

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420603

研究課題名(和文) 建築土木構造物の外壁全面検査を可能にする背景反射低減赤外線サーモグラフィ法の確立

研究課題名(英文) Establishment of Reduction Method of Background Reflection on IR Thermographic Test for Whole Wall Area

研究代表者

小笠原 永久 (OGASAWARA, NAGAHISA)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・教授)

研究者番号：60262408

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、建築物外壁の表層部のはく離欠陥検知における赤外線サーモグラフィ試験において、太陽光や背景構造物から受ける反射の影響を低減する手法の確立を目指すものである。背景反射を低減させる際には、対象物質の放射率の角度特性を把握しておく必要があり、まずFT-IRを用いた分光放射率の測定手法の確立を行った。続いて、セラミックスタイルを対象として、分光放射率の角度依存性について、理論値とFT-IRおよび赤外線サーモグラフィによる実測値と比較し、理論値が成り立つ条件を明らかにした。最終的に、MATLABを用いた反射低減プログラムを作成し、検査対象物自体の熱画像を得る手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we established a reduction method of background reflection from sunshine or other structures on IR thermographic test for buildings and structures. It is very important to know the spectral emissivity of test material accurately, so that we first developed a measurement technique of spectral emissivity using a Fourier Transformation Infrared Spectrometer (FT-IR) and a infrared thermographic instrument. Next, two experiments using FT-IR and IR thermographic instrument showed that the apparent roughness has an angle dependency and that it changes the spectral emissivity. The theoretical emissivity is effective when the apparent roughness is very small. Then we developed the MATLAB program for the reduction of background reflection. This program can reduce the reflection effect and make the accurate thermal image.

研究分野：工学

キーワード：保全技術 赤外線サーモグラフィ 分光放射特性 角度依存性 反射

1. 研究開始当初の背景

近年、建築構造物の劣化事故が頻発したことで、外壁全面検査が義務付けられ、赤外線サーモグラフィ法が注目されるようになった。本手法は、安全・効率的という利点を有する一方、誤検知の可能性を否定できない。本研究では、この誤検知の主要因の一つ「背景反射」に注目した。これは、太陽光、周辺構造物等の写り込みのことであり、多くの場合に高温部として認識されるため、欠陥部分と判別がつかなくなる危険性がある。従って、検査で取得した赤外線画像から背景反射を除去した上で欠陥を判別する必要がある。

背景反射を除去する際、切り離せないものに放射率の角度依存性がある。対面上げ角が大きくなると放射率は低下するため、反射源の写り込む位置によって、除去すべき反射エネルギー値は異なる。特に高層建造物等では、背景反射による影響が非常に大きく、注意が必要である。

2. 研究の目的

放射率の角度依存性を考慮した背景反射の低減により検査対象物の真温度画像を得る「背景反射低減赤外線サーモグラフィ法」の構築(図1)を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 放射率理論式

放射率はMaxwellの電磁方程式から導き出すことができ、絶縁物の放射率理論式は式(1)となる⁽¹⁾。ここで、 ϵ :放射率、 λ :波長、 β :対面角度、 n :屈折率(波長に依存)である。

$$\epsilon(\lambda, \beta) = 1 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{n^2 \cos \beta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}}{n^2 \cos \beta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}} \right\}^2 + \left\{ \frac{\cos \beta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}}{\cos \beta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta}} \right\}^2 \quad (1)$$

(2) FT-IR 法による分光放射率の測定

放射率は、波長、材質、対面角度、表面状態等に依存する。放射率と対面角度の関係について実在物体と理論式で比較するため、対面角度 $0^\circ \sim 80^\circ$ の外壁用セラミックタイルの分光放射率をFT-IR装置を用いて測定した⁽²⁾。

現実の計測では、FT-IR装置内部からの影響「内部放射」、環境熱源(FT-IR装置外部)からの影響「外部放射」等、外乱の影響を無視できない⁽³⁾。図2に外乱の模式図を示す。試験片の正確な分光放射強度を求めるためには、これら外乱の値を減算する必要がある。 ϵ :放射率、 v :放射強度、上付の s :試験片、 m :ミラー、 bg :外部放射、 in :内部放射、下付は対面角度($\theta, 0^\circ$)とした時、対面角度 θ の試験片の放射率は、外部放射、内部放射を減算して、式(2)で表される。また、反射率の高い金蒸着ミラーを試験片の位置に置くことで、外乱に関する式(3)、(4)が得られる。式(2)~(4)

