温熱環境測定器としてのグローブ温度計の成立に関する研究

HISTORICAL STUDY ON GLOBE THERMOMETER

堀越 哲美*, 小林陽太郎**, 土川 忠浩***

Tetsumi HORIKOSHI, Yotaro KOBAYASHI and Tadahiro TSUCHIKAWA

The following transition of the globe thermometer was clarified.

A large ball made by Aitken was an archetype of a globe thermometer and originated in Leslie's sphere filled with warm water. Vernon finished the globe thermometer from the aspect of hardware and its application. Final completion was carried by Bedford and Warner. They gave a theoretical background to the instrument.

Keywords : globe thermometer, heat transfer, radiation, convection, history

1. はじめに

室内温熱環境の計測器として使用されるグローブ温度計は、直径 15 cm の銅製黒塗り球である。主に熱放射環境の計測に使用され、平均放射温度の算定や放射環境の表現に用いられる。また、その示度は作用温度と近似した値を示すとされている。このグローブ温度計は、ある時点で突然発明されたものではなく、歴史的な発展過程を経て成立してきた。本研究は、現在の温熱環境の評価実務や研究で用いられているグローブ温度計の変遷と成立過程を明らかにし、温熱環境測定・評価の歴史の中での位置づけを行おうとするものであり、それとともにグローブ温度計に備えられた特性を技術史的側面から解明しようとするものである。本研究では、それ自身に熱源を備えていない、現在一般にグローブ温度計と呼ばれているものを対象とする。

2. Leslie の温水球

Bedford¹⁾によれば、1804年にLeslieは4 inの錫製の黒い球と磨いた球の2つの球の中に温水を満たしたものをを用いて、各球の冷却から熱放射の効果を示した。一方で、その磨き球の冷却力の観測から、風速を求める計算式を導いている。そして、球の部分が1/2 in以上の大きさである温度計を用いた風速計を提案している。その温度計の液はすみれ色のアルコールを用いるというもので、カタ寒暖計の原型に近いものであると考えられる。このLeslieの開発した測定器は、熱放射については温

度を測定するよりもむしろ冷却力を取り扱うもので、現在のグローブ温度計それ自身とは異なった考え方である。それ故に、放射熱の計測とともに風速の計測法も開発されたものと考えられる。この業績は、黒い球を用いて熱放射の影響を測定した初めての試みであると考えられ、グローブ温度計の原初形態のひとつである。

3. Aitken の大球

Aitken^{2),3)}は、気温を日射の影響を除いて正確に測定するために、温度計に一定の気流が流れるような温度計用の日射しゃへい装置を考案した。その一連の研究の中で、Aitken⁴⁾自身の考案になるC-screen^{註1)}とStevensonのscreen^{註2)}の観測結果の比較から、日射と風の状態によって示度の差を認め、熱放射と風の影響を表す測定器の必要性に気付いた。このAitkenのデータより図—1を作成した。Stevensonのscreenによる気温測定とC-screenによる気温測定との誤差は、風力の増加によって小さくなり、ほぼ反比例している。これは、風速の低い場合に日射の影響が出やすいことを示しているものと考えられる。一方で、乾球温度計や真空黒球温度計の測定値だけでは、人間の温度感覚とあわなかったり、その地点の情報を十分には表していないことを指摘して、次のような測定器を考案した。それは、中空の薄い金属性の球^{註3)}で、球の中心に温度計の球部がくるようにしたものである。球の大きさについては、余り小さくなければよいとして、実際には直径15 cmと40 cmの

本論文は、日本建築学会東海支部研究発表会で口頭発表した内容に訂正加筆しまとめたものである。

* 名古屋工業大学 助教授・工博

** 豊橋技術科学大学 名誉教授・工博

*** 岐阜工業高等専門学校 助手・工修

Assoc. Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Emeritus Prof., Toyohashi Univ. of Technology, Dr. Eng.

Research Assoc. of Gifu National College of Technology, M. Eng.

