

ブレーキディスク表面温度評価ツールの開発

嵯峨 信一* 高見 創 (鉄道総合技術研究所)

堀内 泰英 村山英治 (ジャパン・イメージ&ネットワーク)

須藤 孝行 (NEC Avio 赤外線テクノロジー)

Development of Temperature Evaluation Tool for the Brake Disc Friction Surface

Shin-ichi SAGA*, Hajime TAKAMI, (Railway Technical Research Institute)

Yasuhide Horiuchi, Eiji MURAYAMA, (Japan Image&Network Inc.)

Takayuki Sudoh, (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd.)

In late years a high-speed railway represented from the viewpoint of global environmental protection by the Shinkansen attracts attention. Regardless of inland and overseas, both high-speed railway vehicles aim at the further progress of the service speed, but it is the present conditions on this occasion that the evaluation of the brake disc friction surface temperature to reach a high temperature becomes difficult by the measurement by the conventional thermocouple. Therefore, we have developed the temperature evaluation tool for friction surface on brake disc which developed or developing. In this paper, introduces a variety of functions.

キーワード: ブレーキディスク, 摩擦表面温度, サーモカメラ, ヒートスポット, 高速鉄道車両
(brake disk, temperature of friction surface, thermo camera, heat spot, high-speed railway vehicles)

1. はじめに

近年, 世界的な環境保護の観点から新幹線に代表される高速鉄道が注目されている。国内外を問わず, いずれの高速鉄道車両も営業速度のさらなる向上を目指しているが, ブレーキの際に高温に達するブレーキディスク表面温度の評価としては, 従来の熱電対による測定では困難になっているのが現状である。そこで, これらの車両に搭載あるいは搭載予定のブレーキディスクの摩擦表面温度を評価するツールを開発した。本論文では, その様々な機能について紹介する。

2. ブレーキディスクの現状

台上ブレーキ試験を行った際のブレーキディスクの様子を Fig.1 に示す。供試体のブレーキディスクは現行の新幹線電車に搭載されているものと同様で, 車輪の板部にボルトで締結されている“車輪側ディスク”と呼ばれているものである。図のようにブレーキ初速度 270km/h から機械ブレーキによる常用最大ブレーキ (B7 ノッチ) を作用させた場合には, 摩擦熱により表面が赤熱化 (“ヒートスポット” または “ヒートリング” と呼ぶ) し, 摩擦係数のフェード現象や熱亀裂の発生等の一因となっている。一般的に, 赤熱

化した鉄の表面温度は 800°C を超えていることが知られ, 非常ブレーキとなるとより強いブレーキ力が負荷されるため, さらに高温に達し, 様々な問題が懸念される。

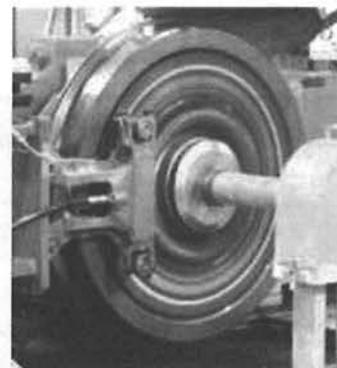


Fig. 1 Friction Surface on the Braking

しかしながら, 従来の熱電対による温度計測では, 摩擦表面の 6mm 直下における測定であることや, 熱電対の応答時定数による遅延等により, 正確に摩擦表面温度を測定することが困難であることから, 今後の速度向上やブレーキ力の向上を鑑みると, 新たな計測手法による摩擦表面温度の評価が必須となることは明らかである。

また, 表面温度はブレーキディスクの他にもライニング

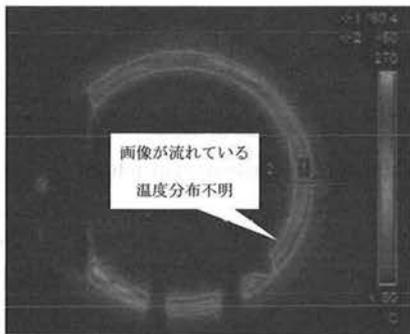
や押付装置の性能に強く依存することから、将来の高速鉄道車両に搭載する基礎ブレーキ装置の評価のみならず開発ツールとしてもその有効性は高いものと考えられる。

