

# 情報表示に対する集団的反応を観測するための 生体情報計測システム

石井 威望 (東京大学工学部)  
 広瀬 通孝 (東京大学工学部)  
 岩田 洋夫 (筑波大学構造工学系)  
 上田 篤 (岐阜大学教育学部)

## 1. はじめに

我々のグループでは、従来より各種の生体情報を計測することにより作業者の情報処理活動における内部状態を推定する研究を行ってきた。すなわち、計算機端末における作業者の心拍間隔・皮膚温の計測や動作解析等を行ってきた。これらの生体情報計測は従来個人に対して行われてきたが、本年度からは多人数の集団を対象にして計測することを目的とし、システムの開発・整備を進めている。多人数の生体情報を計測する方法としては以下の2つを検討している。

- (1)サーモグラフィによるリモートセンシング  
遠隔より集団の温度分布画像を測定し皮膚温や体動を計測する。
- (2)小型心電計による心拍計測  
軽量・小型の心電計を製作し、観客一人一人に装着する。

## 2. 心拍間隔と皮膚温度を選択した理由

精神活動と関連性が高いと考えられる生体情報として代表的なものは、脳波、心電図、血圧、呼吸数、体温、皮膚温度、血液中の成分(アドレナリン)等がある。図1は各生体情報を、1)侵襲度：計測に際してその計測方法が被験者に及ぼす影響の度合、2)コスト：計測装置のコスト、3)検出力：ある入力に対して生体情報の反応が鋭敏かつ高速に検出できるかどうか、についてまとめたものである。検出力の高い生体情報としては、脳波とか血液中のアドレナリンがあるが、脳波は測定に関して被験者の頭部に電極等を取り付けるなどの煩わしさや測定器が高

価であるなどの問題がある。また、アドレナリン計測の場合は血液の採取という被験者に肉体的苦痛を与え、その結果精神的動揺を生じるといった問題がある。体温等は測定が容易であり、測定器も低価格であるが、検出力が小さいという欠点がある。著者らは、これらのことを考慮して、1)測定装置が高価でないこと、2)計測が容易で、非侵襲的かつ安全性が高いこと、3)検出力も比較的高いこと、という条件を満たしている計測方法として心拍計測と皮膚温度計測(特に顔面皮膚温度の計測)を選定した。

生体情報を計測する際に、この両者を同時に測定することは、被験者の状態を内側からと外側から計測することに相当する。つまり、被験者の生体情報を多面的にとらえ、被験者の状態をよりの確にとらえることができる筈である。

表1は、両者の測定方法の特徴についてまとめたものである。

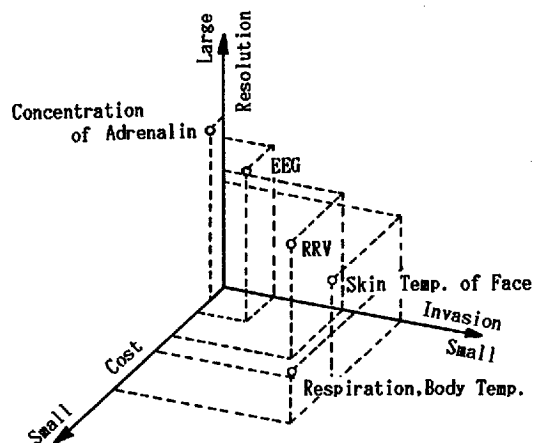


図1 各生体情報の位置づけ

	ECG	Thermo Graphy
Tolerance for Body Movement	△	△
Portability	○	△
No Invasion	△	○

表1 心電とサーモグラフィの比較

### 3. 心拍間隔測定装置

#### 3. 1 小型専用心電計

心臓は心房収縮期（心電図上のP波相当）、心室収縮期（QRS群）、各収縮期間の静止期（T波）を1周期として、繰り返し活動している。一般的な心電図を図2に示す。著者らは、心室収縮期にあらわれる上向きの大きな波、すなわちR波に注目し、一つのR波とその次のR波の時間間隔をRR I（R-R Interval）と呼んでいる。R波が設定電圧値を越えたときマイクロコンピュータに信号が送られ、マイクロコンピュータの内部タイマによってRR Iが計測され、RR Iの値はメモリに記憶される。心拍間隔データから覚醒度の指標として、心拍間隔の分散値RR V（R-R Variance）を求めている。

つまり、

$$RRV = \left( \frac{\sum (RR I)^2}{n} \right) - \left( \frac{\sum RR I}{n} \right)^2$$

