

湿度センサを用いた 最新発汗計の開発



とうみ
スキノス東御研究所

信州大学教育特任教授
国立長野高専名誉教授

坂口 正雄

内 容

1. 局所発汗量連続記録装置の開発

- (1)発汗量の測定法
- (2)局所発汗量連続記録装置

2. 換気カプセル差分法による発汗量の測定

- (1)差分法による発汗量測定原理
- (2)換気カプセル差分方式発汗計
- (3)SKDシリーズ発汗計

3. 空気流量補償型発汗計

- (1)装置動作の解析
- (2)動作特性
- (3)運動中における多量発汗の測定

4. 流量補償方式換気カプセル型デジタル発汗計

- (1)装置ドリフト実験
- (2)精神性発汗の測定
- (3)温熱性発汗の測定(屋内での運動)
- (4)温熱性発汗の測定(炎天下での運動)
- (5)自動車内における前胸部発汗の測定
- (6)入浴中の前額・前胸部発汗の測定

5. まとめ

主な参考文献

1. 局所発汗量連続記録装置の開発

信濃毎日新聞 1981年9月30日



常温下で連続湿度を測定

〔高性能セラミックス湿度センサー〕
マルコン電子(本社山形県長井市・東芝九四%出資)はこの月、ルウムエアコンやVTRなどへの利用に適した常温下で連続湿度測定の可能な小型センサーⅡ写真Ⅱの開発に成功。十

合物を加えた多孔質の高温焼結体。その両面に多孔質電極を取り付け、焼結体の微細結晶表面への水分の吸着度によって電気抵抗の変化を感知して、湿度測定する仕組み。長期的に信頼性が保たれることが特徴で、除加湿器などを含めた民生機器の

センサーには、高分子膜やセラミックスを素材とするものがあるが、いずれも時間の経過とともに感知能力に変化が出てしまうため、ヒーターで加熱してクリーニングする必要があった。新製品は、酸化亜鉛を主成分に酸化クロム、アルカリ金属化

ほか、産業用機器への幅広い利用が可能という。センサーは、直径八、厚さは〇・二の円形。使用温度範囲は〇度―五〇度。常用電力〇・五以下。価格は一個のロットで一個千五百円。

技術情報

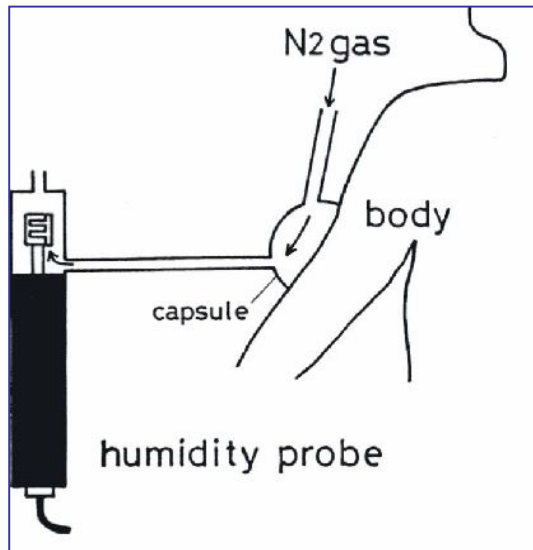
昭和56(1981)年9月30日、信濃毎日新聞に小型湿度センサーの開発記事が掲載された。この記事を引きかけに 皮膚を覆うカプセル内にセンサーを設置するとともに、カプセル内が湿分飽和しないように微量な乾燥ガスを供給する発汗量モニタ装置を開発した。(特願昭58-81379)

(1)発汗量の測定法

①定性法ーヨードでんぷん法ー



②定量法ー換気カプセル法ー



ハイドログラフ AMU-3 (株)フォーシオン

ショートノート

静電容量式湿度センサを用いた局所発汗量連続測定装置

正員 坂口 正雄[†] 非会員 大橋 俊夫^{††}
非会員 東 健彦^{†††}

An Apparatus for Continuous Recording of Sweating Rate by use of a Hygrometer of Electrostatic Capacity Type

Masao SAKAGUCHI[†], Member, Toshio OHHASHI^{††} and Takehiko AZUMA^{†††}, Nonmembers

[†]長野工業高等専門学校電気工学科, 長野市
Department of Electric Engineering, Nagano Technical College,
Nagano-shi, 380 Japan

^{††}信州大学医学部第一生理学教室, 松本市
School of Medicine, Shinshu University, Matsumoto-shi,
390 Japan

^{†††}順天堂大学, 東京都
Juntendo University, Tokyo, 113 Japan

あらまし 皮膚装着の小型カプセル内に静電容量式湿度センサを収納した局所発汗量連続測定装置を製作し、ヒト手掌部の局所発汗量の測定を試みた。

1. まえがき

発汗現象は、本来の体温調節的意義のほか自律神経の中樞機能をも反映する。こうした生理学的事実から、局所発汗量の測定は定量的な自律神経機能検査法として有力な手段になり得る。従来、局所発汗量の測定は皮膚に装置したカプセルに乾燥ガスを流し、汗の蒸発による気湿の増加分をパイプで誘導し、種々な方法で測定してきた⁽¹⁾。しかしながら、それらの大部分は不連続的な測定であったり、連続的な測定であっても応答性が悪い、取扱いが容易でないなどの難点を持っていた。

われわれは、各種の湿度測定、制御機器の湿度検出に利用されている市販の静電容量式湿度センサに注目して、構成が簡易な局所発汗量連続測定装置を製作した。本論文は装置の概要と、ヒトの手掌部にカプセルを装着して得た生理学的実験結果を示す。

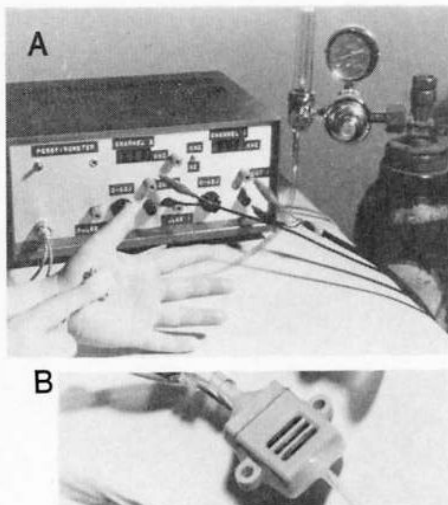


図1 局所発汗量測定装置(A)と試作カプセル(B)
Fig.1 A: Photograph of the sweating rate meter.
B: Photograph of the capsule equipped with the hygrometer.

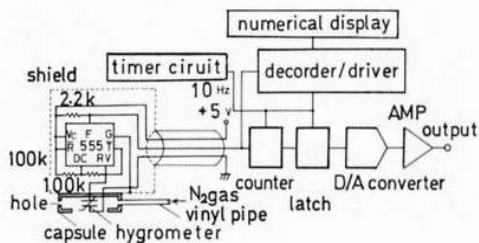
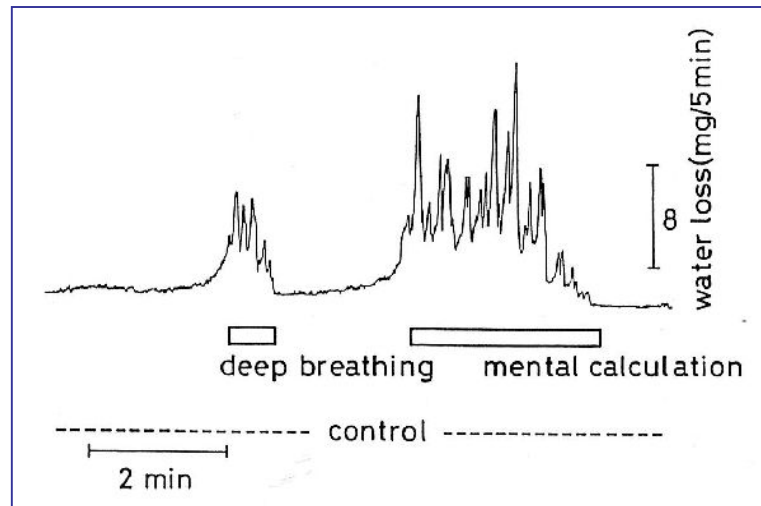


図2 センサ駆動・信号処理回路ブロック図
Fig.2 Block diagram of the driving and signal processing circuit of the hygrometer.

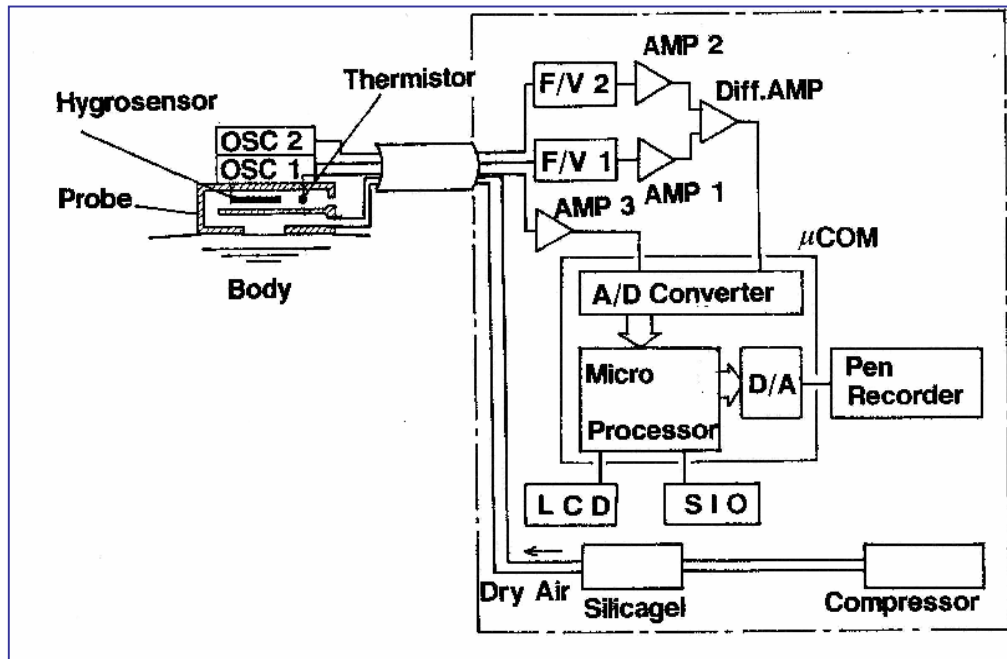
電子情報通信学会論文誌
J68-C,511-512,1985



(2) 局所発汗量連続記録装置

昭和60(1985)年1月から(株)スズケンが装置の実用化に参画

昭和61年、「局所発汗量連続記録装置」の特許を出願
(特願61-188895 特許1662743号)