図—1 Aitken の実験による風力と Stevenson Screen の誤差との関係

2 種類の大きさを採用している。両者の温度計の同一条件下での差は“わずか 2～3 度” 15 cm の方が低いとしている。この差が球の大きさの影響であることは疑いのないものであると考えられる。球の対流熱伝達率は、その直径が小さいほど大きいので、直径の小さい球の方がその示度は低くなる。この点の掘り下げが不足していたと考えられる。しかし、これは正にグローブ温度計の原型である。しかも直径 15 cm が採用されていた事実は興味深い。この球の温度と気温との差を Aitken⁴⁾ は、大球による放射 (Radiation by large ball) と称し、熱放射をとらえていることを示している。しかし、球の温度そのものには深く言及していない。Stevenson の screen と C-screen との差 Δt_c の議論を行うのに、次式にて表される量 A を用いて評価を行っている。

$$r = \Delta t_g / \Delta t_v \dots\dots\dots (1)$$

$$A = \Delta t_g r = \Delta t_g^2 / \Delta t_v \dots\dots\dots (2)$$

ただし

t_g : 球の温度 [°C]

t_v : 真空温度計の示度 [°C]^{注4)}

この A と Δt_c との関係はほぼ比例関係にあるとして、この問題は解決できたとした。このデータを図化してみると、図—2 が得られる。真空温度計と気温との差に対する large ball と気温の温度差が、Stevenson screen と C-screen との誤差に比例するのは風力の弱い範囲で、風力が強くなれば風の効果が卓越し、ほぼ一定値となっ

図—2 Aitken の実験による Stevenson Screen の誤差と真空温度計^{注4)}示度に対する大球の温度の比との関係

ていると解釈するのが妥当である。1911 年の発表論文⁵⁾では、1887 年の論文が再掲されており、large ball による熱放射効果の測定について本質的な変化はみられない。

4. Vernon のグローブ温度計

H. M. Vernon⁶⁾ は、1930 年に発表した論文で Aitken の 2 種の径の球による日射の観測の実施を引用し、その後のフォローが行われていないことを指摘した。本論文はグローブ温度計による室内での熱放射環境の計測である。Vernon は、Aitken の業績は観測の事実のみ述べ、自分の研究との関係は言及していないが、Aitken の研究の引用を行ったことは、その影響下にあるものと考えられる。

この Vernon の論文では、部屋のカスファイアーやストーブからの“positive”な熱放射および冷たい窓などからの“negative”な熱放射についての測定を行うために、グローブ温度計 (Globe thermometer) を用いた。この時点では、球は表—1 に示した直径と材質を持つ材料によって作られた。現在使用されている銅製の球はまだ用いられていなかった。その中空球の中心に温度計を挿入してグローブ温度計とした。これらのグローブ温度計を用いて、静穏気流 (3.6 m/min) と流動空気 (82 m/min) の 2 つの風速条件下での測定と、日射がある屋

表—1 1930 年の Vernon の実験に用いられたグローブ温度計の直径と材質

直径	ボール紙				黒球日射 温度計	黒塗ガラス	普通温度 計布張り
	布地張り	そのまま	白リネン	黒ベルベット			
0.7cm	—	—	—	—	—	—	○
6.3cm	—	—	—	—	○	—	—
15.2cm	○	○	○	○	—	○	—
22.5cm	○	○	—	—	—	—	—

図—3 Vernon の実験による “Comfortably Warm” の申告の場合の気温と超過放射温度との関係

外条件下での測定を行った。この実験結果から、クロス張りのグローブ温度計よりつや消しのグローブ温度計の方がわずかに低い温度測定結果を得た。ガラスフラスコのグローブ温度計と 22.8 cm ボール紙のグローブ温度計とでは、ガスファイアーの環境下ではほぼ等しいが、日射環境下では、ガラスフラスコが 2°C 低い結果を得ている。そして、22.8 cm のグローブ温度計は 70 kg の人体の表面積と体積の関係を持っており^(注5)、最良であろうとしている。人体のモデルとしてグローブ温度計が意識されていたことが明らかである。ここで、熱放射の影響を示す量としてグローブ温度計の示度から気温を差し引いた、超過放射温度 (Excess Radiation temperature) を採用している。つぎに、グローブ温度計の示度と人体の温冷感との関係についての実験を行った。2名の被験者が (着衣状況は不明)、comfortably warm の申告をするための、ガスファイアー、ストーブ、天井パネルと人体との距離および気温との組み合わせの条件を測定している。Comfortable の申告が得られる条件を求めるのではなく、Comfortably warm の条件を求めた点だが、暖かい側に暖房の意義があるという思想があるのではないかと推察される。その時のグローブ温度計の示度を放射-対流温度 (Radiation-Convection temperature) と称して、温冷感との対応関係がよいという結果を示している。この実験時の放射-対流温度は平均で 16.6°C であった。この実験結果に基づいて著者が作成したのが図—3 である。Comfortably warm の申告があった気温

