

発汗量・水分量の測定と評価

長野工業高等専門学校校長補佐（研究・地域連携担当）

電子制御工学科教授

(株)スキノス取締役（研究成果活用兼業）

(株)信州TLO取締役

坂口 正雄

講習項目

1. 汗について

- (1) 精神性発汗と温熱性発汗
- (2) 発汗計の応用分野

2. 発汗量の測定法

- (1) ヨードでんぷん法
- (2) 換気カプセル法
- (3) 直接法
- (4) 換気カプセル差分法

3. 局所発汗量測定装置による精神性、温熱性 発汗量の測定

- (1) 各種刺激負荷時の発汗量変化
- (2) 運動中の発汗量変化
- (3) 睡眠中の発汗量変化

4. 換気カプセル差分法による発汗量の測定

(1) 発汗量測定原理

(2) 日常生活下の精神性ならびに温熱性発汗量の記録

5. 光学水分計とその応用

(1) 光学的水分計測の原理

(2) 皮下に存在する水分(皮下水分)の測定

(3) 皮下水分と皮膚蒸散水分の同時測定

(4) 光学発汗計による多量な発汗の測定

6. 発汗量・水分量測定実験

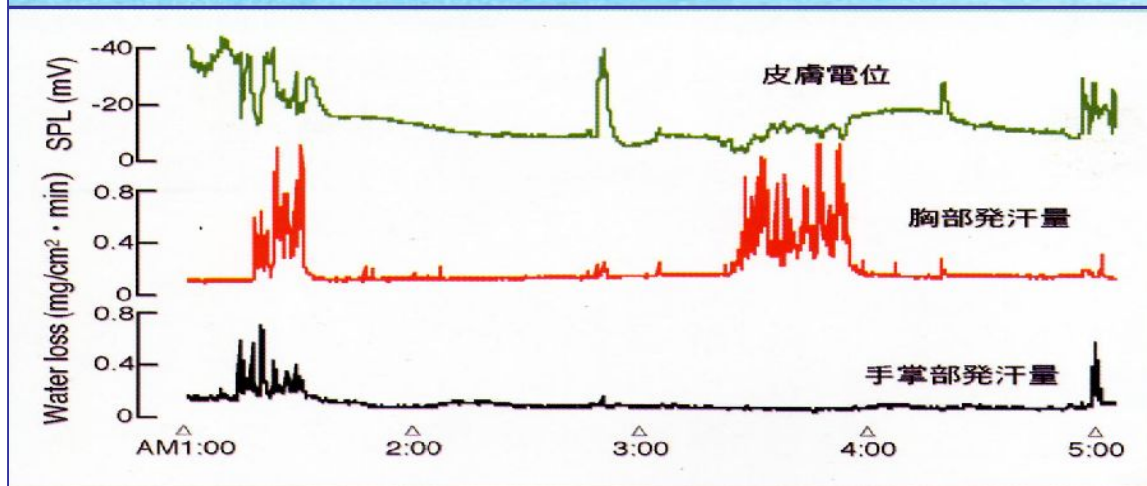
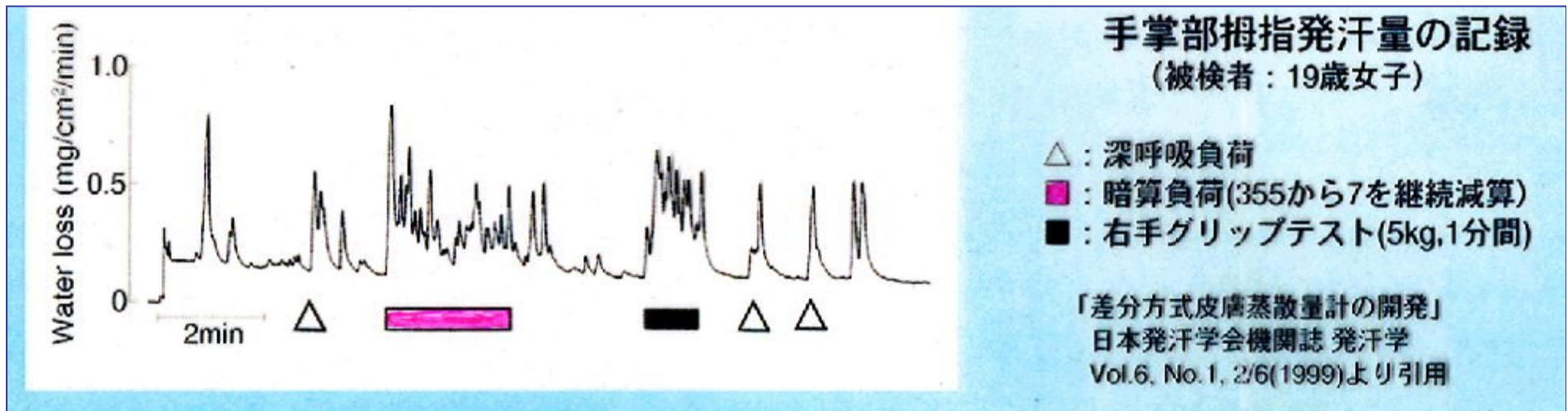
(1) 換気カプセル差分方式発汗計による精神性発汗の測定
・携帯型発汗計の場合

(2) 光学水分計による水分量測定

7. まとめ

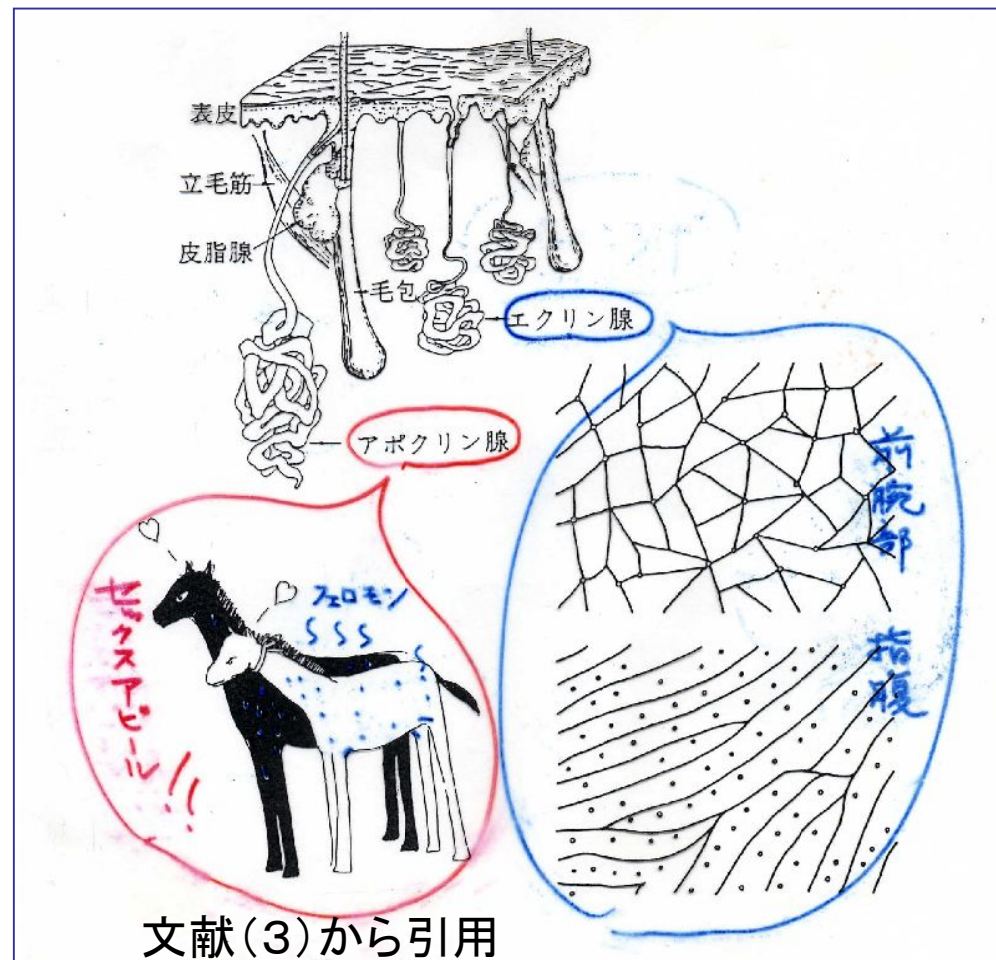
1. 汗について

運動をしてひと汗流し、額に汗して働き、感動して手に汗握る。汗をよく観察してみると、わたしたちの体や心の変化を映し出しています。



入眠時(AM1:30頃)から起床時(5:00頃)までの左手拇指ならびに胸部発汗量と皮膚電位(SPL)の記録

汗腺には一般にエクリン腺とアポクリン腺とに分類される。前者は腺細胞の形や大きさを変えずに塩分に富んだ液体を分泌する(漏出分泌)。後者では細胞体の一部が腺腔内に突出し、これが離出し、蛋白成分を含んだ細胞内液を排出する(断頭分泌)。エクリン腺は体表面のほぼ全面に分布し、アポクリン腺は腋窩、会陰部など体の一部に限局して存在する。



(1)精神性発汗と温熱性発汗

①精神性発汗

- ・冷やとしたときにみられる手のひらの汗
- ・精神的緊張や情緒の変動による発汗
- ・怒ってくるといつしか手を握っている。

扁桃体、海馬、大脳辺縁系が心の動きを写す鏡の働きをしています。

精神性発汗 (Great!!)

感動興奮緊張

$(330-222) \times (525+638) \times 835+ = 9825682$

汗

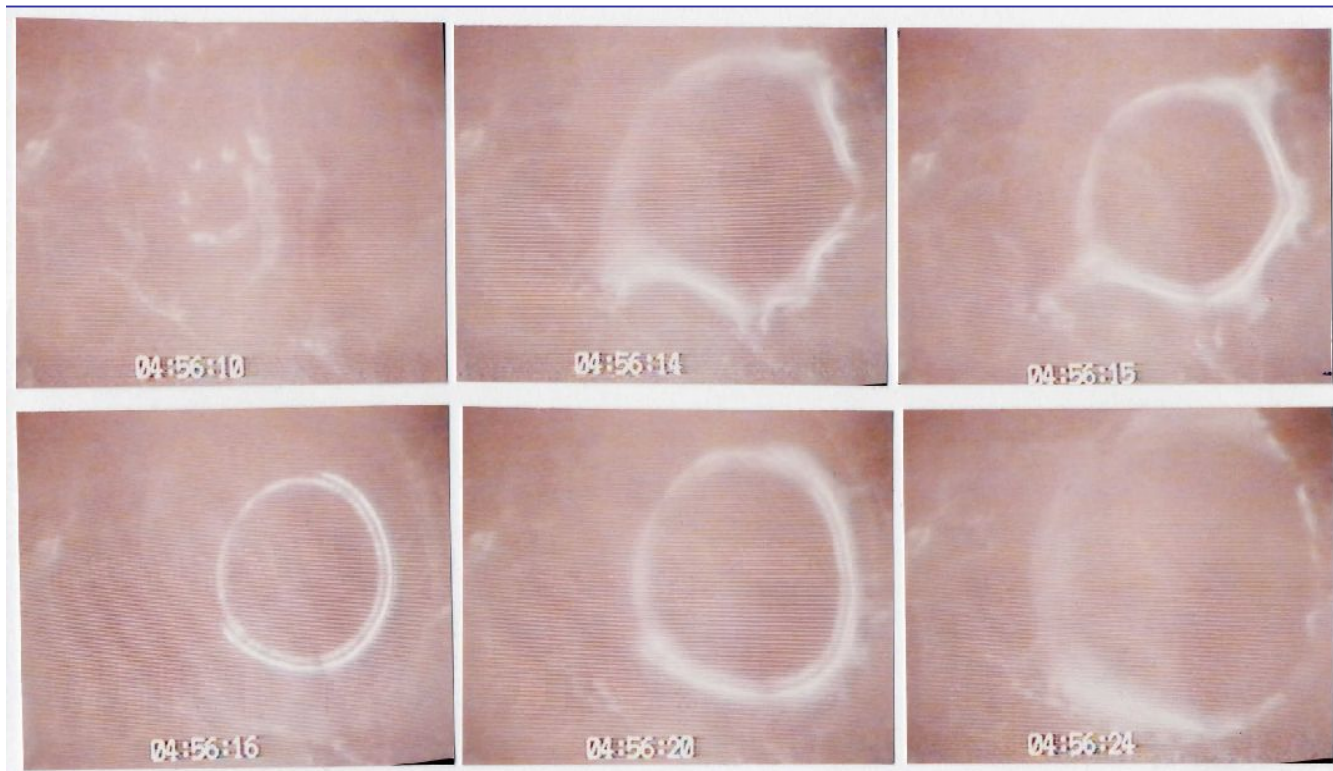
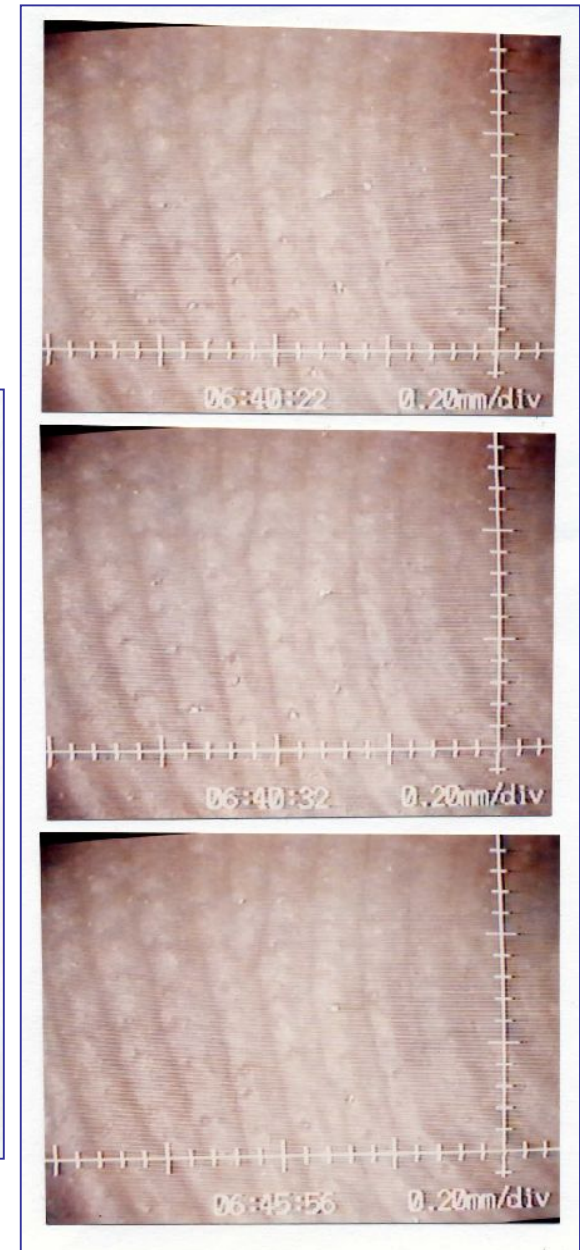
精神性・温熱性発汗の特徴

	精神性発汗	温熱性発汗
発汗部位	手掌・足底部の皮膚	左記以外の全身の皮膚
発汗刺激	精神性刺激	温熱性刺激
発汗量	少ない	多い
発汗潜時	短い	長い
汗腺	エクリン腺	エクリン腺

精神性発汗の顕微鏡観察

(×75)

指紋の頂上を観察していると、深呼吸などの精神的な負荷で汗が間欠的に出てくる様子が観察できる。

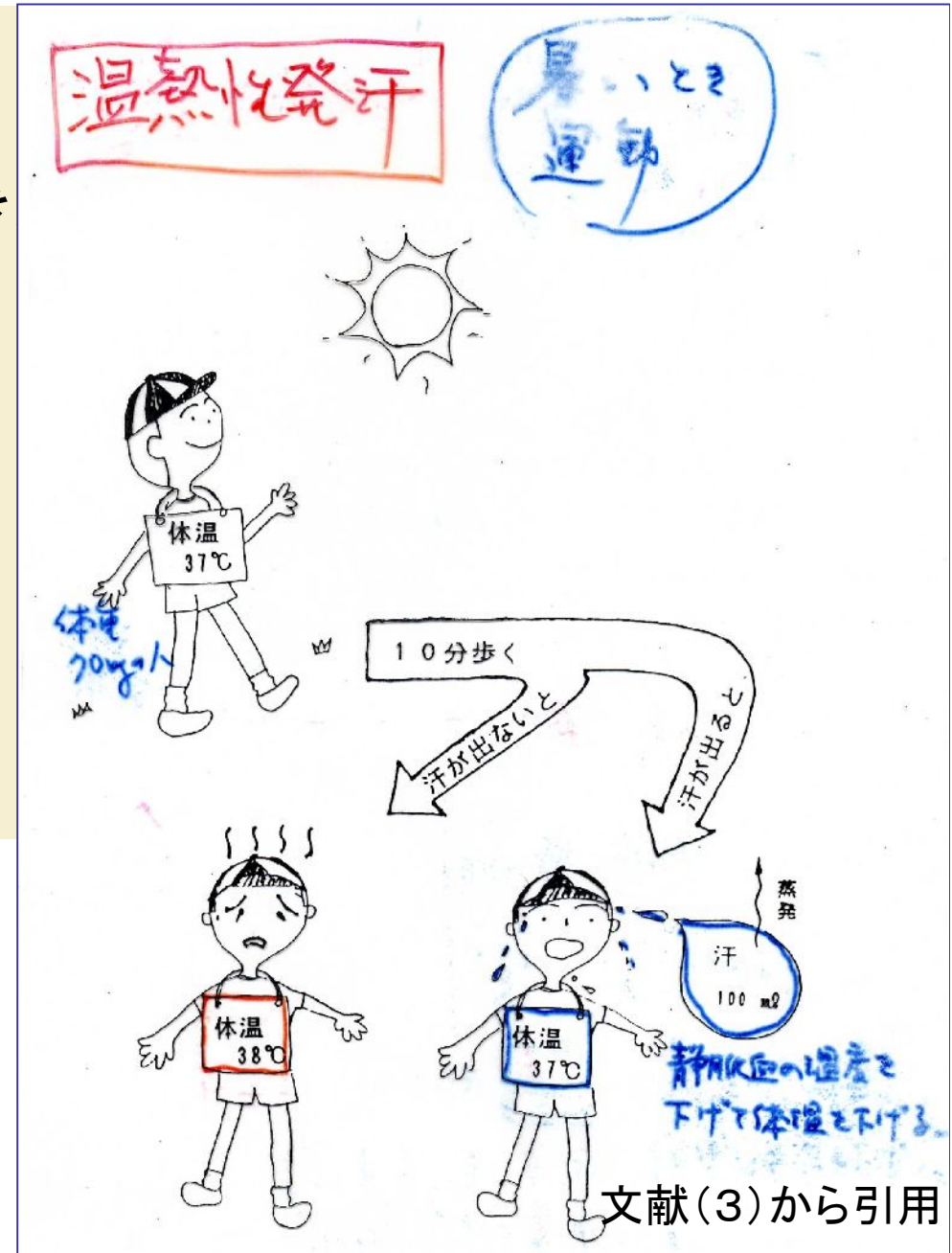


一つの汗腺から拍出する汗の時間経過(×1000)