Kenz 局所発汗量連続記録装置

Perspiro

OS9-100

微量な発汗量を
優れた応答性で測定

発汗量が簡単に測定できます。

検出窓
(発汗量検出プローブ)

Kenz Perspiro OS9-100

SUZUKEN

Kenz

デジタル発汗計 Perspiro 201



2チャンネル同時測定、
プローブ内蔵センサ(直接カプセル法)が
可能にする発汗量計測の新たな世界

SUZUKEN

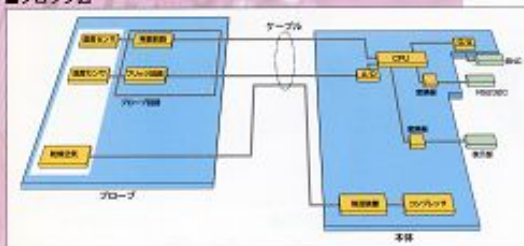
微量な発汗量を優れた応答性で高精度に測定

測定原理

Perspiro201は、高感度の静電容量式湿度センサと温度センサを発汗量検出プローブ(以後プローブと略します)に内蔵した直接カプセル法を採用し、発汗を検出する湿度センサからの出力を直接プローブ内でデジタル信号(周波数)に変換した後、本体に入力する方式を採用しています。なお、本体にはプローブに乾燥空気(300ml/min)を送風するコンプレッサとシリカゲルの封入された除湿装置が設置されています。

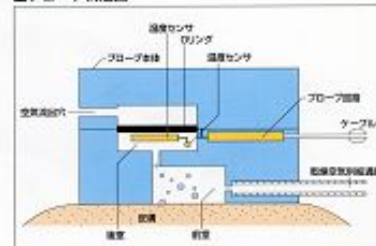
また、相対湿度の温度依存性はプローブ内の気体の相対湿度と温度をマイクロコンピュータに導き、相対湿度と絶対湿度の関係式を用いて補正しています。(ブロック図 参照)

■ブロック図



湿度センサ :ガラス基板上に形成した高分子薄膜を誘電体とする静電容量式で、この容量変化は高分子薄膜の周囲の相対湿度に比例します。応答時間は湿度の変化に対して約1秒と優れています。

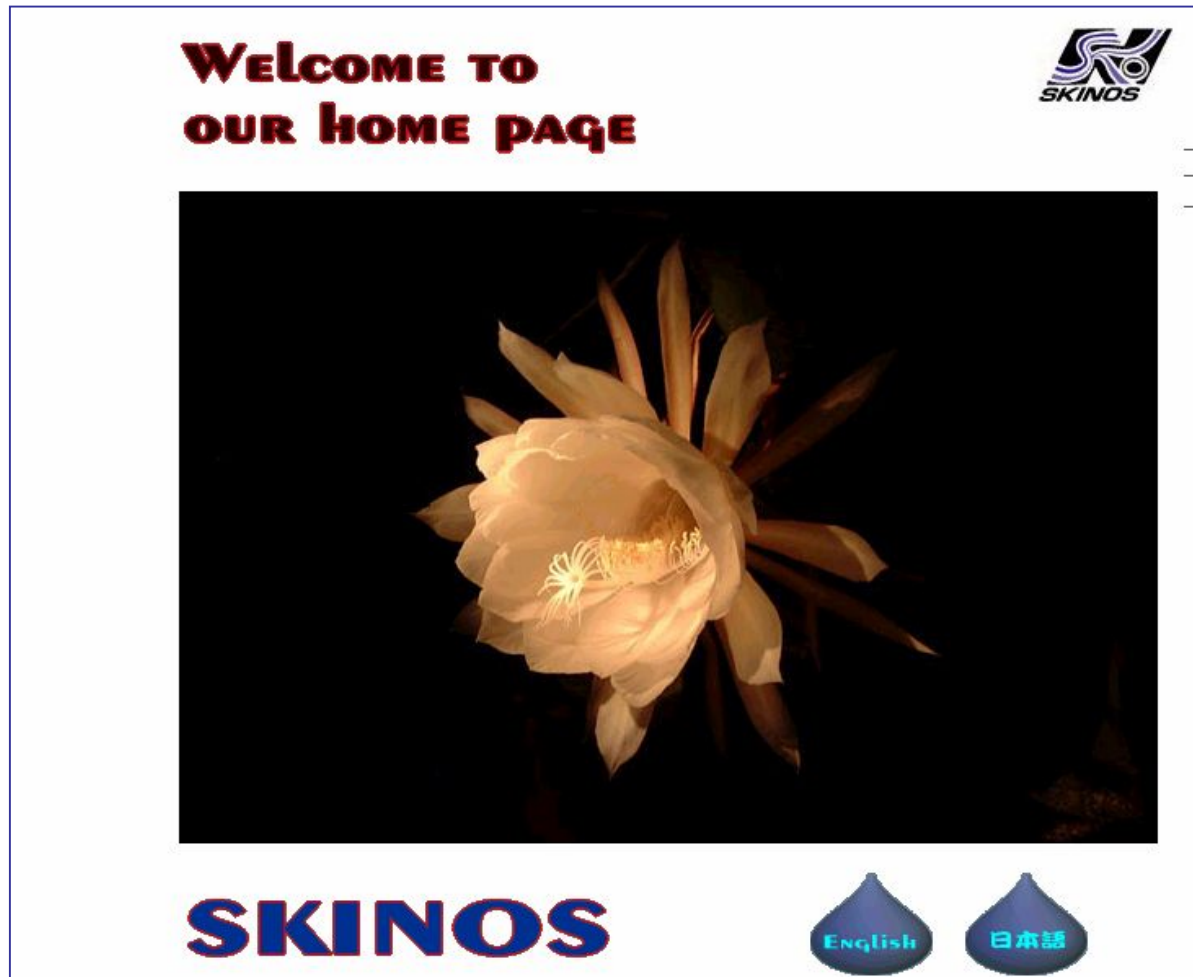
■プローブ構造図



プローブ :皮膚から蒸発する汗と乾燥空気を拡散させる前室、拡散気湿を誘導して湿分検出する湿度センサが内蔵されている後室により形成されます。発汗湿分は面積1 cm²の窓から取り込まれ、乾燥空気に運ばれて前室、後室を経て放出されます。(プローブ構造図参照)

注1)特許取得: 2050701
特許出願中

2. 換気カプセル差分法による発汗量の測定



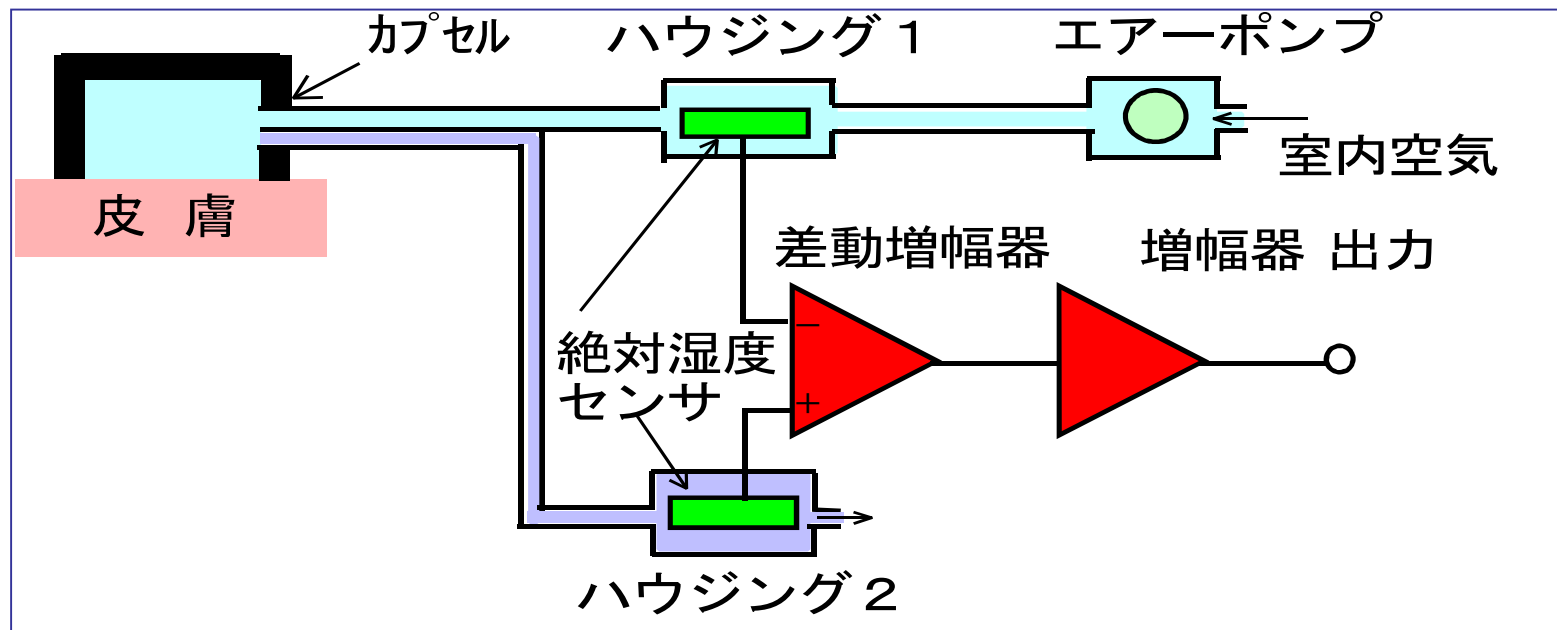
平成10(1998)年9月、発汗計の製造・販売ベンチャー企業、(株)スキノスが設立された。

