



Title	等温感時におけるぬれ面積率と平均皮膚温の特性
Author(s)	右田, 拓也; 持田, 徹; 長野, 克則 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 評価 . P2-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 67-72
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7826
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-2-6_p67-72.pdf



2-6

等温感時におけるぬれ面積率と平均皮膚温の特性

○右田拓也 (北海道大学) 持田 徹 (北海道大学)
 長野克則 (北海道大学) 嶋倉一實 (北海道大学)
 堅田兼史 (北海道大学)

1. はじめに

日常の居住空間やオフィスなどの労働環境を快適に保つことは、健康や仕事の能率化からみて重要であり、その為には、これらの基となる評価指標を確立することが先決である。室内環境の快適性を与える環境要因として、熱・空気質・色・音などが挙げられるが、この中でも熱的な要素は最重要な要素の一つであり、またこれは省エネルギー性とも関連してくる。熱的快適性を評価する指標に関してはこれまで多くの研究がなされているが、現在では Fanger の PMV (Predicted Mean Vote) と Gagge らの新有効温度 ET^* (New Effective Temperature) が多用されている。この二つの指標は一時代を画した優れた指標ではあるが、提案されてから既に4半世紀を経ており、定数などに改訂がなされているものの、現時点において不合理な点も数多く指摘されている。本研究ではこれらの不合理な点に考察を加え、人体の温熱生理反応に合致する新しい温感指標の可能性について論究する。

2. PMV と新有効温度 ET^* の特徴及び問題点

PMV (Predicted Mean Vote)¹⁾ は使用法が比較的容易なため多用されているが、人体熱負荷算出式において蒸汗放熱量など汗の効果が組み込まれていないこと、PMVの基礎となった快適方程式や、熱負荷と温冷感を結びつける段階の実験回帰式に疑問があること、またその実験自体が暑熱、寒冷環境で行われていないこと、など多くの疑義が

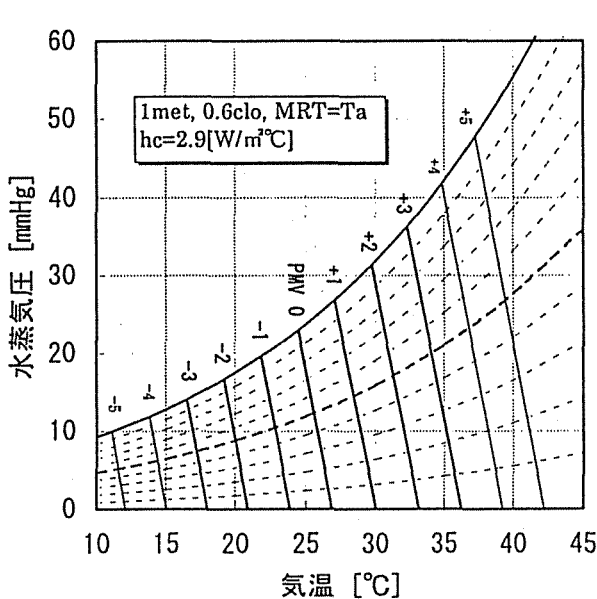


図1 等 PMV 線図

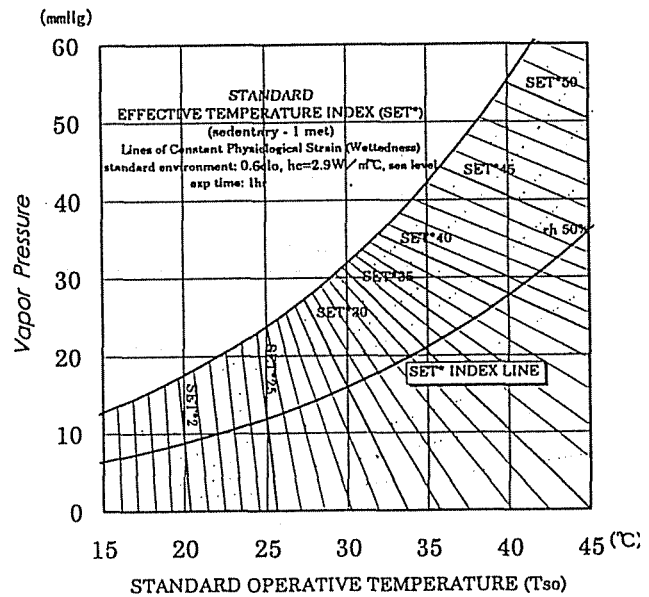


図2 等 SET^* 線図 (原図)⁶⁾

見られ^{2),3),4)}、そのため PMVはその値が $-0.5 \sim +0.5$ の快適環境が使用限界であるとの指摘がされている。図1は湿り空気線図上で等 PMV 線が全て同じ勾配を持つ直線となることを示しているが⁵⁾、湿度が暑暖の感覚に及ぼす影響度合は等 SET*線⁶⁾と比較すれば、暑暖及び寒冷領域における PMV の不合理性がよく分かる。

