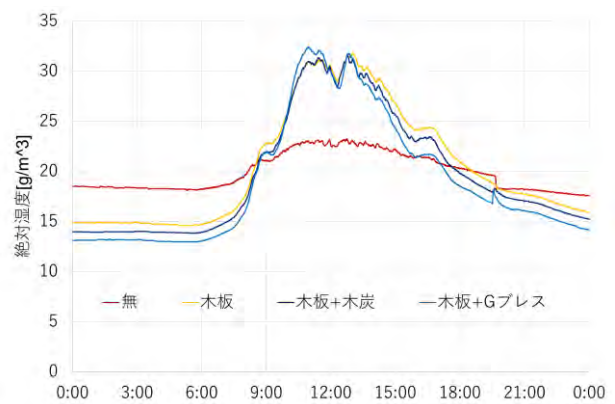


図 8 晴天時の筐体内部絶対湿度
Fig. 8 Absolute humidity on the sunny day

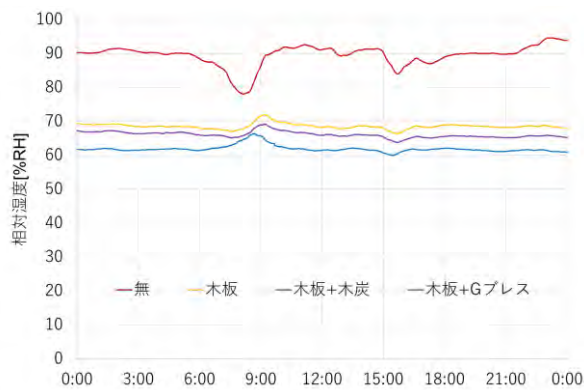


図 9 雨天時の筐体内部相対湿度
Fig. 9 Relative humidity on the rainy day

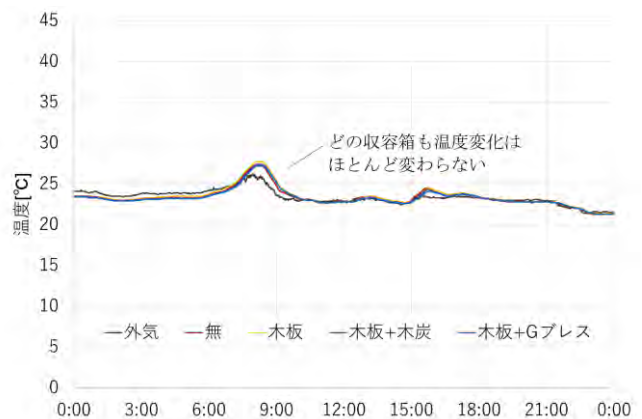


図 10 雨天時の外気温と筐体内部温度
Fig. 10 Outside and inside temperature on the rainy day

図 8 からは、夜間の絶対湿度は、木板無しの箱よりも対策材を入れた箱の方が低くなっているが、日中では高くなっていることがわかる。箱内温度の変化に伴い相対湿度が変動するが、対策材が水蒸気を吸湿・放湿することで相対湿度を一定に保つように働いていることが確認された。

雨天であった Day1 の温湿度を図 9、図 10 に示す。相対湿度、晴天時の夜間と類似の状態であることがわかった。収容箱内の温度が上昇しない場合、箱内の相対湿度が変化せず、その結果、対策材の吸放湿量も変わらないため、箱内部の相対湿度変化が少なかったと考えられる。

対策材を入れた箱について、対策無しの箱内環境を基準とした場合の相対湿度・水蒸気圧の低下値の日平均をまとめたもの表 3, 表 4 に示す。なお、参考として対策材無しの値についても合わせて示している。

表 3 対策材を入れた箱の日平均湿度低下値

Table 3 Daily average humidity drop value of the cases with countermeasures

	対策材無し (相対湿度)	対策材有り(湿度低下値) (単位:%RH)	
		木板+木炭	木板+G-プレス
Day1(雨)	68.6	-2.5	-6.7
Day2(曇)	68.4	-2.7	-5.5
Day3(晴)	68.9	-2.3	-4.9
Day4(晴)	69.3	-3.0	-5.2
Day5(晴)	71.2	-5.6	-7.3
Day6(晴)	70.1	-5.5	-7.1