(1) 差分法による発汗量測定原理

特開2001-061791

カプセルに供給される室内空気の湿分をハウジング1に内設の湿度センサにより検出し、汗を拡散したカプセル内空気の湿分をハウジング2内の湿度センサにて検出する。

2つの湿度センサ出力を差動増幅器にて差分すれば皮膚から蒸散する汗が検出できる。



(2) 換気カプセル差分方式発汗計 SKA-2000

SKINOS SKA-2000

これまでの発汗計に不便を感じたことはありませんか？

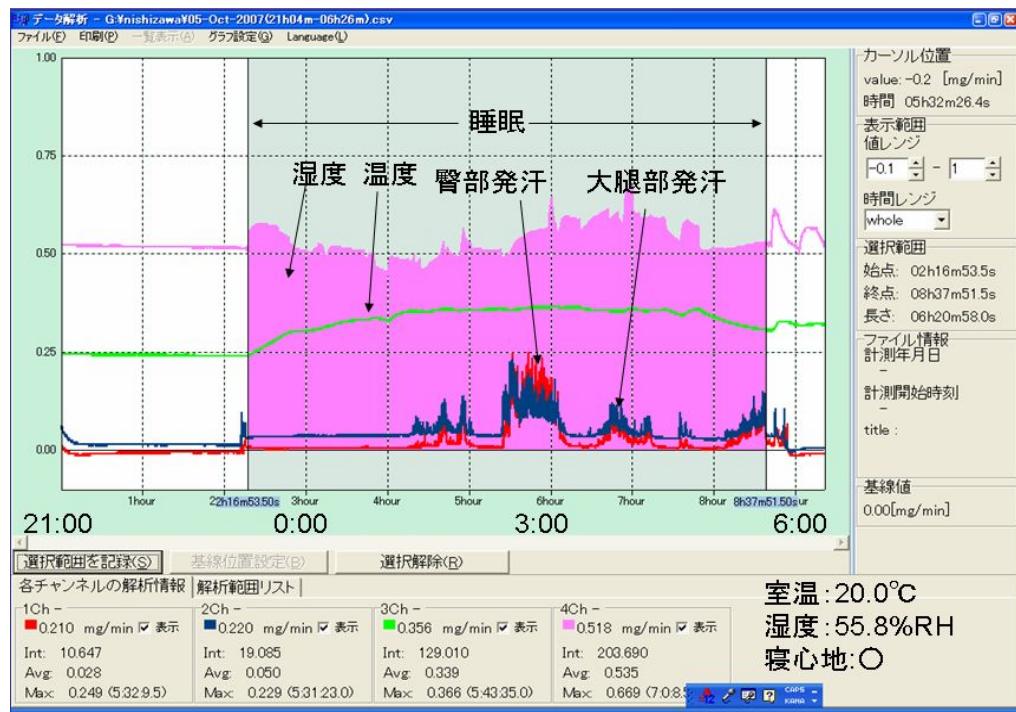
乾燥空気を作る除湿装置やガスボンベが不要で、持ち運び可能な新しい発汗計が登場しました。

特 徴

- ★乾燥空気を用いない差分方式、2チャンネル型
- ★測定部位を選ばないカプセル構造
- ★2針型メータ表示とペンレコーダ出力可能
- ★持ち運び便利なバッテリー駆動方式



(3) SKDシリーズ発汗計



睡眠時における大腿部、臀部発汗の記録

SKINOS 2000

ルームエアー換気カプセル型
乾電池駆動のデジタル表示

発汗計

SKINOS:SKD-2000

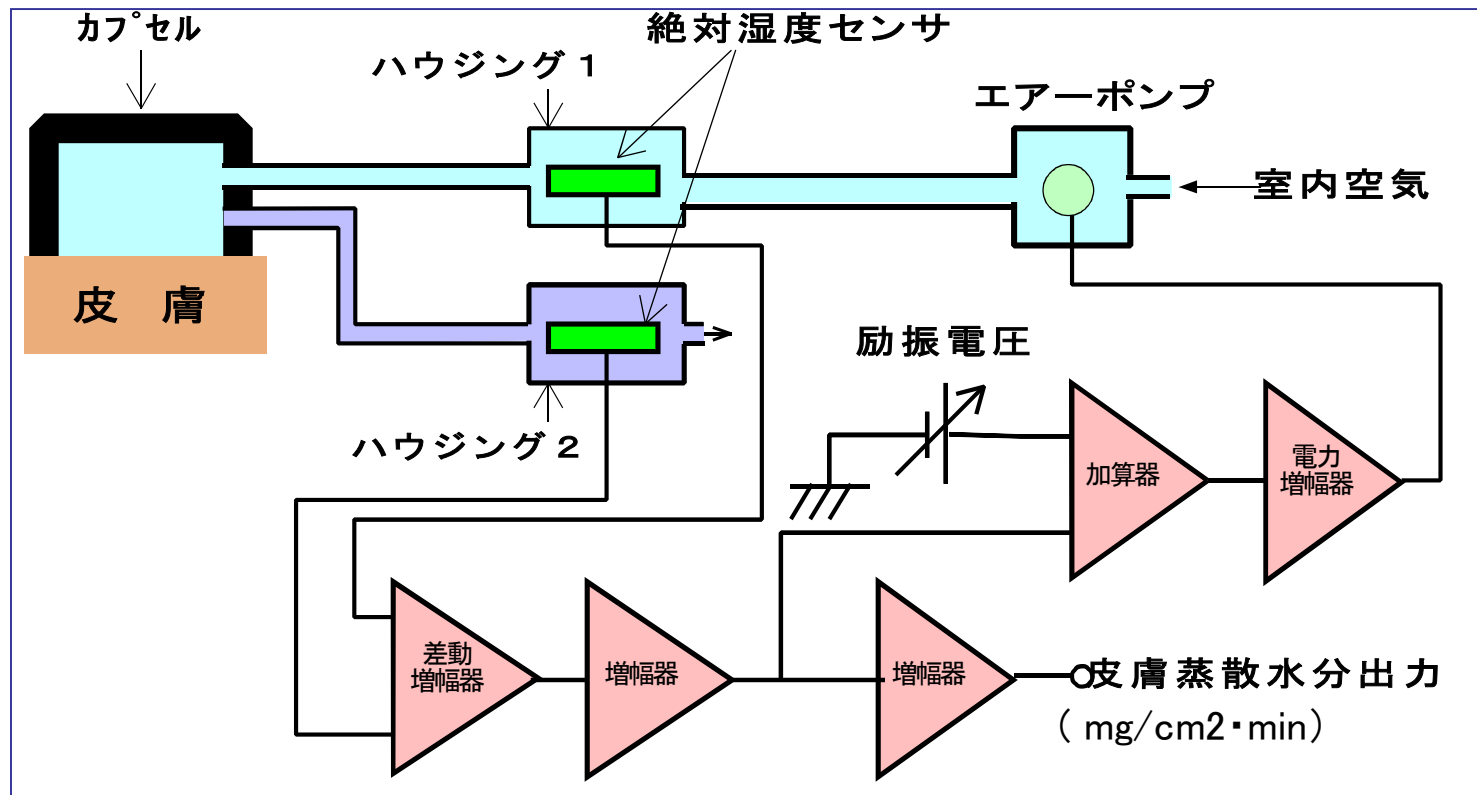
- ★発汗量計測にガスボンベや乾燥空気は本当に必要でしょうか？
- ★その疑問へのスキノスからの提案です



株式会社 スキノス

3. 空気流量補償型発汗計

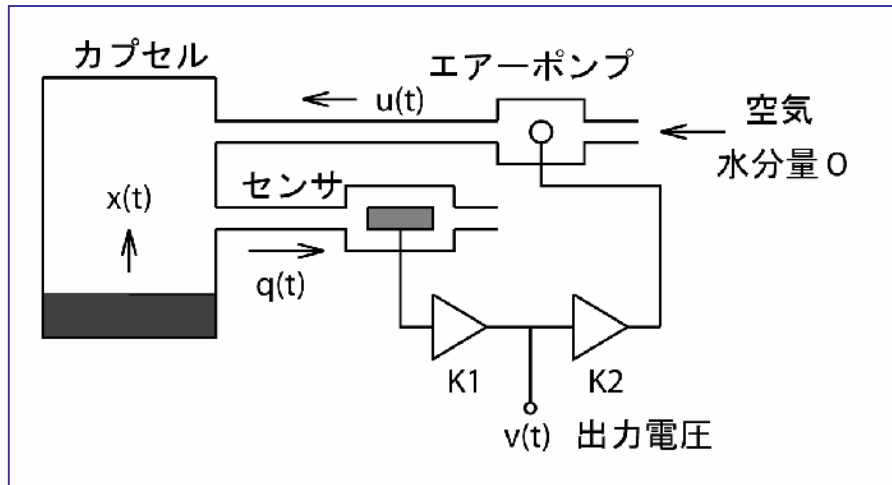
カプセルに定常的に空気を送風するための励振電圧に2つの湿度センサー出力の差分(差動増幅器の出力)を加算して、発汗量に応じて空気流量を制御するサーボ系を構成した。





空気流量補償型発汗計試作機 高応答発汗計 スキノス SKT2006

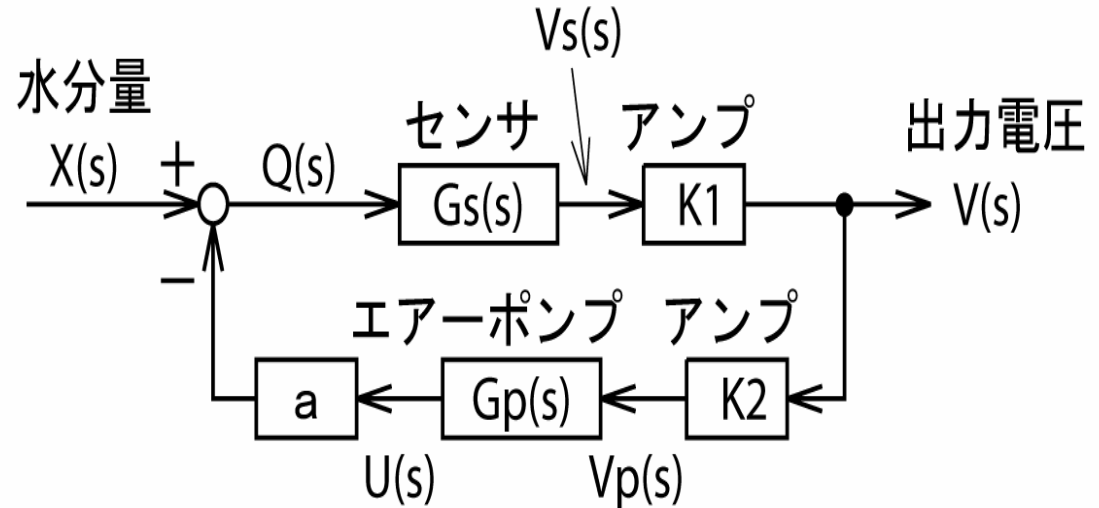
(1) 装置動作の解析



差分方式における測定系は、水分量0の空気を供給しているとみなせる。

$$q(t) = x(t) - au(t) \quad (1)$$

空気流量 $u(t)$ が増加するとセンサに送られる水分量 $q(t)$ が減少するが、ここでは $q(t)$ が $u(t)$ に比例して減少するものとする。 a は減少の大きさを表す定数である。