より試験片の放射率は式(5)となる。式(5)を用いてFT-IR装置による測定値を補正し分光放射率を求めた。

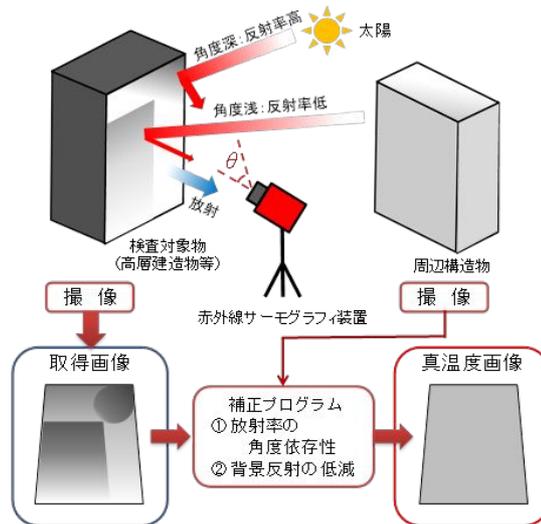


図1 背景反射低減赤外線サーモグラフィ法

$$\epsilon_\theta^s = \frac{v_\theta^s - \{(1 - \epsilon_\theta^s)v_\theta^{bg} + v^{in}\}}{v^b - v^{in}} \quad (2)$$

$$v^{in} = v_0^m \quad (3)$$

$$v_\theta^m = v_\theta^{bg} + v^{in} \quad (4)$$

$$\epsilon_\theta^s = \frac{v_\theta^s - v_\theta^m}{v^b - v_0^m} \quad (5)$$

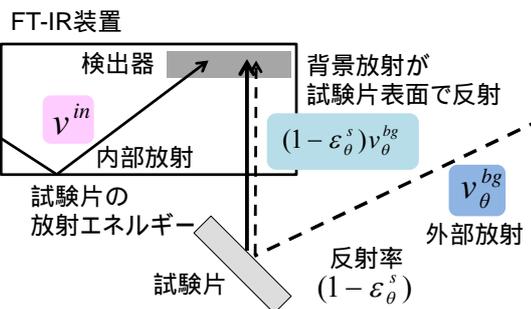


図2 分光放射率測定における外乱

(3) 理論値と測定値の比較

FT-IR装置による放射率測定値の信頼性を確認するため、赤外線サーモグラフィ装置でも分光放射率を測定した。通常、検査では長波長型赤外線サーモグラフィ装置が用いられるため長波長帯域(8~14 μ m)に注目した。

図3に放射率の理論値と、これら測定値の

比較を示す．理論値と2つの測定値がほぼ一致し，理論式を利用した放射率角度依存性に対する補正が可能と言える．すなわち，対面角度 0° での放射率を計測すれば，式(1)で $\beta=0$ とおくことで屈折率 n が求まり，各角度の放射率が算出できる．

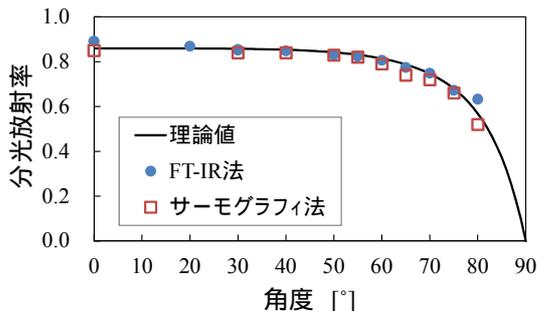


図3 分光放射率の理論値と測定値の比較

(4) プログラムによる補正

放射率角度依存性を有する画像と，背景反射の写り込んだ画像に対し補正を行うため，MATLAB を用いて背景反射低減画像処理プログラムを作製した．図4に補正手順を示す．まず理論式を利用した放射率角度依存性に対する補正を行い，その後，背景反射に対する補正を行う．

図5に角度依存性の補正前後の熱画像と温度分布を，図6に背景反射低減補正前後の熱画像示す．両実験はいずれもクラフトテープを対象としており，図5は対面角度 $6^\circ \sim 80^\circ$ となるよう放射率角度依存性を生じさせたもの，図6は対面角度 70° の位置に反射熱源を映り込ませたものである．画像の取得には長波長型($8 \sim 14\mu\text{m}$)の赤外線サーモグラフィ装置を用いた．

