

大空間空調の温度・気流分布数値解析と実測結果

Computational Analysis and Full-Scale Measurement for Distribution of Thermal and Air-Flow in a Factory

佐々木 亮治*
Ryoji Sasaki

城田 修司**
Shuji Shirota

萩谷 宏三***
Kozo Hagiya

片山 猛夫****
Takeo Katayama

大西 正人*****
Masato Onishi

要 約

工場のような大空間において、室内の温度分布を均一に保つ空調制御は難しいものとなる。さらに、工場内に発熱の大きい機械が設置されている場合には、空間内の位置により温度差が生じ易い。一方、新聞社印刷センターの輪転機室は、印刷紙に与える影響から均一な温度分布が求められる。そこで新聞社印刷センターの計画段階にあたり、数値解析による温熱気流解析を行い、輪転機室内に均一な温度分布を形成できるかどうか、空調設備配置計画の検討を行った。その解析結果から、本設備計画が有効に機能することを確認した。また、建物竣工時に、数値解析結果の妥当性を確認するため、同工場の温熱環境調査を行った。その結果、解析結果と実測結果は全体的に同じ傾向を示し、数値解析の有用性が実証された。

目次

- § 1. はじめに
- § 2. 数値解析
- § 3. 実測
- § 4. 数値解析と実測結果の比較
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

新聞社の印刷センターには新聞を印刷することで様々な情報を正確にいち早く伝える社会的義務がある。新聞印刷の中でも重要な主機器である輪転機は、印刷機と折りたたみ機より構成されている。輪転機の特徴として、稼働時に多量の熱を発することが挙げられる。この発生した熱により輪転機室内の空気温度分布に偏りが生じる

と、印刷紙の伸縮による紙切れという事態を引き起こしてしまう。新聞社側にとって、輪転機の高速度運転時に紙切れを少なくする（損紙率を下げる）ことは、コストダウンをもたらすだけでなく、一般社会に対する責任の面からも重要なことである。そのため、輪転機室内の設備計画、特に気流・温度・湿度の管理に関する空調計画には細心の注意が必要となる。

当社では徳島出版印刷センターの施工にあたり、輪転機室の温熱環境を検討するために数値解析を行った。本解析では条件が厳しいと考えられる夏の冷房時において輪転機室内の温熱気流数値解析を行い、機器周辺の温度分布および気流分布の究明に努めた。解析の主な目的は、発熱が大きくなる輪転機の稼働時において室内が均一な温度分布を保てるかどうかの確認以外に、空調吹出しの風速が印刷紙に影響を与えないことの確認が挙げられる。

また、本建物の竣工時に、同輪転機室の温熱環境を測定する機会を得ることができた。そこで、実測結果に対する検討だけでなく、前述の数値解析結果と実測結果とを比較することにより、数値解析結果の妥当性および有用性を判断した。