表—2 1932 年の Vernon の実験に用いられたグローブ温度計の直径と材質

直径	ボール紙			ガラス		銅
	暗布張り	黒ペンキ	白リネン	暗布張り	黒ペンキ	黒ペンキ
0.3in	—	—	—	○	○	—
2.5in	—	—	—	○	○	—
6 in	○	○	○	—	○	○
9 in	○	○	—	—	—	—

図—4 Vernon の実験による環境が急変した場合のグローブ温度計の平均表面温度と球内温度計のラグの時間的変動

と超過放射温度 (=放射対流温度-気温) の組み合わせをプロットした。図中の破線と一点鎖線は、等グローブ温度 16°C と 17°C 線である。これは、グローブ温度は 16.5°C が Comfortably warm に対応していることを示している。気温と放射温度の組み合わせであるグローブ温度が人体の温感と良く一致している。天井パネルでは、風速が他の条件より速かったので高い値を示していると結論しているが、それほど差ではないと考えられる。

1932 年発表の Journal of Industrial Hygiene の論文⁷⁾で登場したグローブ温度計の直径と材質を表—2 に示す。ここに至って銅製のグローブ温度計が初めて現れた。この論文では写真は示されていない。これは、ボールコックを利用したものである。新しい事項としては、グローブ温度計の測定タイムラグと表面温と内部の温度計との温度ラグの問題である。銅製グローブ温度計は、9 in のクロス製よりも高い示度を示した。気流が過渡的に変化する実験の結果銅製グローブ温度計はガラス製グローブ温度計よりも速いタイムラグを持ち 15 分以下であるとの結論を示している^(注6)。グローブ温度計の内外温度差については、グローブ温度計を回転ロッドに取り付けモルサーモパイルで表面温度を測定した。この結果を著者が図に作成したものが図—4 である。静止したグロー

表—3 1933 年の Vernon の実験に用いられたグローブ温度計の直径と材質

直径	ボール紙			ガラス	
	暗布張り	黒ペンキ	白リネン	黒ペンキ	黒ペンキ
0.3in	—	—	—	○	—
2.5in	—	—	—	○	—
6 in	○	○	○	○	○
9 in	○	—	—	—	—

ブ温度計でも同様の結果を得ている。1930 年の報告では超過放射温度 (Excess Radiation Temperature) と称していたグローブ温度と気温との差を有効放射温度 (Effectual Radiation Temperature) と呼ぶことにしている。1932 年の IHVE の Proceedings に発表された論文⁸⁾では、ボールコックにチューブを半田付けし、ゴム栓のふたに温度計が入れていると詳しい説明と写真で銅製のグローブ温度計が紹介されている。この論文では、グローブ温度計の表面温度分布について詳しく述べられている。クロス張りグローブ温度計の中に木綿綿を詰め表面温度分布が測定された。実験条件は、ガスファイアーの熱放射源と冷たい窓がある場合で、球上の温度分布が示された。さらに、この不均一な熱放射条件下で被験者を用いて実験を行い、人体着衣左右表面温、左右の頬の表面温度が測定され、グローブ温度計表面の温度と対応していることが述べられている。グローブ温度計とモルサーモパイルがあればこのような環境を測定できるとしている。非対称熱放射環境の人体影響に関する試掘的な研究であったと評価できると考えられる。

日射環境の測定に関する研究⁹⁾は 1933 年に発表されている。屋外で、透明なガラス日射温度計、黒塗日射温度計と銅製グローブ温度計を用いて比較実験を行った (表—3 参照)。黒塗日射温度計とグローブ温度計との超過放射温度の比率を 81:100 と算定した。この研究の中で重要な点は、球内の空気の影響について検討していることである。ガラスフラスコと銅製のグローブ温度計に挿入された温度計の位置を球中心よりそれぞれ 1 in 上方または下方へずらせておき、温度測定を行っている。ガラスフラスコでは 6.9°F、銅球では 1.3°F の差であった。銅は熱伝導率が高いので有利であるとしている。球内に空気があるか、真空であるかの違いについては、銅製グローブ温度計では差がなく、ガラスフラスコは真空にすることがよいという結論を得た。屋外における被験者を用いた実験も行われている。着衣条件は、灰暗色の着衣と帽子の場合と白フ란ネルのズボン、白リネルのオーバーオールと帽子の 2 通りである。前者では銅製グローブ温度計で、後者では白リネンで覆われたグローブ温度計で測定されている。Comfortably warm の申告グローブ温度計は、それぞれ 73.4°F、71.9°F であった。しかし、各々の実験で黒グローブ温度計使用時には

