

## 第21回 人間-生活環境系シンポジウム ( 横浜 1997年12月 )

## 鉄道車両環境の実際と制御

菅原 作雄 三菱電機(株)

Actual conditions and control of the environment of railroad cars

Sakuo SUGAWARA Mitsubishi Electric Co

Recently, people's demand for comfortable environments is increasing, and also extending to the mobile space, that is, railroad cars. In view of these circumstances, we have developed a portable type of environment measuring device with the aim of grasping the temperature environment in the railroad cars, and have actually conducted the measurement of the environments in the areas ranging from Tokyo to Nagasaki over the four seasons.

As a result, we found that the room temperature in the cars was nearly the same throughout the year, and was cooler in summer than in winter. It was also found that the relative humidity was 60 - 80% in summer, and 20 - 40% in winter. We have also developed the control method of the air conditioners for the railroad cars which have much more difficult problems in the environment control compared to the home air conditioners. This control method, which has been developed through the application of fuzzy theory and date peculiar to the railroad cars to the control, has a good effect on the improvement of environmental stability in the cars, energy saving and amenity.

## 1. はじめに

近年、人々のより快適な環境への要求は、移動空間である鉄道、自動車などの車両内にも及んでいる。そこで、家庭、オフィスなどの一般的空調機と比較して特殊性を有する鉄道車両内環境に関する実測と評価、さらに鉄道車両内環境の制御方法について述べ、鉄道車両内の温熱環境について考える。

## 2. 鉄道車両環境の実際

## 2. 1 測定方法

営業運転中の鉄道車両内の環境を測定するための環境測定装置を開発し、車両内環境を測定した。環境測定装置は、温熱環境の基本的な評価項目である、温度・湿度・風速を測定でき、感覚の測定(入力)が行え、測定の為の電源を有すもので、測定に必要な機器をアタッシュケースに収納したものである。データの収録容量は約13万データで、8点を30[sec]サイクルで行った場合、約5日間以上の測定ができる。

測定は1991年5月から1992年1月にかけて、季節ごとに4回行った。測定を行った路線は、横須賀←→東京←→博多←→長崎(佐世保)であり、通勤車両2路線、特急車両3路線で、測定時刻、座席、車両は特定していない。測定を行った日時をTable 1に示す。測定時の天候は、春期のNo.1の路線で雨天、他は、うす曇りか晴れの安定した天候であった。測定項目は、

膝高さの温度、湿度、風速、および足元温度、肩高さ温度の環境データ5項目を基本としたが座席ヒーター暖房車両においては、尻下となる座席温度を測定した。また、感覚データは、温冷感(1:非常に寒い~7:非常に暑い)、快適感(1:非常に不快~7:非常に快適)とし、リニヤで入力した。測定サイクルは20[sec]~3[min]で行った。

感覚申告者は、男女各1名で、交代で申告を行った。感覚の申告は、一定時間または、申告者が感覚に変化があったと感じたときに、適宜入力する方法とした。

Table 1 Measurement Date and Time

No	SPRING	SUMMER	AUTUMN	WINTER
1	1991. 5. 16	1991. 8. 29	1991. 10. 25	1992. 1. 23
	7:24-8:42	8:22-9:12	22:00-23:13	8:22-9:37
2	1991. 5. 16	1991. 8. 29	1991. 10. 25	1992. 1. 23
	9:39-16:00	9:54-15:56	15:34-21:31	9:54-15:56
3	1991. 5. 16	1991. 8. 29	1991. 10. 25	1992. 1. 23
	16:12-18:21	16:06-18:20	10:28-12:15	10:11-12:11
4	1991. 5. 18	1991. 9. 1	1991. 10. 24	1992. 1. 26
	10:36-12:15	16:18-18:22	9.03-11:22	10:11-12:11
5	1991. 5. 19	1991. 9. 1		1992. 1. 26
	11:36-12:18	11:38-12:16		11:36-12:16