*技術研究所構造研究課

**技術研究所建築技術課

***技術研究所先端技術研究課

****関西（支）設備部

*****四国（支）設備部

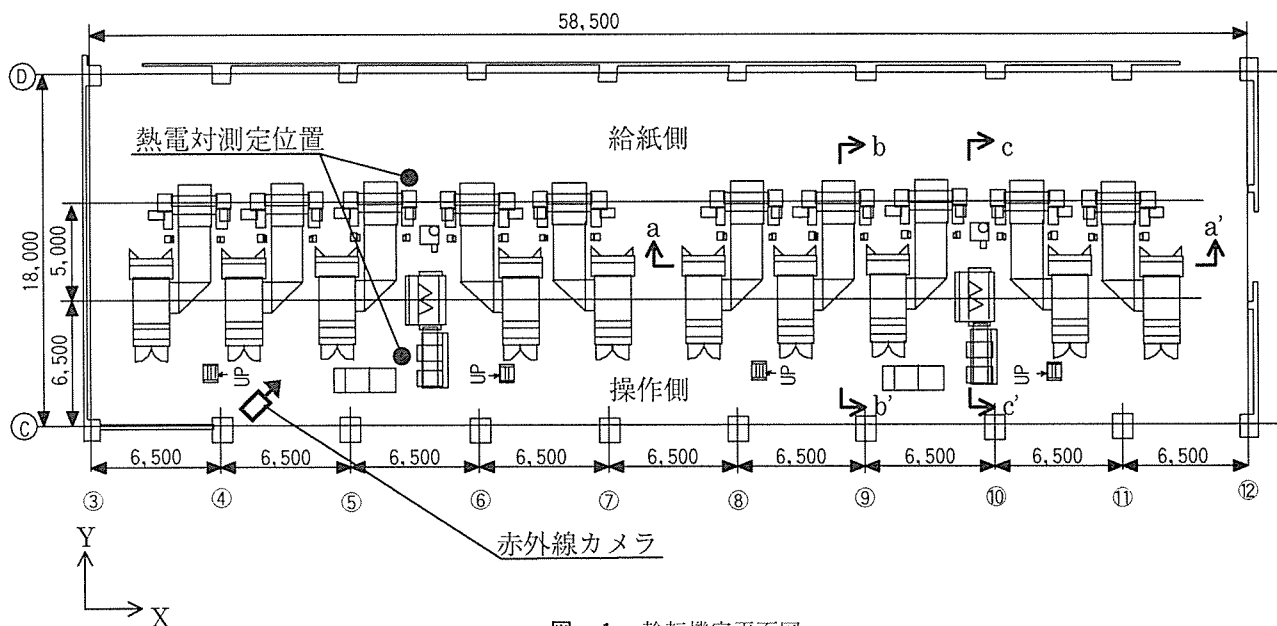


図-1 輪転機室平面図

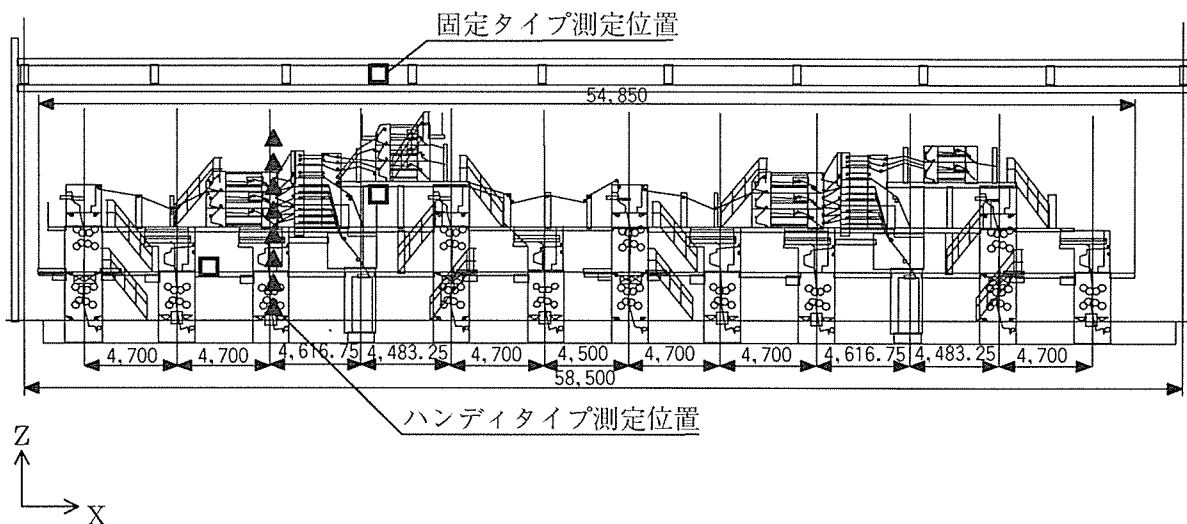


図-2 輪転機室立面図

§ 2. 数値解析

2-1 解析の設定条件

(1) 計算メッシュ

本解析の対象領域（輪転機室）の平面図を図-1に、立面図を図-2に、断面図を図-3に示す。また給紙側から見た輪転機室内部を写真-1に示す。輪転機室は、平面長辺方向（③～⑫通）58.5m、平面短辺方向（C～D通）18.0m、天井高さ13.0mである。また室内には、図-2に示すように輪転機2セットが平面長辺方向に直列に設

置されている。そこで本解析では、解析時間の短縮および計算の収束性を考慮して、輪転機1セットを対象として右側1/2の領域のみ解析を行うことにした。したがって解析空間を、平面長辺方向（X方向）30.7m、平面短辺方向（Y方向）18.0m、天井高さ（Z方向）13.0mと設定した。これらの条件を踏まえて、上記対象空間を53（X）×39（Y）×29（Z）=59,943個のメッシュに分割している。3次的に示した本解析領域および輪転機形状を図-4に示す。なお、解析に使用したプログラムは、(株)構造計画研究所のHOTFLOW IIであり、ワークステ

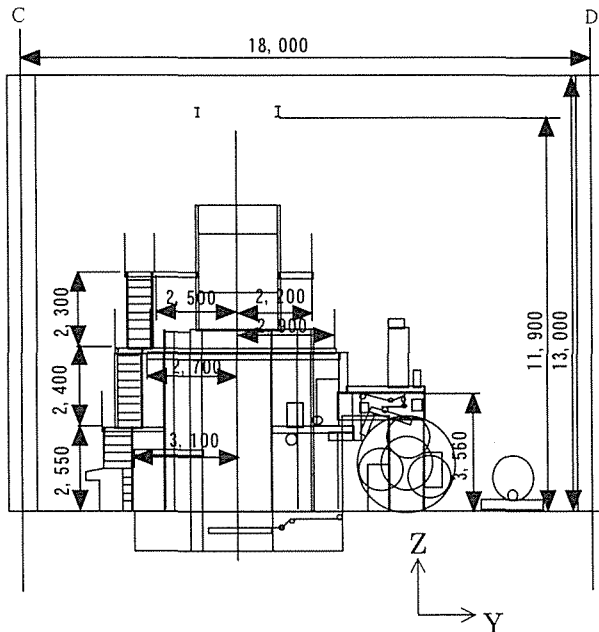


図-3 輪転機室断面図

ーション上で計算を行った。

(2) 温度境界条件および機器発熱

本解析で使用した温度境界条件および機器発熱を表-1に示す。境界条件としては、夏季における外気温度は34℃、輪転機室内表面温度は屋根・外壁・内壁の熱貫流抵抗から計算した値を用いた。輪転機発熱は、設計計算書による数値を用い、輪転機表面積当りの発熱量に換算した値を用いた。

