

機関室熱環境の可視化についての検討

池野一成*, 山谷尚弘*, 高橋淳*

Study on visualization of engine room thermal environment

IKENO Kazunari*,
YAMATANI Naohiro*,
TAKAHASHI Jun*

After surveying the thermal performance of a ship, which defines the thermal environment of a ship's engine room, the thermal environment of the engine room space that can be grasped by thermal images using an infrared radiation camera is investigated and examined. Furthermore, thermal comfort in the engine room space after understanding we consider the average radiation temperature that can be calculated using global thermal images.

キーワード: 船舶機関室, 赤外線放射カメラ, 快適性, 平均放射温度

1. はじめに

船員の主要な生活空間は、海上にいるときは船内である。船内生活をしている機関部職員は、1日の8時間を当直業務の為、制御室または機関室で過ごす。8時間中に見回りに時間を含めると、1時間は騒音と機器の熱がこもった機関室で過ごしている。海上勤務の際は夏期であれば機関室が暑いのは当然であり気にすることはなかった。現在乗船している練習船においては、機械運転時間は短いですが、実習中は大半の時間を機関室で過ごす事が多い。今年度は6月下旬から7月上旬に猛暑日になった。乗船実習中、機関室でマスクを着用し10分過ごすだけでも以前よりは過酷な環境に感じる。学生側の気持ちを考えると慣れていない環境で夏期の機関室の実習中は休憩を適宜取ってもらうようにしているが過酷であろうと感じる。

温室効果ガスの排出状況は、先進国の一人当たりの排出量は途上国を大幅に上回っており、途上国では、現在の一人当たりの排出量は少ないものの、経済発展の進行で急速に増加している。⁽¹⁾このような環境はこれからも続くため、機関室の熱環境の状況を可視化することで、若潮丸機関室での滞在時間の上限を決定し、日射の影響は少ないが、熱中症の予防に努めたいと考えた。海上の熱環境は直接的に機関室内の熱環境を規定することから、船舶機関士の普段の環境である海上における機関室内の熱環境を対象とし熱環境がどのように形成されるかを踏まえながら熱環境の可視化の方法及び熱気に対しての機関室実習時間について評価方法を調査することを目的とする。

2. 機関部艙装と若潮丸の現状

機関部艙装というのは、船舶建造において極めて重要なことである。推進器を駆動する主機関を中心として、他に船の運用や生活するうえで必要なエネルギー源供給するための補器類や管装置類を最適に配置されていれば特に機関室の環境については特に問題ない。機関室隔壁は鋼製であり、規則により天井及び隔壁には防熱材が施してある。防熱材は級湿性の少ないものである。機関室は熱がこもりやすい。機関室は換気、通風を良好にする為、十分な容量を備えた通風

* 練習船若潮丸
e-mail: ikeno5176@nc-toyama.ac.jp
e-mail: yamatani@nc-toyama.ac.jp
e-mail: jtakahashi@nc-toyama.ac.jp

機を設置している。もとより日本海事協会等の船級においてルールが決められ、若潮丸には、電動軸流可逆式通風機2台が機関室囲壁頂部に設備し通風ダクトは合理的に導かれており諸機器類の操作場所、各機関の過給機空気入口附近、その他必要箇所にダンパー式スライド式吹出し口が設けられている。⁽²⁾ 機関室の気圧を維持しながら、ルールを遵守して配置されている。表1に若潮丸機関室通風機要目を示す。

表1 機関室通風機要目

形式及び台数	電動軸流可逆式ファン2台
容量	約 200 m ³ /min×30mmAq ×1200rpm×3.7kw

3. 機関室の熱性能と可視化方法

熱環境を規定する船舶としての機関室に要求される熱性能は以下ようになる。

- ・ 断熱性能
- ・ 水密性能
- ・ 熱容量
- ・ 日射調整
- ・ 換気性能
- ・ 通風

断熱性能と水密性能は、機関室に求められる基本的な性能である。また、水密性能は中型船以上にバルクヘッドは水密構造になっている。機関室は、室内で発生した湿気や汚染物を速やかに排除するための計画的な換気が不可欠である。無計画な換気は機関室内の熱環境を悪化させることもありえる。また、機関室内に適切な熱容量をもたせる事は、安定した機関室内気圧を形成するうえで役立つ。通風は湿気の多い海上で過ごすための有効な手段である。なお、通風計画は通風機の配置状況とも密接に関係する。日射調整は、これからのエネルギーを考える上で船上でも重要である。これらの性能が有効に機能するか否かは、船上生活とも大きく関連する。重扉や天窓の開閉、照明や機器設備の適切な利用など、天気の変化に対するアクティブな対応も求められる。また、造船当時の性能を保つための保守整備や日常点検も適切に行わなければなら

ない。図1に船舶に要求される熱性能について示す。これらの性能と、その結果として形成される室内の熱環境を把握しようとした場合、表面温度でとらえれば良いと考える。その具体的な可視化方法として、面的な計測が可能な赤外線放射カメラの活用が有効である。⁽³⁾⁽⁴⁾