ここで、n：一定時間内のR波の回数である。

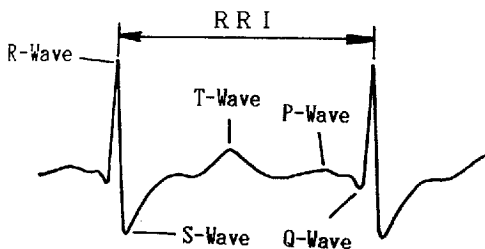


図2 心電図の波形

このRR Vを調べると、作業者に精神的負荷がかかっているときや作業に集中しているときに小さな値を示すことがわかっている。

計測装置は、大きく分けて心電図増幅部のアナログ部とそのアナログ部からの信号を計測するマイクロコンピュータのデジタル部から構成されている。

本研究では当初、既製品の心電図用増幅器ならびに既製のワンボードマイクロコンピュータを使用していた。被験者の胸部より誘導した信号を増幅器で増幅し、その信号をワンボードマイクロコンピュータへ入力する。ここでは、1拍ごとのRR Iが計算され、16ケのRR IからRR Vが計算される。そして、その値を1分ごとに加算した値がメモリに格納される。これらの計測装置はそれぞれ据置タイプのもので、装置自身が大きく持ち運びはほとんど不可能であった。つまり、被験者を常に一定の場所に拘束するという実用性の乏しい計測装置であった。

実用性を高めるためにアナログ部、デジタル部の小型化を行った。アナログ部は、R波成分のみを抽出するように設計し、製作された。デジタル部はワンチップマイクロコンピュータを使用し、アナログ部からの信号を計測する。アナログ部とデジタル部はそれぞれ煙草箱程度の大きさにまとめることができた。しかしながら、アナログ部には、±12Vの直流電源が必要であり、また部品数が多いなどの問題があり、消費電源の低減化ならびに回路の簡略化が望まれた。デジタル部においては、メモリの容量が小さく、長時間の測定は不可能であった。

このような問題点を解決するために、図3に示す計測装置を開発し、小型化ならびに製作費の低減化を計った。そのシステムの構成を図4に示す。アナログ部の回路は簡略した結果、縦30mm、横40mmの基板上に製作が可能になった。回路は、差動増幅部、アクティブフィルタ、コンパレータから構成されている。また、デジタル部はワンチップマイクロコンピュータおよびメモリを8Kバイトとし、縦45mm、横70mmの基板上に製作して軽量かつ、より一層の小型化を行った。電源は、アナログ部が直流電圧±3V、消費電流は+3Vが8.5mA、-3Vが

8.5 mA、デジタル部が直流電圧5 V、消費電流は130 mAで、それぞれ乾電池を使用した。メモリに格納されるデータは、1分間のRRIの合計値( $\Sigma RRI$ )と $RRI^2$ の合計値( $\Sigma RRI^2$ )ならびに1分間の心拍数とノイズのカウント数で、 $\Sigma RRI$ に3バイト、 $\Sigma RRI^2$ に5バイト、心拍数に1バイト、ノイズカウント数に1バイトの合計10バイトが1回に記録される。すなわち、この計測装置では連続で8 K (バイト) / 10 (バイト/分) = 800 分 = 13時間の計測が可能である。