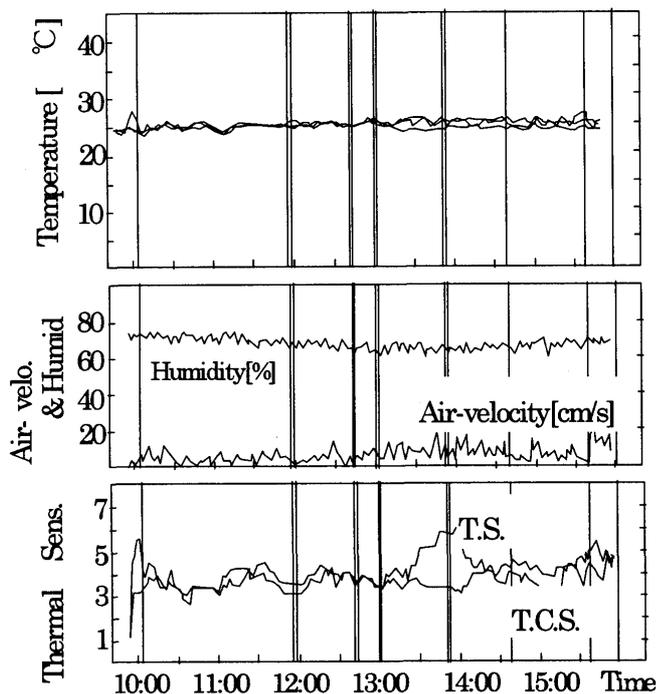


Fig.1 Measurement Results (SUMMER)

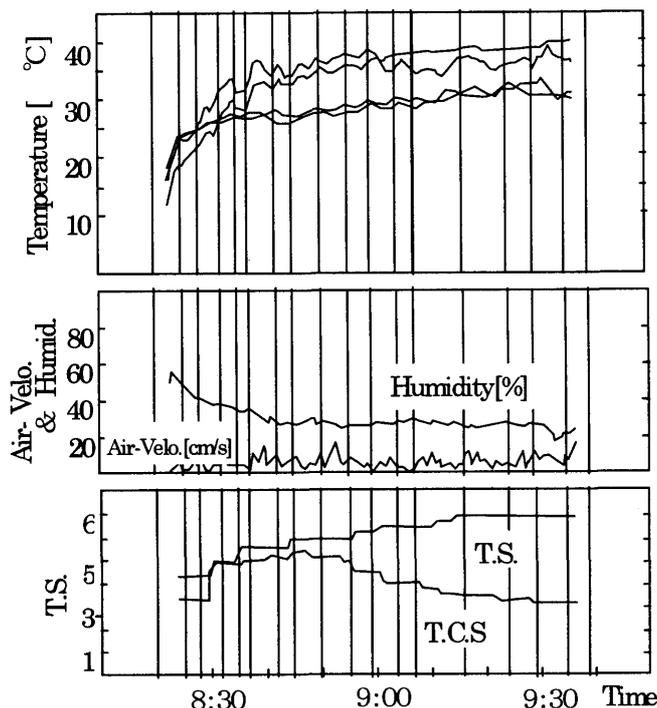


Fig.2 Measurement Results (WINTER)

2. 2 測定結果

Fig. 1 は夏期の特急車両の経時変化を示し、Fig. 4 は冬期の通勤車両の測定結果を示すものである。

夏期の湿度は60 [%]以上と高湿であり、空調機のON/OFFに伴って変化している。温度は約25 [°C]に維持され、時間の経過とともに徐々に下がっている。この空調機のON/OFFは、発電設備の切り替えで生じているものであり、特に相対湿度に影響が表れている。

冬期の通勤車両は座席下のヒーターにより暖房するものであるが、時間経過とともに車内温度の上昇がある。この暖房方式で上下温度差はないものの、尻の下となる座席温度が高湿になっている。車内温度の上昇で不快まで達していることや、乗降扉の開閉による車内温度への影響が見られる。

表2に、全ての測定路線を季節ごとに平均した値とMAX, MIN値を示す。

Table 2 Environment & Sens. Data of Railcars

	SUMMER			WINTER		
	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.
Temp. (lap) [°C]	24.6	26.5	22.7	25.5	39.3	13.9
Temp. (foot) [°C]	22.9	28.5	21.5	23.6	32.7	17.3
Humidity [%]	61.2	78.5	39.0	25.9	63.4	10.0
Air-Velo. [cm/s]	5.6	21.5	1.9	7.1	38.7	1.8
T. Sens.	3.4	5.9	1.2	4.4	6.9	3.0
T. C. Sens	3.5	5.5	1.1	3.9	5.5	3.0

車内温度は、平均値で24.5 [°C] ~25.5 [°C] と、季節による大きな差は見られず、夏期は冬期よりも若

干低く、逆転している。また、足元温度は夏期に高く、冬期に低くなっており、冬期は車内上部に比べ足元温度が上昇していない様子が見られる。

相対湿度は、春期から秋期にかけて平均で50~60 [%]程度と良い湿度環境となっているが、夏期に一部70 [%]以上と高湿度になる場合も見られる。これは、冷房運転時は適正湿度になるが、空調負荷が小さくなった時は高湿になるなど、外気環境の影響を受けているものと思われる。冬期は、平均が30 [%]以下であり、時には10 [%]程度と低湿になっている。