一方、新有効温度 ET*(SET*)は暑い環境に移行するに従い、等 SET*線の勾配が緩やかに経過し、等 PMV 線よりはより人体の生理反応に近い性状を示すが、等 SET*線が直線のまま低湿域まで達すると、代謝量の数倍の発汗がなければ人体の熱平衡が保たれないことになり、人の発汗力の点から疑問が残る。SET*の高温低湿域での使用に注意が必要であろう。また、2節モデルを解いて等 SET*線を図上に表すと直線とはならず曲率の大きい上に凸な曲線が得られる。

3. 平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせによる等温感の表現法

上記のように、ET*と PMV には不合理な点が多く見られ、温感指標としても十分なものとは言えないことから本研究では、これら二つの温感指標とは異なる、より人体反応に合致する新しい温感指標の可能性を探った。これまで当研究室においては過去の多くの研究を受け、等平均皮膚温線と等温感 (Thermal Sensation Vote : TSV) との関係性を調べるため、湿り空気線図上に等平均皮膚温線の表示を試みてきた。しかし、“蒸し暑さ”は皮膚表面からの蒸汗放熱量により大きく影響されるので、温熱感覚が平均皮膚温のみによって決定し得ないことも考えられる。温感が同じということ、すなわち等温感を平均皮膚温とぬれ面積率を用いて表現しようとするれば、表1のような4つの組み合わせが考えられる。表1に従い過去に本研究室で行われた実験データを様々な温湿度環境下で、どのような生理状態の時に等温感を与えるかについて分析し、考察を加えた。用いた実験データを表2に示す。またここで TSV は 0:中立(neutral), +1:やや暖かい (slightly warm), +2(warm): 暖かい, +3: 暑い(hot)を表す。

表2の実験データを湿り空気線図上に印し、等平均皮膚温線群、等ぬれ面積率線群

表1 平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせ

	平均皮膚温 Tsk	ぬれ面積率 w	湿り空気線図上 での軌跡	
I	一定	一定	直線	等 ET*線
II	一定	変化	直線 or 曲線	等平均皮膚温線
III	変化	一定	直線 or 曲線	等ぬれ面積率線
IV	変化	変化	直線 or 曲線	

表2 実験データ

延べ被験者数	17人 (椅座・裸体)
総データ数	265 TSV= 0(~+0.4) 39 TSV=+1(+0.5~+1.4) 4 TSV=+2(+1.5~+2.4) 189 TSV=+3(+2.5~) 33
温感スケール	TSV 0(中立) ~+3(暑い)

表3 被験者身体データ

被験者	身長 (cm)	体重 (kg)	面積 (m ²)
A	170.0	59.5	1.64
B	170.4	68.0	1.77
C	166.3	68.6	1.72
D	170.0	59.0	1.64

表4 温熱環境条件

気温 [°C]	31~32	32~34	34~36
湿度 [%]	80~95	55~80	30~55
風速 [m/s]	0.15		
作業状態	椅座、読書		
着衣	裸体		

なりうる、椅座・裸体状態を考え、人体がどのような生理状態にあるときに等温感を与えるかについて検証を行うことを目的とし、また等温感には平均皮膚温とぬれ面積率が大きく関与していると仮定して、これらの値が等温感時にどのような挙動を示すかについて探る。

実験は、平成7年秋に、北海道大学工学部衛生工学科実験棟内の試験室で行った。実験には健康な日本人青年男子学生4人を被験者として用い、被験者はすべて椅座安静（読書）、トランクス一枚のほぼ裸体とした。被験者の身体データを表3に示す。実験では被験者を、食後1時間以上経過した後、表4に示す温熱環境設定条件に60分暴露し、皮膚温や温熱感申告値などの観測を行った。