測定系の伝達関数を求めると、

$$G_c(s) = \frac{V(s)}{X(s)} = \frac{G_s(s)K_1}{1 + G_s(s)G_p(s)aK_1K_2} \quad (2)$$

空気流量(U(s))と水分量(X(s))の関係は,

$$U(s) = K_2 K_p V(s) = \frac{K_1 K_2 K_s K_p}{1 + a K_1 K_2 K_s K_p} X(s) \quad (3)$$

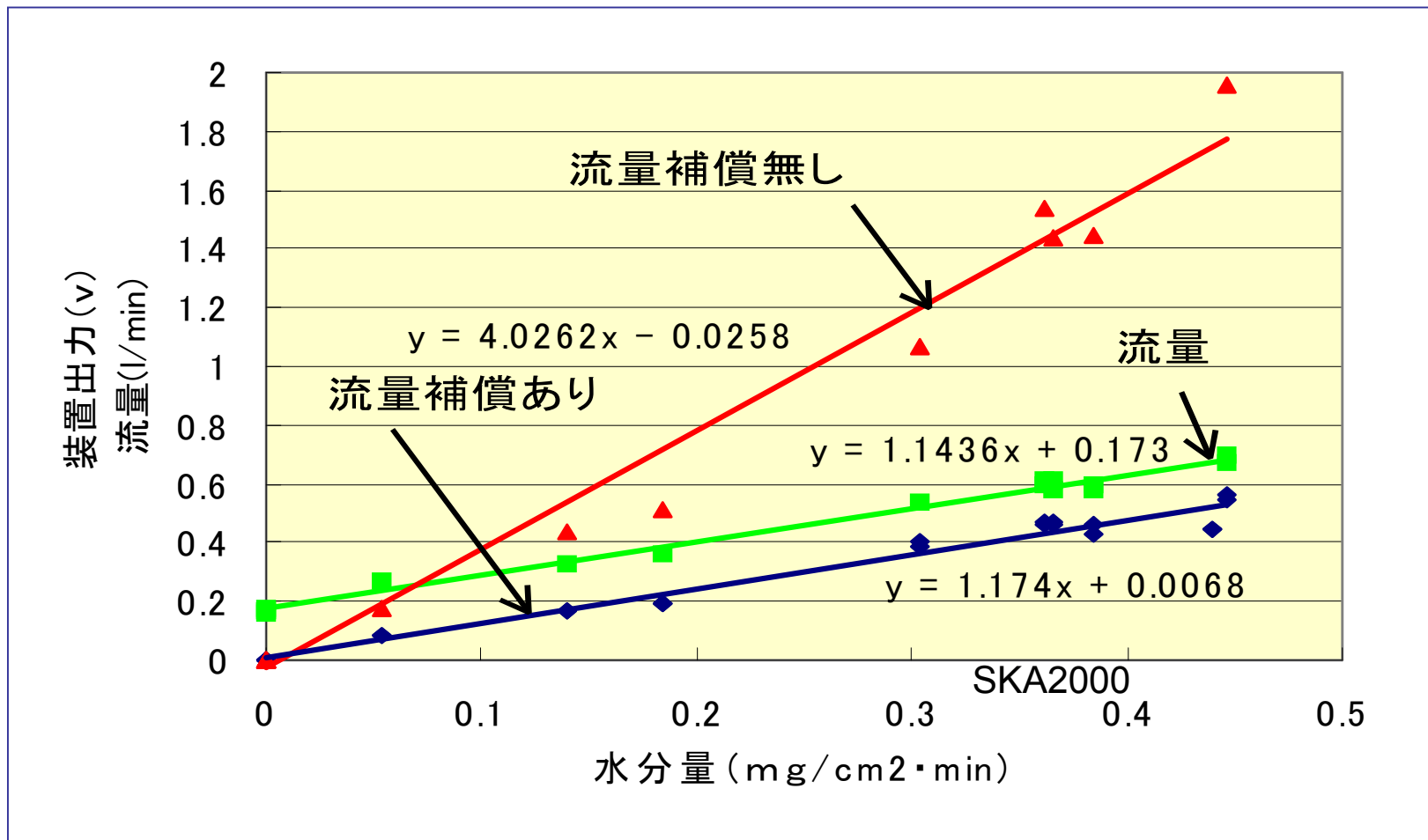
さらに, センサが検知する水分量(Q(s))と水分量(X(s))の関係は

$$Q(s) = X(s) - aU(s) = \frac{1}{1 + a K_1 K_2 K_s K_p} X(s) \quad (4)$$

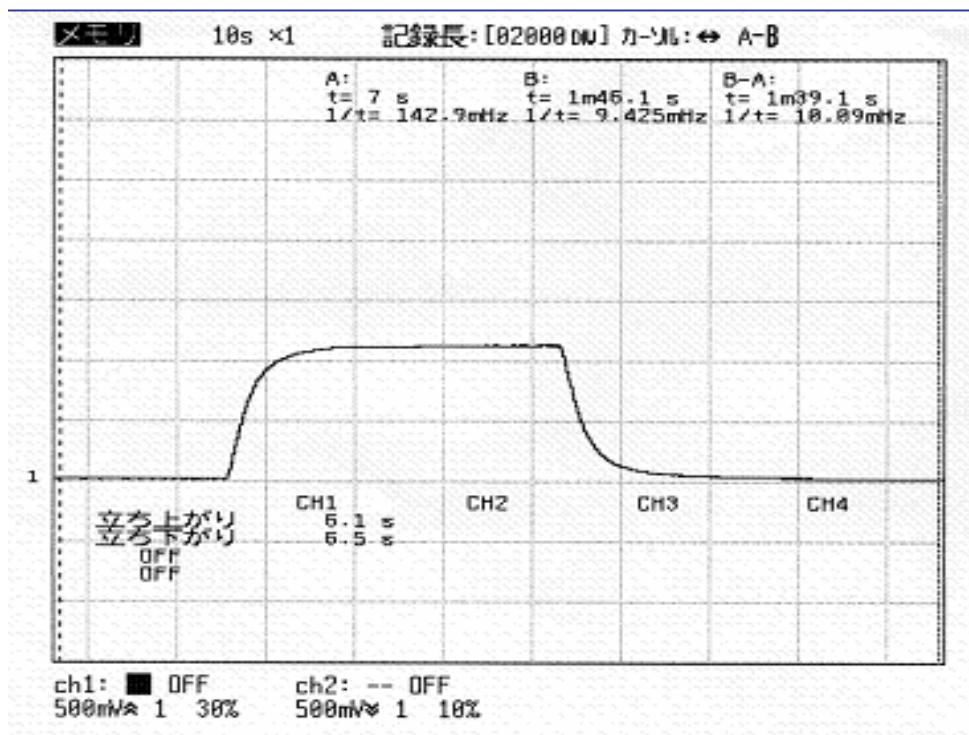
測定系では, センサ出力 $V_s(s)$ をフィードバックして空気流量 $U(s)$ を変化させ, それに伴ってセンサが検知する水分量 $Q(s)$ も変化するが, このとき空気流量 $U(s)$ は式(3)のように決定され, センサが検知する水分量 $Q(s)$ と水分量 $X(s)$ の関係は式(4)となる.

(2) 動作特性

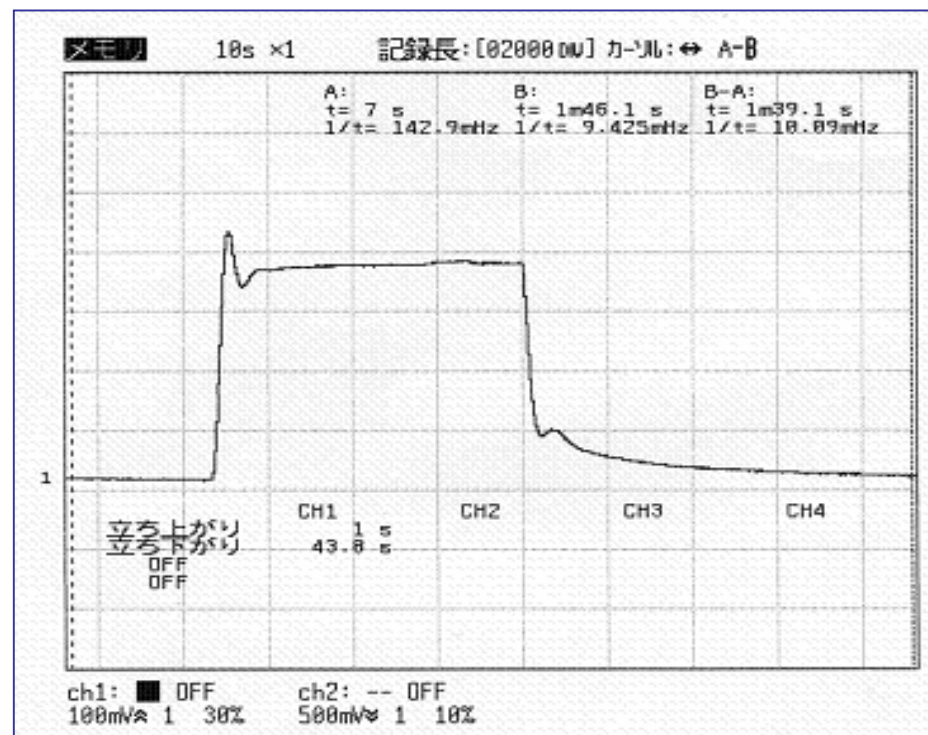
本装置と従来装置(スキノスSKA-2000)の出力関係(校正曲線)ならびに空気流量の関係を示す。