放射率角度依存性の補正では，補正前に見られた高角度領域における見かけの温度の低下(丸内)が，概ね真温度に補正できている．直径150mmの円筒構造物の壁面に生じる放射率角度依存性についても補正を行い，ほぼ均一な温度分布になっていることを確認している．また，背景反射の補正においても反射熱源の写り込みを低減することができた．以上より，背景反射低減赤外線サーモグラフィ法の骨幹となる画像処理プログラムが作成できたと言える．

4. 研究成果

放射率角度依存性を含む背景反射を低減し，検査対象物自体の赤外線画像を得るための「背景反射低減赤外線サーモグラフィ法」を構築することができた．

<引用文献>

- (1) M.A.Bramson, Infrared radiation, Plenum press,(1968),111-116.
- (2) C.Kobayashi et.al., Thermosense XXXVIII, (2015), 9485-8
- (3) JIS R1801,日本規格協会,(2002).

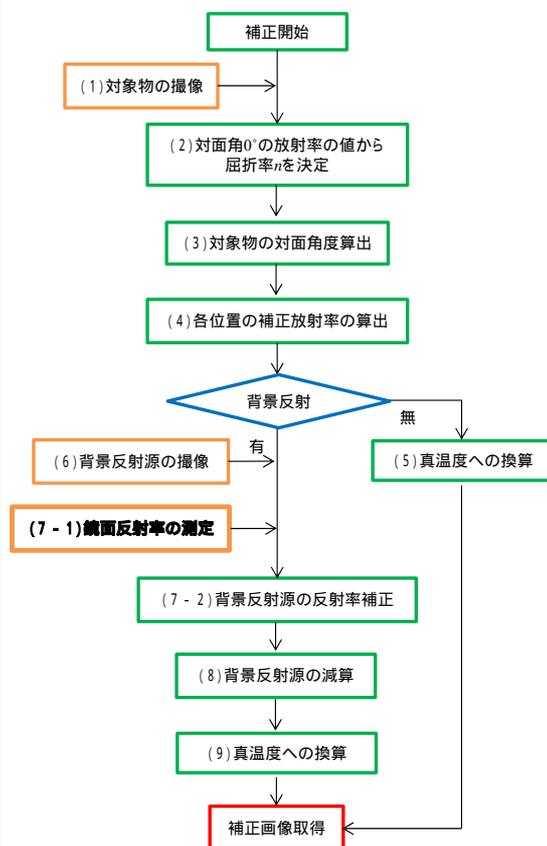
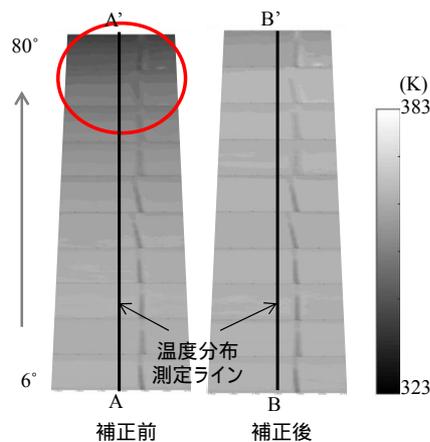
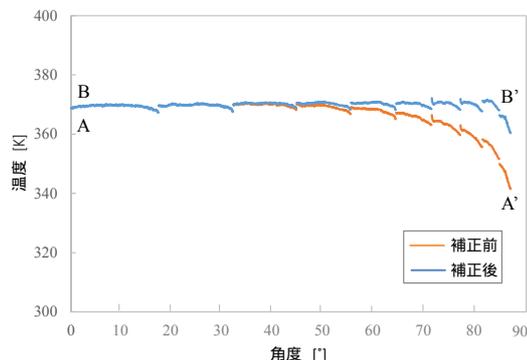


図4 補正手順

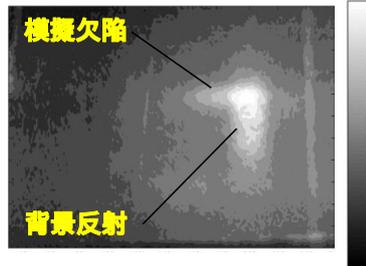


(a) 熱画像

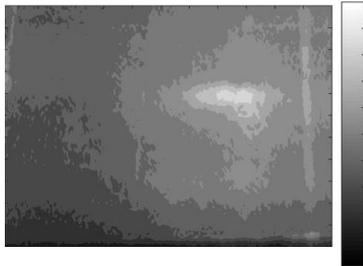


(b) 温度分布

図5 放射率角度依存性の補正処理



(a) 処理前



(b) 処理後

図6 背景反射低減処理

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Nagahisa Ogasawara, Akari Ban, Hiroyuki Yamada, Ryuji Kojima, Paint Delamination Inspection for Light Buoys by Infrared Thermography with Distance Heating, Advanced Experimental Mechanics, 査読有, Vol. 1, 2016.