多くの実験の中で「暖かい」と感じた時、すなわち TSV 値が+2.0 付近になったデータについて分析を行った結果、等温感時における平均皮膚温とぬれ面積率の間には負の相関傾向が見られ、先に述べた推測と同様の結果となった（図8）。この等温感時における平均皮膚温とぬれ面積率との関係を第一近似として直線で与え、この関係を湿り空気線図上に示すとやや上に凸な曲線が得られ、この曲線は前に示した等平均皮膚温線とも等ぬれ面積率線とも異なる挙動を示した。ここでは TSV+2.0 の場合について考察を述べたが、過去の実験データで TSV+0.5 と TSV+3.0 に関してそれぞれ直線近似を行うと同様に負の傾向が見られた（図9）。図9の関係を、人体と環境との間の熱平衡式に組み込んで等温感線を描くと図10の結果が得られる。平均皮膚温とぬれ面積率を用いて等

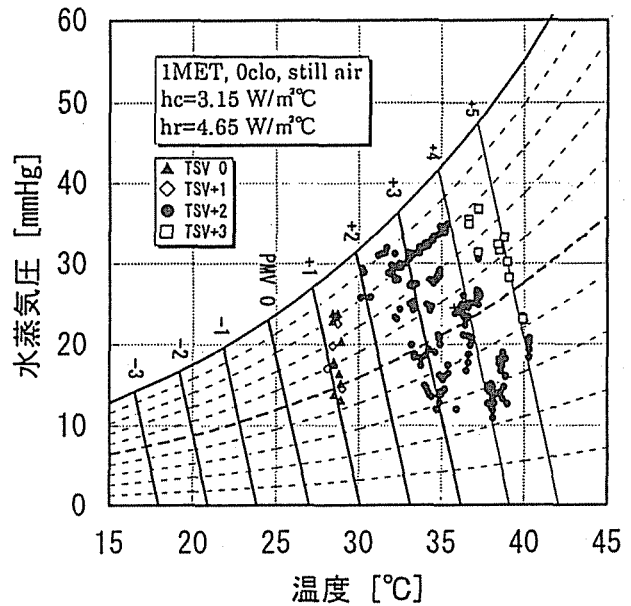


図6 実験データと等PMV線との比較

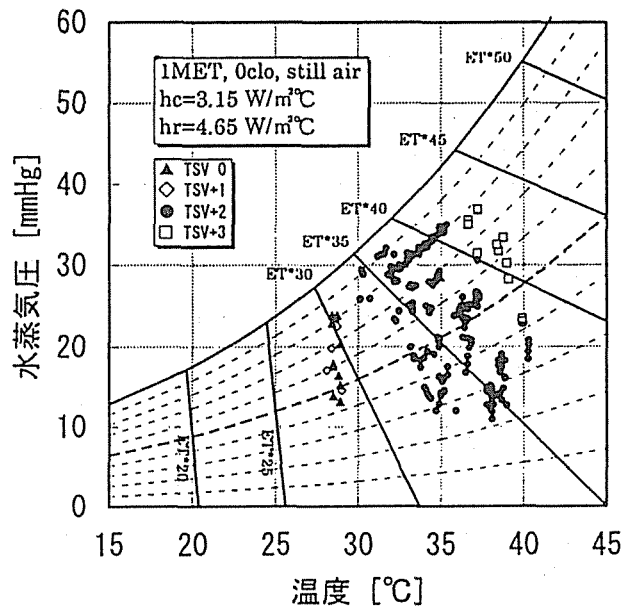


図7 実験データと等ET*線との比較

との比較を行った。結果を図3、図4に示す。ここで仮に等平均皮膚温線が等温感線であるとすると、高温環境においては温感が湿度の影響を大きく受け、低湿域に移行するにつれて、湿度の影響が少なくなる結果が得られた。等ぬれ面積率線に関しては、暑熱環境において温熱感を過大に評価しており、また直線の等温感線は人体の発汗能力の限度から、実際の生理心理反応と合致しないと思われる。

等温感と平均皮膚温、ぬれ面積率との関係を知るため、縦軸にぬれ面積率、横軸に平均皮膚温をとった図に実験データをプロットした結果を図5に示す。もし、温感が平均皮膚温で決定されるのであれば等温感線はこの図上で垂直な直線で示すことができ、また温感がぬれ面積率で決定されるのであれば図上で水平な直線で示されることになる。

図5より等温感時には、平均皮膚温とぬれ面積率との間に負の相関傾向があると思われる。換言すれば無数の気温と湿度の組み合わせの全ての熱環境で、人の温感が等しい時、それぞれの環境では平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせ和が一定値を示し、平均皮膚温やぬれ面積率のどちらか、あるいは両方とも一定値という過去の温感指標の定義とは異なることが見出された。