白グローブ温度計の測定を、白グローブ温度計使用時には黒グローブ温度計の測定を行っていない欠点がある。カタ寒暖計の冷却力もグローブ温度計の示度を用いると妥当な値が得られたとしている。そして、日射に対してもグローブ温度計は温冷感の良い指標になると結論した。放射対流温度と Eupatheo-scope による等価温度 (Equivalent Temperature)¹¹⁾ との比較は重要としながらも、実際の検証は行われていない。ただ、グローブ温度計と Eupatheoscope^{11), 12)} の表面温度の差¹³⁾によって、放射源温度が低い場合には超過放射温度に差が出ることを例解によって予測を行っている。

5. Bedford と Warner によるグローブ温度計の解析

Bedford と Warner¹⁾ は、初めてグローブ温度計の熱平衡式に基づいて理論的な裏付けを行った。グローブ温度計の示度は、グローブ温度計と外界との間の熱放射交換量 H_r および対流熱交換量 H_c による熱平衡から定まる次式を示した。

$$H_r = H_c \dots \dots \dots (3)$$

$$H_r = E\sigma(T_s^4 - T_g^4) \dots \dots \dots (4)$$

ただし、

E : 放射率 (=0.95 を採用)

σ : ステファンの定数

T_s : 平均放射温度 [°R]

T_g : グローブ温度計示度 [°R]

H_c を求めるために、直径 7 in の風洞を用いて、グローブ温度計内部に 100~111°F の温水を満たし、気温 40°F との差が数度になるまで冷却してグローブ温度計の放熱量を求めた。対流熱交換量の計算式として次式を得た。

$$H_c = 0.169 \sqrt{v} (t_g - t_a) \dots \dots \dots (5)$$

ただし、

v : 風速 [ft/min]

t_a : 気温 [°F]

Bedford と Warner¹⁾ は、低風速域では厳密に線形ではないことを指摘しているが、議論を複雑にするのを避けた。実験が非定常で行われたことについては全く議論されていない。最終的に平均放射温度を求める次式を導いた。

$$T_s^4 \times 10^{-9} = T_g \times 10^{-9} + 0.1028 \sqrt{v} (t_g - t_a) \dots \dots \dots (6)$$

本式の速算用ノモグラムも作成されている。グローブ温度計は熱放射算定の実用的測定器であると結論している。

グローブ温度計の応用として、等価温度 $E_q T^{(1)}$ を求める方法を提案した。これは、Eupathoscope¹²⁾ が実用的ではないので、より簡易に等価温度を算定しようとした試みである。Dufton のデータを分析して、次の等価

温度算定式を導いた。この間に熱放射算定式の線形化も行っている。

$$E_g T = 30 + 0.6 t_s - (75 - t_a)(0.4 + 0.07 \sqrt{v}) \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

$$t_s = t_g + 0.169 \sqrt{v} (t_g - t_a) \dots\dots\dots (8)$$

Bedford と Warner は、各種建物の実測データより、Eupatheoscope の等価温度とグローブ温度計から求めた等価温度は良く一致していた。彼らはグローブ温度計と Eupatheoscope の形状、すなわち球と円筒、による熱放射の指向性の違いについても指摘している。グローブ温度計の特性について、人体の感覚よりも気流の影響を受けやすいことを指摘し、グローブ温度計それ自身のみでは人体の温冷感の指標とはなりえないとし、具体的欠点として次の2点を挙げている。

- 1) 気温と壁温が等しい場合、風速のいかにかわらずグローブ温度計の示度は変わらないこと。
- 2) 周囲の壁温が気温よりも低い場合に、人体では風速が増加すれば当然対流による冷却力は大きくなるが、グローブ温度計ではその示度が上昇し気温に近づくという現象が起きること。