計測終了後、データはホストコンピュータ(16ビットのパーソナルコンピュータ)へ転送され処理される。

なお、刻々のRRVを観察したい場合のために、RRVを小型液晶ディスプレイにリアルタイムで表示するシステムを開発した。

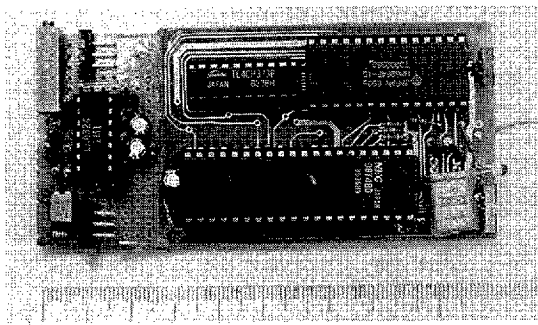


図3 RRI計測装置

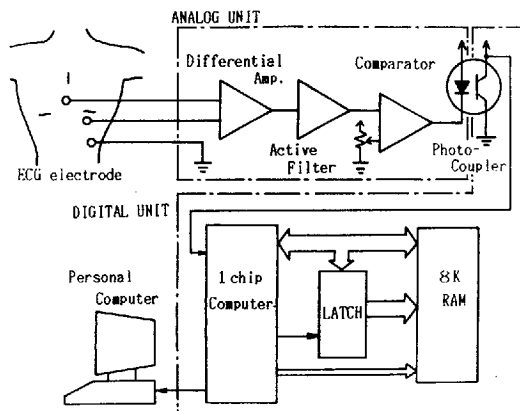


図4 RRI計測システム

### 3. 2 心拍間隔の計測例

心拍間隔を長時間計測した結果の中で特徴的な例を以下に示す。図5は卒業実験報告書提出間際の被験者(男子学生:23歳)の作業中のRRVを示している。図中の実線は、MRR I (Mean RRI)で、5分間の平均RRIがプロットされたものである。棒グラフはRRVである。被験者はまる2日、睡眠をとっておらず、上記報告書の原稿作成のためのワープロ作業やプログラミング作業を行っていた。この計測が開始された午前3時10分以降連続して12時間30分にわたり計測されたデータである。被験者は途中、睡魔に襲われた約2時間半の仮眠をとった。ここで注目されることは、仮眠前と後のRRVの違いである。仮眠後の方がRRVは小さくなっていることがわかる。著者らは、すでにこれまでの研究で「作業員に集中しており大きい値のときは作業に集中できていない」との知見を得ていた。この知見から、図5は仮眠がもたらす効果を示すものと解釈できる。仮眠前では、被験者は作業を完成させたいという極めて強い意欲があるにもかかわらず、RRVは大きな値を示しており、作業に集中できていないことがわかる。これに対して、仮眠によって疲労が回復した後ではRRVが小さく、作業に集中できていることがわかる。

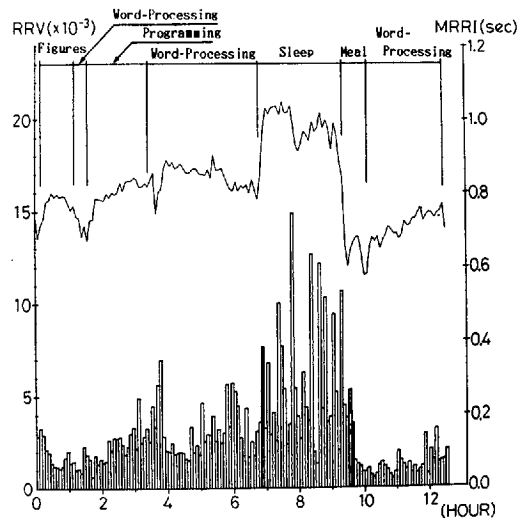


図5 心拍間隔の長時間計測例

#### 4. 顔面皮膚温度計測装置

##### 4. 1 サーモグラムの画像処理

図6に顔面皮膚温度解析用の計測システムを示す。赤外線カメラでとらえた映像は、サーマル・イメージ・プロセッサに入力され温度分布画像に変換され、一度VTRに記録された後に、パーソナルコンピュータへ送られて処理される。サーモグラフィ（日本アビオニクス・TVS-4300）は256(H)×120(V)、奥行き4ビット（16階調相当）の温度分布画像を毎秒20フレーム得ることができるので、被験者の動きに追従することが可能である。本装置では、グレースケールのサーモグラムをNTSCビデオ信号に変換して出力しているために、汎用の4ビットのフレームメモリを用いて画像解析を行っている。

被験者の顔面温度分布の変化を測定するために、サーモグラム中に長方形のウィンドウ（大きさが自由に設定可能）を設ける。顔面の平均温度は、長方形のウィンドウ内の平均輝度を算出することにより求められる。ウィンドウの大きさの設定を変えることにより、個人や多人数の顔面温度の変化を計測することができる。図7は、多人数（10名）の顔面のサーモグラムである。

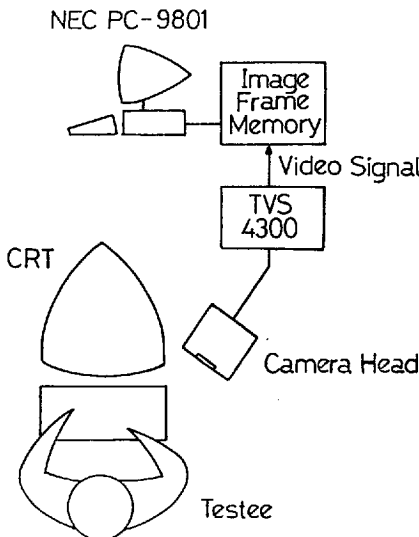


図6 皮膚温度計測システム

顔面の温度分布の変化を測定するために、図7の長方形のウィンドウ内の平均輝度を算出することによって顔面の平均温度を求めている。



図7 多人数の顔面サーモグラム

##### 4. 2 モデル実験における皮膚温と心拍の関連性

知的作業のモデル実験として、VDT作業における足し算作業を設定した。これは、CRTディスプレイ上に問題を表示し、被験者は暗算で解答を求め、それをキーボード入力するものである。顔の温度分布画像は図6のようにVDTの横にサーモグラフィのカメラヘッドを設定することにより取得される。実験は、最初に5