温冷感は、夏期には、1.2(非常に寒い)が申告され、冬期には、6.9(暑い)が申告されているが季節平均値で評価すると、最も高いのは冬期の4.44であり、年間を通して、ほぼ満足のいく環境であったといえる。

2. 3 感覚申告の季節差

Fig. 3 に各環境温度において申告された温冷感の出現率を示す。ここで、車内環境温度は膝高さ温度とし、温冷感は7段階の申告値を“暑い”(1~3)、“どちらでもない”(3~5)、“寒い”(5~7)に分けている。冬期は24 [°C]から暑いとする申告が現れるが、20 [°C]から25 [°C]程度まで中庸な環境といえる。また、30 [°C]を越えても“どちらでもない”とする申告が現れる。夏期は、冬期と同様に24 [°C]以上で暑いとする申告が現れるが、同時に寒いという申告が見られる。夏期は、“暑い”、“どちらでもない”、“寒い”の環境が同一温度帯で現れており、夏期の許容範囲は、冬期より狭いことが分かる。

### 3. 車両空調機の制御方法

#### 3. 1 空調能力ファジー制御の適用

鉄道車両空調は、一般の空調機に比べて、乗降扉開閉による換気量や乗車人数の変化が大きく、また、外気環境変化も大きい。そこで、ファジー理論を応用した鉄道車両空調環境制御方法を開発した。

制御方法の開発に当たっては、車両壁、車内の什器などの熱容量体、車内温度、車内温度検出センサーなどの熱モデルからなるシミュレーションプログラムを開発し、実車両を想定し、外気温度、扉開閉に伴う乗客数の変化などを変化させ、車内温度を求めた。

Fig. 2 は、能力制御に用いたファジールールとメンバーシップ関数をしめしたものである。また、Fig. 3 と Fig. 4 は、シミュレーションにより求めた従来とファジー制御の車内温度他を示すものである。空調能力の変更量は、車内温度と設定温度の偏差と、この偏差の変化からファジー理論を適用して求めている。能力の変更量は、設定温度と車内温度の偏差をなくし、この偏差の変化もなくすように設定されたルールに従って算出される。さらに、メンバーシップ関数で定義された入力値および出力値は、車内温度がよく安定するようにチューニングした。シミュレーション結果に示すように立ち上がり時の設定温度の到達が早く、乗降扉開閉、乗車率の変化など外乱に対し、車内温度がよく追従し、安定していることがわかる。

#### 3. 2 車両空調の特有データの取り込み

車両空調は、一般の空調機に比べ外気環境が変化するなど外乱が多く、車内環境に対して、影響を与えている。この外乱に対し、より安定した環境を制御するために、2つの車両特有のデータを取り入れた。

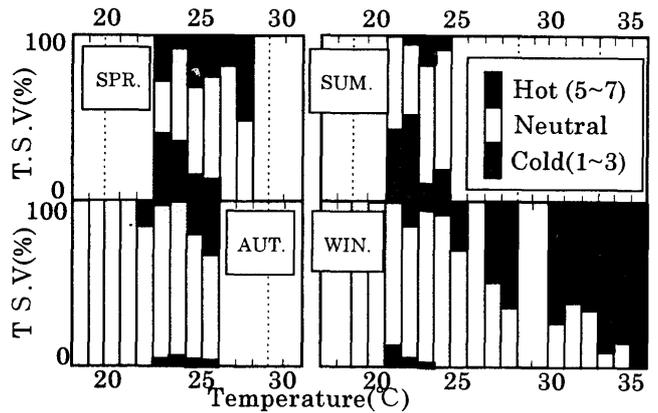


Fig.3 Relation between Temperature and T.S.V.