(3) 流出入条件

解析上の流出入条件となる空調の吹出し・吸込みの条件を以下に列記する。なお各位置を図-4中に示す。

①吹出し

- a・・・ダクト下面より下向き吹出し
600φ16ヶ (8ヶ×2列)
1ヶ当り風量 3,900m³/h
吹出し風速 3.83m/s
- b・・・ダクト下面より下向き吹出し
700φ12ヶ (6ヶ×2列)
1ヶ当り風量 3,420m³/h
吹出し風速 2.47m/s

②吸込み

- c・・・ダクト上面より吸込み
600φ16ヶ (8ヶ×2列)
1ヶ当り風量 875m³/h
吸込み風速 1.93m/s
- d・・・D通側壁より吸込み
1.1m×0.4m (7ヶ)

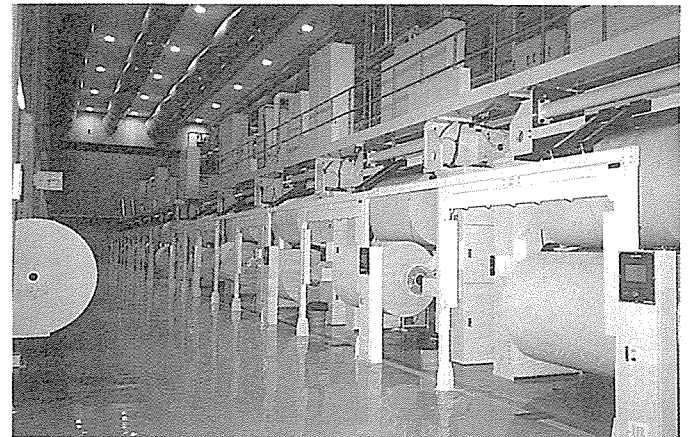


写真-1 輪転機室内部

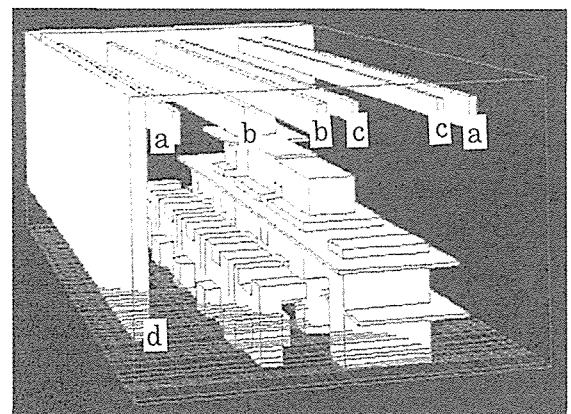
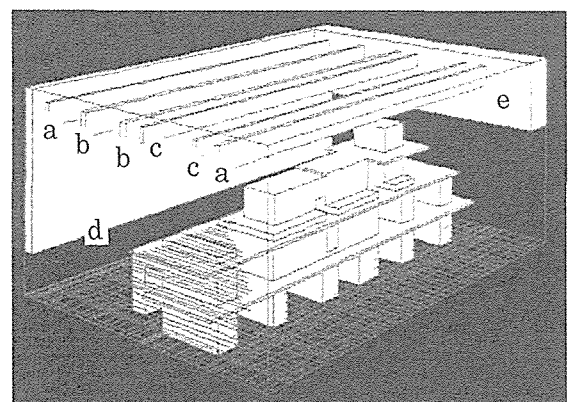


図-4 解析空間概要

表-1 温度条件および機器発熱

初期室内温度	26 (℃)
内壁・天井・床面温度	27 (℃)
吹出し温度	16 (℃)
室内設計温度	26 (℃)
輪転機発熱	247,170(kcal/h)

1ヶ当り風量 2,572m³/h

吸込み風速 1.62m/s

e...③通側壁より吸込み

17.0m×0.7m (1ヶ)

1ヶ当り風量 50,000m³/h

吸込み風速 1.17m/s

(4) 解析条件

本解析では、乱流モデルとしてうず粘性モデル(粘性係数を大きくした層流モデル)を使用している。運動方程式・温度方程式ともに半陰解法を用い、時間間隔1.0sで計算を行っている。計算は定常状態に達したと判断される20分(1,200サイクル)まで行っている。