これは、発熱体を持たない場合の宿命である。Bedford と Warner は述べていないが、気温が人体皮膚表面温より低い場合でなければならない。

6. 湿度の影響の計測

グローブ温度計は、本来顕熱のみを取り扱うものとして作られたが、同時代的に環境の湿度をも含めて体感温度として測定しようとする試みが行われた。Missenard¹³⁾ は、Houghten と Yaglou¹⁴⁾ の有効温度に熱放射の影響を導入する合成温度の開発に関する一連の研究に続いて、合成温度の測定のために測定器を開発した。1934年に、直径9cmの黒塗り球の乾き合成温度計¹⁵⁾を発表した。これは、4つの温熱環境条件のうち湿度の影響を除いた体感温度である乾き合成温度を測定するものであり、これは Vernon のいう放射対流温度である。ただ、この測定器の直径の決めかたはわからない。そして、1935年には水分蒸発とぬれ面積率が考慮された合成温度計¹⁶⁾が完成する。これは、直径9cmの球表面の一部にぬれた布を取り付けたもので、蒸発による冷却力が組み入れられている点に特色がある。その後の Botsford¹⁷⁾ が開発したスポンジ状の球全体から水分を蒸発させて湿度の影響も考慮できるようにした湿りグローブ温度計と異なり、一部分がぬれているというぬれ面積率の考え方が導入されている点に独創性がみられる。ただ、Vernon からの影響は本研究では明確にはできなかった。しかし、同時代的にこの測定器が作られたことは少なからぬ影響があったと考えられる。その意味でグロー

ブ温度計の開発の一連の流れの中にあると考えられる。なお、Missenard¹⁷⁾ は、球と同時に円筒形の測定器とサーモスタットも作成している。

7. グローブ温度計の成立についての考察

グローブ温度計の成立過程において、Leslie は温水を満たした黒球を用いて熱放射の効果を表そうとしたが、中空球を用いて熱放射と風の効果を測定しようとしたのは Aitken であった。球の大きさの影響についての考察が不十分ではあったものの、人間の感覚との関係に注目したことは評価すべき点であると考えられる。放射-対流温度の芽生えでもあり、グローブ温度計の原型ができたと判断される。Vernon は、グローブ温度計の材質・寸法について詳細な検討を行い、ハードウェアとしての6inの銅製グローブ温度計を完成させた。さらに、表面温度分布・時間応答性や球内を真空にする意義について実験的に確かめグローブ温度計の特性を明らかにし、実用への可能性を与えた。さらに、不均一な熱放射環境や屋外での利用についての方法の提案と検討を行った。このことは、現在も議論されている様々な利用上の問題点や必要事項がほとんど指摘されて、当時の出来る限りのデータが出されていることを示している。Vernon の業績は、測定器としてのグローブ温度計のハードウェアの完成とその特性の実験的検討に基づいた利用方法の確立である。グローブ温度計は、ここではほとんど完成したが、伝熱理論的な裏付けは、Bedford と Warner の研究を待たねばならない。Bedford と Warner はグローブ温度計の熱平衡式を立て、必要な球の熱伝達式を実験を行って求め、グローブ温度計示度から求める平均放射温度の式を導いた。さらに、等価温度の定式化を行った。ここで、グローブ温度計に伝熱理論的な裏付けが与えられ、測定器としてのグローブ温度計の示度と熱放射環境の表現である平均放射温度とが結び付けられ、グローブ温度が測定器の示度から物理的環境指標となった。これを以て真のグローブ温度計の完成というべきであると考えられる。さらに、Bedford と Warner は、周囲壁温が気温と等しい場合および気温より低い場合にグローブ温度と人間の感覚が合わないことがあることを指摘し、グローブ温度計の利用範囲と限界を明確にした功績が評価される。さらに、グローブ温度計は人体の感覚よりも気流の影響を受けやすいことの指摘は、その径15cmが人体モデルとしては小さいことを意味している。しかし、グローブ温度から平均放射温度が算出できる式を導いたことは、かなり簡便に平均放射温度を知ることができ、これ以後の体感指標での熱放射の導入が容易に行われたことに寄与したものと考えられ、歴史的に評価できる。一方で、Missenard は、同時代的にグローブ温度計の一部を湿らせて湿度の影響を取り入れ合成温

度を測定する試みを行って、総合的測定器への先鞭となった。

8. まとめ

グローブ温度計は、Leslie の温水を満たした球を用いた冷却力による熱放射の測定に端を発し、Aitken の中空の Large Ball に温度計を挿入して放射と風の効果を測定する方法を経て、Vernon の材質・寸法の検討とその特性の実験検討でハードウェアと使用方法が完成し、Bedford と Warner により伝熱理論的な裏付けがされ、平均放射温度と結び付けられ真の完成に至ったことを、技術史的に明らかにした。さらに、Missenard の湿度を考慮した一種のグローブ温度計である合成温度計についても述べた。そして、この過程で明らかにされてきたグローブ温度計の特性や問題点についてまとめ上げ、その現代的な意義についての考察を行った。