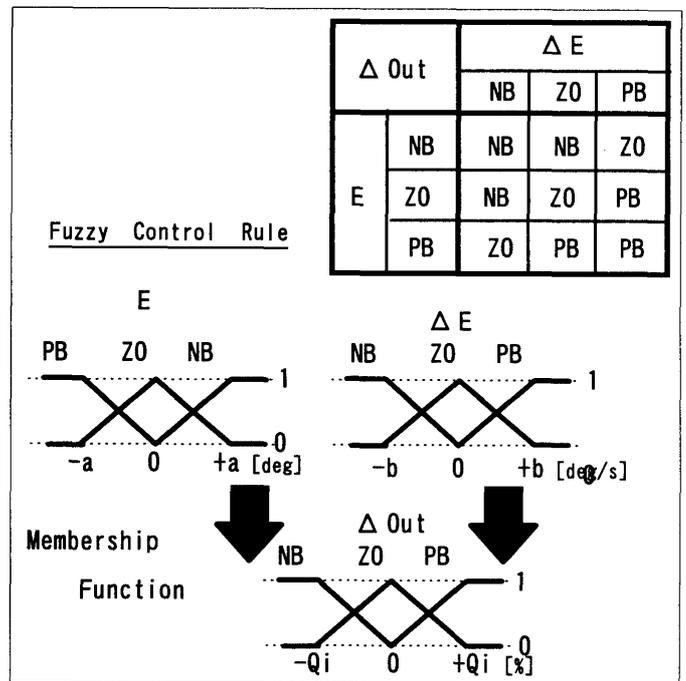


Fig. 4 Fuzzy Control Rule and Membership Function

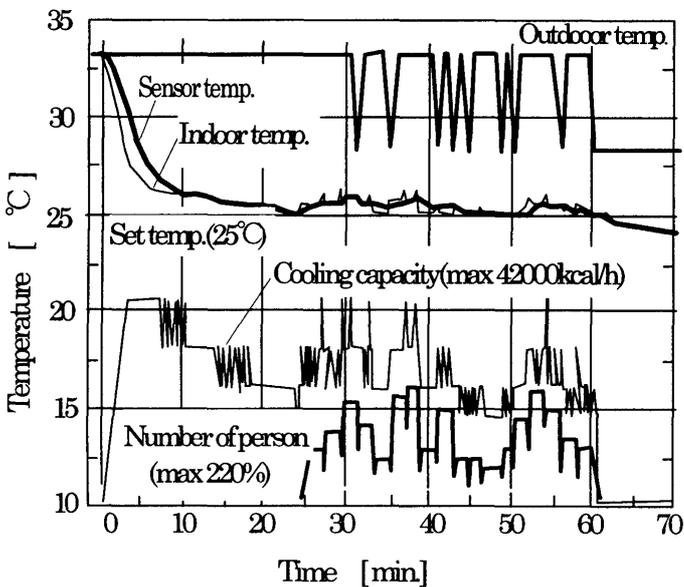


Fig. 5 Simulation result (Conventional control)

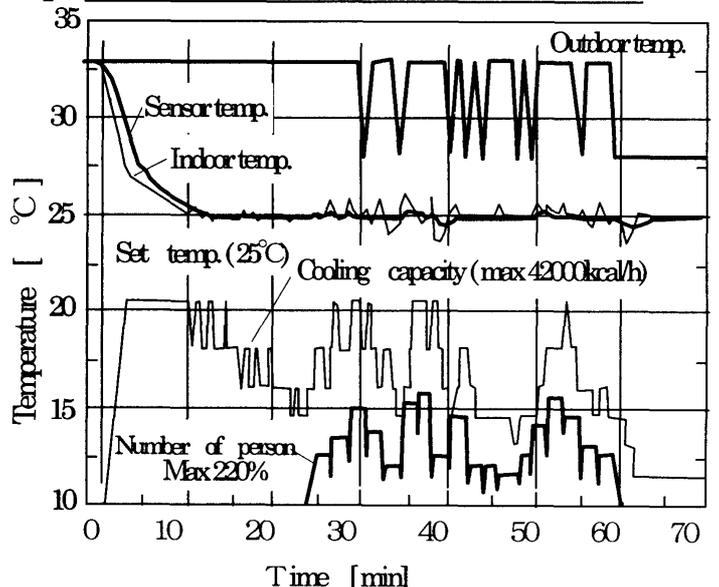


Fig. 6 Simulation result (fuzzy control)

(1) 負荷係数の導入

メンバーシップ関数のチューニングは、標準的な条件で行われている。従って大きな変化があると、安定性が悪くなる。そこで、外気温度と乗車率から負荷の大きさを推論するファジールールをきめ、この負荷係数の大きさにより、推論した冷房負荷の変更量を補正した。冷房負荷変更量の補正量は、推論した能力の変更量が増加の場合、負荷係数が大きい時は増加率を大きくし、負荷係数が小さい時は増加率を小さく補正する方法とした。(Fig. 7)