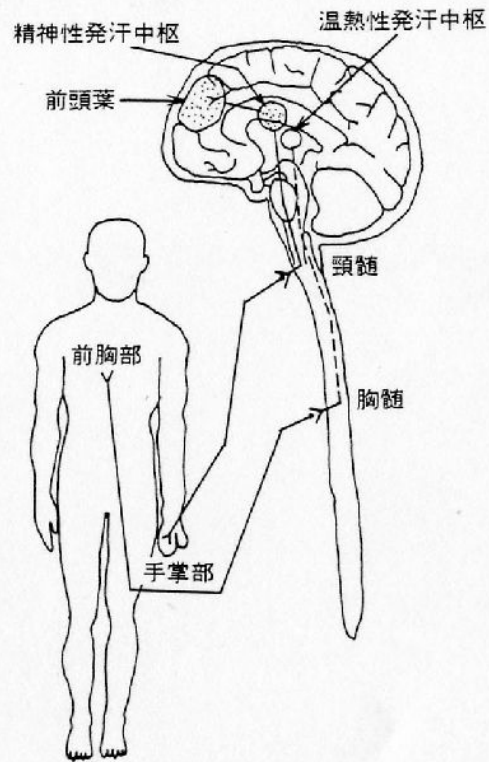
②温熱性発汗

- ・炎天下の歩行や運動したとき体温を下げるための汗
- ・手のひらと足底を除く全身に出現する。

間脳の視床下部の前方部分にある体温調節中枢が熱の産生と放散のコントロールをしています。



発汗



■精神性・温熱性発汗の差異

	精神性発汗	温熱性発汗
発汗部位	手掌・足底部の皮膚	左記以外の全身の皮膚
発汗刺激	精神性刺激	温熱性刺激
発汗量	少ない	多い
発汗潜時	短い	長い

■発汗の検査：主なもの

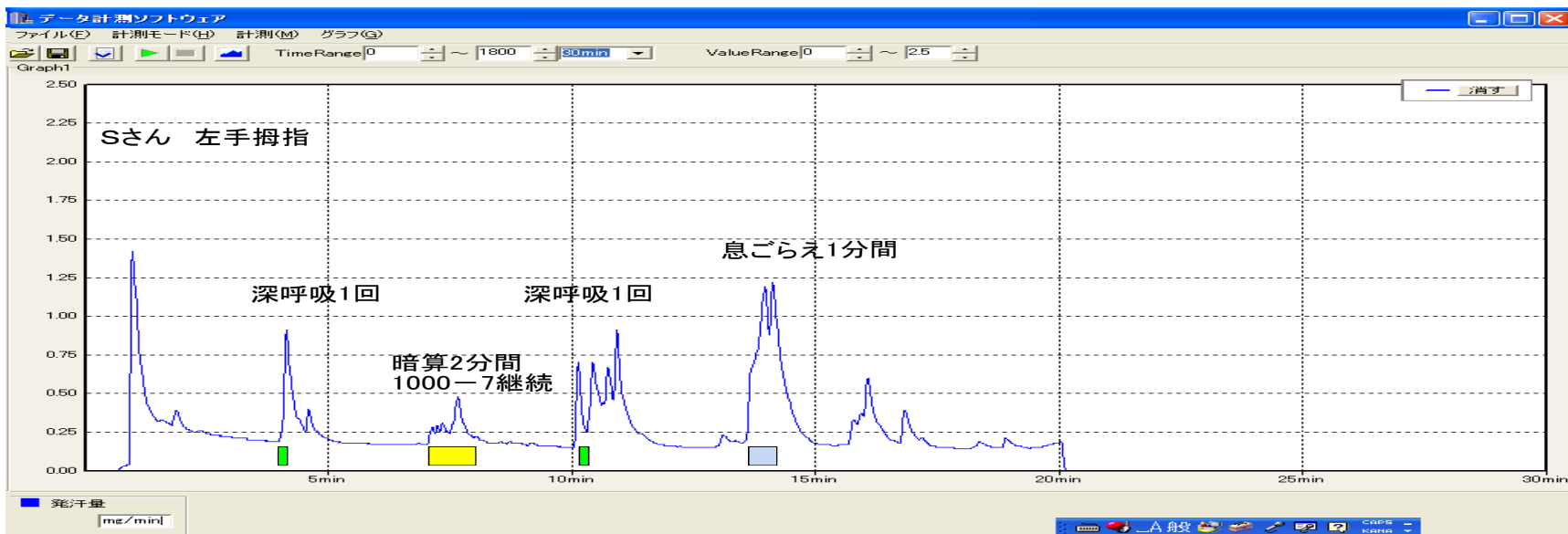
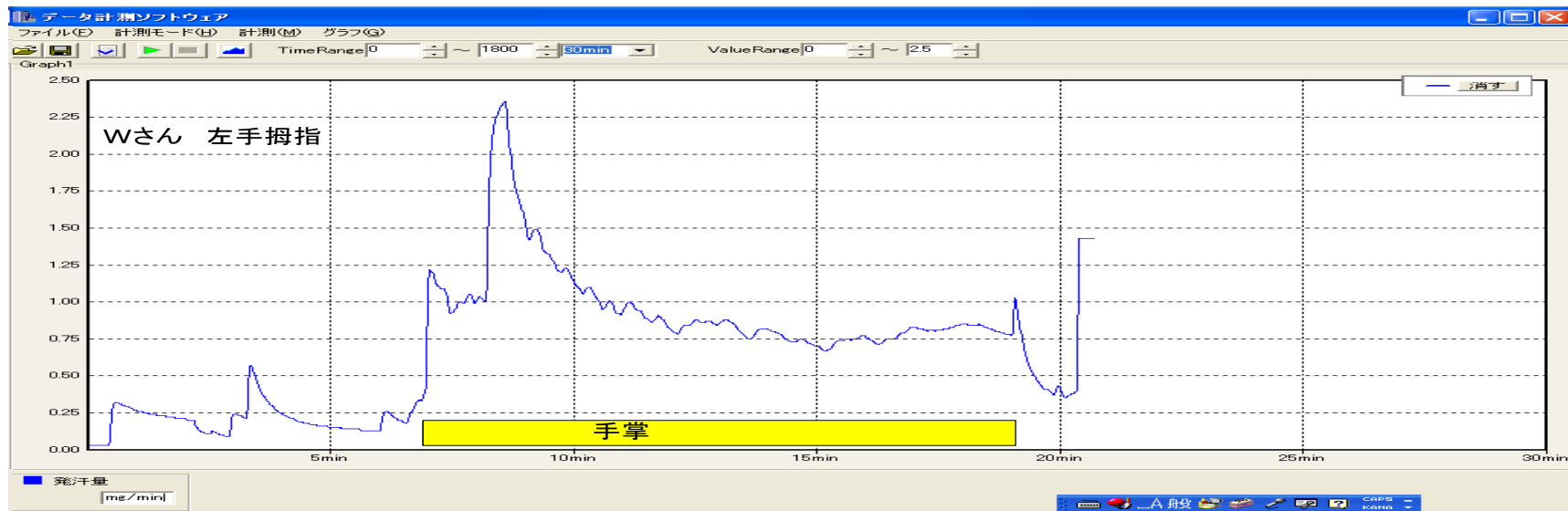
定性的検査：ミノール法、皮膚電気抵抗測定法（GSR）

定量的検査：換気カプセル法、直接カプセル法

文献(2)から引用

(2)発汗計の応用分野

- ①医学：自律神経機能検査，多汗症・無汗症診断，皮膚科領域，麻酔科領域，精神科領域等
- ②心理学：心理（心），気分（気持ち），情動（感情）
- ③被服学：保湿，着心地
- ④運動領域
- ⑤化粧品領域における皮膚蒸散・発汗モニター，経表皮水分喪失量（TEWL）の測定
- ⑥獣医学領域



多汗症患者の発汗量測定例

2. 発汗量の測定法

(1)ヨードでんぷん法

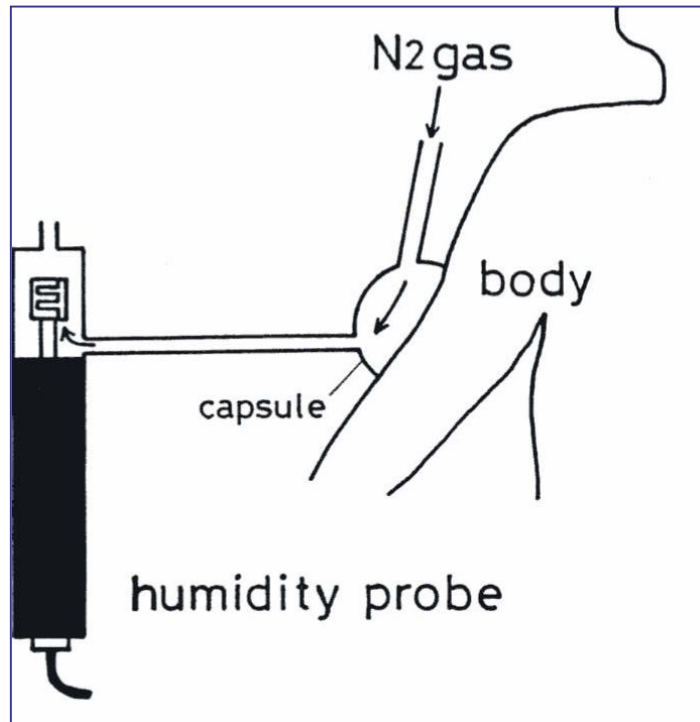
- ①ヨードの無水アルコール液+ヒマシ油を皮膚に一様に塗る。
- ②アルコールが蒸発したらでん粉をむらなくふりかける。
- ③汗が出てぬれてくるとヨード・でんぷん反応がおきて紫色になるのを観察する。

皮膚の広い範囲について汗のよく出るところと出ないところが判別できる。

ヨードでんぶん法による汗の観察

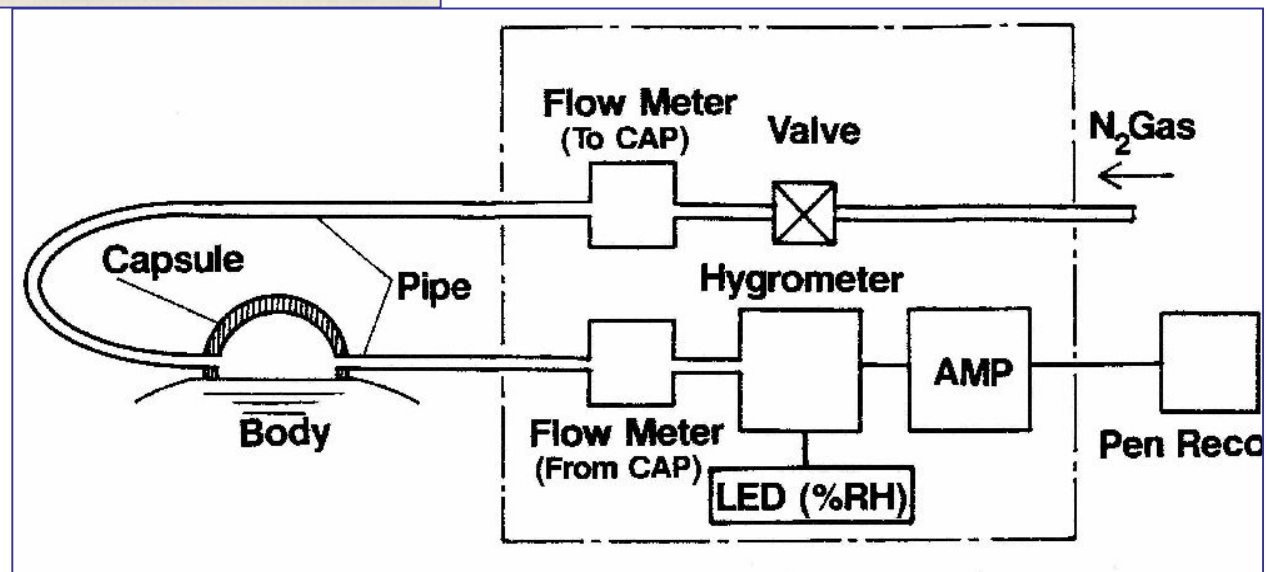


(2) 換気カプセル法



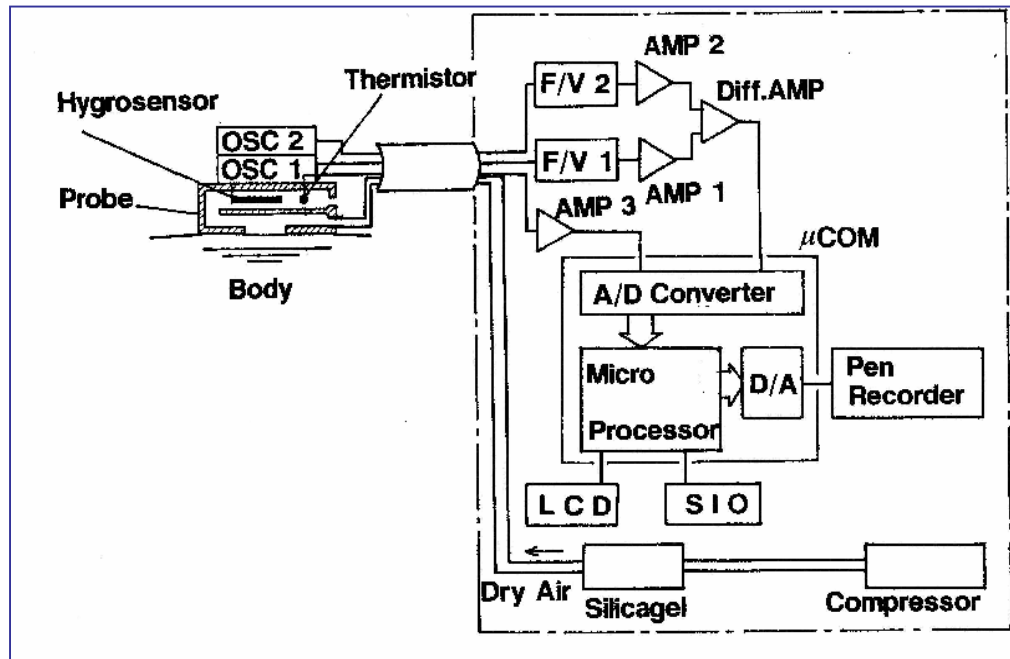
- ・皮膚を覆うカプセルに乾燥ガスを供給し、汗をガスで換気する。汗が出ると換気されたガスの湿度が上昇するので湿度の上昇度を各種の湿度センサを用いて測定する。
- ・連続的に発汗量が測定できる。

ハイドログラフ (株)フォーシオン AMU-3



(3) 直接法

局所発汗量連続記録装置 (株)スズケン Perspiro OSS-100



Kenz 局所発汗量連続記録装置

Perspiro

OSS-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〕

SUZUKEN

(4) 換気カプセル差分法

発汗計 (株)スキノス 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？

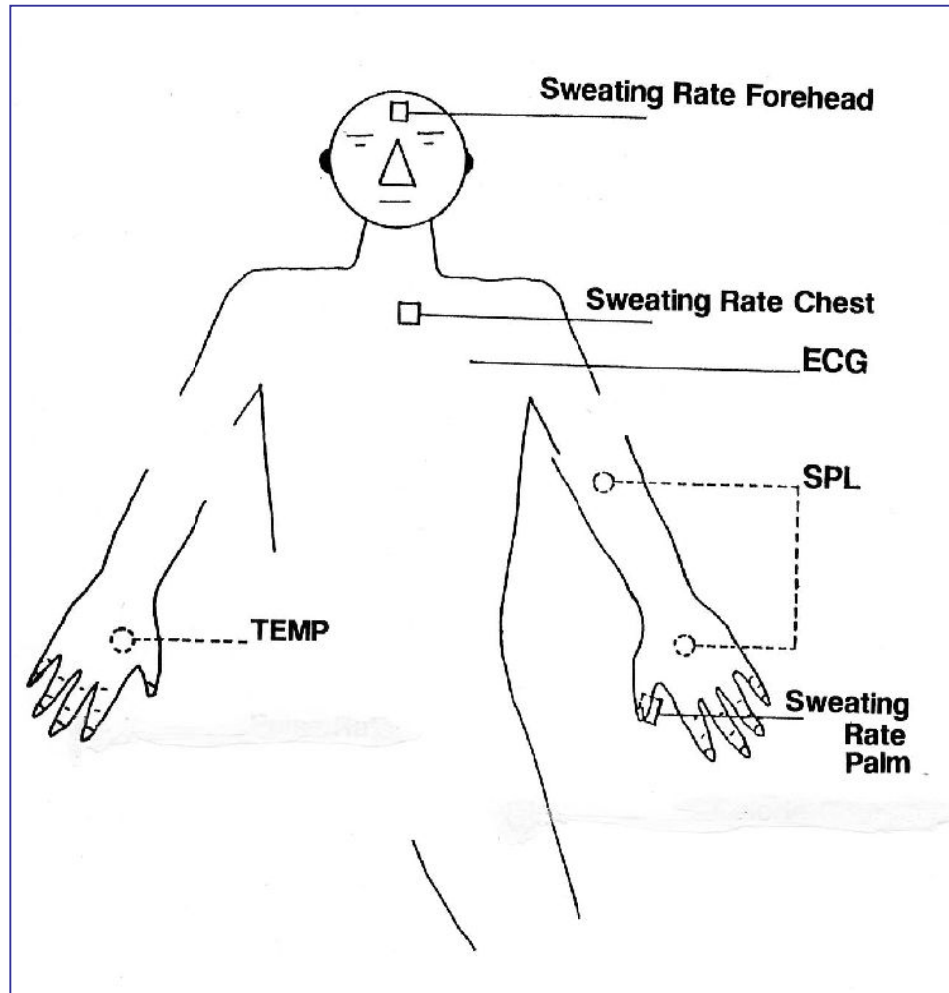
乾燥空気を作る除湿装置やガスボンベが不要で、持ち運び可能な新しい発汗計が登場しました。