表 4 対策材を入れた箱の日平均水蒸気圧低下値

Table 4 Daily average vapor pressure drop value of the cases with countermeasures

	対策材無し (水蒸気圧)	対策材有り(水蒸気圧低下値) (単位:Pa)	
		木板+木炭	木板+G-プレス
Day1(雨)	1985	85	209
Day2(曇)	2348	75	193
Day3(晴)	2698	65	189
Day4(晴)	2872	104	208
Day5(晴)	2830	177	280
Day6(晴)	2394	167	244

表 3, 表 4 より、相対湿度・水蒸気圧とも対策材を入れることで値が改善していることがわかる。また、いずれの日でも相対湿度・水蒸気圧の大きさは、「木板+G-プレス<木板+木炭<木板」の順となった。

〈4.3〉湿度環境改善による延命効果

得られた 1 日の水蒸気圧が繰り返されると仮定して、それぞれの 1 日データに対して累積故障確率 1% に至るまでの時間 (B1 life) を試算した。85°C85%RH1000 時間品の半導体(故障数 0/30)における B1 life を表 5 に、対策材無しの箱に対する対策材有りの箱の寿命の比率を表 6 に示す。なお、加速モデルは絶対水蒸気圧モデル(式(2))を使用し、 $n = 2$ とした。なお、 L は寿命、 V_p は水蒸気圧を表し、添え字の数字は使用環境を表している。式(2)は環境 0 における時間経過を環境 1 における時間経過に変換する式となっている。

$$L_1 = L_0 \cdot \left(\frac{V_{p1}}{V_{p0}} \right)^n \quad (2)$$

寿命は、降雨のあった Day1 が他の日と比べて長く算出された。相対湿度は他の日と大きく変わっていないことから、温度によって箱内の水蒸気圧が大きく変動し、寿命に影響を及ぼしていると考えられる。

また、対策材として木炭を入れることで 1 割、G-プレスを入れることで 2 割寿命が長くなることがわかった。

表 5 各日の水蒸気圧から求めた寿命(B1 life)

Table 5 Lifetime calculated from the vapor pressure of each day (B1 life)

	寿命(B1 life) (単位:年)		
	木板	木板+木炭	木板+G-プレス
Day1(雨)	25.8	28.2	32.2
Day2(曇)	17.6	18.6	20.6
Day3(晴)	12.8	13.3	14.3
Day4(晴)	11.4	12.1	12.9
Day5(晴)	11.5	12.9	13.7
Day6(晴)	16.5	19.0	20.0

表 6 対策前に対する対策後の寿命の増加 (比率)

Table 6 Ratio of lifetime after improvement to before improvement

	寿命の増加 (比率)	
	木板+木炭	木板+G-プレス
Day1(雨)	1.09	1.25
Day2(曇)	1.06	1.17
Day3(晴)	1.04	1.12
Day4(晴)	1.07	1.13
Day5(晴)	1.12	1.19
Day6(晴)	1.15	1.21

5. まとめ

本論文では、鉄道沿線にある信号用電子機器の湿度環境を改善することを目的とし、使用環境の把握・改善のため、恒温恒湿槽や屋外で対策材の効果についての試験を実施した。試験の結果、木板は吸湿性能が高いこと、調湿効果を持つため取扱いに注意が必要であることがわかった。また、木炭や G-プレスなどの調湿材を対策材として用いることで、筐体内の日平均相対湿度や日平均水蒸気圧を低減でき、湿度影響による機器寿命が 1~2 割伸びることがわかった。

今後は発熱体を筐体内に入れた試験を実施し、電子機器からの発熱も考慮した湿度環境改善について検討を行う。

文 献

- (1) 国崎愛子 他: 鉄道沿線信号設備における電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.11-16, 2020
- (2) 藤田浩由 他: 信号用電子機器の延命対策に関する定量評価手法, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム, 1101, 2022
- (3) 進藤卓朗 他: 信号用電子機器の湿度環境改善に関する検討, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム, 1110, 2022