Nagahisa Ogasawara, Akari Ban, Hiroyuki Yamada, Ryuji Kojima, Infrared Thermographic Testing with Distance Heating for Paint Delamination, Proceedings of 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 査読有, Vol. 10, 2015, 063-pp.1-4.

Chie Kobayashi, Nagahisa Ogasawara, Hiroyuki Yamada, Shunsuke Yamada, Evaluation of Angle Dependence in Spectral Emissivity of Ceramic Tiles Measured by FT-IR, Proceedings of SPIE Thermal Applications XXXVII, 査読無, Vol. 9485, 2015, 08-pp.1-9.

DOI:10.1117/12.2176965

Nagahisa Ogasawara, Hikaru Ando, Chie Kobayashi, Hiroyuki Yamada, Active Infrared Thermographic Testing with Distance Heating, Proceedings of SPIE Thermal Applications XXXVII, 査読無, Vol. 9485, 2015, 0A-pp.1-9.

DOI:10.1117/12.2176961

〔学会発表〕(計9件)

戸高陸, 小林千恵, 小笠原永久, 山田浩之, 赤外線サーモグラフィ法における放射率角度依存性を考慮した背景反射の補正, 日本機械学会関東支部山梨講演会 2015, 2015年10月17日, 山梨大学(山梨).

小林千恵, 小笠原永久, 山田浩之, 菊地孝, 放射率角度依存性を考慮した赤外線画像の背景反射補正, 日本非破壊検査協会平成27年度秋季講演大会 2015年10月16日, 北海道道民活動センター(北海道).

小笠原永久, 山田浩之, 小林千恵, 背景反射低減赤外線サーモグラフィ法の構築 - 分光放射率の角度依存性補正手法の確立, 第7回非破壊評価総合展, 2015年7月22日~24日, 東京ビッグサイト(東京).

小林千恵, 小笠原永久, 山田浩之, 背景反射低減赤外線サーモグラフィ法の構築 - 分光放射率の角度依存性補正手法の確立, 赤外線構造物診断研究会特別講演会 2015年7月10日, 五反田ゆうぼうと(東京).

小林千恵, 小笠原永久, 山田浩之, 菊地孝, FT-IRを用いた外壁タイルの分光放射率特性評価, 日本非破壊検査協会平成26年度秋季講演大会, 2014年10月28日, 名古屋国際会議場(愛知).

小林千恵, 山下幸大, 山田浩之, 小笠原永久, FT-IR装置による外壁タイルの分光放射率測定手法の確立, 日本機械学会関東支部山梨講演会 2014, 2014年10月18日, 山梨大学(山梨).

小笠原永久, 山田浩之, 小島隆志, 山田俊輔, 伴明璃, 遠距離赤外線サーモグラフィ法による塗膜はく離, 日本実験力学会 2014年度年次大会, 2014年8月28日, 兵庫県立大学(兵庫).

小笠原永久, 小林千恵, 鈴木総司, 山田浩之, パルスフェーズサーモグラフィ法における検査時間短縮, 日本非破壊検査協会平成26年度春季講演大会 2014年6月3日, アルカディア市ヶ谷(東京).

小笠原永久, 山田俊輔, 山田浩之, 中村元, 黒体塗料の分光放射特性評価, 日本非破壊検査協会平成25年度秋季講演大会, 2013年11月26日, RCC文化センター(広島).

〔その他〕

ホームページ等

http://www.nda.ac.jp/cc/users/ynda/lab/Oga_Lab./Researches.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原 永久 (OGASAWARA Nagahisa)
防衛大学校・システム工学群・教授
研究者番号：60262408

(2) 研究分担者

山田 浩之 (YAMADA Hiroyuki)
防衛大学校・システム工学群・准教授
研究者番号：80582907