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

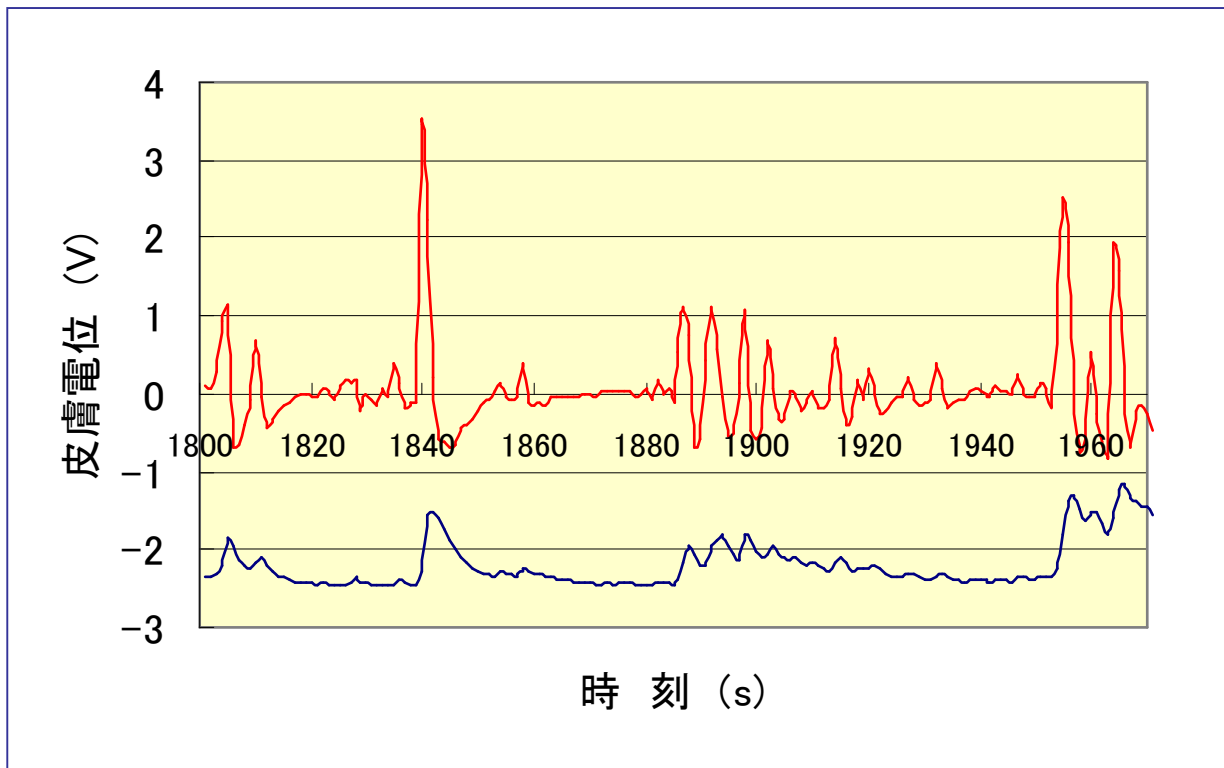
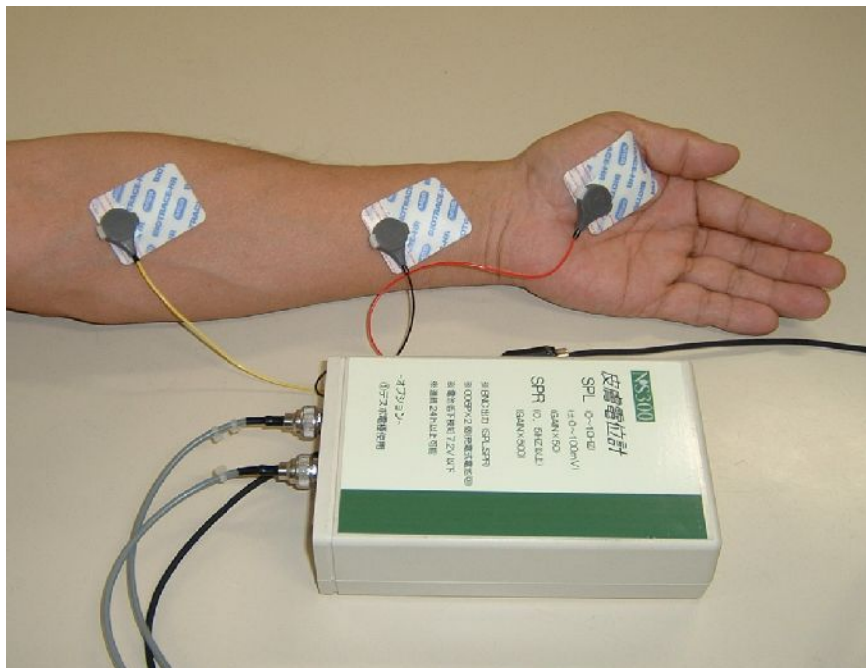


3. 局所発汗量測定装置による精神性、温熱性発汗量の測定

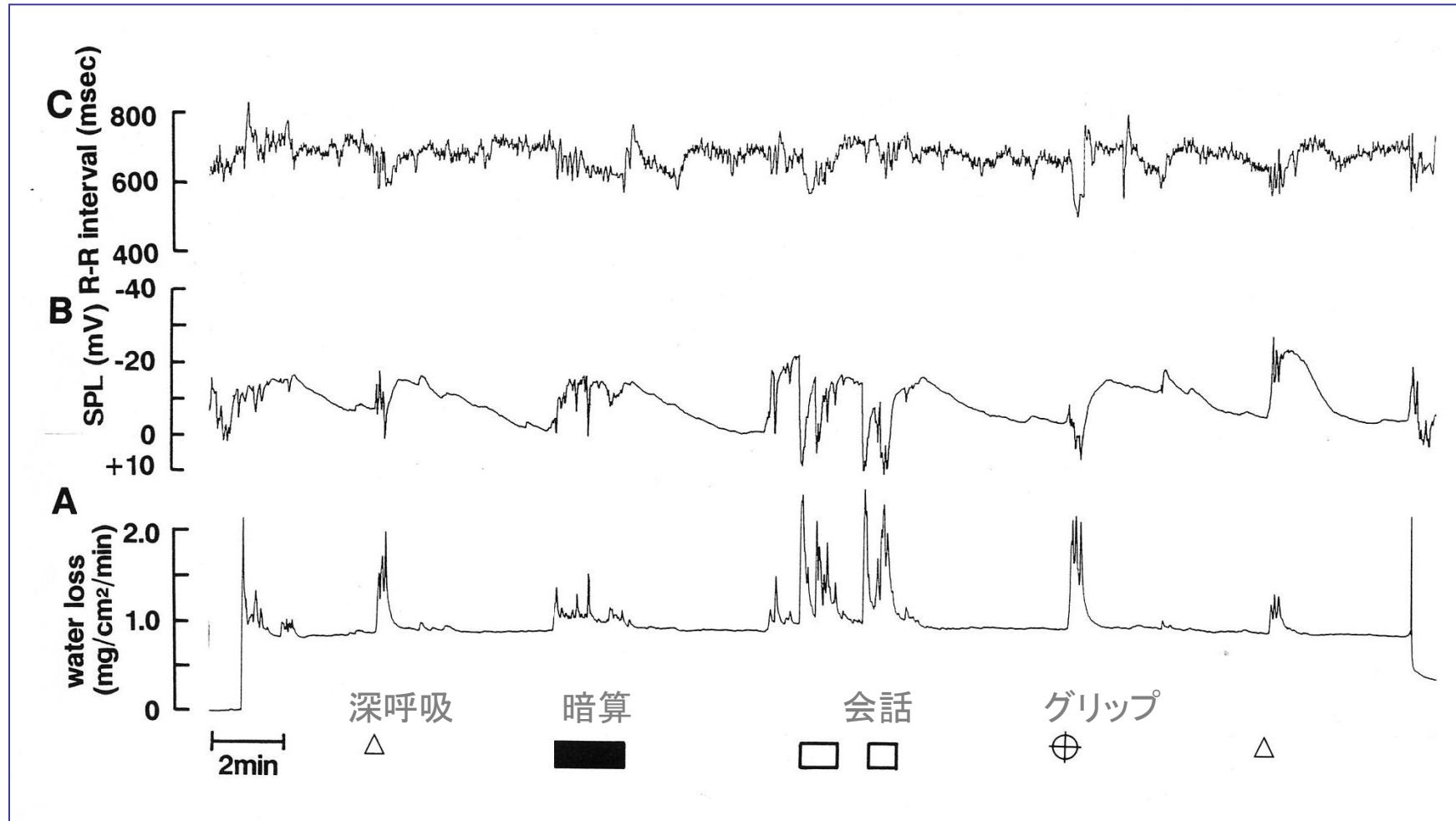


運動時，各種生理学的負荷、睡眠時における発汗量、皮膚電位、心拍数(R-R間隔)等の同時記録を示す。

皮膚電位計による SPL,SPRの測定



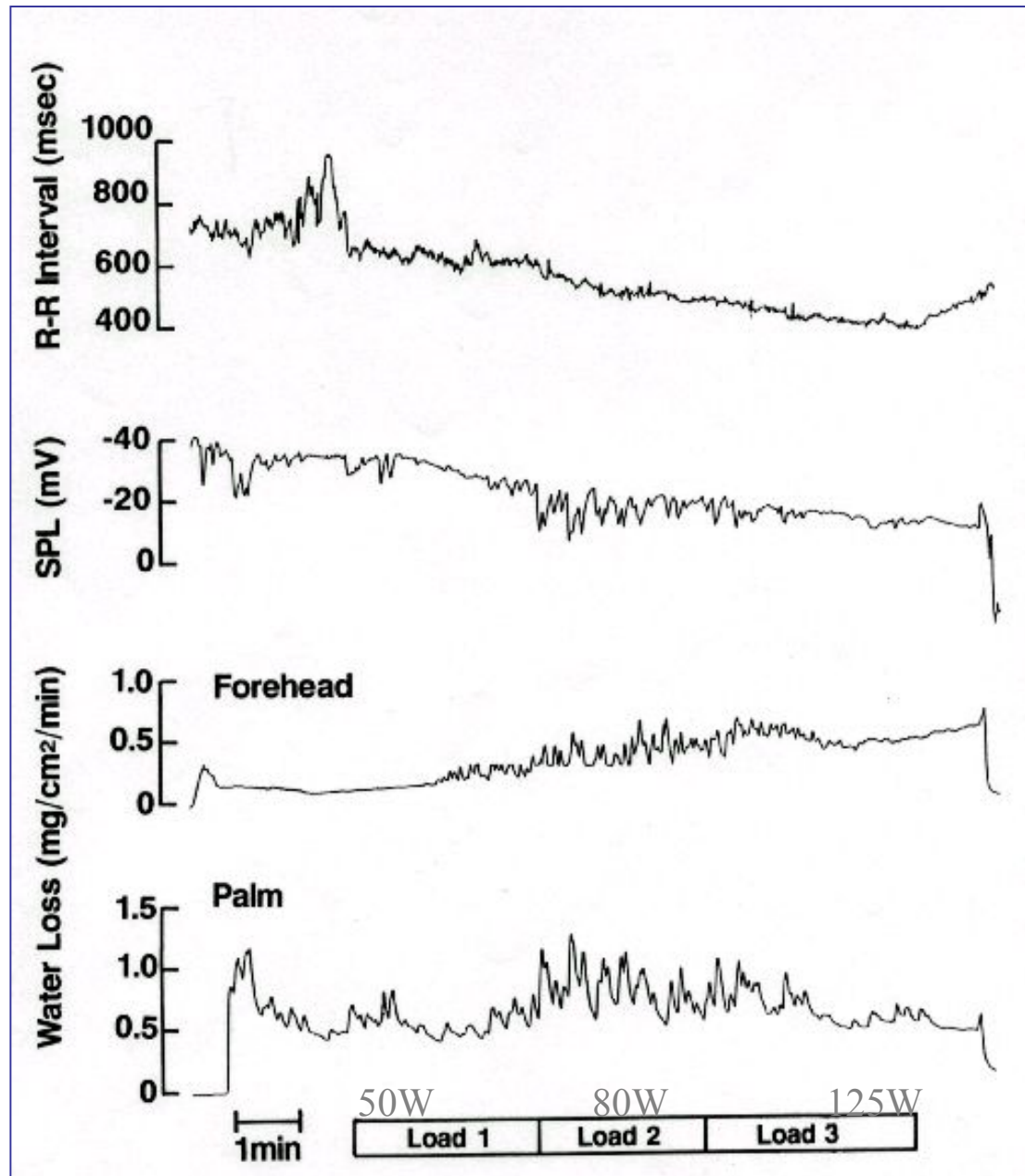
(1) 各種刺激負荷時の発汗量変化



生理学的刺激時におけるR-R間隔、SPL、手掌部発汗量の変化

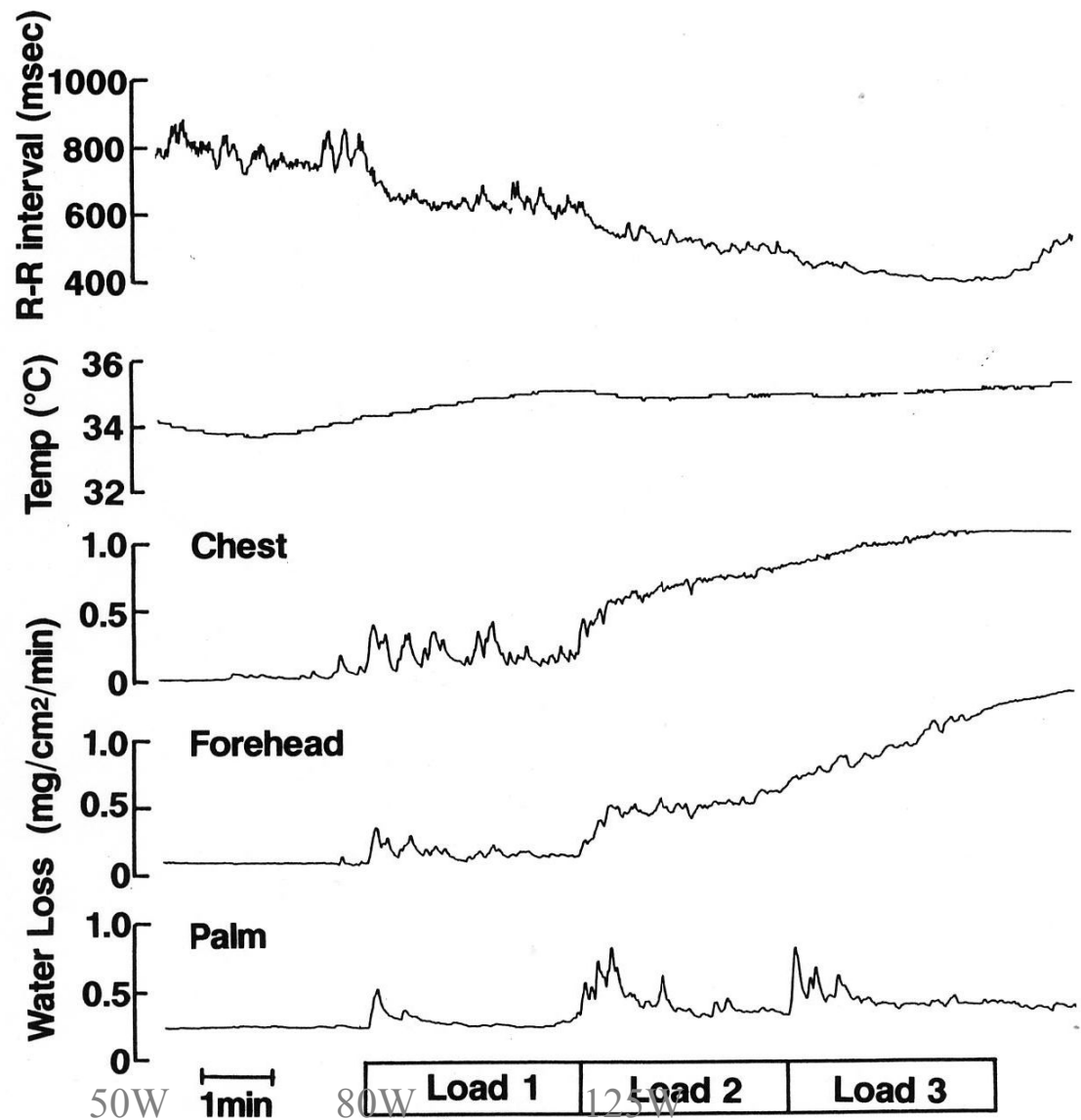
(2) 運動中の 発汗量変化

R-R間隔、皮膚電位、
前額ならびに手掌部
発汗量の測定



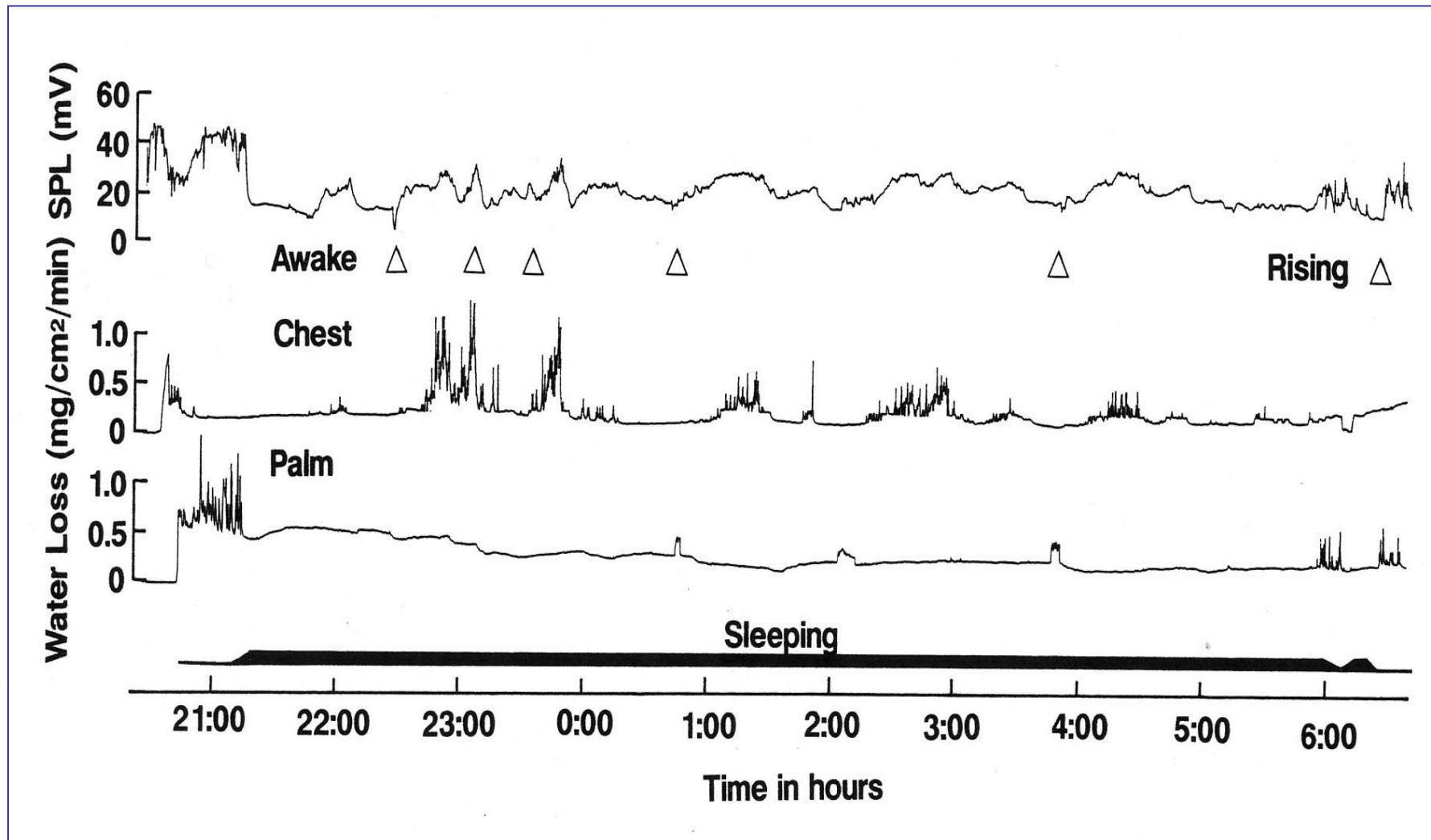
エルゴメータ運動時における各種生体信号の変動(1)