3. サーモカメラ画像の比較

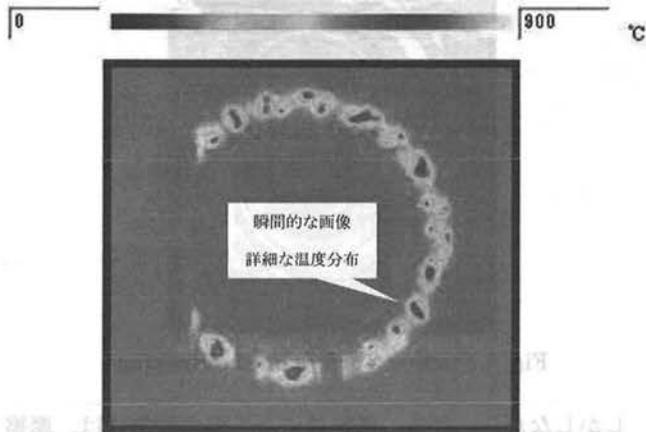
同一のブレーキディスクに対して、標準的なサーモカメラシステム及び開発したサーモカメラシステムを用いて得られたサーモ画像を Fig.2(a)及び Fig.2(b) にそれぞれ示す。

標準品のサーモ画像 (Fig.2(a)) では、ブレーキディスク表面の赤熱した範囲がリング状になっているのが分かる。これは、サーモ画像のシャッター速度が低いために映像が流れてリング状となってしまう、瞬間的な摩擦表面温度を捉えていないことを表している。

また、サーモ画像中の温度は固定の数点を指定するか、最大値もしくは最小値を抽出する機能にとどまっていることが多い。さらに、測定温度の上限が 900℃と比較的低く、赤熱したブレーキディスクの摩擦表面温度を精度良く測定することは困難であるものと考えられる。



(a) Conventional System



(b) Developed System

Fig. 2 Comparison with Thermo Camera Image

一方、開発品のサーモ画像 (Fig.2(b)) では、ブレーキディスク表面の赤熱した範囲が局所的であることが分かる。これは、サーモ画像のシャッター速度が高いために瞬間的な摩擦表面温度を捉えていることを表している。また、サーモ画像中の温度は、任意の点または領域における最大値、平均値、最小値を得ることが可能であるだけでなく、測定温度領域が 300~1100℃と広く、正確な温度分布の把握が

可能である。このことは、摩擦表面における真の接触状態の把握や発生する熱応力の評価に有効であると考えられる。

こうした優れた特性を持つ理由としては、本開発品が“シャッター速度及びフレームレートの高い”高速サーモカメラ”を適用し、ブレーキディスクに特化したシステムであることが挙げられる。近年では同様なカメラが主に海外製品をはじめとして販売されているが、いずれも汎用性は高いものの、ブレーキディスクのような高速回転する対象物の解析には必ずしも向いているとは言えなかった。

Table1.に本開発品における高速サーモカメラシステムの主な仕様を示す。

Table 1. Specifications of Thermo Camera Sys.

項目	仕様
検出器	InSb FPA
有効画素数	256(H)×236(V)
検知波長	3.5~4.1μm, 4.5~5.1μm
温度精度	対象物温度 100℃以下 ±2℃ 対象物温度 100℃以上 ±2%
測定温度範囲	-40~70℃, 20~150℃ 100~300℃, 300~1100℃
シャッター速度	約 1/7000sec
フレームレート	30/sec, 1200/sec
測定時間	1800sec
各種機能	分析領域指定, 温度時系列, アナログ信号収録 温度ヒストグラム, 任意の回転角度抽出 固定点の追跡, 任意の放射率テーブル, 動画出力

4. 開発システムの分析機能

開発したサーモカメラシステムの分析ソフトウェア画面を Fig.3 に示す。本ソフトウェアでは、サーモ画像の取得から表面温度及びアナログ信号の取得、分析までが可能である。また、ブレーキディスクに特化した詳細な分析が可能であり、これらの分析機能について紹介する。