2-2 解析結果

(1) 温度分布結果

数値解析による温度分布の結果を図-5に示す。断面位置は図-1に示すX-Z断面のa-a'と、Y-Z断面のb-b'とc-c'である。輪転機自体の発熱が膨大なため、輪転機に囲まれている部分、デッキ下などの風速が低い部分では、温度の高い領域が見られる。しかし、それらの領域は輪転機近傍のごく限られた一部であり、輪転機の外周では温度が高い値を示しておらず、均一な温度分布を形成している。なお、定常状態における室内全空間の平均温度は26.1℃であり、室内設計温度にはほぼ等しい値となった。

(2) 気流分布結果

数値解析による気流分布結果をベクトル図として図-6に示す。断面位置は図-5と同様である。輪転機室内の気流の基本的特徴としては、下向きに吹出された気流が形成する循環流と輪転機の発熱による上昇気流がある。さらに、輪転機等の障害物による影響のために、非常に複雑な流れが局所的に発生している。とくにデッキ下では、開口の割合の違いによって風速値に違いが見られる。しかし、輪転機周辺の風速値は小さいため、輪転機に与える影響はないと考えられる。

2-3 解析結果に対する考察

輪転機室の温熱気流解析より温度分布と気流分布を得た。温度分布に関しては、デッキ下方などにおいて高温になる部分も見られたが、輪転機のごく近傍以外では全体的に均一な温度分布が形成されており、室内全空間の平均温度もほぼ室内設計温度に等しいことが判明した。また気流分布に関しては、輪転機周辺では風速値が低いことから、印刷紙に対する影響はないと判断された。その結果、本設備計画は有効に機能することが解析により判断され、実施工に反映されることとなった。

§ 3. 実測

3-1 測定概要

本建物の竣工にあたり、同輪転機室内において温熱環境の実測調査を行った。竣工時期の関係上、実測は冬季(1998年12月)に行われた。数値解析上の条件が夏季の冷房時であることから、実測値と解析値とを直接比較することは出来ないが、室内に生じる温度差の状況を定性的に判断することは可能であると判断した。

実測当日は、2台の輪転機が22:00に稼動して、22:10~22:20で全負荷運転となり、23:30に停止した。測定は基本的に輪転機稼働時間(22:00~23:30)を対象としている。また空調機器も23:30に停止している。

測定する項目としては、温度以外に風速と湿度があり、使用した機器は、データロガーサーモダックEF(江藤電気(株))、C-C熱電対、赤外線カメラTH3104(日本電気三栄(株))、おんどとりRH TR-72(株)ティアンドディ)、Tr式微風速計AM-09T(リオン(株))および湿度センサーHN-L18(チノー(株))である。

3-2 測定結果

(1) 熱電対による鉛直方向温度分布の測定

発熱が大きいと考えられる輪転機のポリウムが最大となる断面において、熱電対を用いて鉛直方向の温度分布を測定した。熱電対の設置位置は図-1に●印で示すように給紙側と操作側の2箇所であり、給紙側{地上13・12・11・10・9・8・7・6・5・4・2・0m}、操作側{地上10.6・10・9・8・7・6・5・4・3・2・1・0m}のそれぞれ12点に設置している。データロガーにより各熱電対における1分毎の温度の瞬時値を記録している。

測定された温度を平均化時間10分で処理し、鉛直方向の温度分布の推移を20分毎に示したものを図-7に示す。どの高さでも給紙側(図-7(a))では稼動(22:00)とともに温度が約1℃上昇し、その後40分ほど経過した段階(22:40)で24~25℃程度の定常状態になる。また同時刻における鉛直方向の違いを見ると、上部が下部よりも高くなっているが、その温度差は1℃程度と小さい値である。

一方、操作側(図-7(b))の温度も給紙側と同様に輪転機の稼動(22:00)とともに温度が上昇するが、その上昇速度は給紙側よりも遅く、操作側の温度は給紙側よりも低い。鉛直方向で見た場合、上下の温度差が1.5℃と給紙側より若干大きい程度である。