R-R間隔、手掌皮膚温度、前胸部ならびに前額、手掌部発汗量の測定



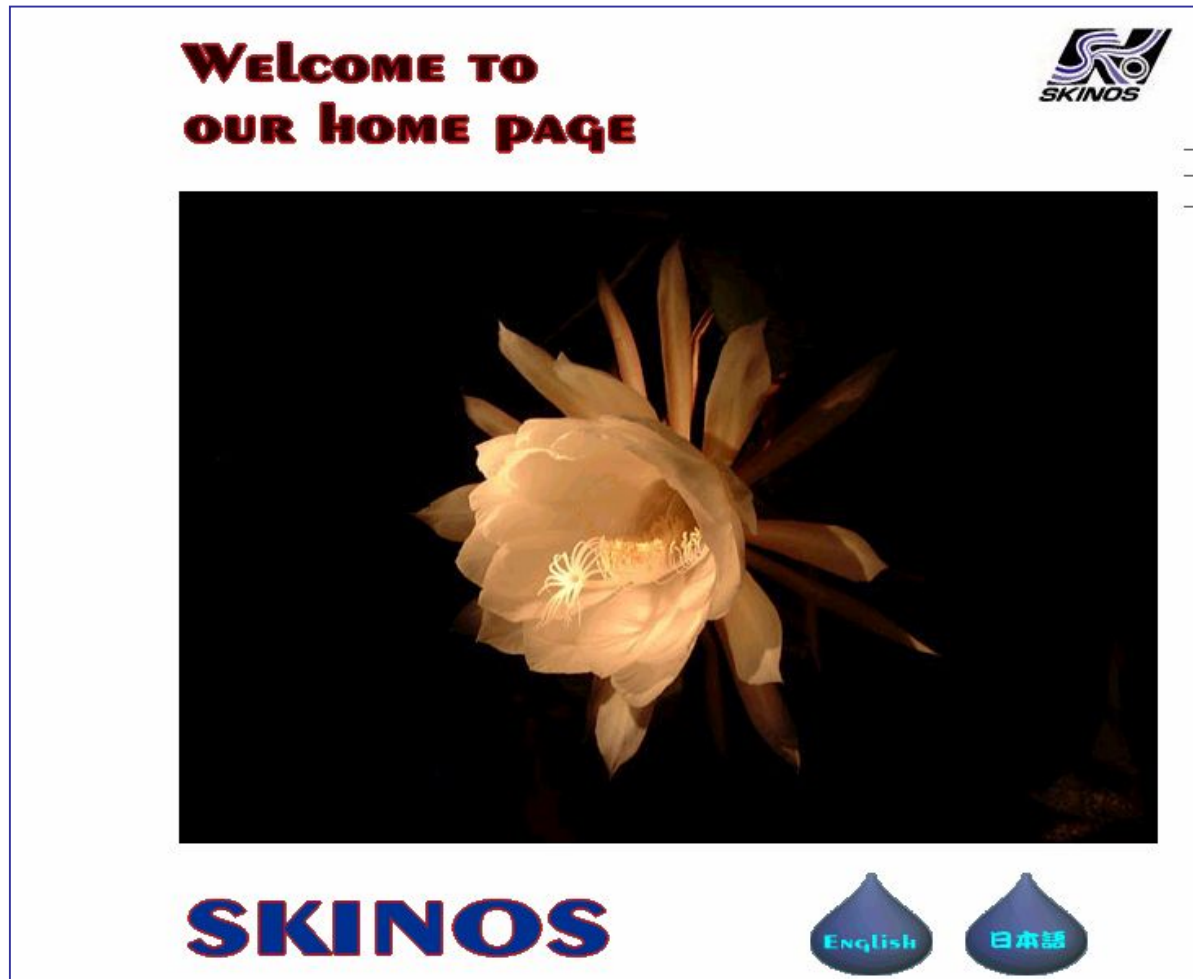
エルゴメータ運動時における各種生体信号の変動(2)

(3) 睡眠中の発汗量変化



睡眠時におけるSPL、前胸部、手掌部発汗の記録

4. 換気カプセル差分法による発汗量の測定

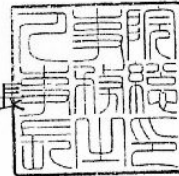


平成10(1998)年9月、発汗計の製造・販売ベンチャー企業、(株)スキノスが設立された。

職 職 - 239
平成12年7月24日

文 部 事 務 次 官 殿

人 事 院 事 務 総 長



役員兼業の承認について（通知）

（対：平成12年7月21日付け野専39第21号）

国家公務員法第103条第3項の規定に基づき、標記の申請を承認したので通知します。

記

- | | |
|----------|------------------------------|
| 1 兼業者 | 坂口 正雄 |
| 2 兼業先企業 | 株式会社 スキノス |
| 3 兼業承認期間 | 平成12年8月 1日から
平成14年6月30日まで |

以 上

平成12(2000)年4月、産業技術強化法が施行され、国家公務員の兼業業務が可能となり、平成12年8月に(株)スキノス取締役(研究成果活用兼業)に就任。

075.15.B

承認番号 21600BZZ00433000

医療用具製造承認書

氏名又は名称 株式会社 スキノス

平成16年 2月10日付けで申請のあった
医療用具 の製造を薬事法（昭和35年法律第145
号）第14条第1項の規定により、申請のとおり
承認する。

平成16年 9月 2日

厚生労働大臣 坂 口



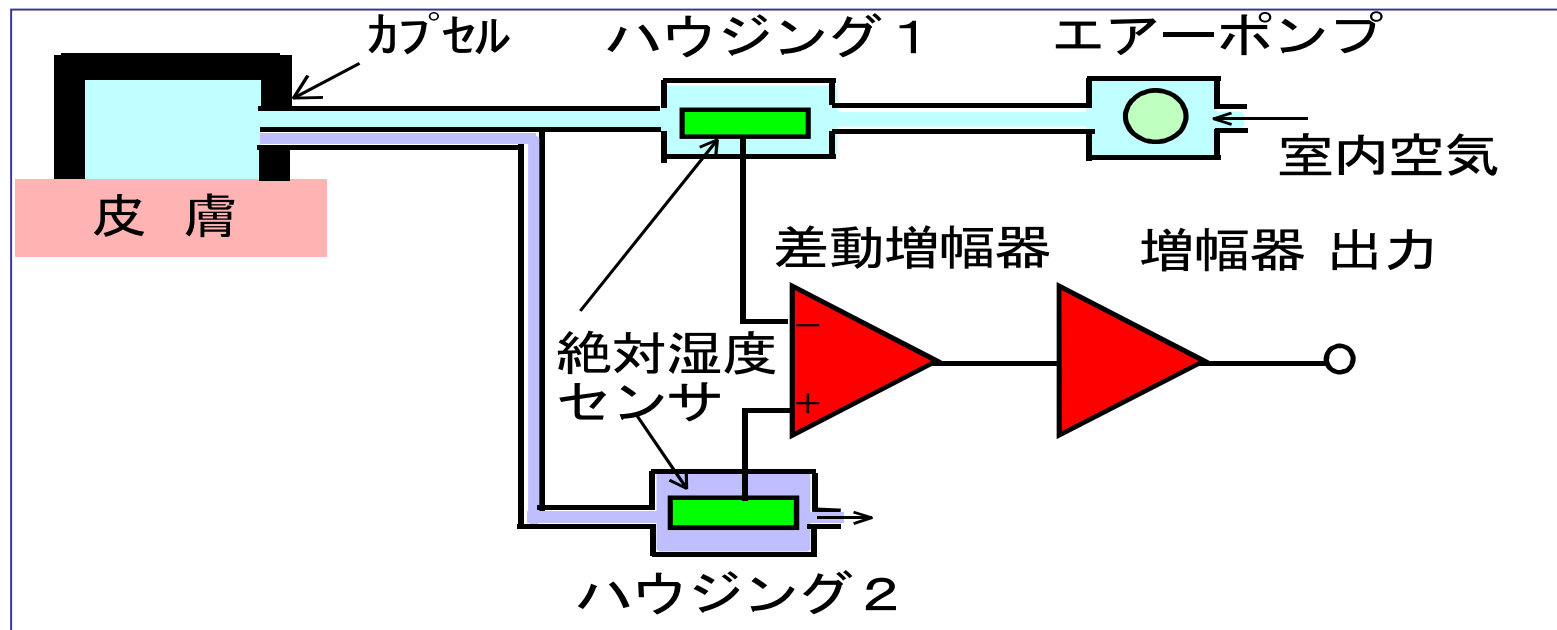
医療用具製造承認
平成16年9月2日

(1) 発汗量測定原理

特願平11-237414

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。



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



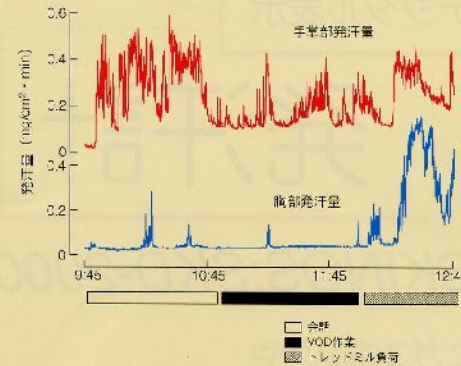
●低価格・高性能の
SKD-2000 新登場



株式会社 スキノス

発汗測定の実用例

日常生活における発汗現象の部位差



夏の日中、AM9:45頃から12:45頃までの日常生活における左手拇指および胸部の発汗量をSKD-2000を用いて同時測定した結果です。

SKD-2000を用いればこのような発汗波形を測定できるとともに、パーソナルコンピュータとオプションの解析ソフトウェアを利用すれば、以下のような発汗量のデジタル計測が可能です。

- 発汗量の定量測定
- 異なる部位間の発汗量差
- 基礎発汗量
- 最大発汗量

装置仕様

出力感度	0.1mg/cm ² ・min
窓面積	1.0cm ² または0.5cm ²
チャンネル数	2チャンネル
検出プローブ長	1.2m
空気流量	200ml/min
表示	LCDパネル・デジタル表示
出力	アナログ出力・2チャンネル：0~1V
検出方法	差分方式・換気カプセル法
使用温度範囲	10~40℃：推奨温度25℃
使用湿度範囲	30~80%RH：推奨湿度60%RH
電源	単一アルカリ乾電池2個/ACアダプタ
寸法	W×D×H(240×210×80)：単位mm
重量	2.5kg：乾電池装着時

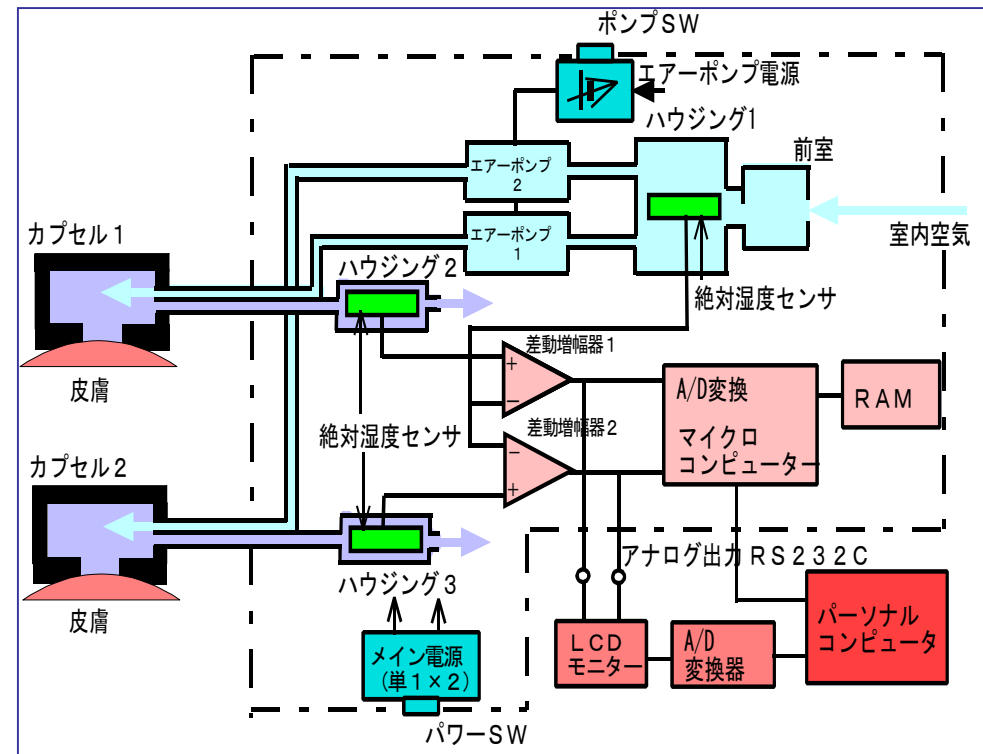
※オプションとしてACアダプタ、レコーダやパーソナルコンピュータによるデータ処理に必要なハード・ソフトの御提供ができます。また、検出プローブ長やカプセル形状についても御相談に応じます。
※特許出願中

製造発売元 株式会社スキノス
〒464-0075
愛知県名古屋市中区山3-8-16 大脚ビル5F
TEL/052(735)0591 FAX/052(735)0598
E-mail info@skinos.co.jp
URL http://www.skinos.co.jp