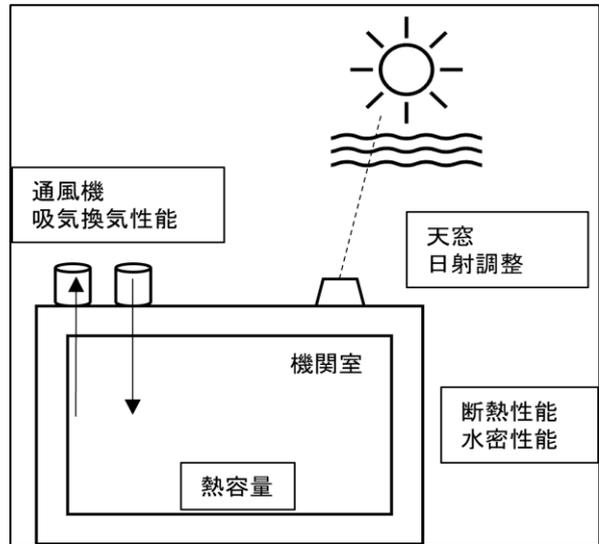


図1 船舶に要求される熱性能

4. 赤外線放射カメラについて

4.1 赤外線放射カメラ項目

建築の室内空間を中心として、機関室内も含めて、赤外線放射カメラが利用できる項目を挙げると次のようになる。⁽³⁾⁽⁴⁾

機関室内の熱環境

- ・ 開口部の日射遮蔽とその効果
- ・ 壁面、天井面の温度(断熱の有無、冷暖房等)
- ・ 気流の可視化
- ・ 室内気温

機関室の熱性能の診断

- ・ 断熱性能
- ・ 水密性能
- ・ 熱容量
- ・ 結露
- ・ 浸水
- ・ 塗装の剥離
- ・ ひび割れ

機関室設備

- ・機器の運転状況(排熱, 機器異常, 温度管理)
- ・熱の漏れ
- ・セキュリティ
- ・窓の開閉
- ・機器・設備等の自動監視
- ・高体温者の抽出

赤外線カメラで把握できるのは放射温度であるため、測定値を表面温度として議論するためには、放射率補正が必要である。また、測定対象までの距離がある場合は大気補正も求められる。

4.2 赤外線放射カメラによる熱画像

赤外線放射カメラは、今日は非常に小型化している。日本では、1970年頃から、センサを液体窒素で冷やす冷却型の赤外線放射カメラが使用されるようになり、1990年代には、非冷却型が登場した。それにより機動性が増し、環境計測は飛躍的に発展した。当初は高額であったが、現在では高価なものでも数10万円まで価格は下がっている。熱画像の画素数は、数100×数100画素、そして画角は30°前後、瞬時視野角は0.2mrad程度である。一般の可視のカメラに比べると画質としては劣る。⁽⁴⁾

4.3 熱画像から表面温度を求める方法

熱画像が示す温度は、厳密には表面温度でなく放射温度である。熱画像を用いて表面温度分布を知るには熱画像上のそれぞれの面について放射率補正を行わなければならない。熱放射には、絶対零度以上の物体からは、その面の性状と表面温度に見合った熱放射がなされている。その熱放射量は黒体の場合には絶対温度の4乗に比例するということだ。具体的には、環境計測の対象となる面は黒体ではなく、放射率の値が1より小さい。特に金属光沢面などは放射率の値は0.1以下となる。そのため、熱画像の示す温度は、一般には表面温度でなく、放射温度である。表面温度を求めるには放射率補正が必要である。赤外線カメラでは熱環境の実態把握ができると同時に、その結果を用いて人体の熱的快適性も議論できる。人体の熱的快適性を規定する要素については、人間の温冷感は人間と環境

との間で起こる熱エネルギーの収支によって決まる。これを規定するのが人間側の2つの要素である産熱量と着衣量、環境側の5つの要素である日射、海水温度、気流、気温、湿度である。この人体の熱エネルギーの流れ方には、「放射」「対流」「蒸発」「伝導」があり、人間側から環境へのエネルギーの移動量がつり合うと、暑くも寒くもない中立な状態となる。図2に人体と環境との間の熱交換に関わる要素について示す。⁽⁴⁾