また、実験より得られたデータと、先に述べた等 PMV 線図、等 ET* 線図との比較の結果を図6、図7に掲げる。

4. 等温感に関する実験

実験データの分析から人が等しい温感を感じる状態において生理状態値間に何らかの関係があることが示唆された。しかし、多くの被験者を用い、温感申告値に幅があったためにあまりよい相関を得ることができなかった。そこで、本実験ではより細かい点に配慮して、同一被験者による、温感申告 (TSV + 2.0) の下で実験を行い、等温感時における生理状態値の挙動、特に平均皮膚温とぬれ面積率の関係を明確にすることを目的とした。人体の温熱感覚を考える際に最も基礎と

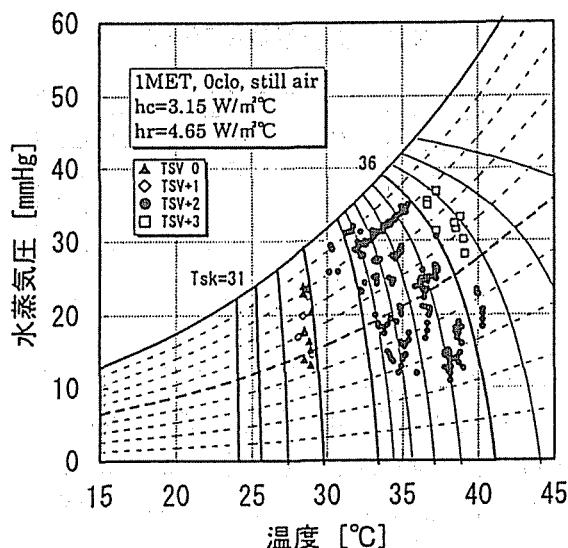


図3 実験データと等平均皮膚温線との比較

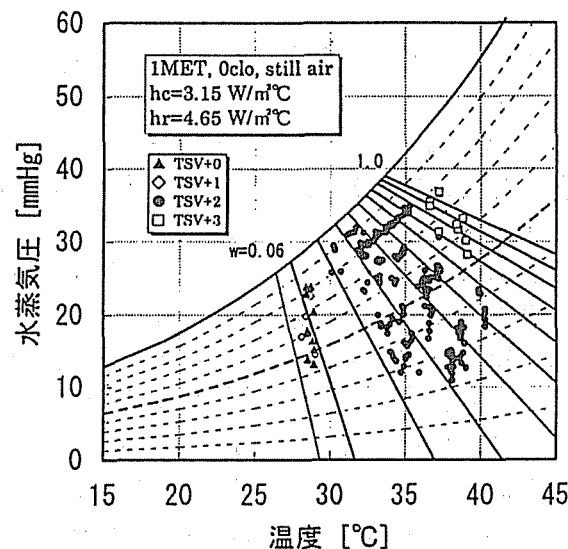


図4 実験データと等ぬれ面積率線との比較

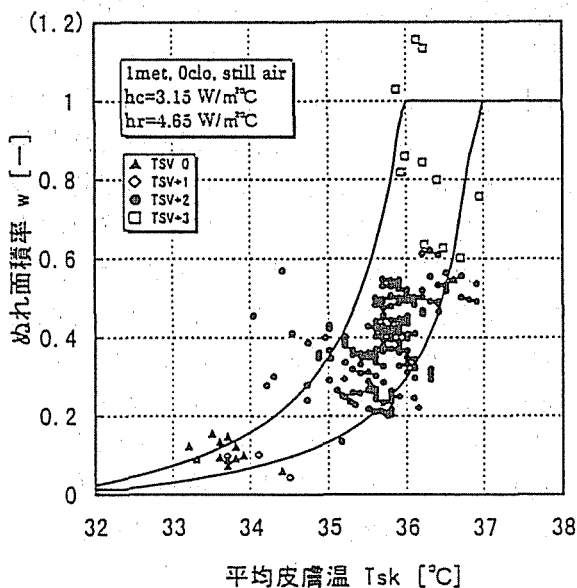


図5 平均皮膚温、ぬれ面積率と TSV

温感の表現法を考えると、両者に負の相関傾向を考慮した場合、近似した直線の傾きに注目すると以下の3つの場合が想定できる(図10)。

- I. 温熱感覚が増すに従い傾きが小さくなる。
- II. 温熱感覚が増すに従い傾きが大きくなる。
- III. 温熱感覚によらず傾きが一定である。

図10において等温感線が1つの点に収束されるとしたが、これは仮想される点で、実際の人体反応を考えると、一般にはこのような結果になるとは考え難い。縦軸に平行な直線が等皮膚温線、横軸に平行な直線が等ぬれ面積率を表すことを考慮すると、快適中立環境では等ぬれ面積率線、また暑熱高温環境では等平均皮膚温線の挙動を示す、IIの場合が人体の生理心理反応に近いと考えられる。すなわち、快適中立環境では温感の決定に平均皮膚温が卓越して、等ぬれ面積率線の傾向を示し、一方、暑熱環境ではぬれ面積率が重要な役割を占め等平均皮膚温線の傾向に近いことを示している。⁷⁾