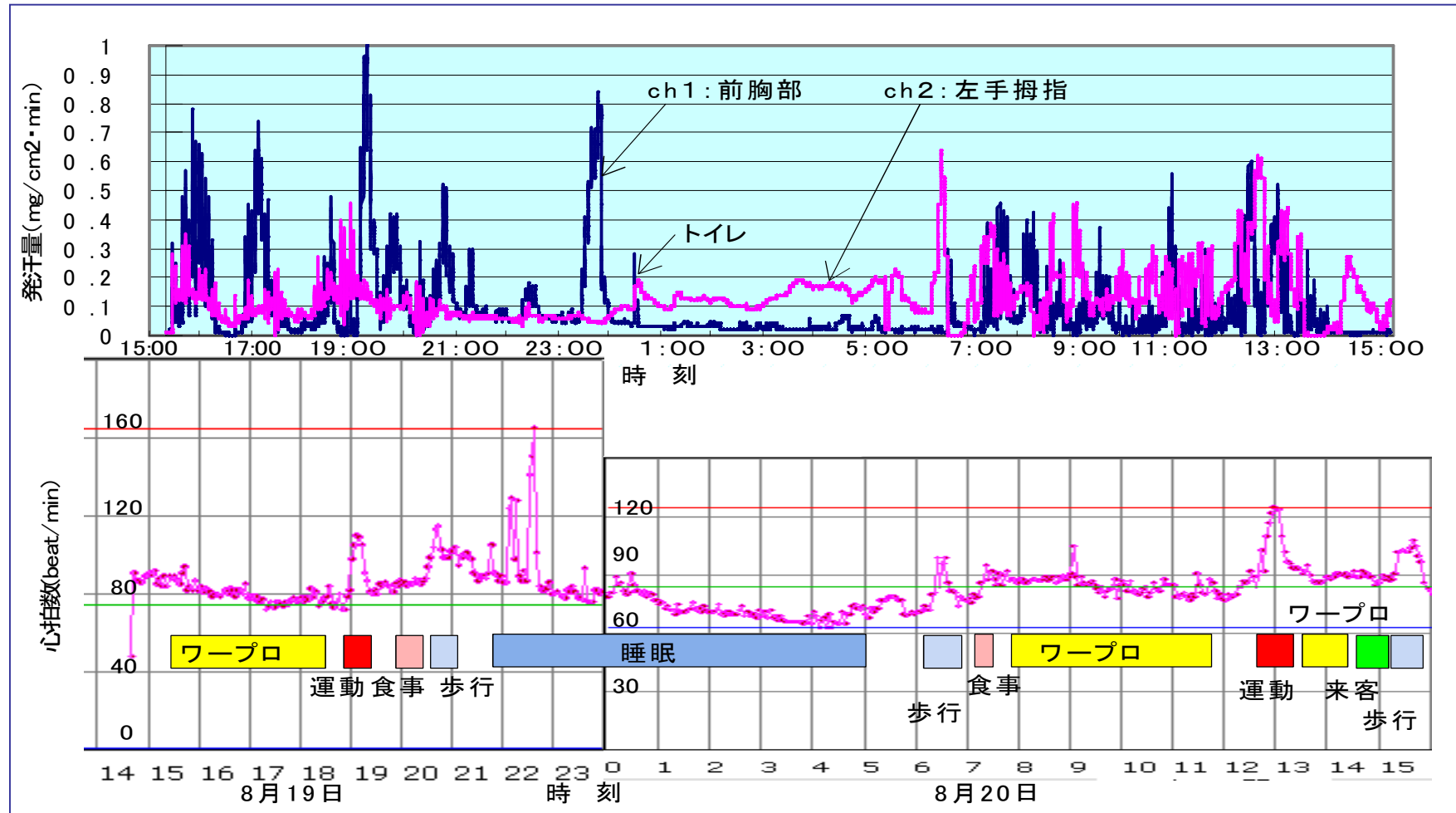
販売代理店

関東営業所
〒340-0101
埼玉県蓮田市大字黒浜3625-20
TEL&FAX/048(769)1782

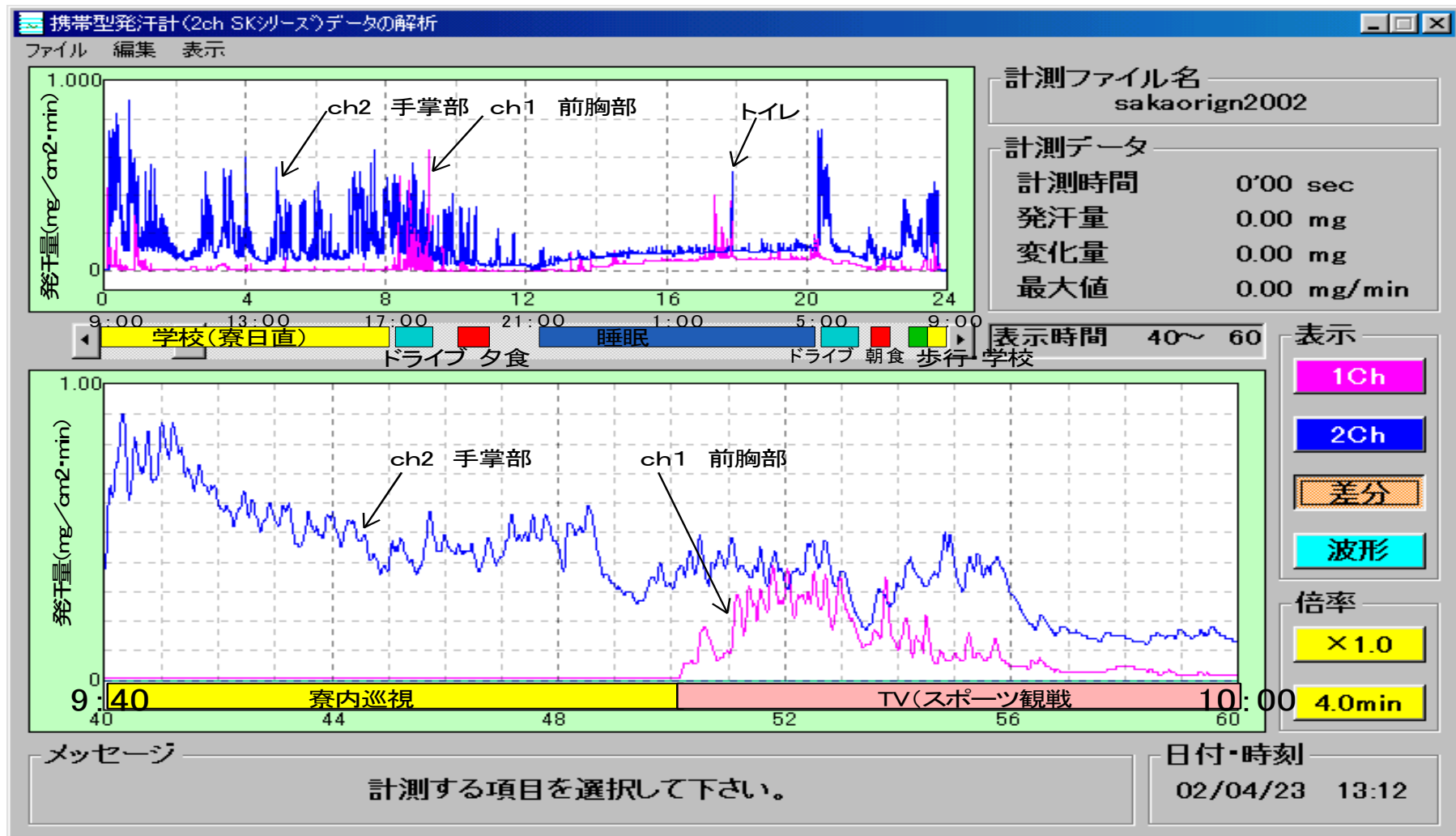
携帯型発汗計SKK-2000



(2) 日常生活下の精神性ならびに温熱性発汗量の記録

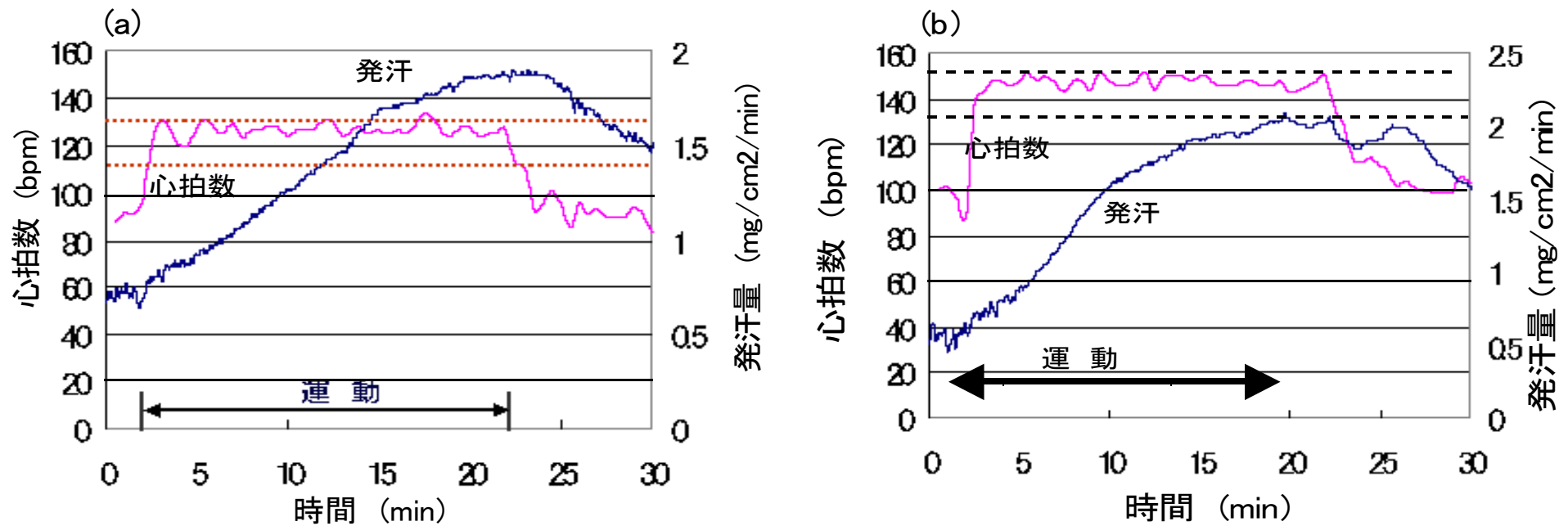


前胸部、手掌部発汗と心拍数の24時間計測
(心拍数の記録は自作装置による)

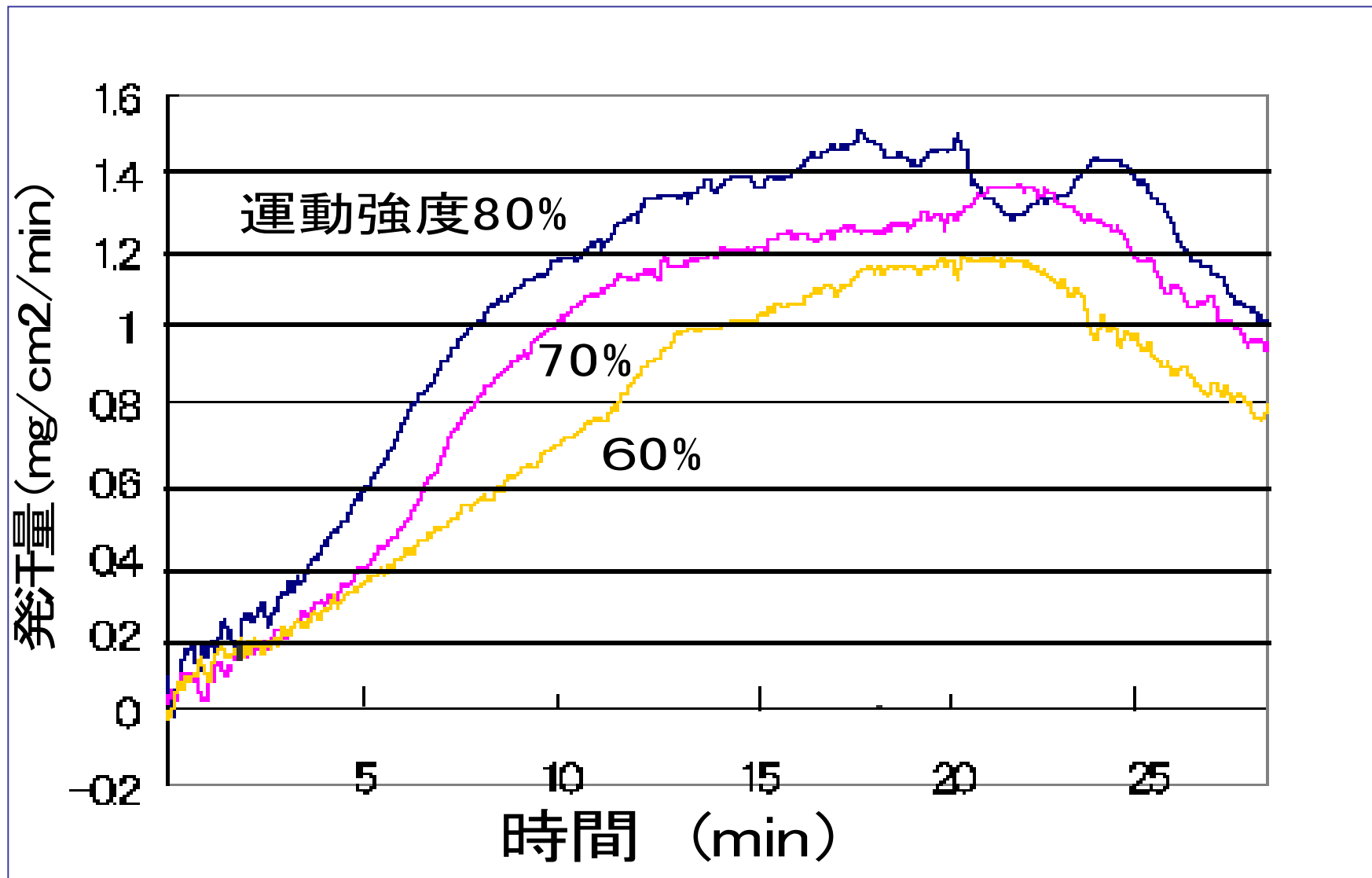


上段の図から、午前9時から午後5時までの寮当直勤務中は手掌部の精神性発汗が絶えず惹起しているが胸部の温熱性発汗はほとんど認められない。寮内巡視の運動直後や約2時間の自動車運転中に前胸部発汗が認められる。睡眠中は前胸部、手掌部ともに発汗は抑制されているが午前2時45分頃トイレに起きる直前に前胸部発汗が生じ、起立、歩行動作により前胸部、手掌とも発汗が認められる。

(3) 運動強度(心拍数)変化時における前胸部発汗量の測定



21歳男子学生のステップ運動負荷時の心拍数と前胸部発汗量変化
(a)運動強度60% (b)運動強度80%

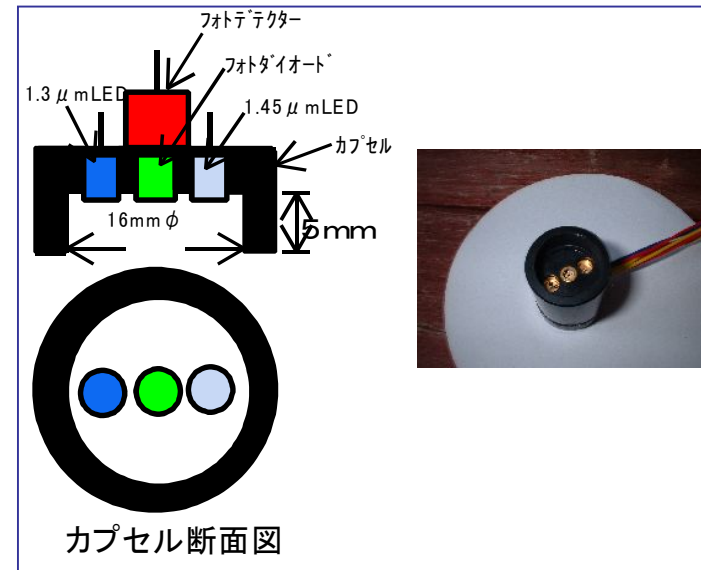
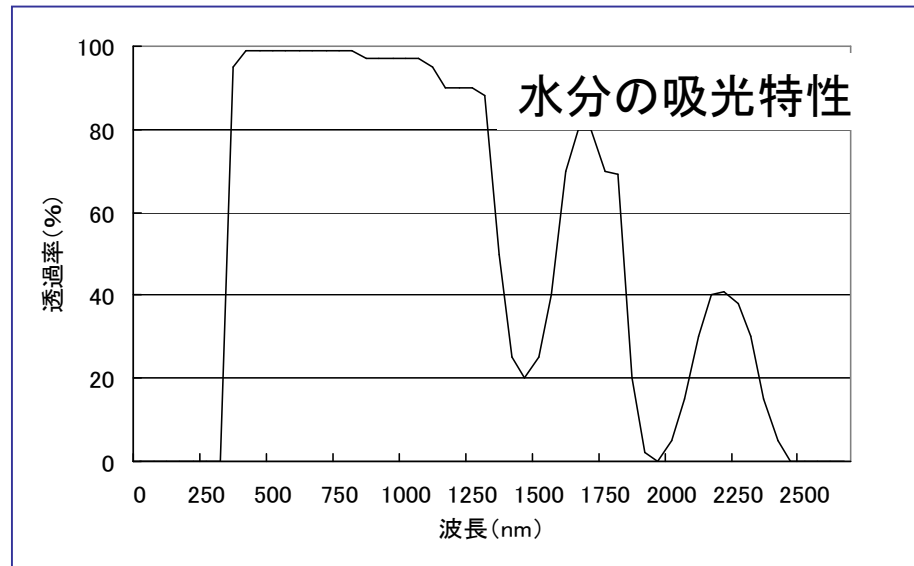


各運動強度における胸部発汗量の変化(21歳男子学生)

5. 光学水分計とその応用

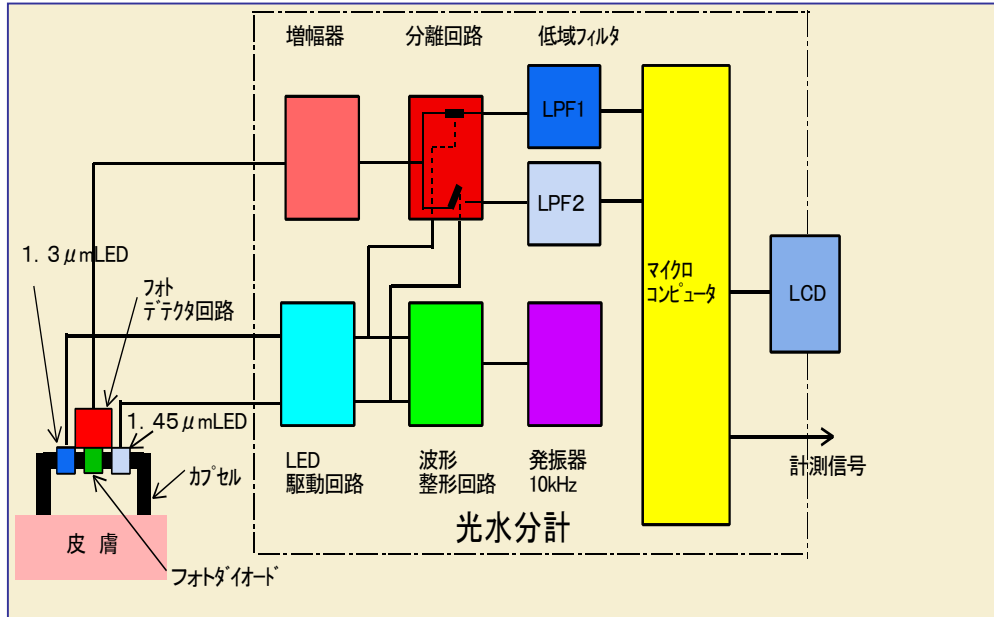
(1) 光学的水分計測の原理

カプセルの内部空間の上方から被測定対象に水分子吸収波長と吸収されない波長の2種の単色光を照射してその反射光を受光後、各波長における反射吸光度の比較から水分量が計測できる光学的水分計を開発した。