(2) ハンディタイプによる温湿度・風速の測定

輪転機周辺の温湿度ならびに風速を、ハンディタイプの微風速計により測定する。数値解析結果より、風速が小さいデッキ下空間などでは熱が逃げにくいことにより

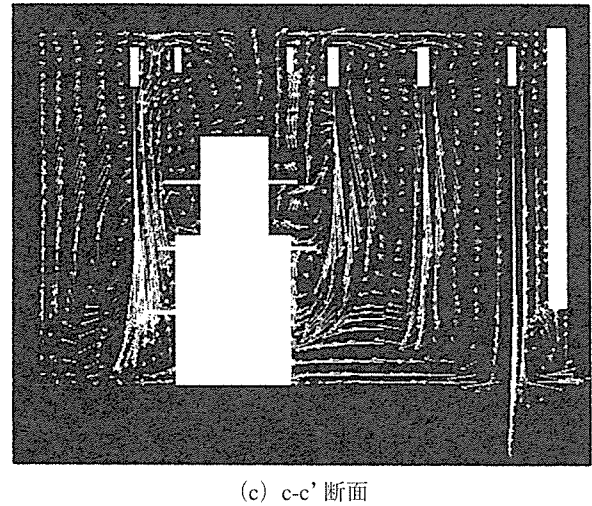
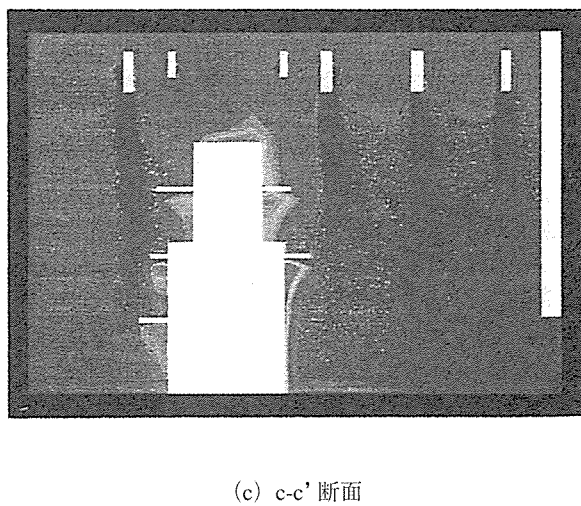
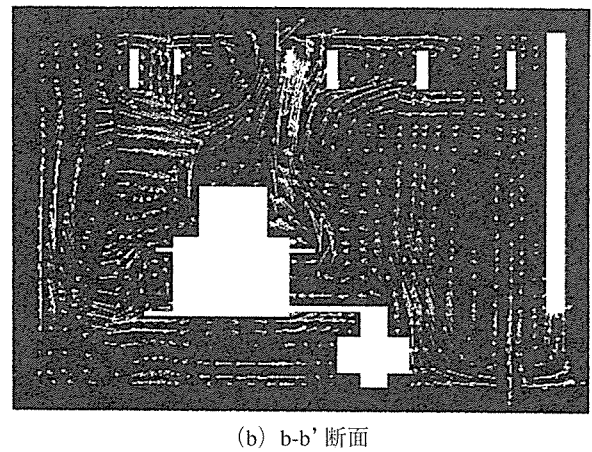
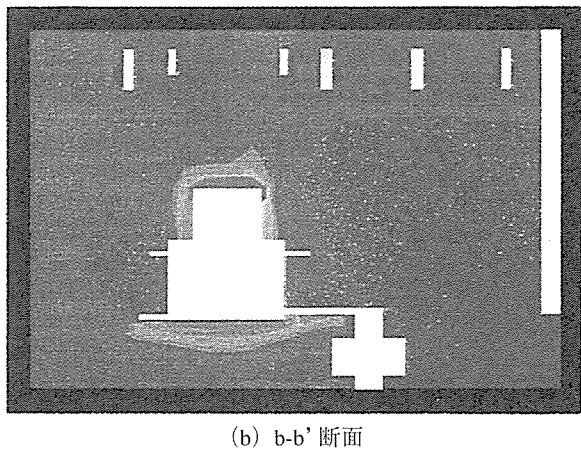
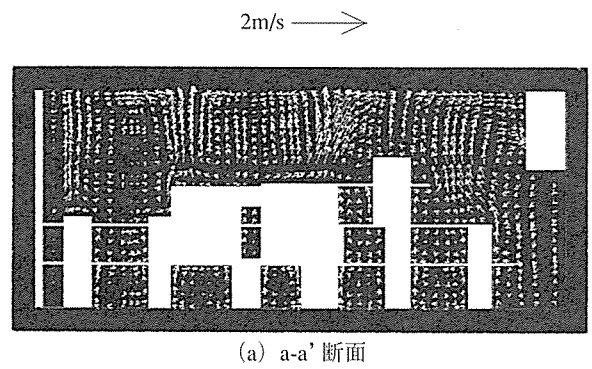
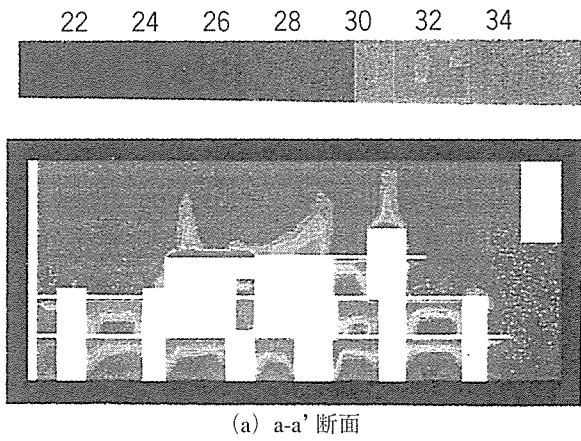