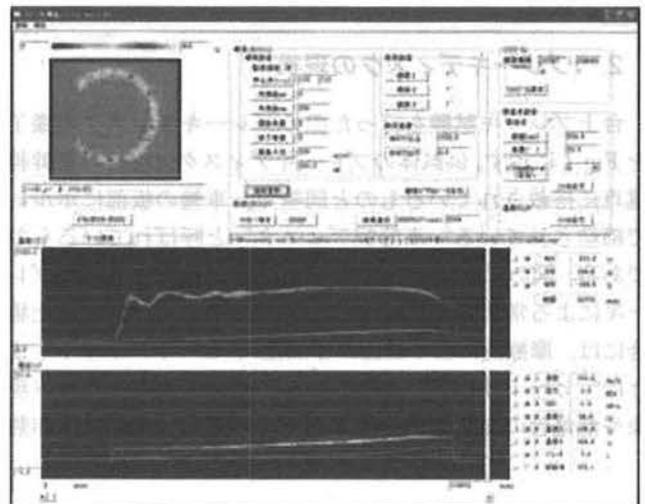


Fig. 3 Measurement and Analysis Software

〈4・1〉 分析領域の指定

回転するブレーキディスクに特化した分析を行うために、ブレーキディスクが円環形状であることを利用し、「中心座標」、「内径」、「外径」及び「開き角度」で定義される領域（扇形～円環形）における分析を可能とした。その際には、ブレーキディスク表面の遮蔽物となるスリッピング支持台やキャリパブレーキ装置及びライニングを分析除外領域として定義できる機能を持たせた。なお、除外項目として温度範囲の指定も可能である。

Fig.4 に分析領域を指定した後のサーモ画像を示す。図中の紺色の背景及び黒い箱の領域が除外領域にあたる。

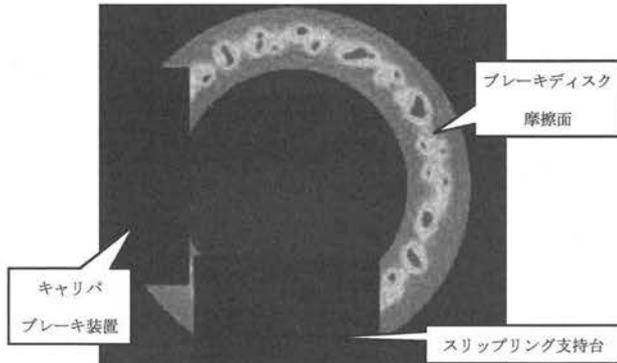


Fig. 4 Area Definition for Analysis

〈4・2〉 温度時系列分析とアナログ信号

Fig.5 に及び摩擦表面温度（最大値、平均値、最小値）及びアナログ信号（最大 8CH, 電圧入力, サンプル時間 1msec）の時系列データを示す。これらのデータ画面にカーソルを移動すると、その測定時刻に対応したサーモ画像が表示される。測定トリガは、ブレーキ指令と同期もしくは手動の選択が可能である。

また、通常取得するアナログ信号としては、ブレーキ指令の他に速度、ブレーキトルク、押付圧力、ブレーキディスク温度、ライニング温度等が挙げられる。なお、これらのデータは CSV データとして出力することができる。