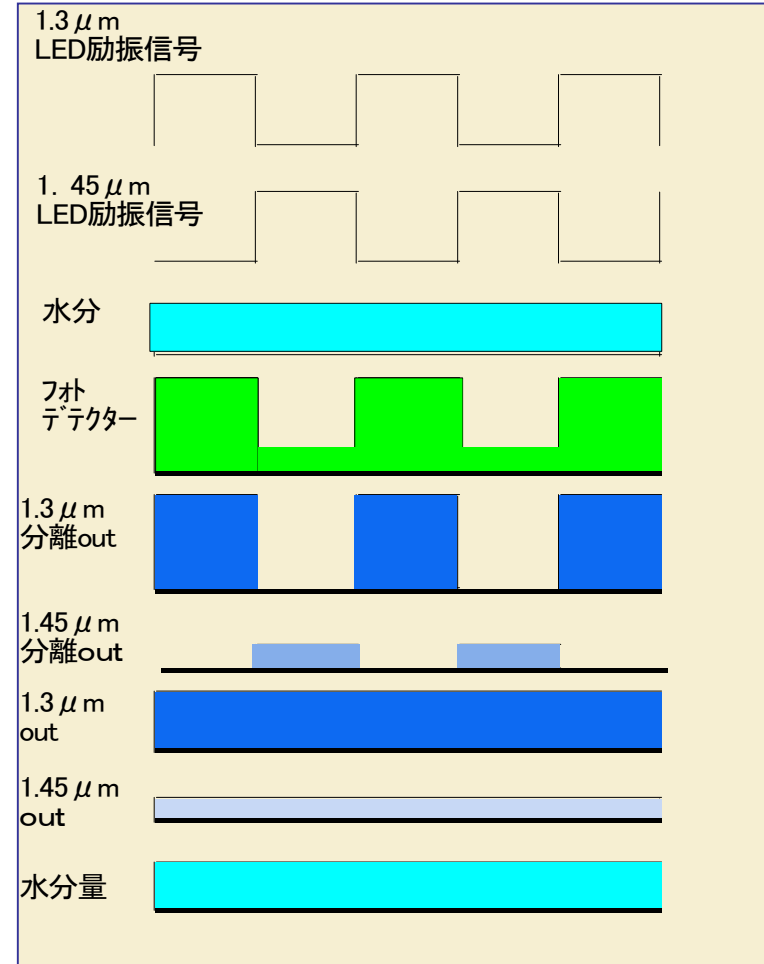


水は1.45 μ mと1.9 μ m近傍の赤外光において透過率が減少している。

(2) 皮下に存在する水分(皮下水分)の測定



光学的皮膚水分計のブロック図

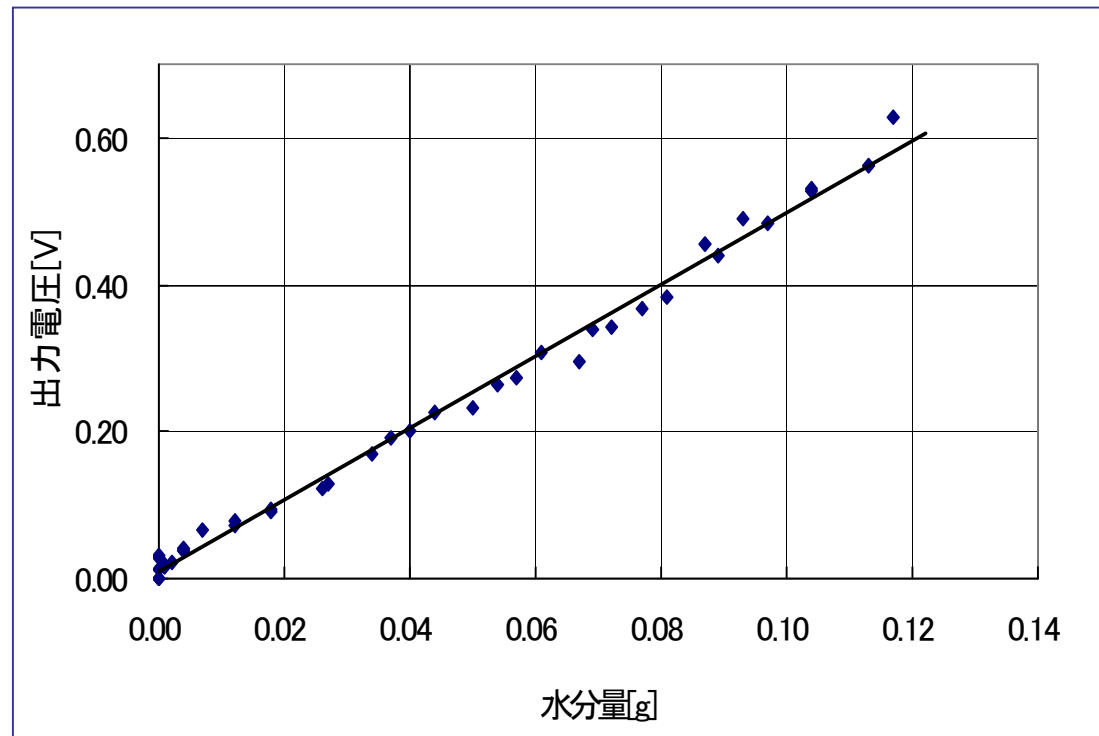
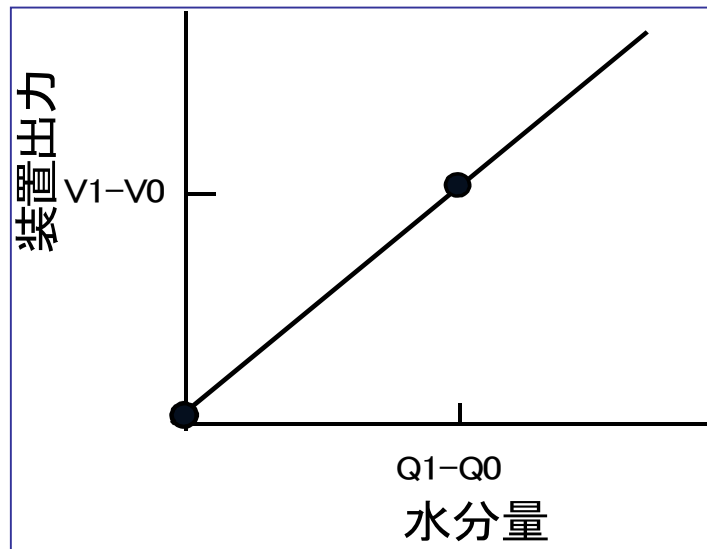


試作装置概観写真

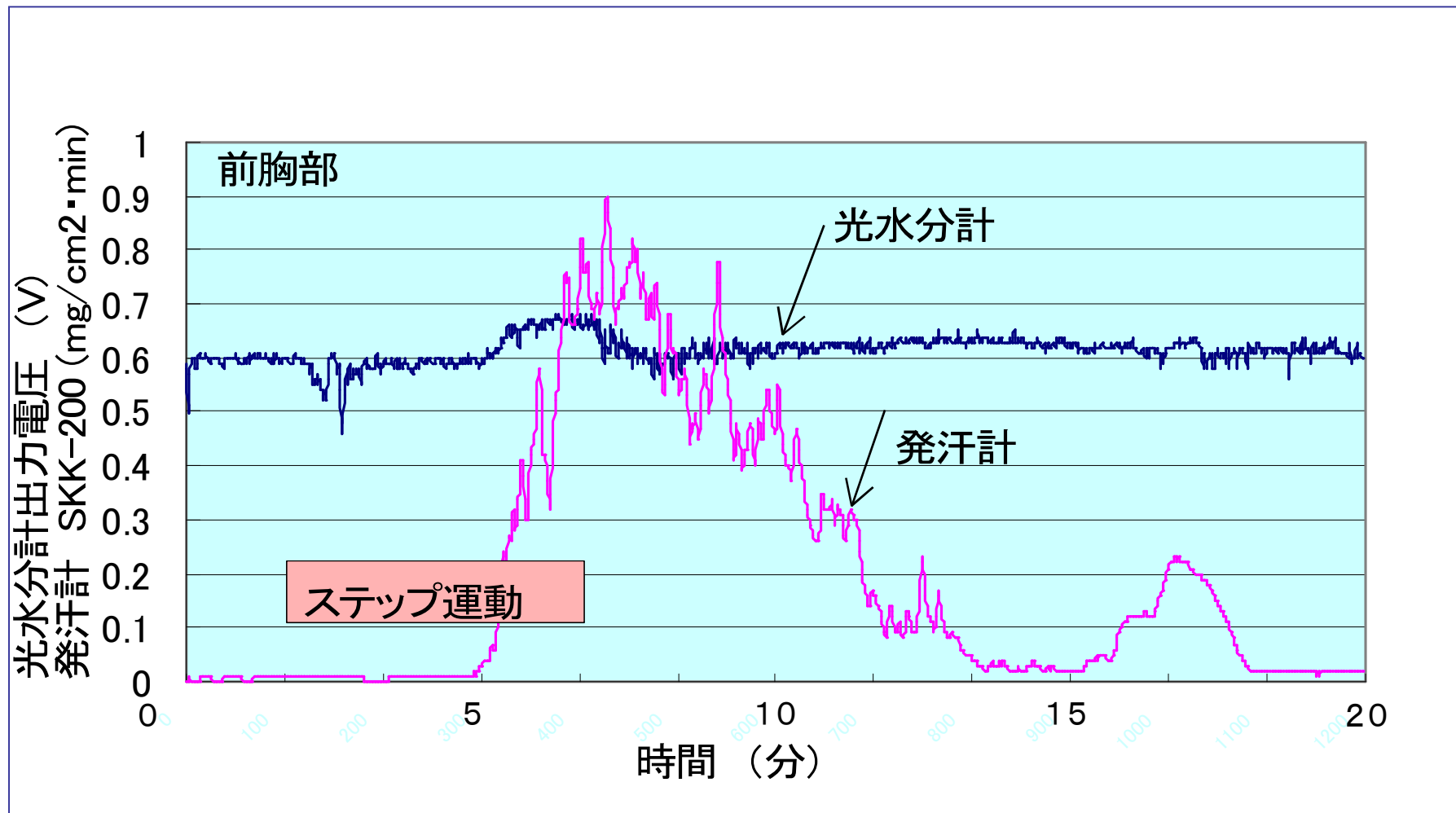
動作を示すタイムチャート

装置の目盛り校正法

1. 円形ろ紙(直径18mm)の乾燥状態の質量を測定: Q_0
2. 1のろ紙上にカプセル置いたときの装置出力電圧: V_0
3. ろ紙に水分を含ませた後の質量を測定: Q_1
4. 3のろ紙上にカプセルを置いたときの装置出力電圧: V_1
5. 水分量 $Q_1 - Q_0$ の装置出力電圧は $V_1 - V_0$



光学的皮膚水分計の出力特性

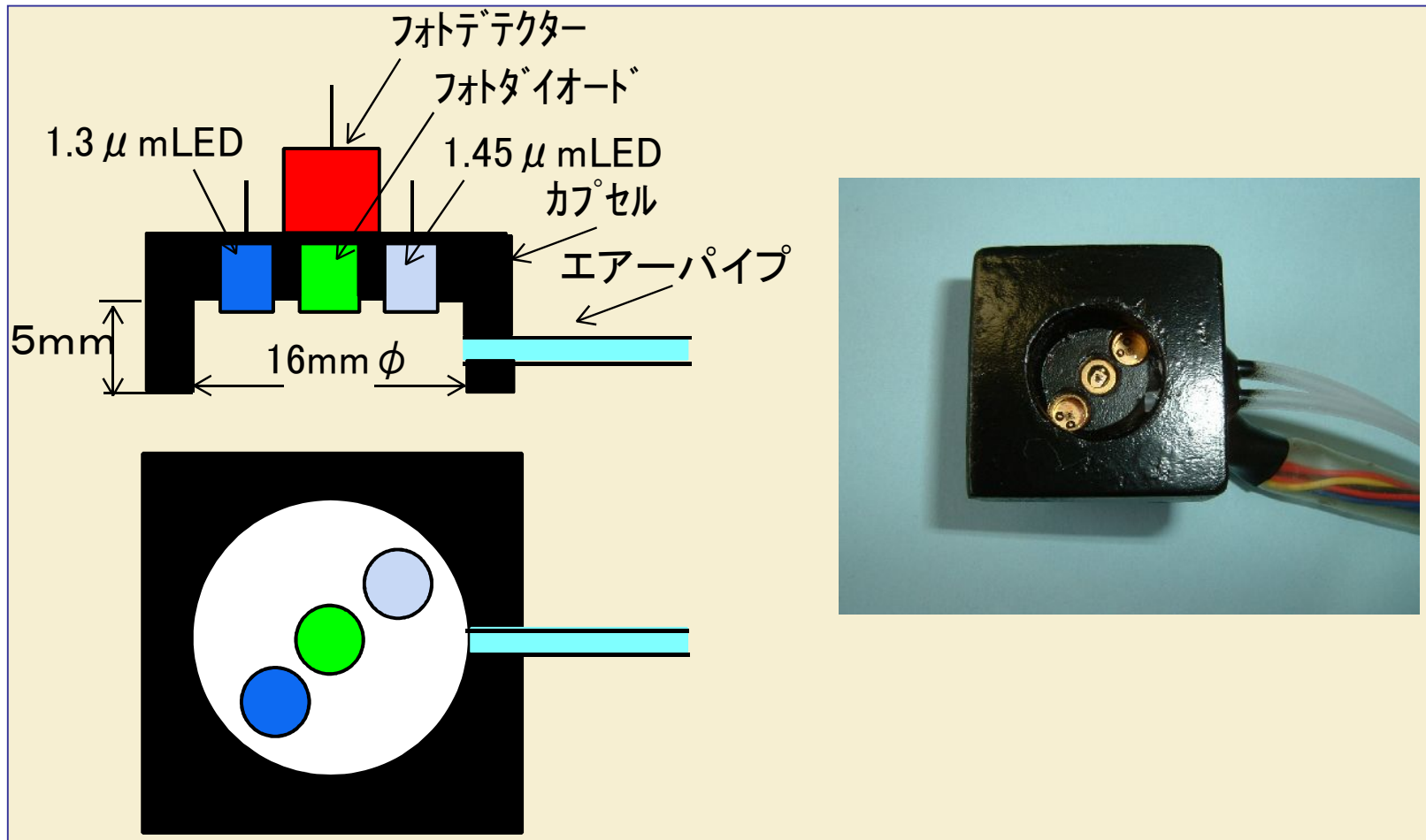


ステップ運動時の胸部発汗量 (SKK2000) と皮膚水分量 (光水分計) の同時測定

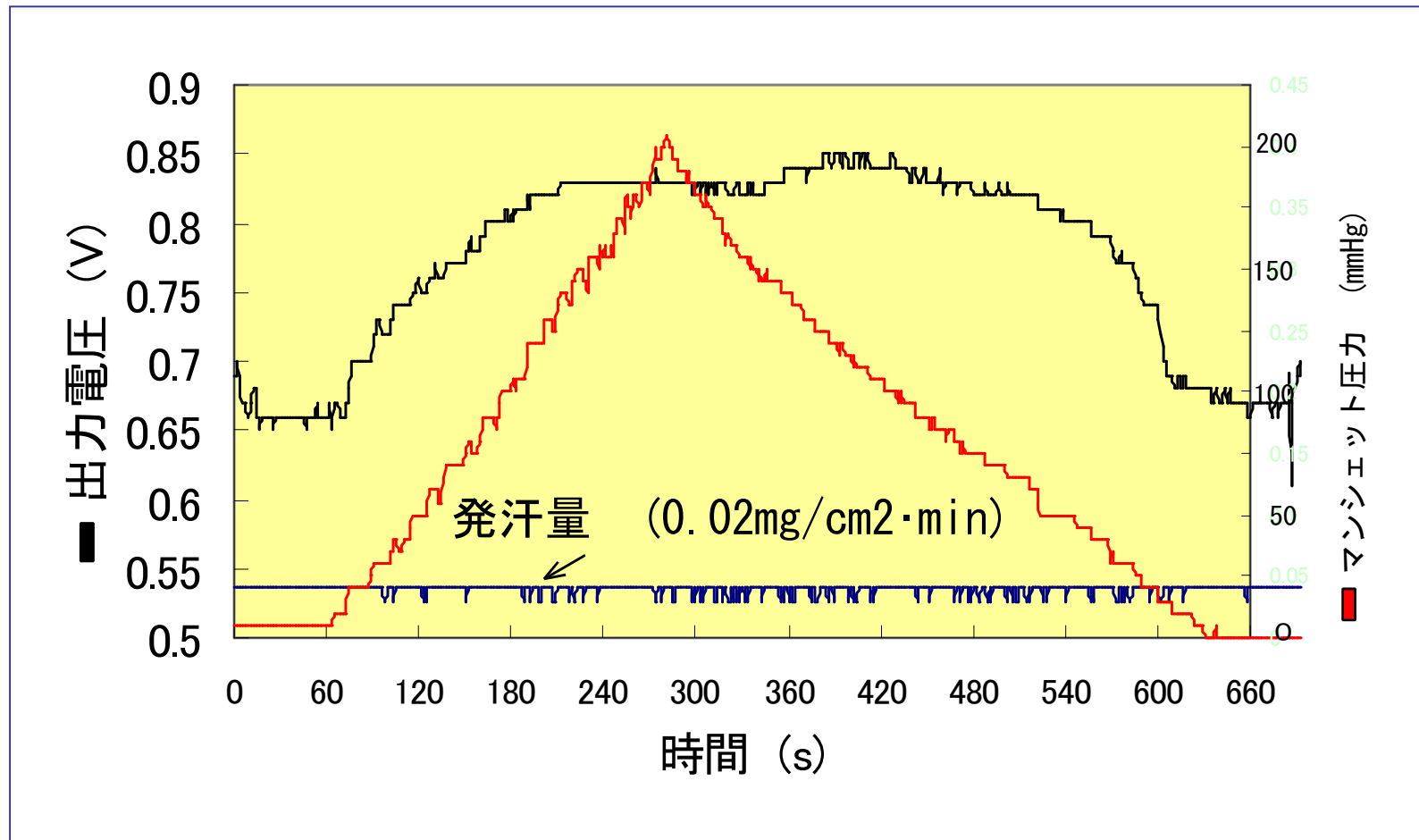
(3) 皮下水分・皮膚蒸散水分量同時計測装置

- (1) 水分子の吸収スペクトルのピークに一致する $1.45\ \mu\text{m}$ と吸収スペクトルが一致しない $1.3\ \mu\text{m}$ の2種の波長の反射吸光度を比較して皮下水分を計測する皮膚水分計を開発した。
- (2) 光素子設置カプセルに空気を供給、排出パイプを装着して発汗計の換気カプセルを形成し、皮下水分と同一個所の発汗量を同時計測できるようにした。