謝 辞

本研究を行うに当たり、史・資料の入手について多大なるご協力を賜った Saimon Fraser 大学垣鍔直博士（当時 Hawaii 大学）、豊橋技術科学大学附属図書館レファランスの皆様から感謝の意を表します。

注

- 1) 文献 2), 3) 中には直接的な C-Screen の名称は見あたらないが、浮力を利用した通風温度計の装置で摂氏温度計用のものと考えられる。詳細図は文献 3) 参照。
- 2) 方形で、その側面は 2 重のガラリ板のついたスクリーンである。
- 3) 材質については明記されていない。
- 4) 真空の黒塗りガラス球中に温度計が入れてある、日射の影響を測定する温度計。文献 2) に説明あり。
- 5) 熱的には必ずしも等価ではない。
- 6) この 15 分という数字は、ガラスグローブ温度計との比較実験のデータを基にしている、気温が変化している中で行われたものである。
- 7) Eupatheoscope は Dufton により考案された。この時点では、Eupatheoscope は中空円筒でその表面を 75°F に保つ放熱量に見合う、気温＝平均放射温度であり環境の温度である等価温度を測定するものである。文献 11), 12) 参照。
- 8) 文献 8) によれば、「Eupatheoscope (の表面温度は：著者注) は上述の 75°F になるが、グローブ温度計は快適域で 62°F から 64°F に変化する。」

既発表文献

- 1) 堀越哲美, 小林陽太郎：グローブ温度計の成立について—温熱環境評価方法の研究史 (1)—, 日本建築学会東海支部研究報告, 第 21 号, pp. 281~284, 1983.

引用文献

- 1) Bedford, T. & Warner, C. G. : The globe thermometer in studies of heating and ventilation, *Journal of Hygiene* 34, pp. 458~473, 1934.
- 2) Aitken, J. : On thermometer screens Part I・II, *Proceedings of Royal Society of Edinburgh* xii, pp. 661~696, 1883~1884.
- 3) Aitken, J. : On thermometer screens Part III, *Proceedings of Royal Society of Edinburgh* xiii, pp. 632~642, 1886.
- 4) Aitken, J. : Addition to thermometer screens Part IV, *Proceedings of Royal Society of Edinburgh* xiv, pp. 428~432, 1887.
- 5) Aitken, J. : Radiation temperatures, *Journal of Scottish Meteorological Society*, 15(28), pp. 295~303, 1911.
- 6) Vernon, H. M. : The measurement of radiant heat in relation to human comfort, *Journal of Physiology* 70, pp. xv~xvii, 1930.
- 7) Vernon, H. M. : The measurement of radiation heat in relation to human comfort, *Journal of Industrial Hygiene* 14(3), pp. 95~111, 1932.
- 8) Vernon, H. M. : The measurement, in relation to human comfort, of the radiation produced by various heating systems, *Proceedings of Institution of Heating and Ventilating Engineers*, 31, pp. 160~227, 1932.
- 9) Vernon, H. M. : The estimation of solar radiation in relation to its warming effect on the human body, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 59, pp. 239~252, 1933.
- 10) Dufton, A. F. : The Eupatheostat, *Journal of Scientific Instruments* 6, pp. 249~250, 1929.
- 11) Dufton, A. F. : The effective temperature of a warmed room, *Philosophical Magazine* 9, pp. 858~861, 1930.
- 12) Dufton, A. F. : The equivalent temperature of a room and its measurement, *Building Research Station Technical Paper* 13, pp. 1~9, 1932.
- 13) Missenard, A. : Température effective d'une atmosphere. Température résultant d'un milieu, *Chaleur et Industrie* XII(138), pp. 552~557, 1931.
- 14) Houghten, F. C. & Yagloglou, C. P. : determining lines of equal comfort zone, *ASHVE Transactions* 29, pp. 353~360, 1923.
- 15) Missenard, A. : Considération sur l'efficacité des différents modes de chauffage, *Chaleur et Industrie* XV(174), pp. 278~300, 1934.
- 16) Missenard, A. : Théorie simplifiée du thermomètre résultant. Thermostat résultant, *Chauffage-Ventilation* Decembre, pp. 347~352, 1935.
- 17) Botsford, J. H. : A wet globe thermometer for environmental heat measurement, *American Industrial Hygiene Journal* 32, pp. 1~10, 1971.

(1990 年 2 月 6 日原稿受理, 1990 年 12 月 5 日採用決定)