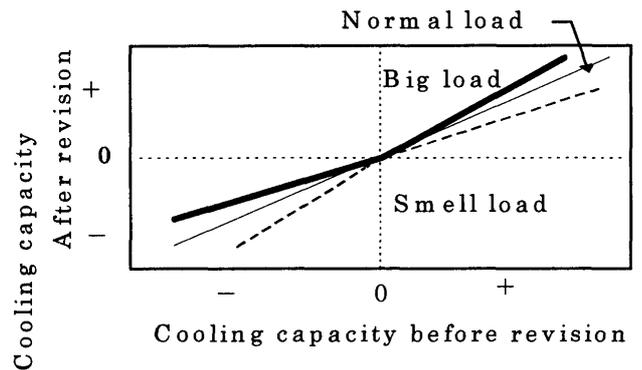


Fig. 7 Corrected A.C. capacity by Heat load factor

(2) 扉係数

乗降扉の開閉時には、この扉の開閉と乗客の乗降により、換気量が変化し、さらに乗客数の変化により、発熱量が大きく変化する。扉係数は、このような負荷の急激な変化に対応するため、乗降扉が開いてから一定時間、冷暖房能力の補正を行うものである。補正は、乗降扉が開いた最大となり、乗降扉が閉じ、時間が経過するに従い小さくなるようにした。これにより、扉開閉時の安定性が大幅に上昇する。(Fig. 8)

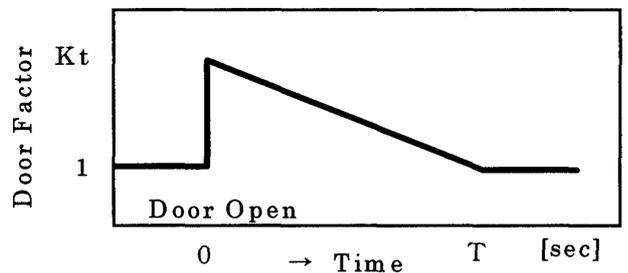


Fig. 8 Door Factor

Fig. 9は、負荷係数、扉係数を導入したシミュレーション結果を示すものである。乗降扉による大きな外乱にも拘わらず、センサ検出温度はよく安定しており、また、変化の大きい空気温度でも±1deg以下であることが分かる。

(3) 設定温度の自動補正

車両内の乗客の感覚は、車内空気温度によって決まるものではなく、温熱4要素や足元温度の影響を受ける。これらは、車両の走行により変化するので、輻射センサと、上下温度差から設定温度の補正幅を推論するファジールールを作った。さらにこの補正幅を相対湿度で補正するという方法とした。これにより、乗客の温熱感覚は安定し、また、冷やしすぎをなくすことができ、省エネルギー効果も得られる。

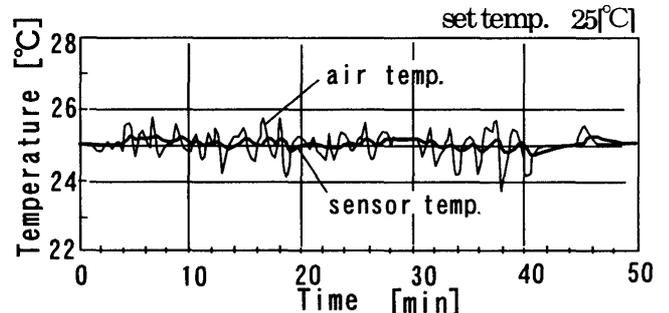


Fig. 9 Simulation Result (Door Factor)

4. まとめ

空調の目的は、健康で快適に活動できる環境の創造であり、車両空調においても例外ではない。より良い車両内環境を形成するには、実際の車両内環境を把握し、課題を明確にする必要がある。また、車両の特性を十分に把握し、環境制御することが重要である。ここでは、営業運転中の車両内環境を測定し、①夏期と冬期の車両内温度が逆転している。②冷房すると寒いという申告が現れる。などの課題を抽出することができた。また、車両特有のデータを取り込んだファジー制御方法により、より安定性が高く、しかも省エネになる方法を開発した。この制御方法は、営団地下鉄の南北線の車両に搭載されている。今後もより良い環境を作るべく、実環境の把握、課題の抽出を進め、より快適な車両空調機の開発に努力する所存である。

この論文は、下記参考論文に若干のデータやコメントを追加して、まとめたものである。

鈴木、菅原 鉄道車両内環境の評価(1) 1992. 10 空気調和・衛生工学会学術講演会 講演論文集  
 鈴木、菅原 鉄道車両内環境の評価(1) 平成4年11月 第16回 人間-熱環境系シンポジウム 報告集  
 菅原、鈴木 ファジー制御の空調環境への適用 平成3年12月 人間-生活環境系国際会議