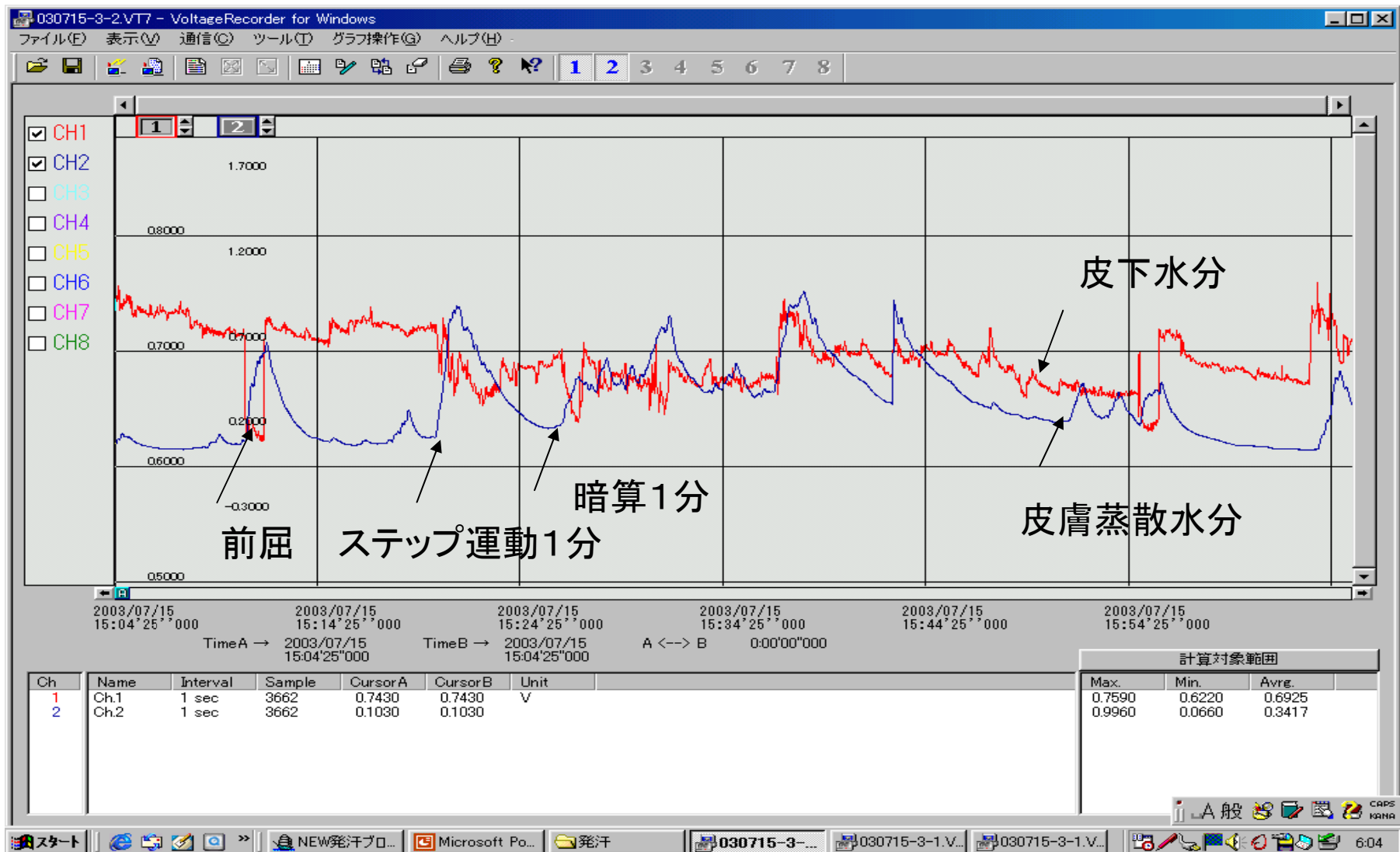
特願2002-271880



カプセルの構造と概観



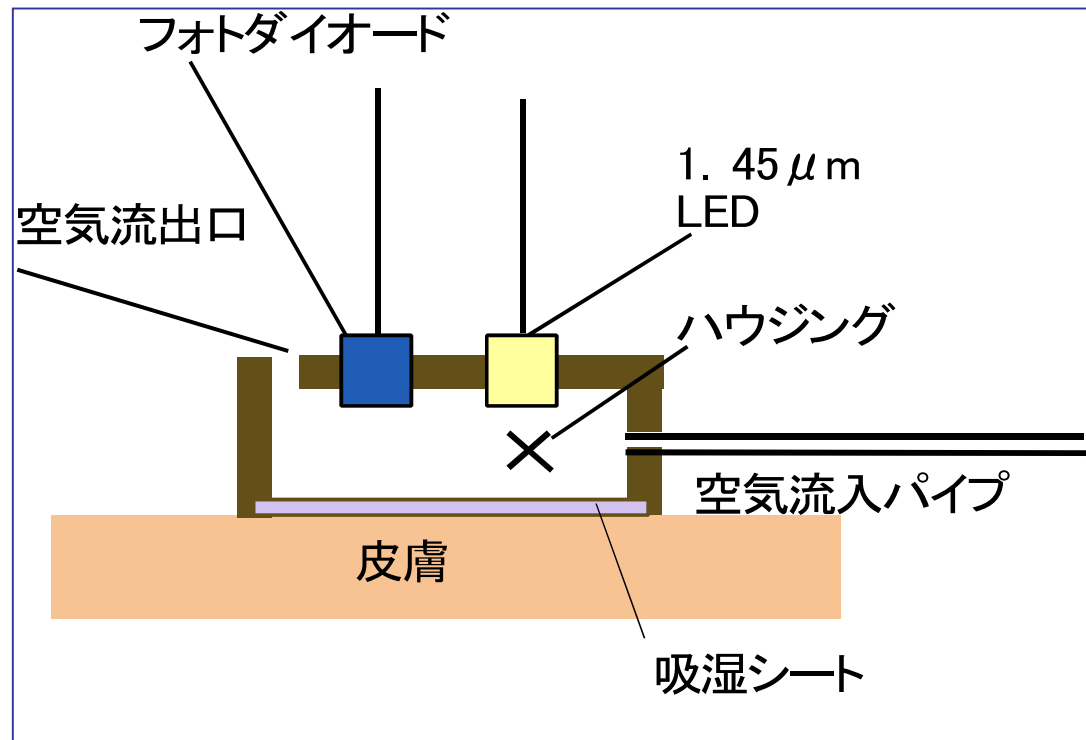
マンシエツト圧力を約30mmHgに加圧すると、先ず静脈が閉鎖されて静脈血液がたまり始め、次いで125mmHg程度で動脈が閉鎖されて血液の出入りが無くなり、測定部位の血液量が飽和する。200mmHgをピークに圧下降させると約140～130mmHgで動脈が開いて血液が送り込まれて血液量が増加する。さらに下降させると70mmHgほどで静脈も開いて加圧前の状態に戻っていく。一方、換気法による水分量は0.3mg/cm²・minの皮膚湿分が観測されたものの変化はしなかった。



前額中央部における皮下水分と皮膚蒸散水分の同時測定

(4) 光学発汗計による多量な発汗の測定

汗が浸透したシート（合成繊維）に近赤外領域の特定波長光を照射・受光して多量な発汗量を簡便に測定できる光学発汗計を開発した。



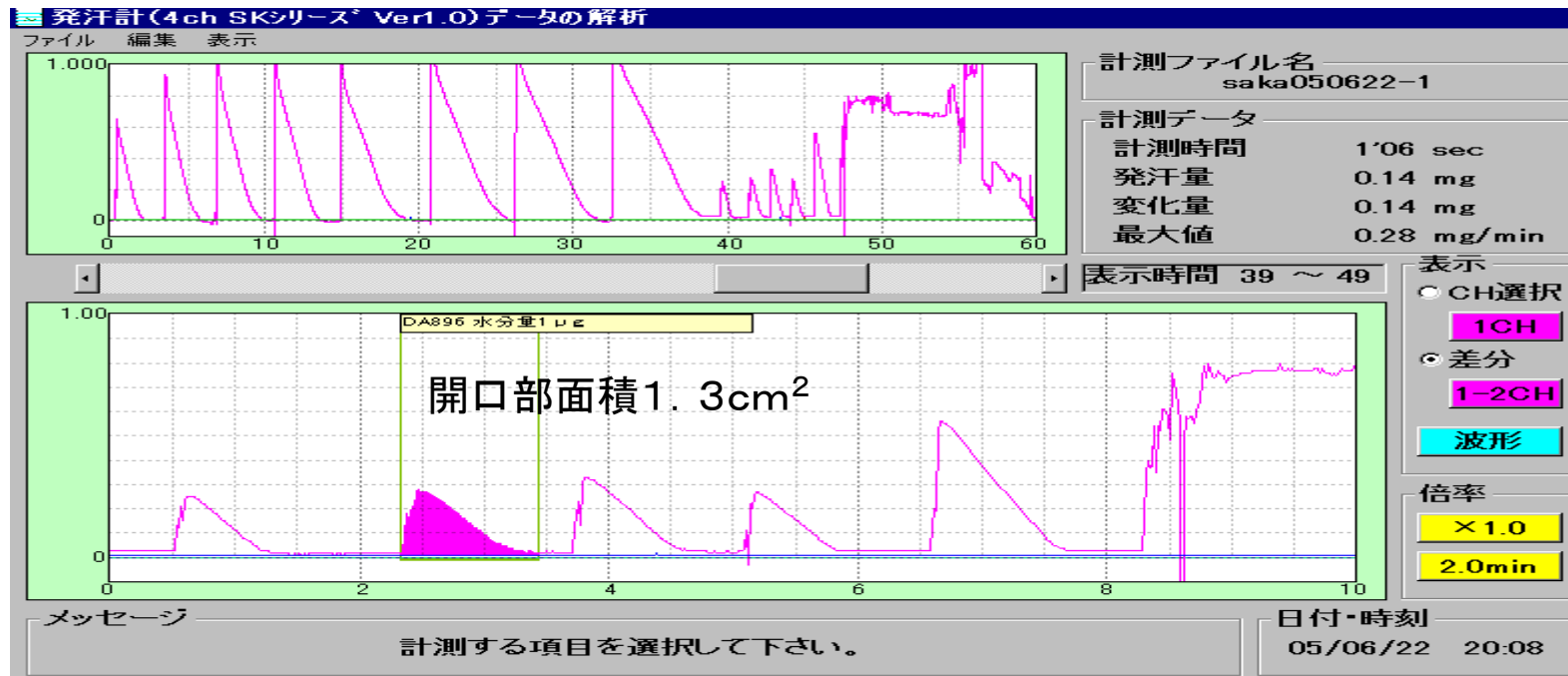
(特許：特願2005-124462 出願人 独立行政法人 国立高等専門学校機構、発明者 坂口正雄)

吸湿シートの評価



マイクロシリンジによる一定量の水滴をシートに吸湿させて発汗量解析ソフトにより計測。

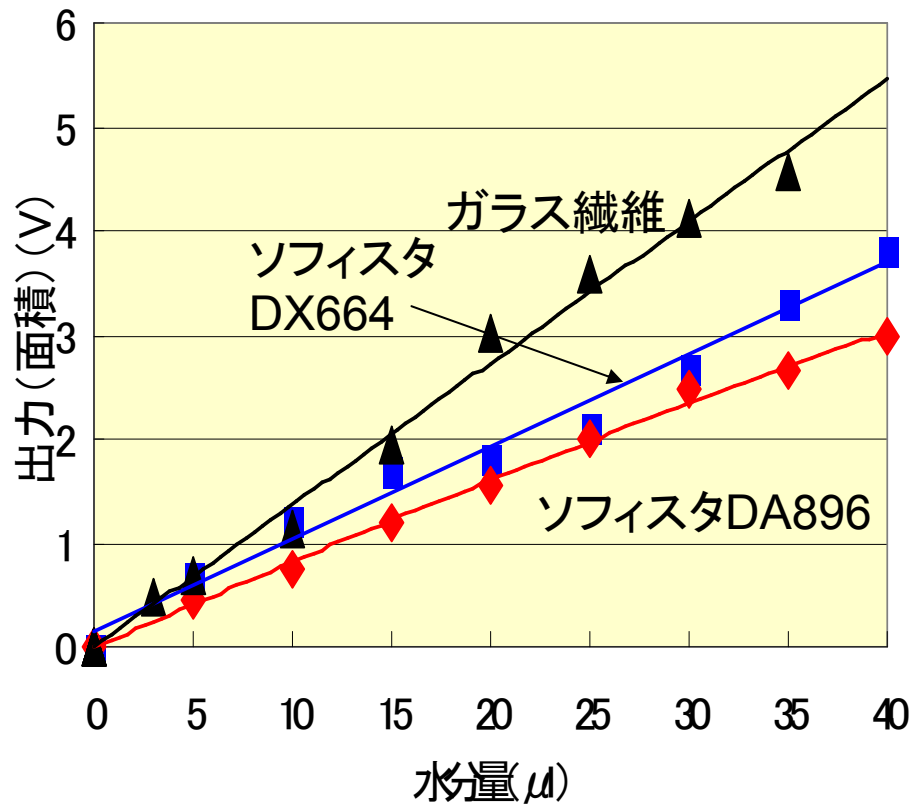
プローブ内面写真 プローブ開口面をソフィスタ KR0672-R(クラレ)で覆った写真



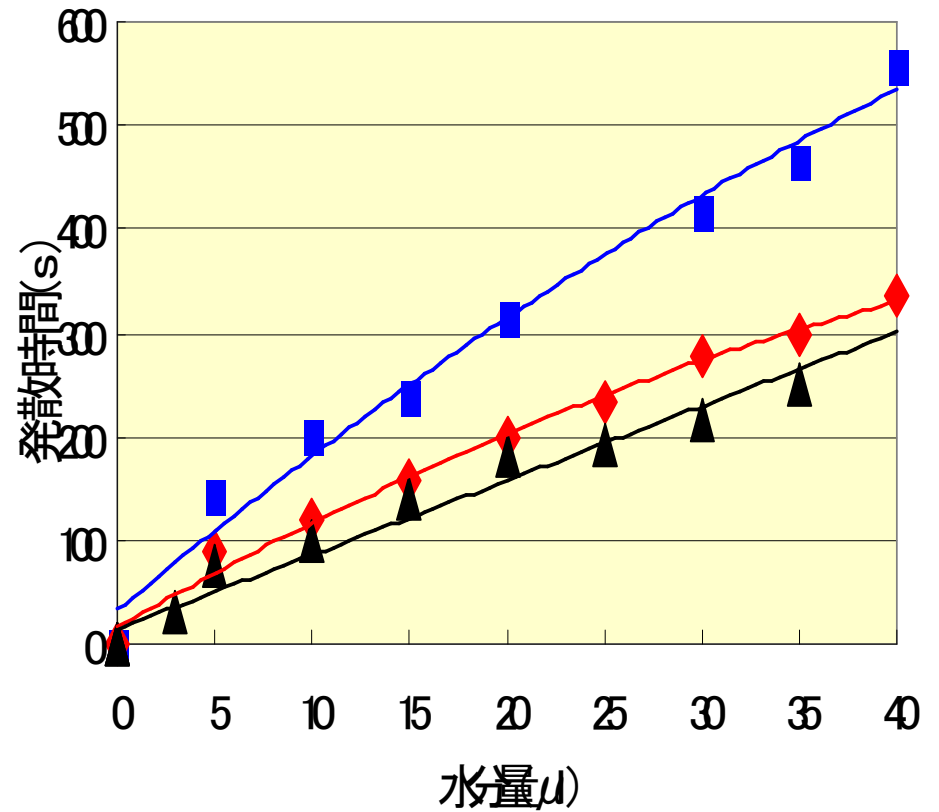
ソフィスタの吸水特性(送風流量1ℓ/分)

装置の動作特性

空気流量: 1ℓ/分

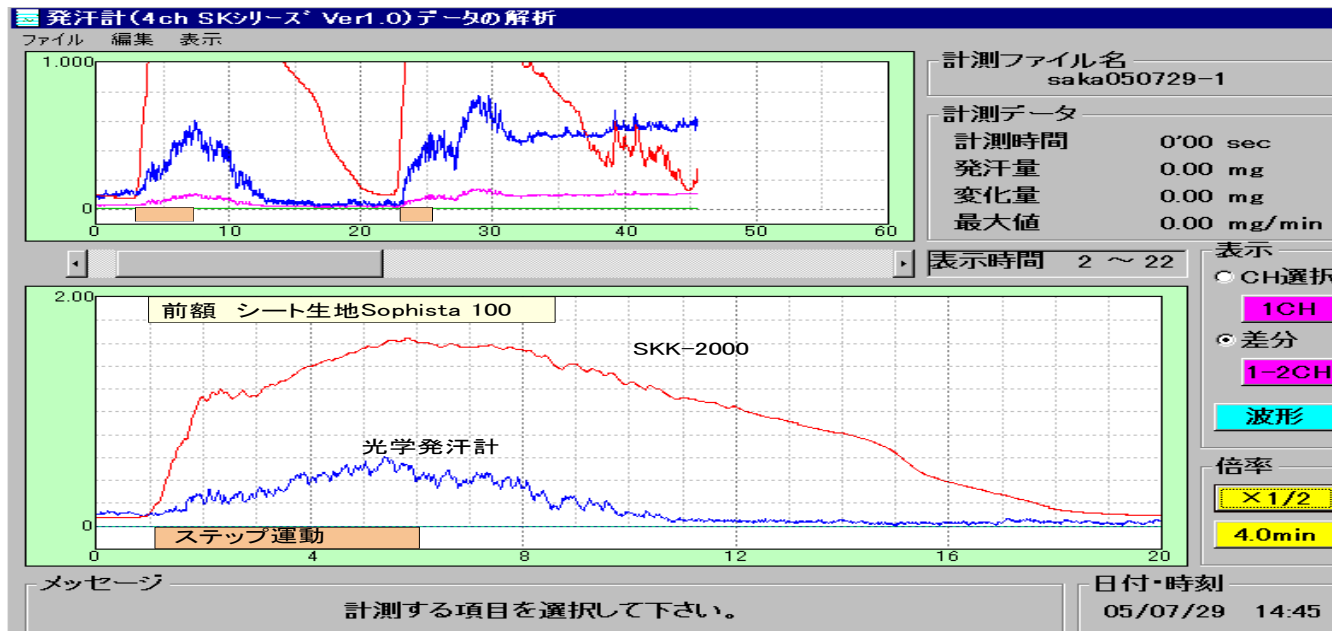
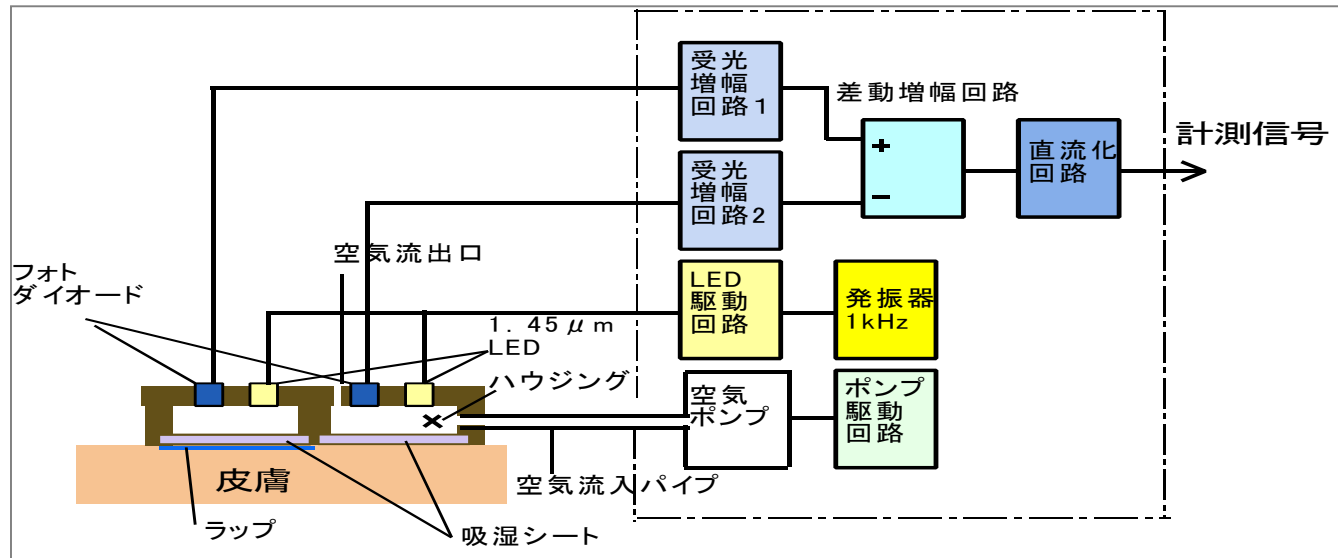