本装置と従来装置における流量補償の有無によるステップ応答の比較を行った。



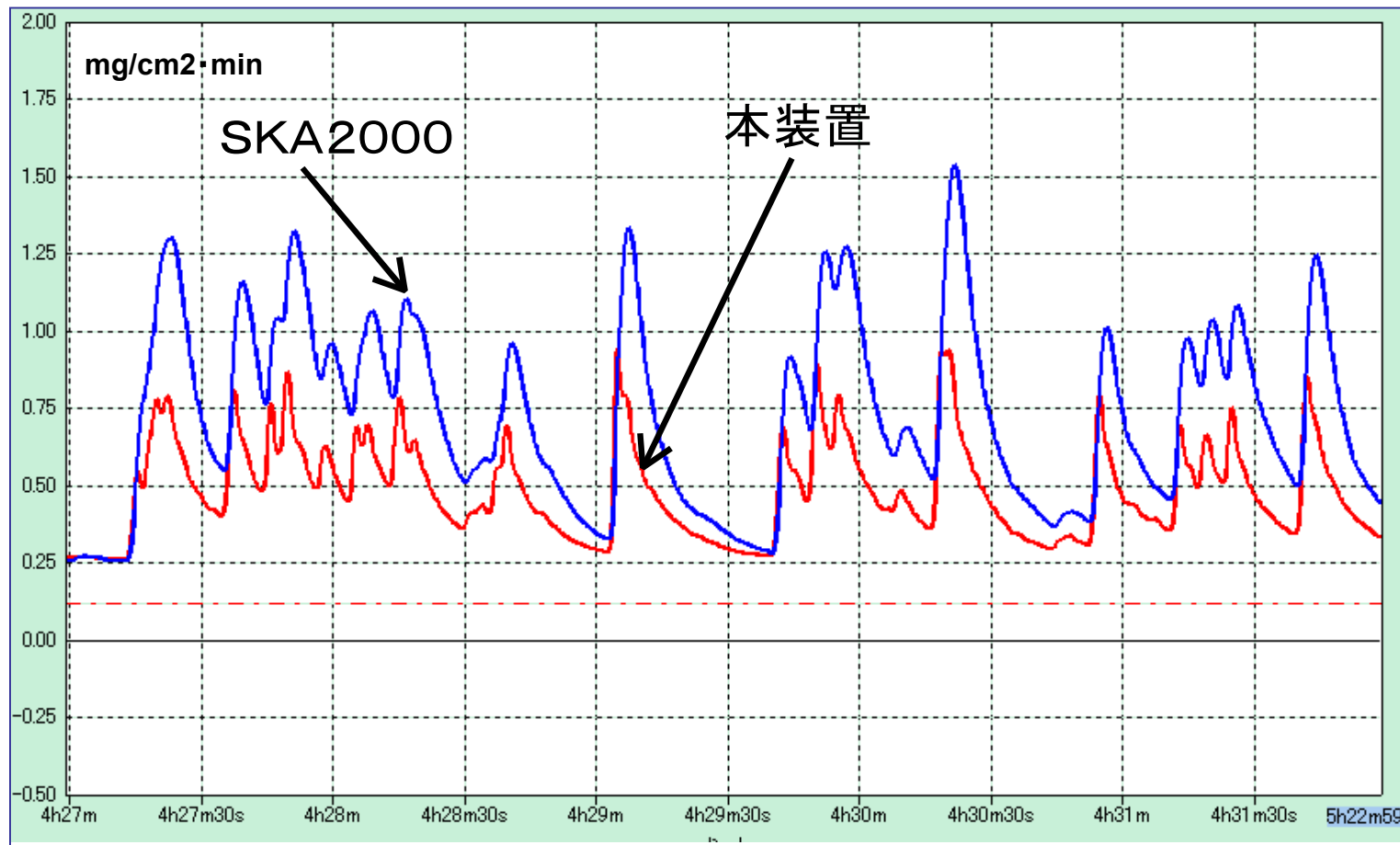
no compensation



compensation

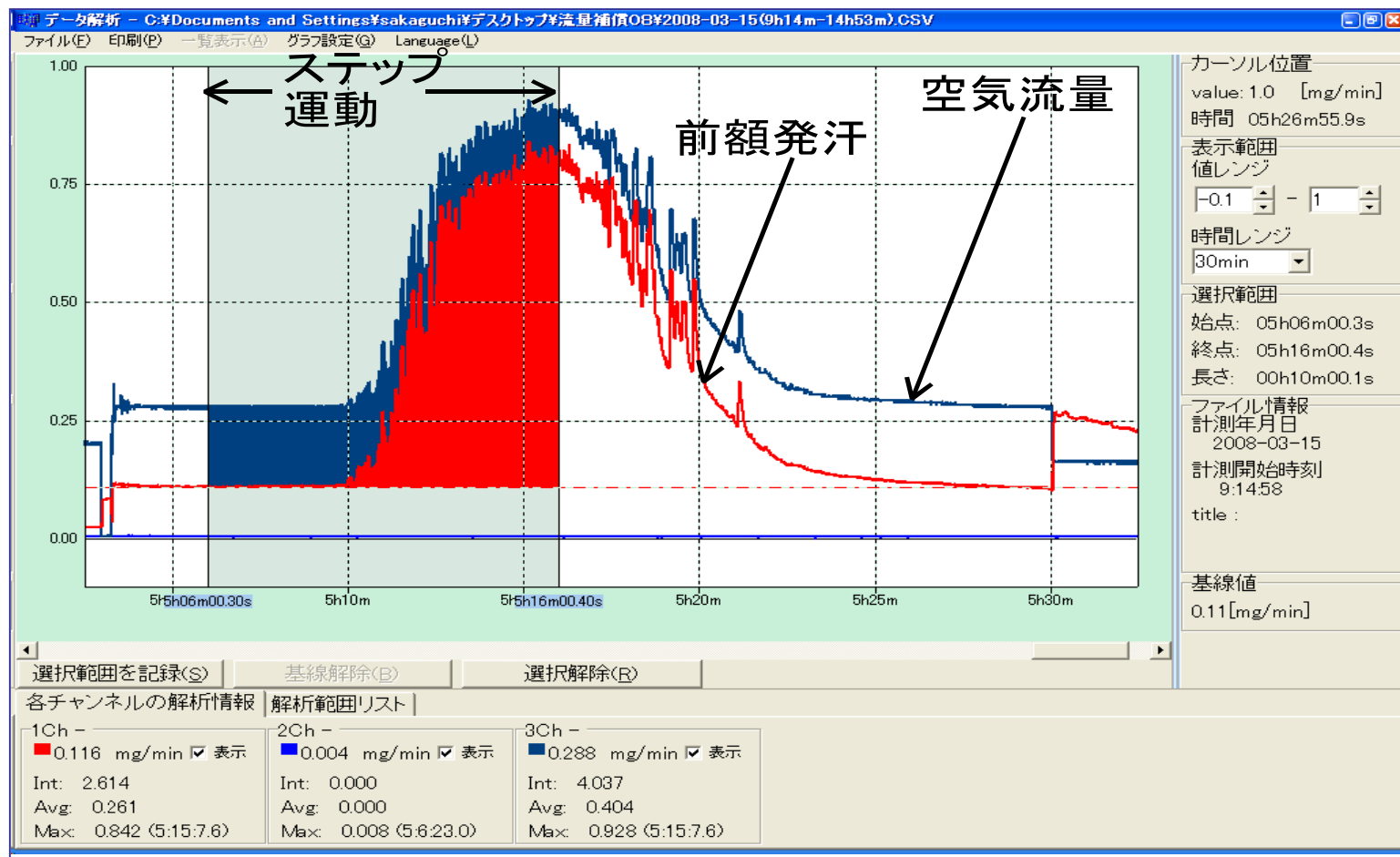
本装置の動作確認

本装置のカプセルを左手第3指指腹に、SKA2000のカプセルを左手第2指指腹に両面テープを用いて貼付固定した。高応答化を図ることにより、今までと異なった発汗現象の詳細が観察可能である。



(3) 運動中における多量発汗の測定

10分間の70%運動負荷(ステップ運動)時における前額の発汗量を測定した。また、ハウジング2から排出される空気流量をフローメータによって測定し、同時記録した。



4. 流量補償方式換気カプセル型デジタル発汗計

製造販売 西澤電機計器製作所

SKINOS “「発汗」を測る先進技術の結晶” LIVE+PLUS
人生に喜びと感動をプラス

高応答・広ダイナミックレンジ
流量補償方式換気カプセル型デジタル発汗計
SKN-2000
New Technical Breakthrough in
Perspiration Measurement



特許取得済

2008年6月、空気流量を補償した換気カプセル型発汗計を実用化した。

新型装置の特徴を要約すると、

- (1) 応答性に優れ(立ち上がり時間1s以内
従来装置の約1/5), 頻発する発汗変化に即
応した記録が可能である.
- (2) ダイナミックレンジの拡大(従来装置の約
2倍)
吹き出るほどの多量な発汗測定が可
能である.
- (3) 利便性が向上
 - ① パソコンへのデジタルデータ出力機能
(外部A/D変換器不要)
 - ② 自動ゼロアジャスト機能