上記のように得られた等温感線は多くの被験者を用いた場合の、ある温熱感覚範囲の代表線であるとみなすこともできる。平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせで温感が決定されることは、一つの温感を考えたときに様々な平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせが与えられることを示している。これは多くの被験者を用いてある温感を与える平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせを考えると、ある温感が平均皮膚温とぬれ面積率の範囲で表現できることを示している。すなわち、多くの実験を行い温感の遷移域が確定されると、その間で囲まれた範囲は多くの人々が等温感を示す範囲として与えられる。この考え方を図にしたものが図11である(等温感が図10のIIのパターンで表現できると仮定)。またこの図を基に等温感線を湿り空気線

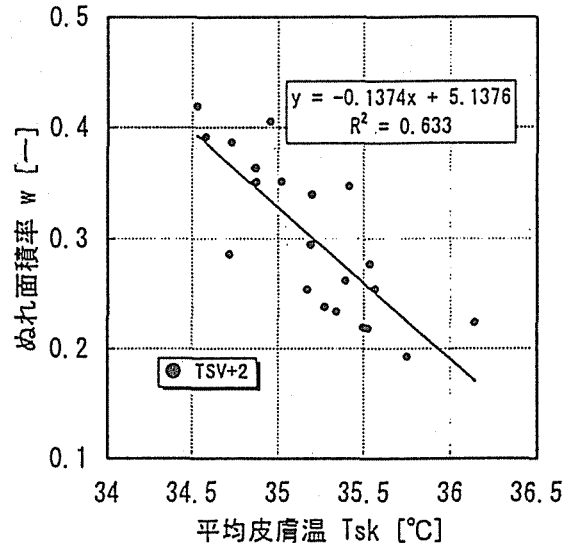


図8 平均皮膚温とぬれ面積率の関係(1)

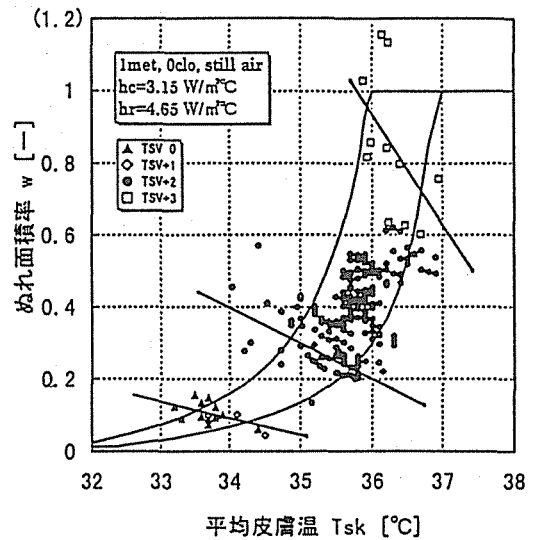


図9 平均皮膚温とぬれ面積率の関係(2)

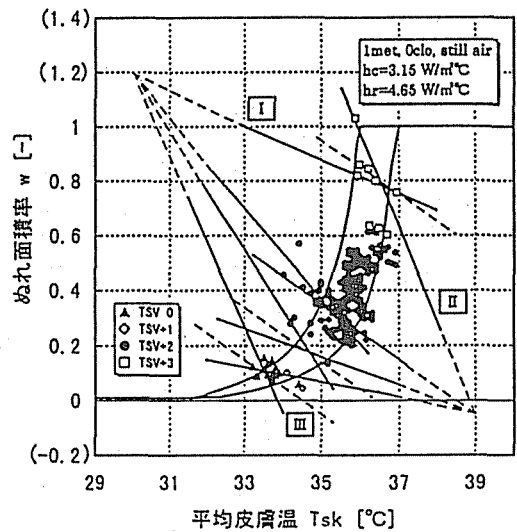


図10 等温感の表示法

図上に移すと図 12 が得られ、この等温感域は上に凸な帯状の範囲で与えられる結果となった。しかしこの図では TSV+2 の範囲がかなり大きく描かれており、更に実験を行いこの範囲を確定することが必要である。