水分量と装置出力の関係



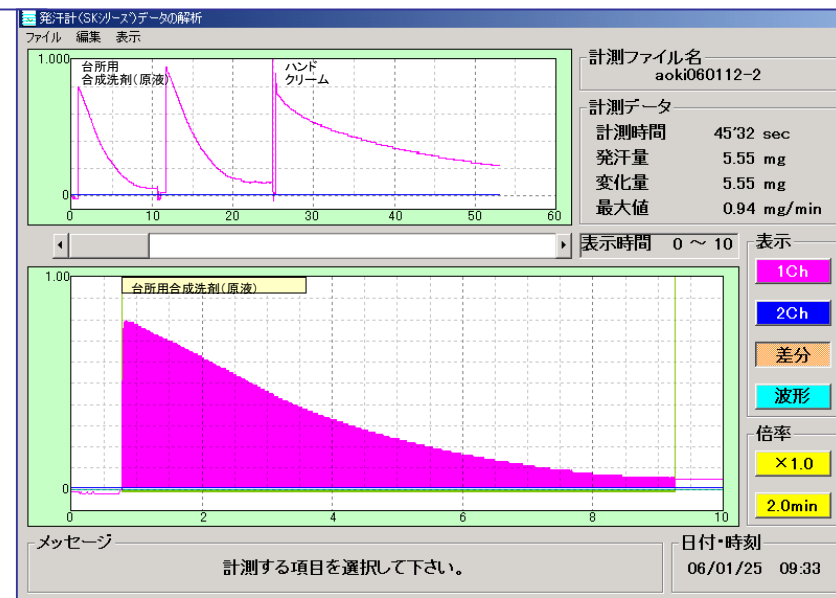
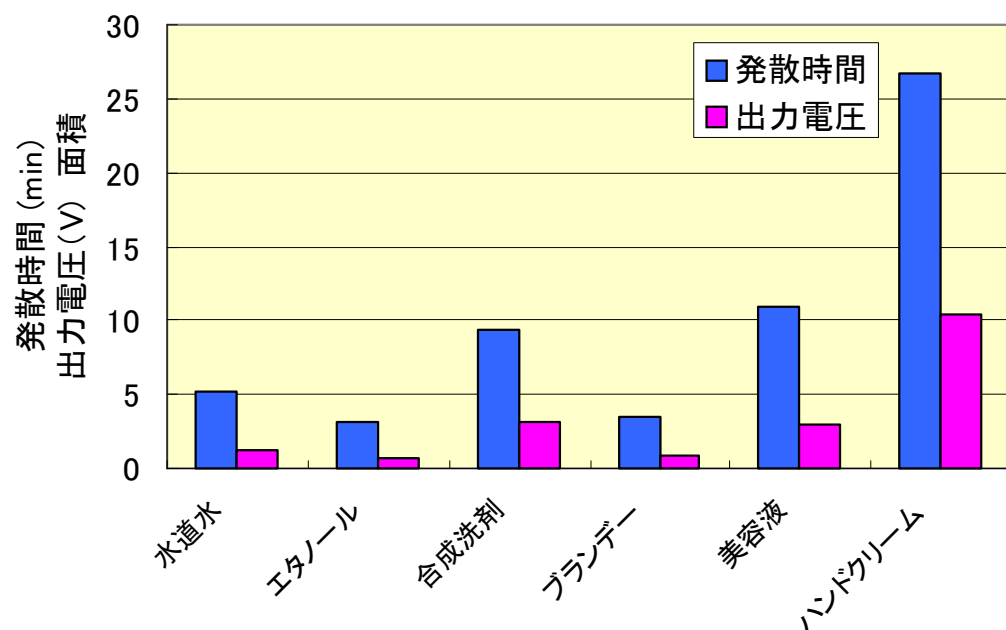
発散時間と装置出力の関係

ステップ運動時の前額発汗量変化



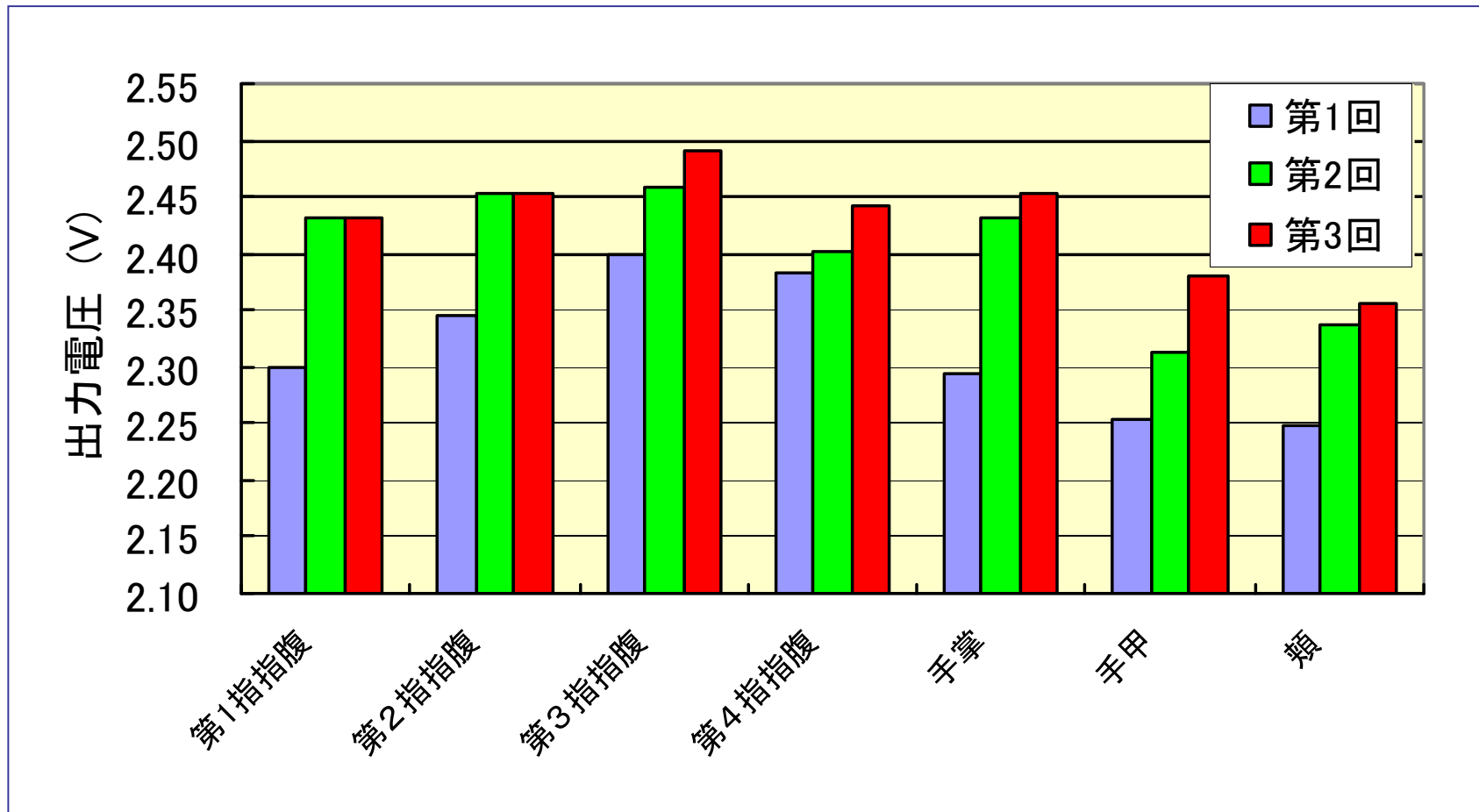
光学発汗計の応用例

1. 各種溶液の発散特性



ろ紙に各種溶液を5 μ l浸透させたときの発散状況を示した(空気流量は500ml/min)。ハンドクリームはろ紙上に一様に塗布した。

2. ヒト各部位の皮下に存在する水分量測定

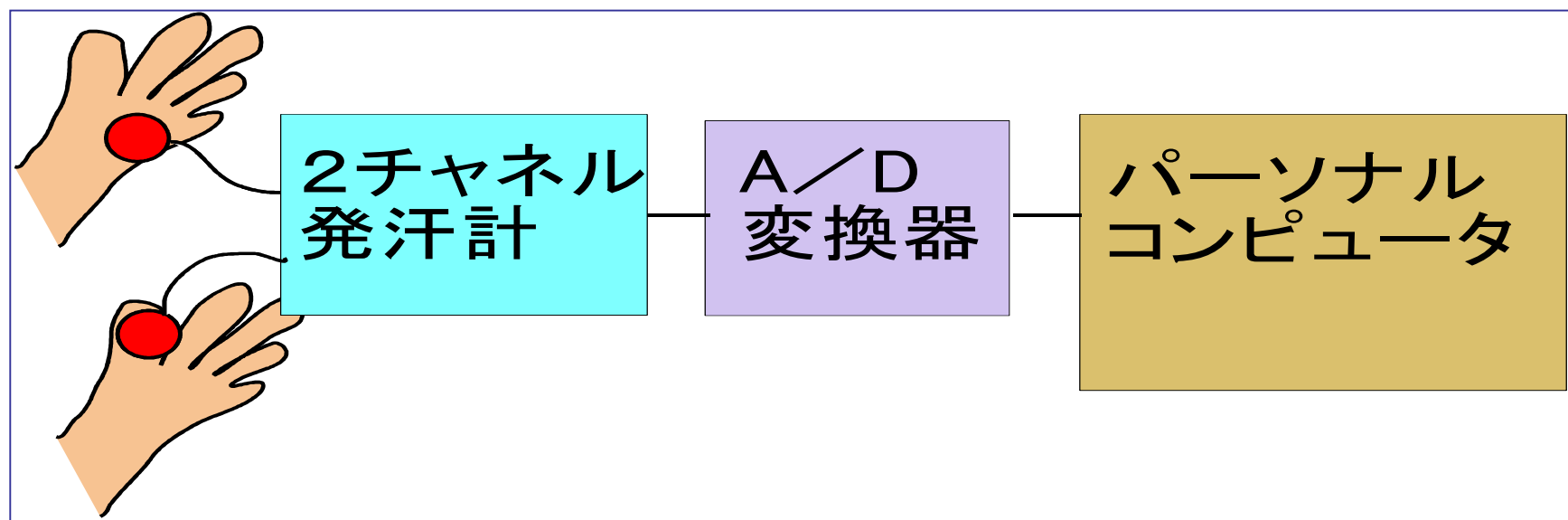


プローブから光を直接皮膚面に照射してヒト(20歳女子)の各部位における皮下に存在する水分を測定した。

6. 発汗量、水分量測定実験

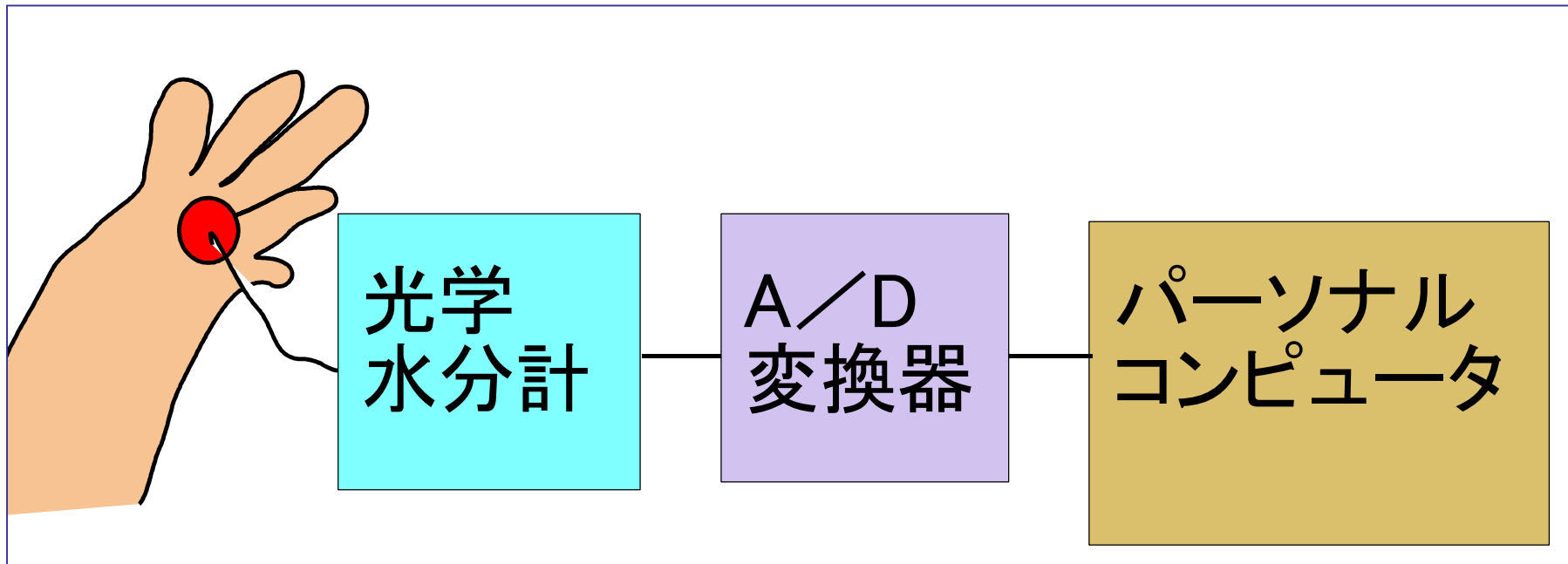
(1) 換気カプセル差分方式発汗計による精神性発汗の測定

① 携帯型発汗計SKK2000の場合



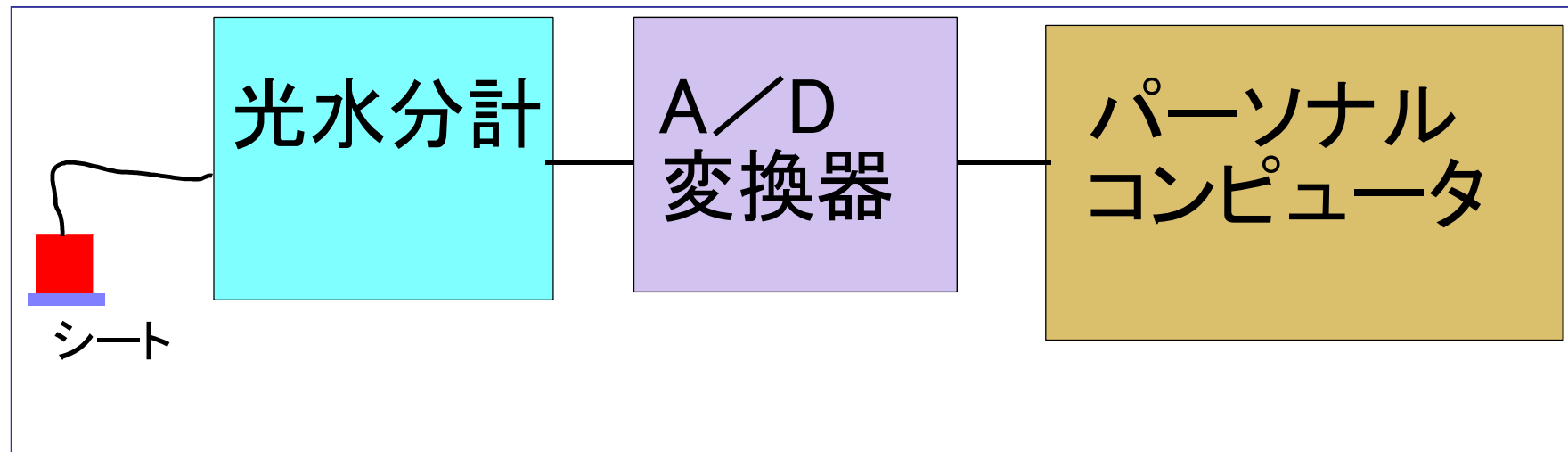
手掌部、前額にカプセルを装着して深呼吸、暗算などを負荷してみる。

(2) 光学水分計による水分量の測定



プローブを手掌、手の甲、前腕に当てて皮下に存在する水分量を比較してみる。

光学水分計による水滴の測定



シートを装着したプローブによる水滴水分量の測定。

9. まとめ

温熱性、精神性両者の発汗は心やからだの健康指標となる。

我々が開発・実用化を進めてきた発汗計の概要とその応用例を紹介するとともに、実際に発汗計ならびに光水分計を使用して、各種刺激負荷時の発汗水分量の測定実験を行う。

開発した発汗計は信州大学医学部長大橋俊夫教授との共同研究の成果であり、(株)スキノス、(有)スキノス技研との共同開発である。記して感謝申し上げます。

主な参考文献

- 1) 中山昭雄編: 温熱生理学, 理工学社, 東京(1980)
- 2) 大橋俊夫, 宇尾野公義編著: 精神性発汗現象－測定法と臨床的応用－. ライフメディコ. 名古屋(1993)
- 3) 小川徳雄: 新汗のはなし 汗と熱さの生理学. アドア出版, 東京(1994)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 坂口正雄, 小野伸幸他: 局所発汗量連続記録装置による皮膚電位反射の評価. 電子情報通信学会技術報告, MBE90-119, 57-62(1991)
- 8) 坂口正雄: 発汗の計測. 発汗学, Vol.3, No.2, 2-6(1996)
- 9) Toshio Ohhashi, Masao Sakaguchi et.al.: Human perspiration measurement. *Physiol. Meas.* 19, 449-461(1998)
- 10) 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)

- 11) 坂口正雄, 小野伸幸他: 2チャンネルデジタル表示発汗系の応用—ヒト各部位の発汗量計測—. 電子情報通信学会技術研究報告, MBE2000-57, 31-36(2000)
- 12) 坂口正雄, 菊池雅博他: メモリー記録方式2チャンネル携帯型発汗計の開発. 電子情報通信学会技術研究報告, MBE2001-80, 65-71(2001)
- 13) 坂口正雄, 小野伸幸他: 光学的手法による水分計の試作. 発汗学, Vol.9, No.2, 61-64(2002)
- 14) 坂口正雄, 平林司崇, 中島浩二他: 皮下水分と皮膚蒸散水分(発汗)量同時計測装置の開発. 発汗学, Vol.11, No.1, 45-47(2004)
- 15) 坂口正雄, 平林司崇他: 換気カプセル方式空気流量補償型発汗計の開発. 発汗学, Vol.12, No.1, 27-29(2005)
- 16) 坂口正雄, 小野伸幸他: 光ファイバセンシング型水分計の開発. 発汗学, Vol.12, No.1, 30-32(2005)
- 17) 坂口正雄, 大橋俊夫: 光学発汗計の開発. 電子情報通信学会技術研究報告, MBE2005-62, 27-30(2005)