装置外観写真

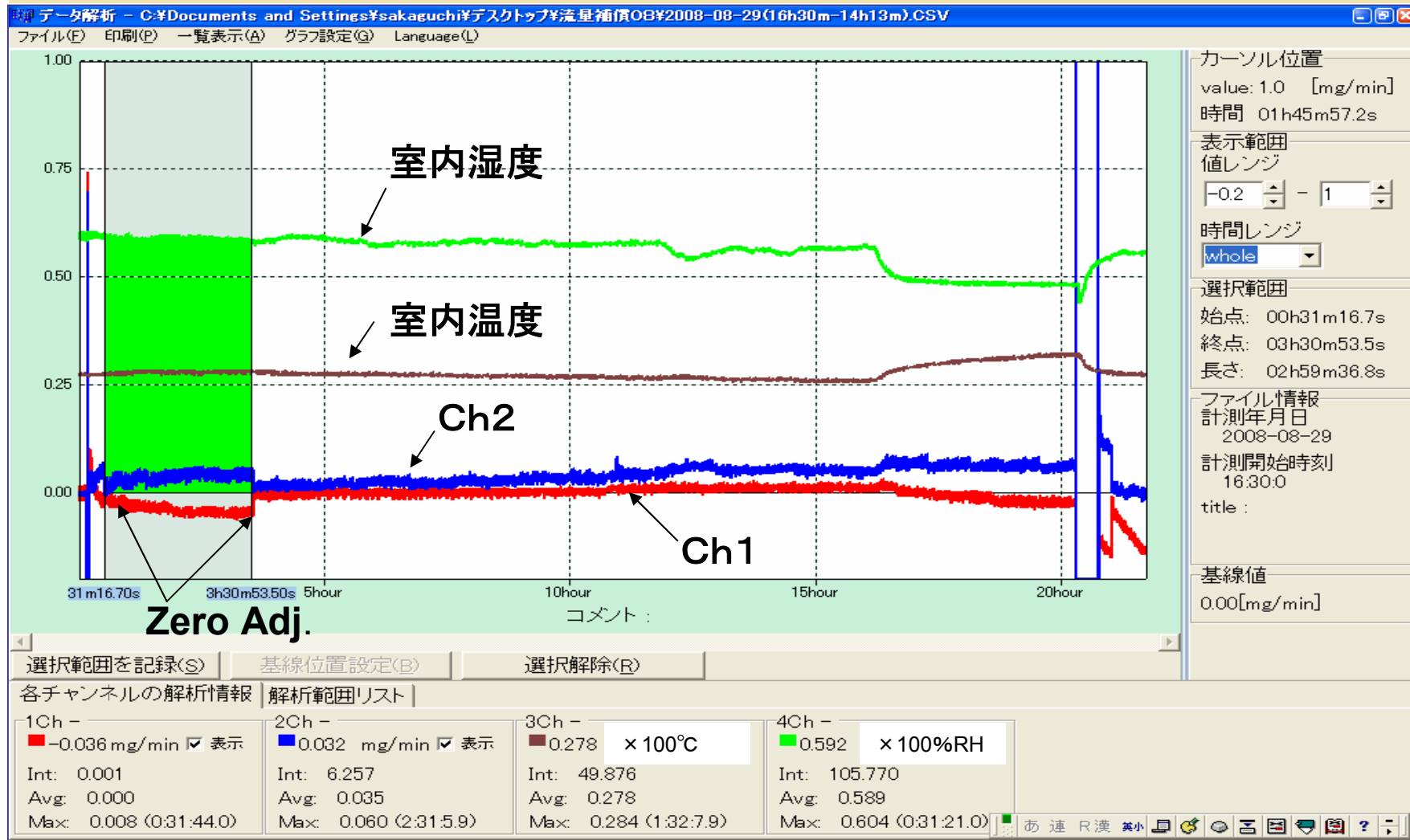


SKN-1020は液晶表示, A/D変換器
は内蔵していない廉価製品

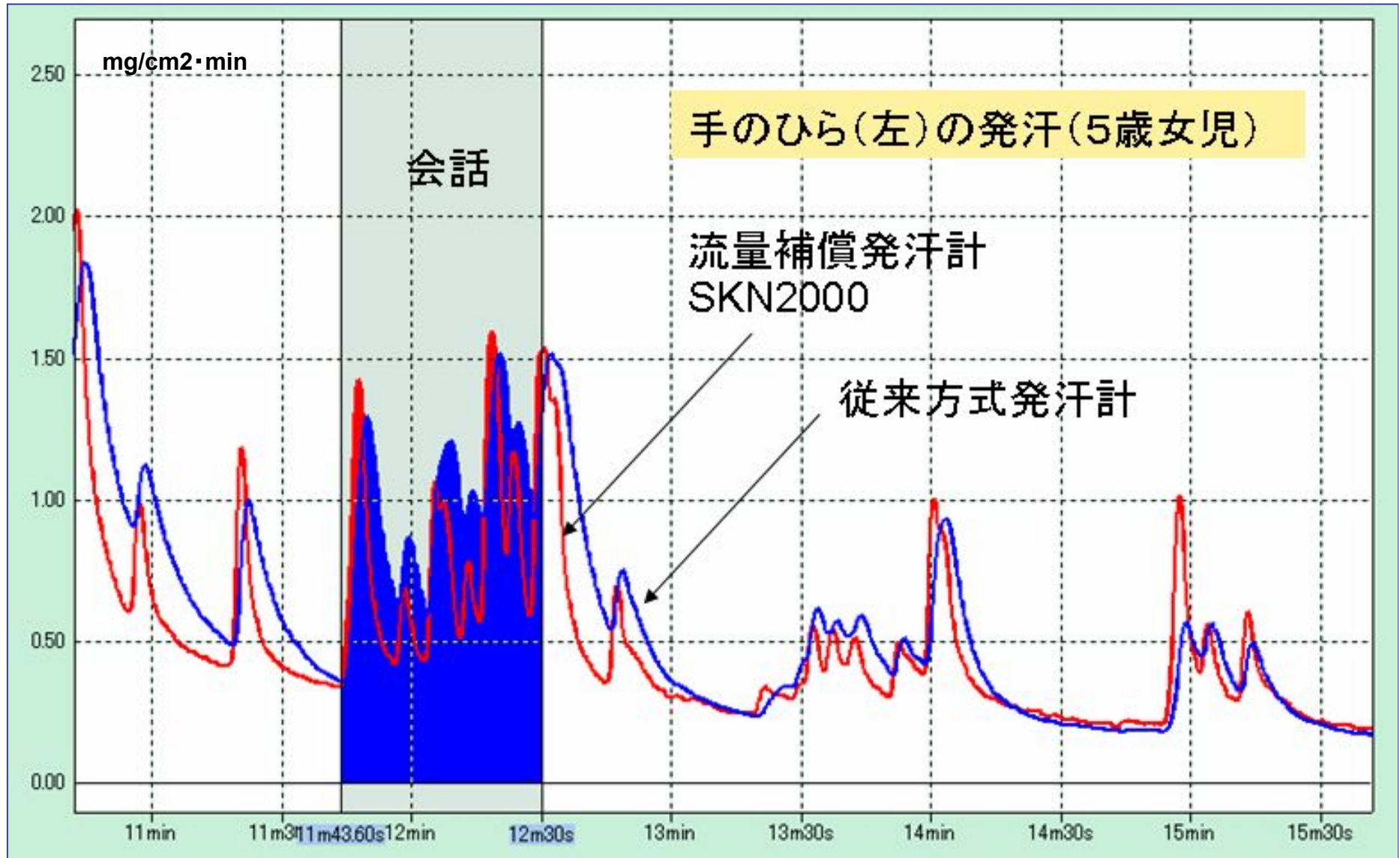


(1)装置ドリフト実験

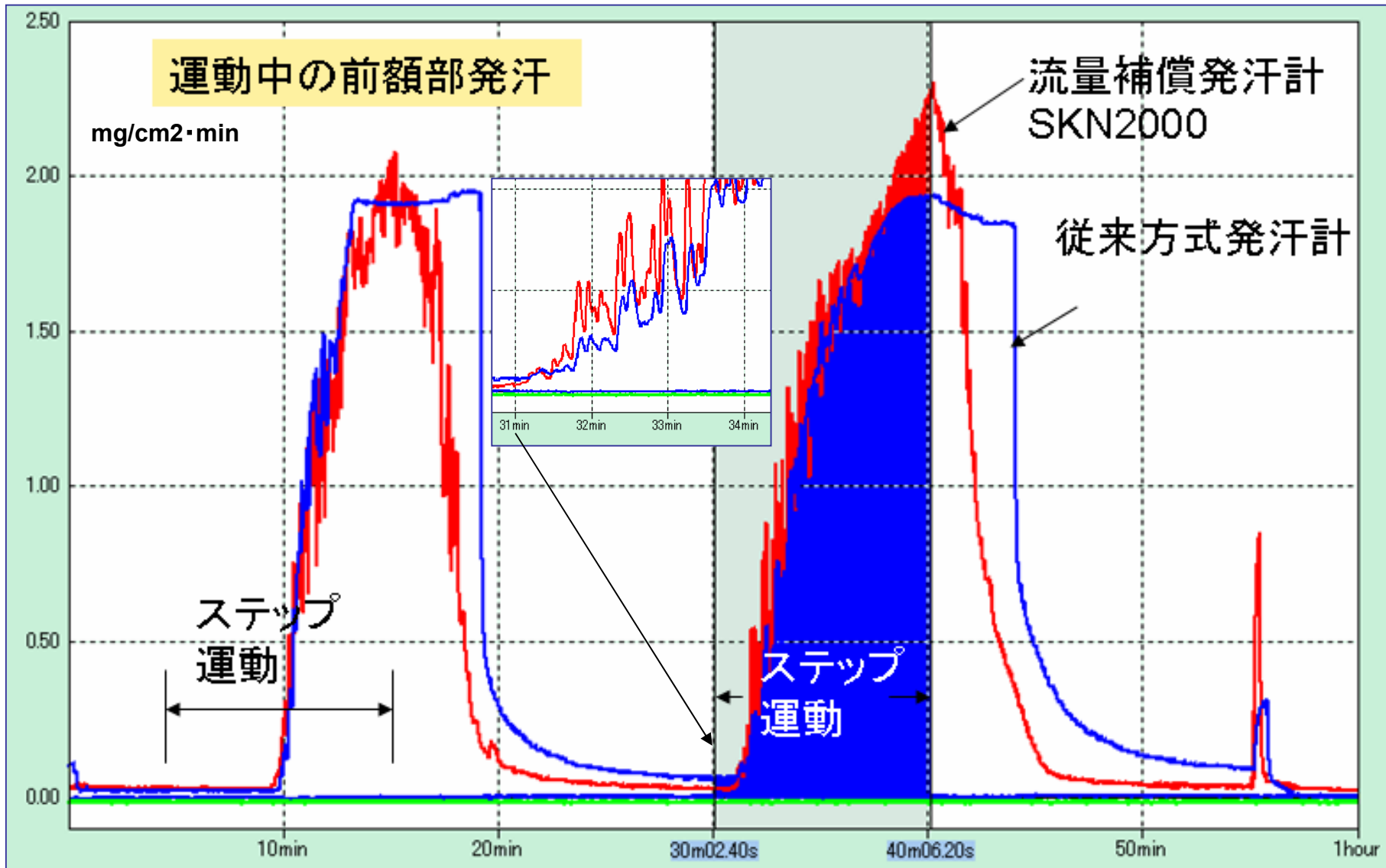
2008年9月29日午後4時30分～約20時間に及ぶ装置のドリフト試験を行った。
電源投入後30分、ゼロ調整その後3時間での最大ドリフト値は、
Ch1:0,04mg/cm²,Ch2:0.05mg/cm²