図-5 温度分布

図-6 気流分布

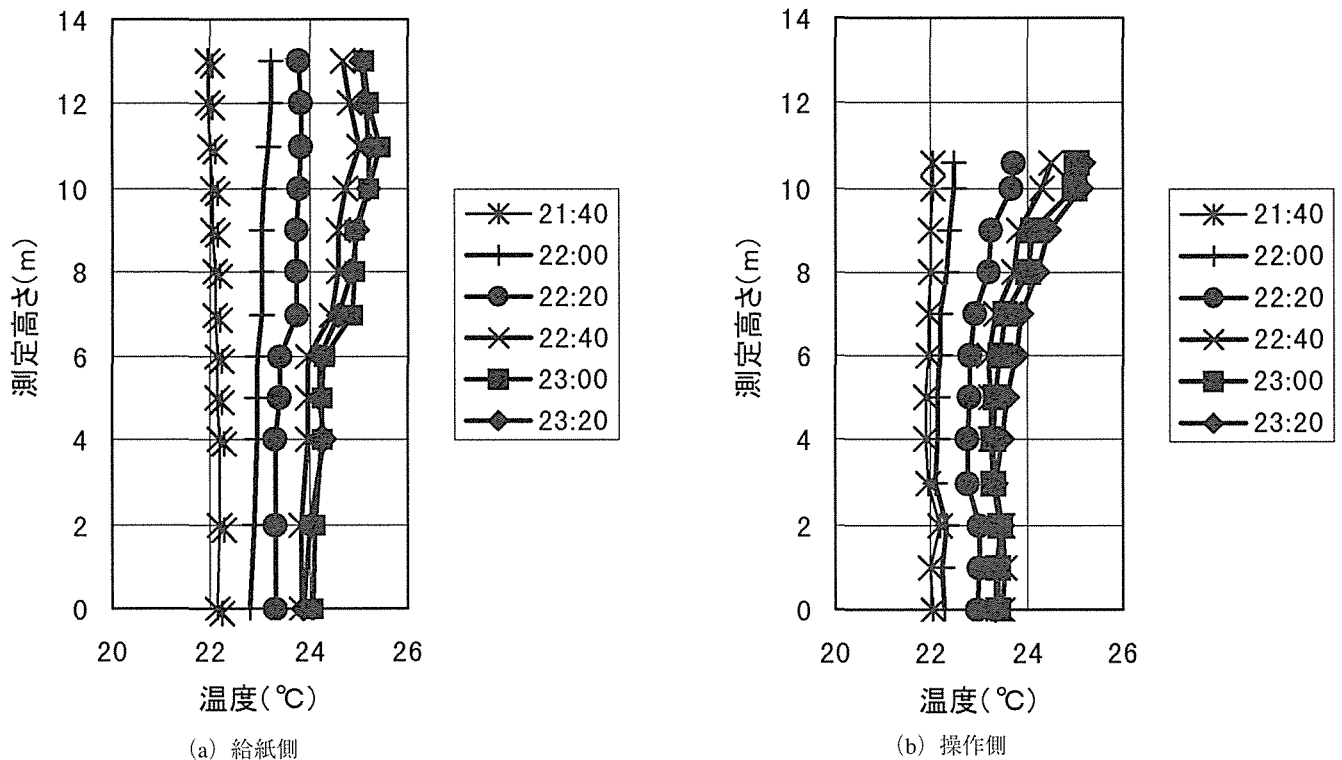


図-7 熱電対による測定結果

温度が高くなる懸念があり、本計測ではその把握を目的とする。測定位置は図-2 に▲印で示すように、鉛直方向のライン上にある1~4Fの各デッキ上での人間レベルの高さ(1.5m)とデッキ面上(0.3m)の合計8点である。測定器を計測地点において30秒固定した後、平均化時間を10秒として測定を行った。測定間隔は約20分とし、輪転機稼働中の22:10~23:10の間に4回の計測を行った。

図-8 に鉛直方向毎の温度・湿度・風速分布を示す。図-8 (a) の温度分布を見ると、輪転機が稼働(22:00)してから時間の経過とともに全体的に温度が上昇していき、輪転機稼働から1時間前後で定常状態に達すると考えられる。また測定点が高いほど温度が高い傾向が見られるが、上下の温度差は1℃以内に収まっておりほぼ均一な温度分布が形成されていることが分かる。

図-8 (b) の湿度分布に関しては、時間の経過とともに高くなる傾向が見て取れる。測定点が高いほど湿度が高い傾向が見られ、上下に2%程度の湿度差が生じているが、これは空気温度の上昇に伴う相対湿度の低下の影響であり、湿度に関しても鉛直方向において均一な分布を形成していることが分かる。

図-8 (c) の風速分布に関しては、測定点が高いほど

風速が高い傾向が見られる。これは下部のデッキの方が、空調の吹出位置の真下に近くなることが原因と考えられる。ただし、最下部を除けば風速が0.5m/s以下であり、印刷紙に与える影響はないと言える。また時間が経過しても、風速値はあまり変化していない。

本計測結果を見る限りにおいては、各デッキ上とデッキ床上とで大きな差が見られない。したがって輪転機近傍のデッキ部分においても、ある程度の風速があることにより、熱が溜まりにくくなっていることが分かる。