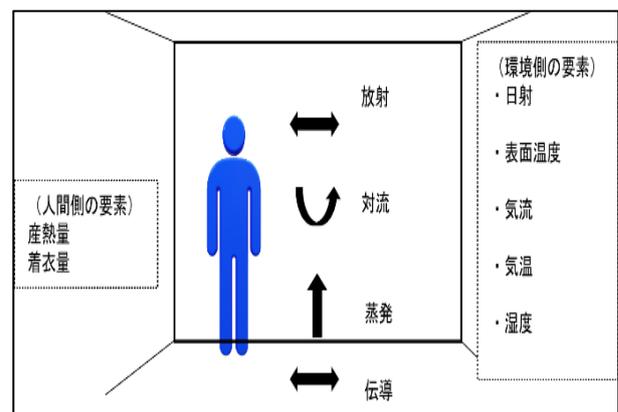


図2 人体と熱環境との要素

5. 熱的快適性について

5.1 熱的快適性を示す指標

用途に応じ熱的な快適性を示す様々な快適指標が提案されている。表2に熱的快適指標の例を示す。快適性を示す指標には、放射を考慮していないものもあるが、放射は人体の温熱感に大きな影響を及ぼしている。その際に用いられる指標の1つが、平均放射温度(MRT)である。⁽⁴⁾ 人体を微小球と仮定し、周囲のすべての面を微小球に分割して考え、人体に対する各微小球面の放射温度(K)を T_{si} 、微小面の人体の関する形態係数を F_i 、微小面の数を N 、とすると平均放射温度は次式で表せる。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^N F_i \cdot T_{si}^4} - 273.2 \quad (1)$$

表2 熱的快適指標の例

指数	使用場所	環境側の要素				備考
		気温	湿度	気流	放射	
新有効温度	屋内	○	○	○	○	代謝量, 着衣量
標準新有効温度	屋内	○	○	○	○	代謝量, 着衣量
快適指数	屋内	○	○	○	○	代謝量, 着衣量
作用温度	屋内	○	—	○	○	代謝量, 着衣量
湿球グローブ温度指数	暑熱環境	○	○	○	○	気温, 湿球温度, グローブで温度算出
熱帯夏季暑熱指数	暑熱環境	○	○	○	○	湿球温度, グローブ, 風速温度で算出
不快指数	屋外	○	○	—	—	乾球温度と湿球温度で算出
風冷温度指数	屋外	○	—	○	—	凍傷, 低体温症予防のための指標

5.2 熱放射が人体の熱的快適性の及ぼす影響

図3は人体が暑くも寒くもない中立な状態である快適と感じる気温と平均放射温度との関係を示した図である。⁽⁵⁾室内において、静穏状態の時、着衣量別に、人体が快適と感じる気温と MRT の組み合わせをグラフに示してある。着衣量については、0 clo は裸、0.5 clo は半袖半ズボン、1.0 clo は背広上下を着衣した状態である。機関士は常に長袖長ズボンで有るので1.0 clo に最も近い状態である。図3より同じ気温でも放射熱が異なると、体温が変わることが分かる。例えば、半袖半ズボンの時、気温が26℃、MRT 26℃が快適な状態であるが MRT を20℃まで下げると、気温は32℃でも快適となる。つまり、グラフの傾きは、ほぼ-45度であることから安静時の室内では、気温1℃と MRT の1℃が同程度体感に効くことが分かる。

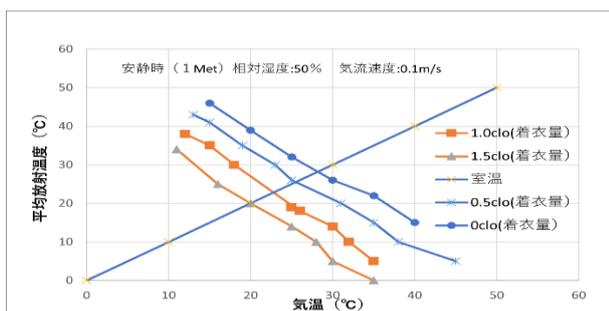


図3 人体が快適と感じる MRT と気温との関係

6. おわりに

日本では、湿球黒球温度(WBGT)と呼ばれる暑さ指数を公表し、暑熱環境における熱ストレスのレベルを評価することで、行動についての指針を示している。⁽⁶⁾船舶機関室は日射の影響が少ないが、特殊な環境で熱環境が過酷であり、機器周辺では、機器によるが、暑いところで約5℃高いことが分かった。体調管理について安全を担保していくには、機関室を赤外線放射カメラで撮影し、快適指数の数値を鑑み機関室滞在時間を決定することが重要である。陸上における労働基準をベースに機関室独自の基準を設けることで熱中症防止やストレス管理ができるものと考えられる。各個人の体調には差があることから、一定の基準を設けることで学生の体調管理をおこなうことができるものと考えられる。機関部の作業は、時間に追われることも多く、一定の基準を設けることで、作業の効率化や安全を確保ができることはこれからの働き方に大きく貢献するものであり、今後、本研究で得られた成果を基準化し、商船に反映できることを期待したい。

7. 参考文献

- (1) 気象庁, 各種資料, 温室効果ガス資料センター, https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html (2022年12月20日)
- (2) 富山高等専門学校練習船建造仕様書, 財団法人日本造船技術センター, 1994
- (3) 梅干野晃, 都市・建築の環境とエネルギー, 放送大学教育振興会, 2014
- (4) 梅干野晃, 中村恭志, 環境の可視化, 放送大学教育振興会, 2020
- (5) ASHRAE Hand book fundamentals, 2009, <http://www.ashrae.org> (2022年12月5日)
- (6) 厚生労働省, 政策について, 熱中症関連情報, https://www.mhlw.go.jp/scisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/nettyuu/nettyuu_taisaku (2023年1月6日)