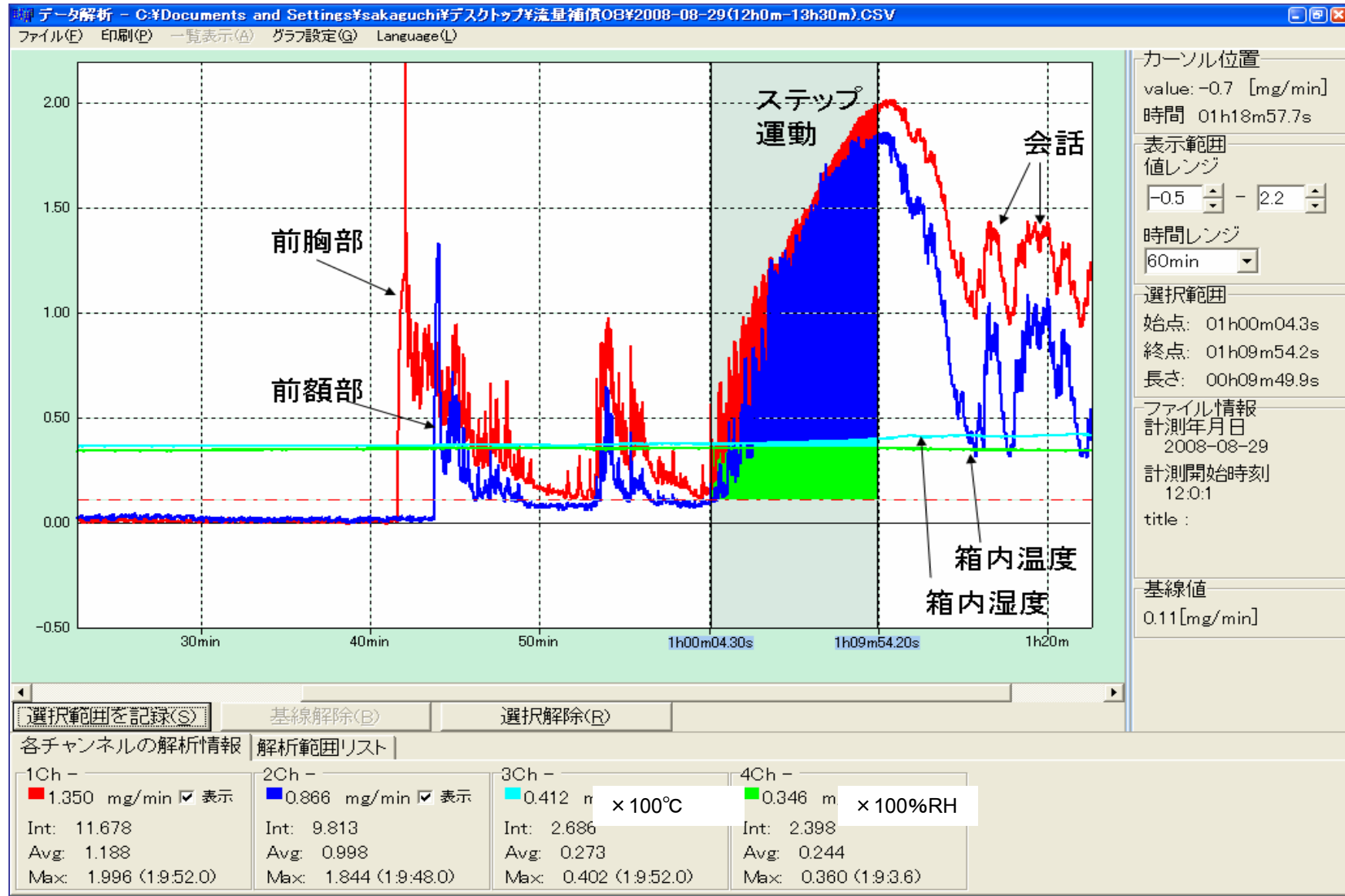
(2)精神性発汗の測定



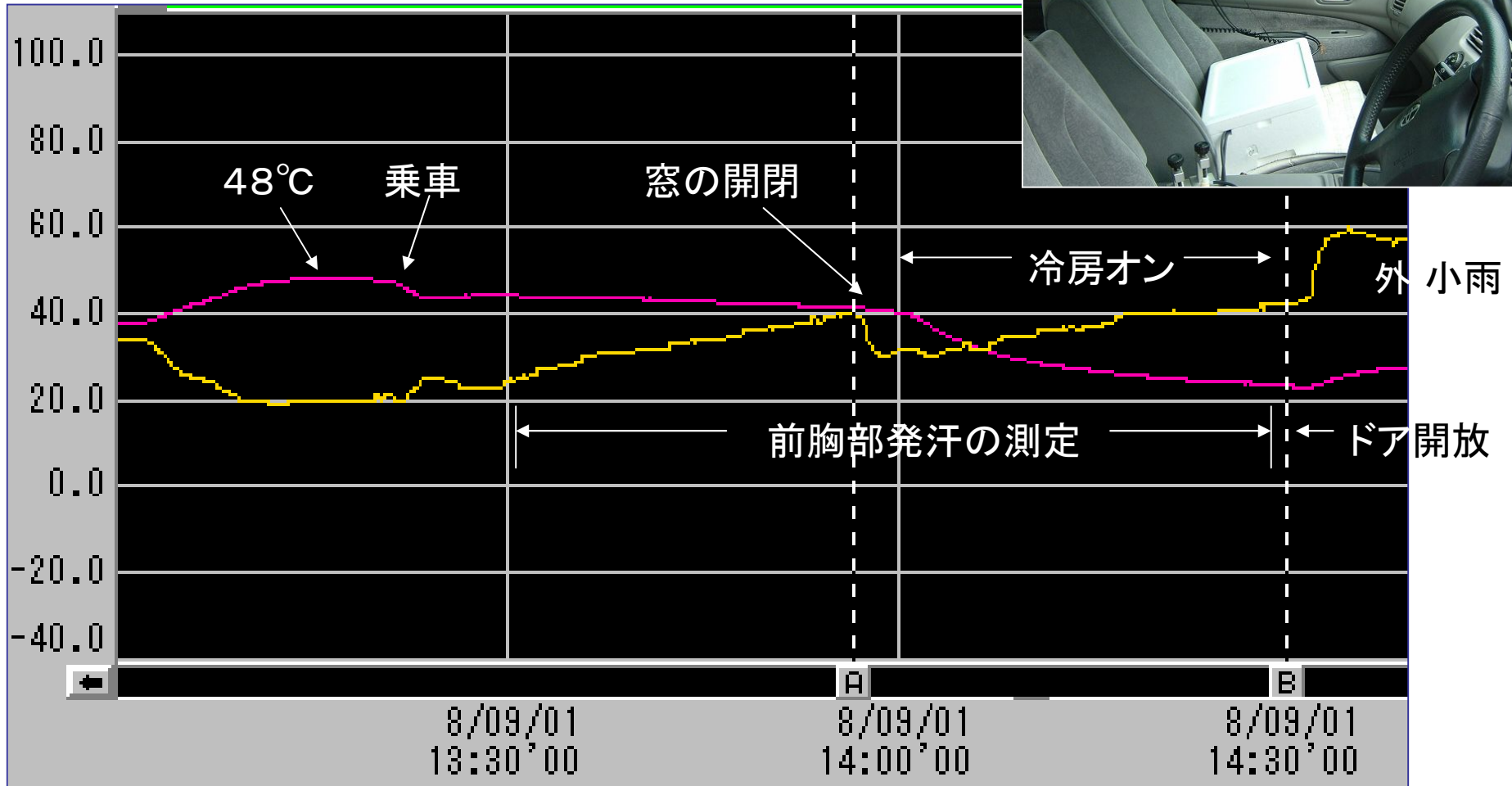
(3) 温熱性発汗の測定(屋内での運動)



温熱性発汗の測定(炎天下運動中の前額,前胸部発汗量変化)

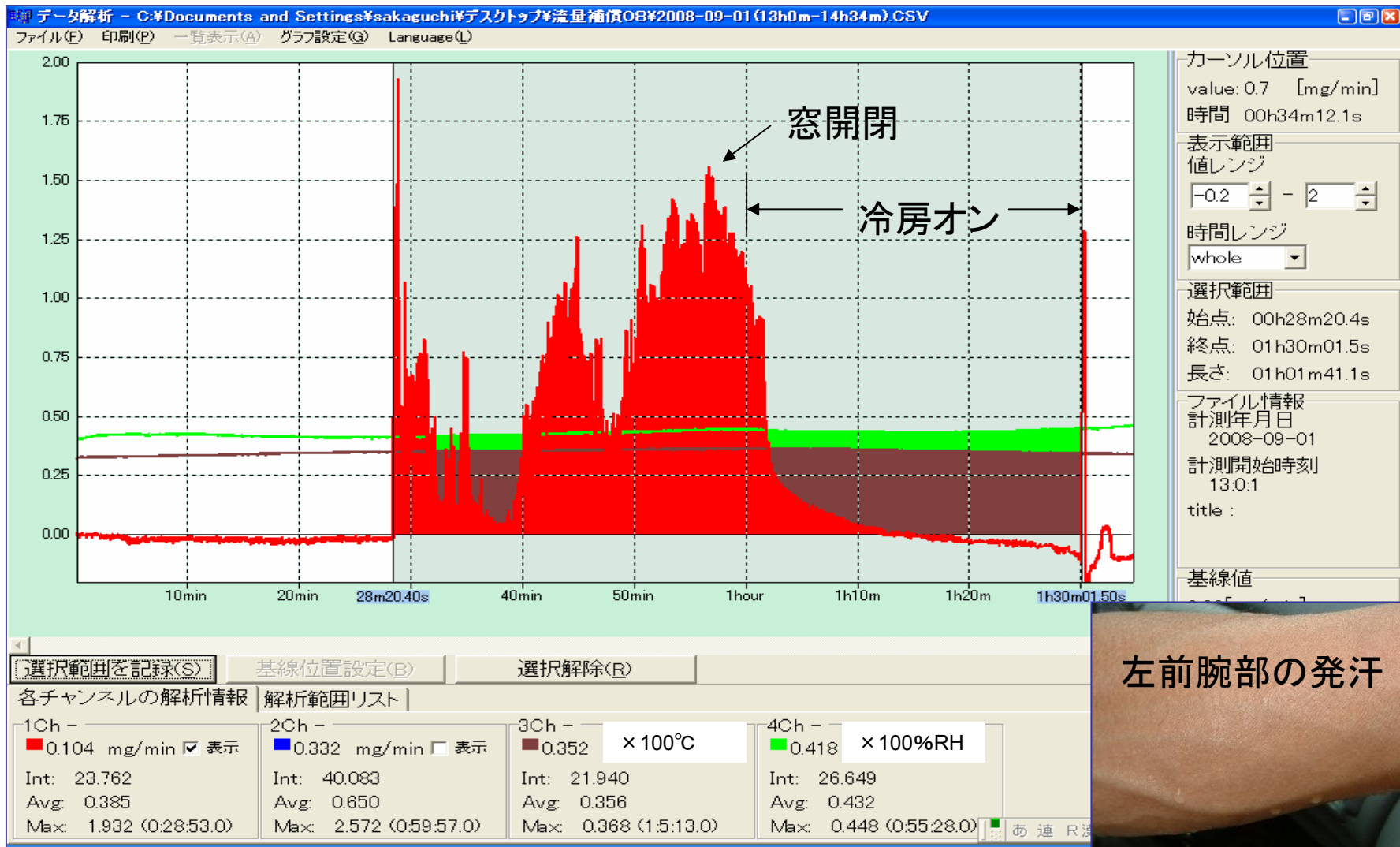


(5)自動車内における前胸部発汗の測定 (炎天下の車内温・湿度)