(3) 固定タイプによる温度の測定

輪転機作動中に測定が難しい箇所は、固定タイプの温度測定器を用いて測定を行った。図-2 に□印で示すように、天井鉄骨部・3FL天井面・2FL床部で温度を測定した。本測定では1分毎の瞬時値を記録している。

21:30~22:30までの10分間平均値の温度推移を図-9 に示す。全体的な傾向として22:00の輪転機稼働時から温度が上昇していき、40~60分ほどで定常状態に達する様子が分かる。輪転機内部および天井付近では、定常状態で約25℃を示している。また各位置における温度差は、輪転機稼働中でも1.5℃程度である。

(4) 赤外線カメラによる輪転機表面温度の測定

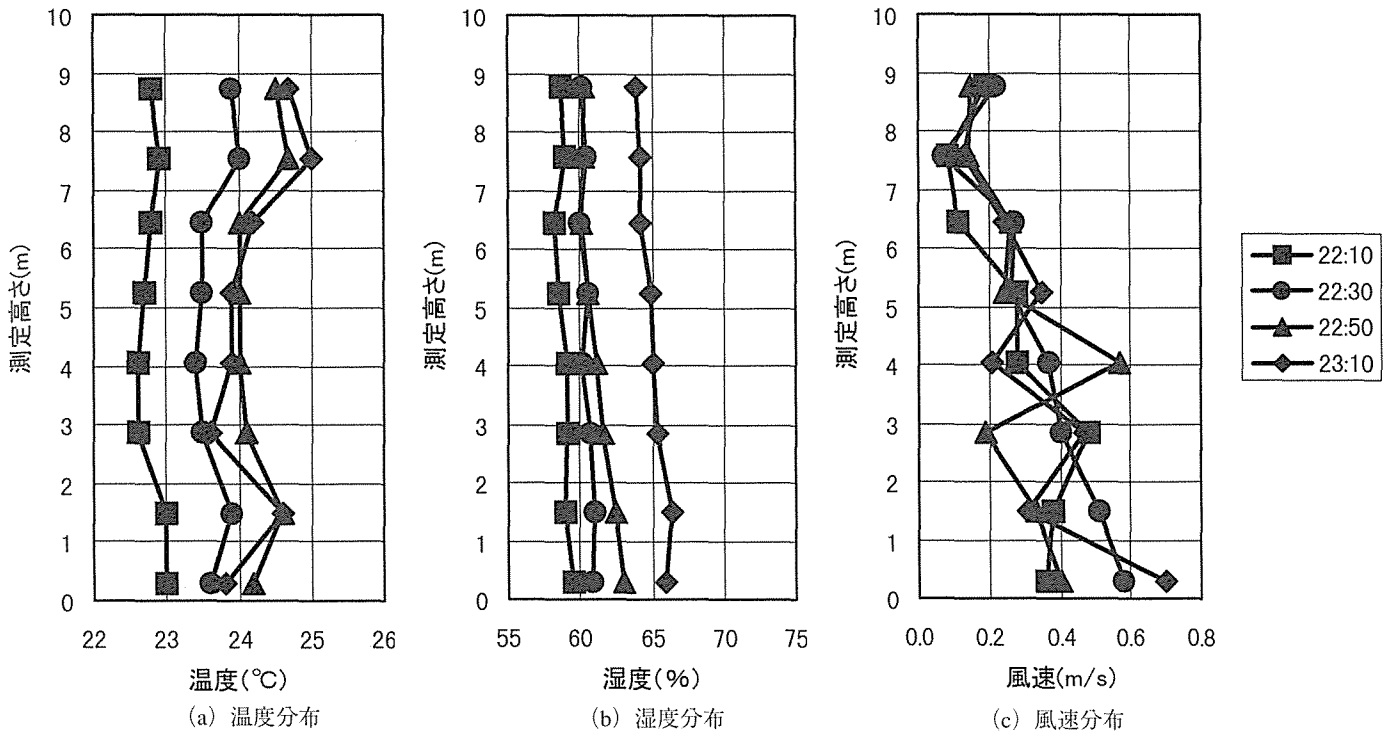


図-8 ハンディ計測による測定結果

輪転機表面温度を赤外線カメラにより測定する。赤外線カメラの設置位置を図-1に、その撮影部分(輪転機2F)を写真-2に示す。測定間隔を10分として測定を行った。輪転機が稼動してから30分経過した時点(22:29)に撮影した画像を図-10に示す。画像の下半分にある高温のラインは蛍光灯部分であり、他の高温の部分も金属表面の反射である。輪転機の表面自体に機械の発熱による温度の上昇はほとんど見られず、輪転機の稼動前後において輪転機表面の温度分布に違いがないことが分かる。