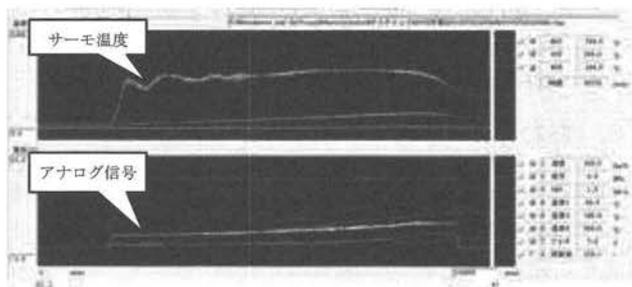


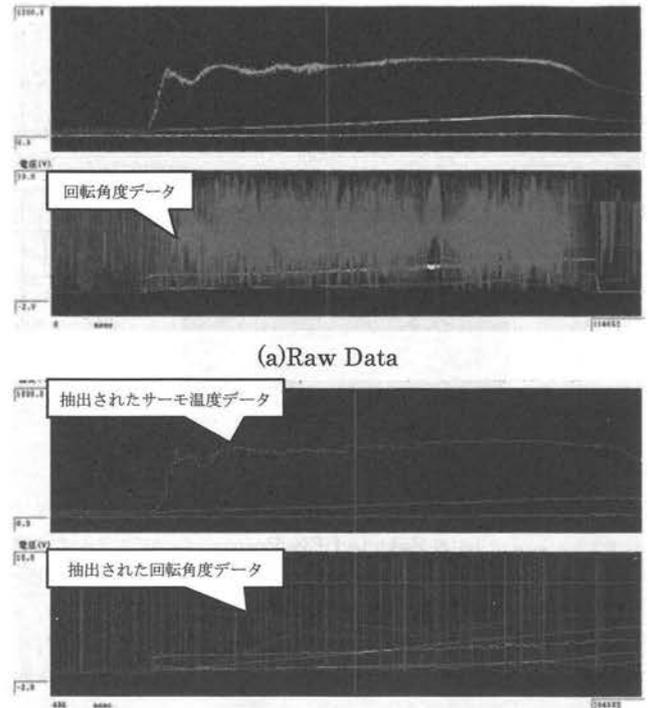
Fig. 5 Measurement Screen of the Data

〈4・3〉 任意回転角度による抽出機能

前記のアナログ信号に台上試験機から出力される回転パルスをカウントし、絶対回転角度として入力することで、ブレーキ中の任意の回転角度におけるサーモ画像及び各種データの抽出を可能とした。

Fig.6 に抽出前後の時系列データを示す。なお、抽出条件

は $0^\circ \pm 5^\circ$ とした。抽出前の Fig.6(a)では、回転角度情報が $0 \sim 360^\circ$ の振幅を持つ変動波形として表されているが、抽出後の Fig.6(b)では、それが $5^\circ \sim 355^\circ$ に 2 値化されているのが分かる。なお、抽出されたデータについても同様に CSV 出力が可能である。



(a)Raw Data
(b)Extracted Data of Arbitrary Rotation Angle
Fig. 6 Comparison with Extraction of the Data

〈4・4〉 温度ヒストグラム分析

温度分析のために指定した領域における温度ヒストグラムを Fig.7 に示す。ヒストグラム化することにより、摩擦表面に存在する各温度の割合を把握することが可能となり、ライニング特性の違いや接触状態の違い等の評価を容易にすることができる。Fig.7 では高温側になるにつれて指数的に減少している。これは、Fig.4 に示すように接触状態が悪いために、高温の領域が局所的に存在していることを意味している。なお、このグラフも CSV データとして出力することができる。

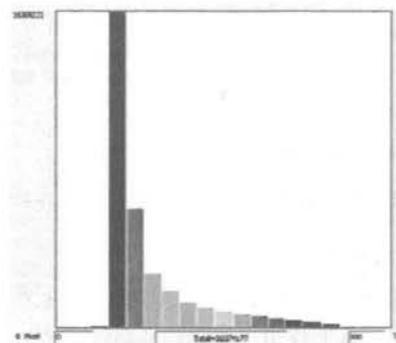


Fig. 7 Temperature Histogram of Defined Area

〈4.5〉 固定点の追跡機能

前記の任意回転角度による抽出機能を利用し、回転する表面上の固定点(1点)の温度を追跡することが可能である。固定点の大きさはピクセル単位での選択が可能で、それぞれ 1×1, 3×3, 5×5, 7×7, 9×9 である。摩擦表面上に選択された固定点を Fig.8 に示す(7×7)。なお、この固定点は、回転と同期するため、遮蔽部(キャリパブレーキ装置, スリップリング支持台)に隠れた場合には温度換算をしないように設定している。

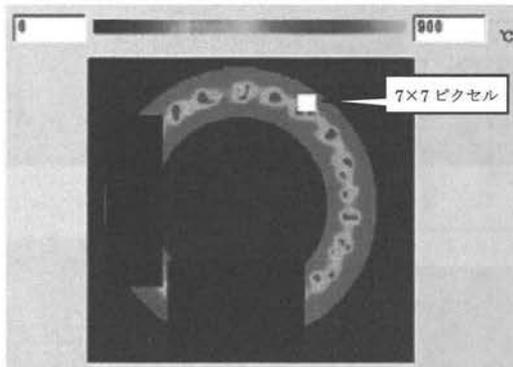


Fig. 8 Selected Fix Point

〈4.6〉 任意の放射率テーブル

一般的に、サーモカメラでは測定した温度をまず放射率 $\epsilon=1.0$ として算出している。次に、それぞれの測定対象物の温度域に応じた個別の放射率を選定して換算している。このときに用いる放射率は一定値であることが多い。しかし、実際には測定対象物の様々な温度に応じて換算することが望ましい。そこで、温度 100°C 毎における放射率の設定が可能なテーブル機能を持たせた。Fig.9 に放射率テーブルの例を示す。