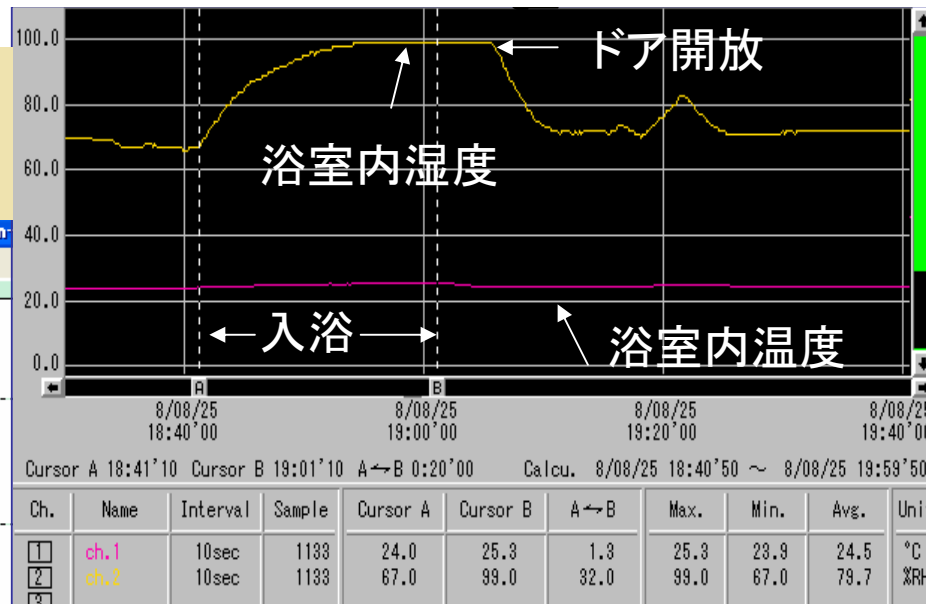
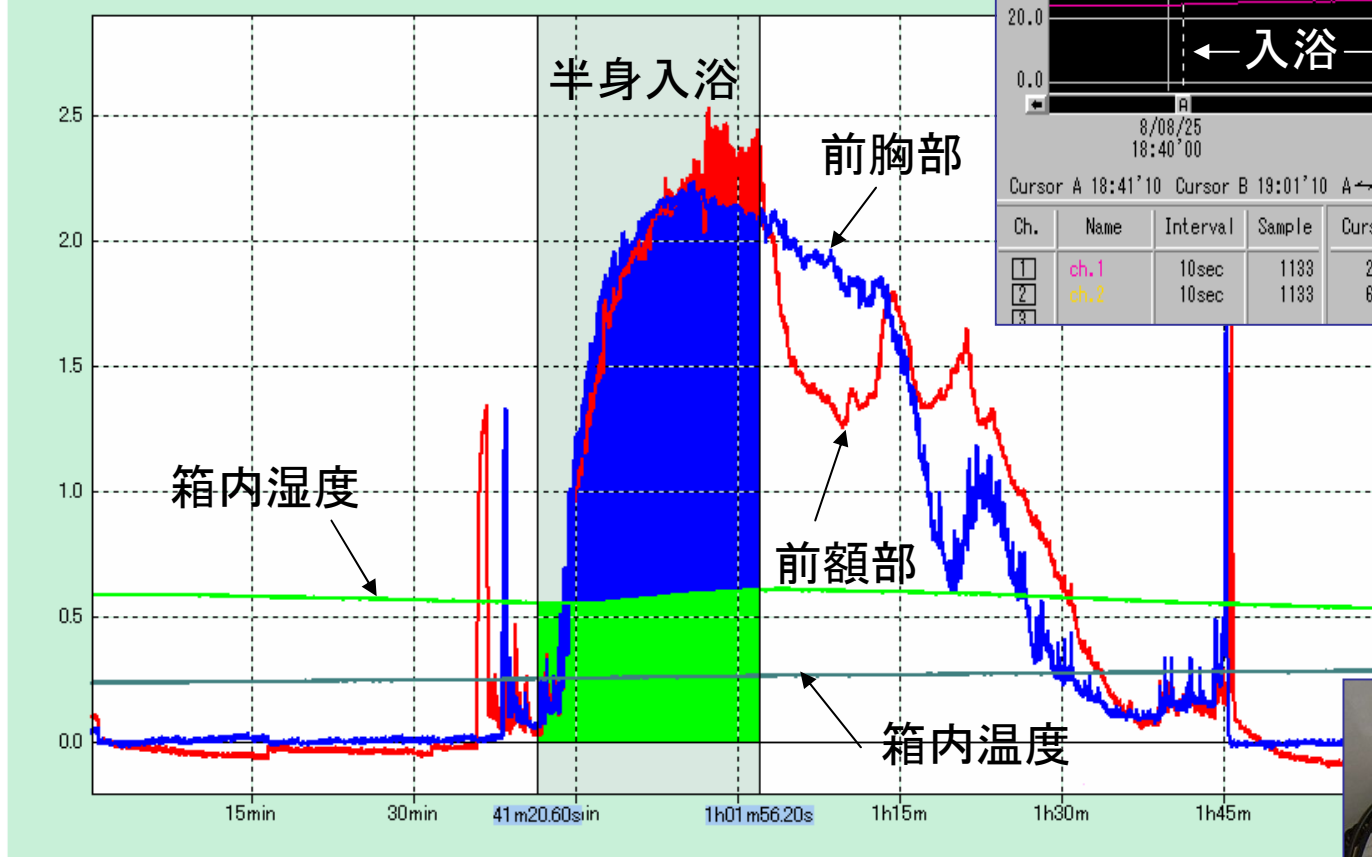
Ch.	Name	Interval	Sample	Cursor A	Cursor B	A↔B	Max.	Min.	Avg.	Unit
1	ch.1	10sec	844	41.2	23.2	18.0	48.0	22.8	34.6	°C
2	ch.2	10sec	844	40.0	42.0	2.0	71.0	19.0	38.5	%RH

炎天下の車内における前胸部発汗量変化



(6)入浴中の前額・前胸部 発汗の測定

データ解析 - C:\Documents and Settings\sakaguchi\Desktop\流量補償08\2008-08-25(18h0m
 ファイル(F) 印刷(P) 一覧表示(A) グラフ設定(G) Language(L)



選択範囲
 始点: 00h41m20.6s
 終点: 01h01m56.2s
 長さ: 00h20m35.6s
 ファイル情報
 計測年月日
 2008-08-25
 計測開始時刻
 18:03
 title :



選択範囲を記録(S) 基線位置設定(B) 選択解除(R)

各チャンネルの解析情報 解析範囲リスト

1Ch -	2Ch -	3Ch -	4Ch -
■ 2.436 mg/min <input checked="" type="checkbox"/> 表示	■ 2.162 mg/min <input checked="" type="checkbox"/> 表示	■ 0.262 × 100°C	■ 0.596 × 100%RH
Int: 35.413	Int: 35.148	Int: 5.348	Int: 11.874
Avg: 1.720	Avg: 1.707	Avg: 0.260	Avg: 0.577
Max: 2.528 (0.57-20.0)	Max: 2.234 (0.55-37.0)	Max: 0.268 (0.59-41.0)	Max: 0.612 (1.1-34.0)

5. まとめ

従来の湿度センサを用いた換気カプセル方式発汗計における湿度センサの水分飽和(結露)を防ぐため、また高応答化を図るためにカプセルに供給する空気流量を制御するサーボ系を構成した新しい発汗計を開発し、その実用化を図った。

新しく開発した空気流量補償方式換気カプセル型発汗計の特徴を要約すると、
(1)本装置は、吹き出るほどの多量な発汗が測定可能(従来装置の約2倍のダイナミックレンジ)
(2)応答性に優れ(立ち上がり時間1s以内,従来装置の約1/5),頻発する発汗変化に即応した記録が可能

具体的状況(炎天下の運動,日中の自動車内,入浴)を設定して温熱性発汗の測定を試み、開発装置の実用性を吟味した。

発汗計は、管理医療機器「クラスII」、一般的名称「基礎代謝測定装置」である。今後、医療機器の認証を目指すと共に、発汗計が心電計や血圧計のように様々な医学領域で普及し、活用されることを期待している。

主な参考文献

- 1) 坂口正雄, 大橋俊夫, 東健彦: 静電容量式湿度センサを用いた局所発汗量連続測定装置. 電子情報通信学会論文誌, J68-C, 511-512(1985)
- 2) 坂口正雄, 森健治他: 精神性発汗量連続記録装置の開発. 医用電子と生体工学, 26, 213-217(1988)
- 3) 坂口正雄, 小野伸幸他: 湿度センサを用いた精神性発汗連続記録装置—温度補償とその特性—. 医用電子と生体工学, 28, 137-142(1990)
- 4) 坂口正雄, 大橋俊夫他: 差分方式皮膚蒸散量計の開発. 発汗学, Vol.6, No.1, 2-6(1999)
- 5) 坂口正雄, 黒田地弘他: 換気カプセル方式高応答発汗計の開発. 発汗学, Vol.13, No.2, 60-62(2006)
- 6) 坂口正雄, 中島隆行, 百瀬英哉: 空気流量補償型発汗計の開発. Proceedings of the 2008 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Nagano, 1A1-I02, 1-4(2008)