§4. 数値解析と実測結果の比較

輪転機室における数値解析結果と、実測結果との比較を通していくつかの考察を試みる。

まず温度分布に関してであるが、数値解析ではデッキ下および輪転機周りにおいて34~35°Cの高温部分が見られた。一方実測結果では、デッキ下においても高温の部分は見られなかった。また輪転機周りも、金属表面の反射や紙の部分を除くと輪転機表面は24~25°Cと室内温度とほぼ同じであった。数値解析では室内空間の上下に温度差は見られなかったが、実測でもほぼ同様の結果を示した。定常状態の室内温度は、数値解析と同様に実測でもほぼ室内設計温度を示し、数値解析結果の妥当性が示された。

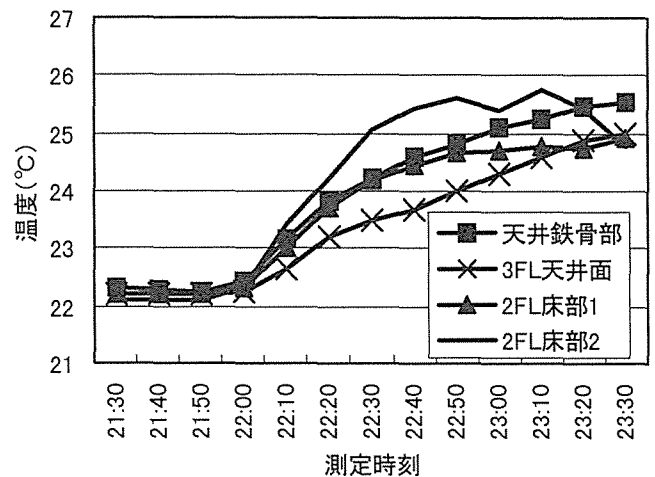


図-9 固定タイプによる温度測定結果

次に気流分布であるが、数値解析結果によると吹出部以外の室内全体では風速が0.3m/s前後の領域が多く、輪転機内部では0.1m/s未満の領域も見られた。この傾向は実測でもほぼ同様であった。

以上のことより、数値解析結果は実測値と対応する部分が多く、その有効性・妥当性が示された。温度が数値解析で高めに計算されたことに関しては、対象とする時季が異なることの他に、輪転機の発熱に関する入力条件

の設定で現実と異なる部分があったこと、輪転機自身に隙間部分が多くあり熱が溜まりにくかったこと、輪転機内の冷却装置により発熱が押さえられていたことなどが原因と考えられる。これらの細かい点を考慮することで、全体的な傾向だけではなく細部についてもより有効な解析結果が得られると考えられる。

§5. おわりに

本報では、徳島出版 PC輪転機室の温熱気流数値解析を行い、室内の温度分布がほぼ一様であることから、本設備計画の有効性を確認した。さらに、同室内の実測調査により解析結果との比較検討を行った。その結果、温度分布・気流分布とも、細部において違いは見られるものの、全体的な傾向は両者ともほぼ同様の傾向を示した。これにより、室内の温熱気流環境の把握における数値解析の有効性・妥当性が示されたといえる。今後さらに精度を高めるためには、発熱条件や境界条件の設定、モデル形状の再現に留意する必要があると考えられる。

謝辞

本実測を行うにあたり、多大なご協力を頂きました徳島出版株式会社、設計監理を担当しました株式会社柚建築設計事務所の加藤博司氏ならびに徳島出版PC出張所の方々に深く感謝の意を表します。

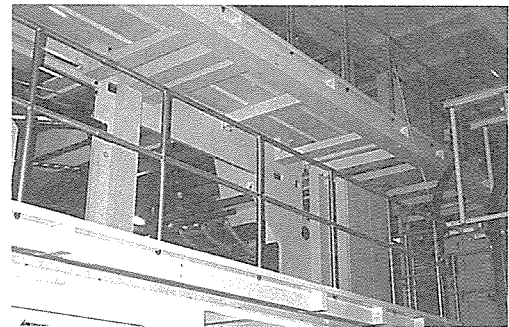


写真-2 赤外線カメラ撮影部分概要

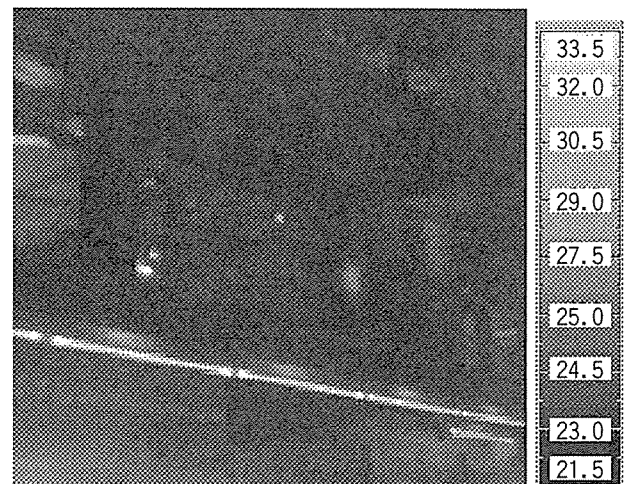


図-10 赤外線カメラ画像