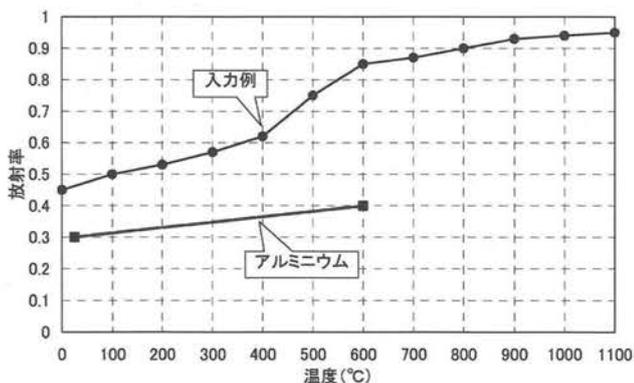


Fig. 9 Example of the Emittance

5. 分析事例 (270km/h, 常用最大ブレーキ)

〈5.1〉 温度トレンド

ブレーキ初速度 270km/h からの常用最大ブレーキ (B7 ノッチ) を停止まで作用させた際におけるサーモ及び熱電対による温度時系列データの比較を Fig.10 に示す。熱電対と比較すると、サーモによる平均値と傾向が似ているが、サーモにおける最大値とは大きな差異が生じている。この

ような現象は、前記の通り、摩擦面 6mm 直下や熱電対の応答性に起因するものであることから、熱電対の限界が示されたとともにサーモによる温度測定の有効性を示しているものと考えられる。

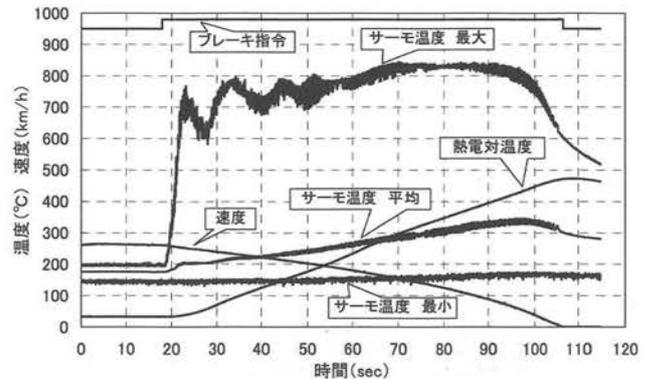


Fig. 10 Comparison with Temperature

〈5.2〉 温度ヒストグラム

Fig.11 にブレーキ開始時を 0sec として、0~30sec, 30~60sec, 60~90sec における温度ヒストグラムを示す。ブレーキ開始直後にはほぼ 800°C 以下であった温度領域が、30~60sec では 800°C を超えて増大し、その後、停止に伴い減少しているのが分かる。このような手法は、特に基礎ブレーキシステムの違い等を評価する差異に有効であるとえられる。

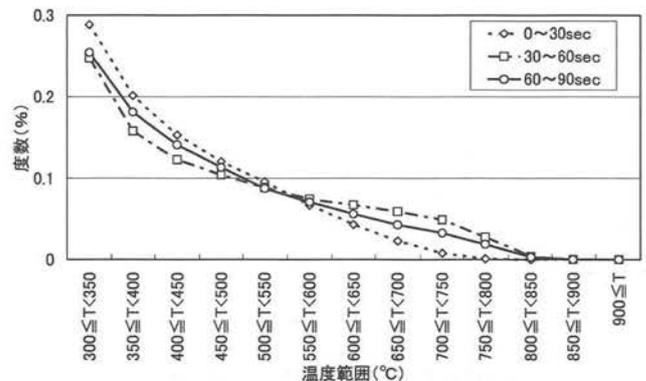


Fig. 11 Comparison with Temperature Histogram

6. おわりに

本開発ツールは、鉄道車両用ブレーキディスクの摩擦表面における様々な温度分析に特化したものであり、それらの機能を紹介した。

今後は、本開発ツールを用いて、冷却性能を向上したブレーキディスクの研究開発を深度化し、高速鉄道車両用の基礎ブレーキ装置の技術向上及び発展に貢献したい。

謝辞

本評価ツールの開発にあたって、物性調査等でご協力頂きました大阪富士工業株式会社殿及び住友金属工業株式会社殿の関係者各位に感謝の意を表します。