5. おわりに

本稿で得られた結果を以下に列挙する。

1. ET*、PMV にはそれぞれ適用範囲、使用限界があり、それを逸脱するような温熱環境では誤差が大きくなり正確な評価ができない。
2. 被験者を用いた実験より、等温感時には平均皮膚温とぬれ面積率がある一定の関係を保ちながら共に変化することが確認された。
3. 2. の関係を実際に湿り空気線図上に示すと等平均皮膚温線や等ぬれ面積率線と異なる、上に凸な曲線の等「温感」線が得られた。
4. 本研究で得られた結果は、今までの温熱指標や多くの研究者により考案された等温感の定義とは異なり、新しい温感指標の可能性としてこれからの発展が期待される。

<参考文献>

- 1) P.O.Fanger : Thermal Comfort(1970), Danish Technical Press, Copenhagen.
- 2) 堀越哲美 : PMV と快適方程式の検討, 空気調和・衛生工学, 60-10(1986), pp.12~19
- 3) 西安信 : PMV の成果と問題点, 日本気象学会誌 29 (1992), pp.141~146
- 4) 堀越哲美 : 温熱環境の評価(3) - その 2, 空気調和・衛生工学, 70-1(1996), pp.65~71
- 5) 持田徹 : 一定の平均皮膚温のもとにおけるぬれ面積率の特性に関する基礎的考察, Ann.Physiol.Anthrop.12 (2)(1993), pp.59~69
- 6) Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. & Y.Nishi : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response, ASHRAE Trans.77 (1971), pp.247~262
- 7) 持田徹・右田拓也・堅田兼史 : 平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせによる等温感の表示法: 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集(1996), pp.65~68
- 8) 持田徹・右田拓也・長野克則・嶋倉一實・堅田兼史 : 等温感の表示法に関する基礎的考察: 空気調和・衛生工学会学術講演論文集(1996), pp.93~96

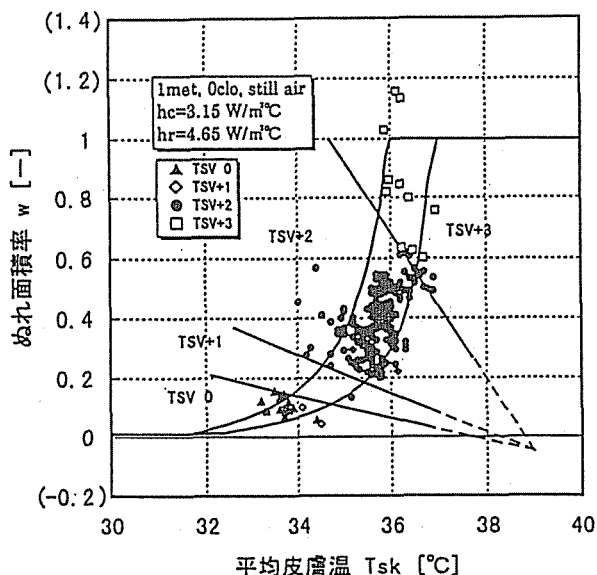


図 11 等温感域の表示法

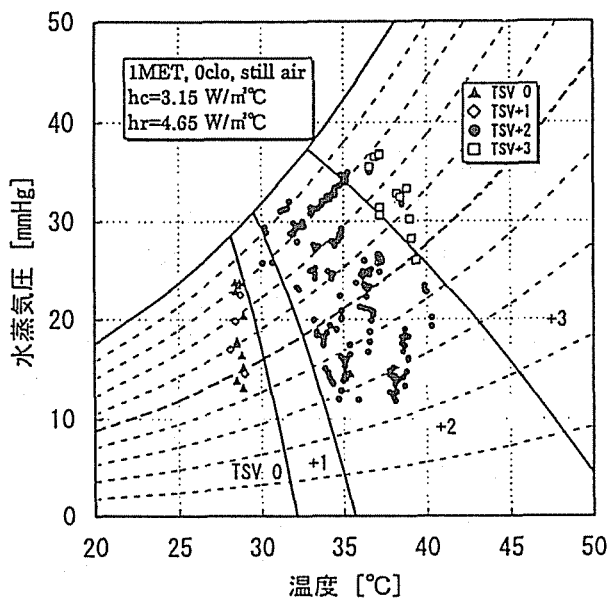


図 12 等温感域