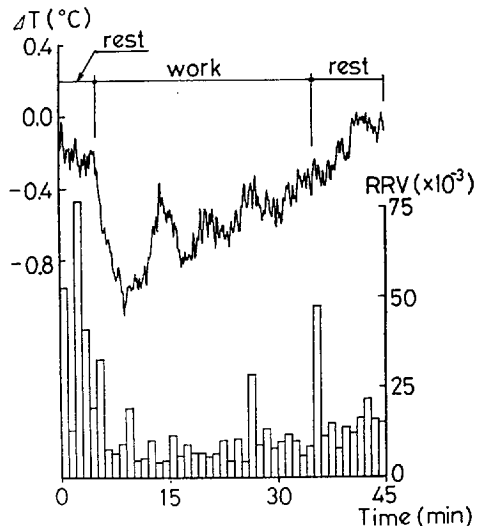


図8 皮膚温と心拍の関係

分間安静をとった後30分間作業を行い最後に10分間安静をとる、という形式をとっている。鼻部にウィンドウを設定して計測をした結果が図8の実線である。鼻部皮膚温は作業開始と同時に低下し、終了後は開始前の温度にもどっていることがわかる。また、このとき同時計測したRRVも同様の傾向を示している。この結果から、作業覚醒度が高い状態においては鼻部皮膚温、RRVともに低下することがわかる。

### 5. 体動測定装置

劇場等の多数の観客の動作を解析するために図9に示す解析装置を使用した。このシステムは、録画したサーモグラムの画像をVTR（J9: SONY）で再生し、ビデオポジションアナライザ（VPA-1000: 日本事務光機）を通してモニタTVにディスプレイするものである。ビデオポジションアナライザは、TV画面内部の任意の位置にX-Y座標及び移動できるカーソル（+印）をスーパーインポーズすることが可能である。解析では、座標の原点をサーモグラムの全員の顔面が入る位置に設定した。時間軸はサーモグラムの温度解析ならびに心拍計測と同時にスタートし、.5秒毎に画面を静止させ、+印のカーソルを被験者の顔面の中心にあわせる。カーソルの座標値はTV画面内及びビデオポジションアナライザにデジタルで表示される。こ

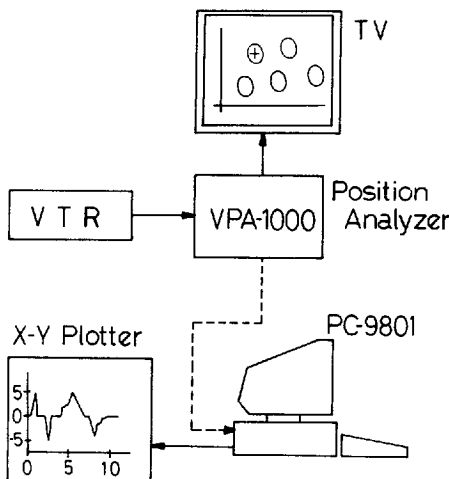


図9 体動計測装置

れを読み取り、記録後、パーソナルコンピュータ（PC-9801）に入力し、X方向、Y方向の移動値をそれぞれプロッタ（PL-2000: 横川電機）に出力させた。

### 6. 劇場における試行実験

青山劇場に設置された本システムの構成図を図10に示す。劇場にはサーモグラフィのカメラと2台のビデオカメラが設置されている。サーモグラフィのカメラは、劇場右斜め前方に固定され観客を撮影し、2台のビデオカメラはそれぞれ観客の可視像と舞台像を記録する。心拍計測装置はおのこの観客に取り付けられ計測が行われる。図11には、集団の平均皮膚温と各人の心拍間隔の変動が示されている。被験者は、男性4名（22歳～30歳）と女性4名（5歳～35歳）の合計8名である。この例では、計測開始後13分頃にこの劇のクライマックスがある。このとき平均皮膚温は上昇し、心拍間隔は4名の被験者に関しては低下していることがわかる。この現象は、劇のクライマックスにおいて観客に交感神経系興奮が発生し、心拍数の上昇および血流量の増加にともなう皮膚温の上昇があったためと考えられる。心拍間隔はかなり個人差がある。図12は観客4人についての頭の移動についてまとめたものである。X方向は顔の左右方向

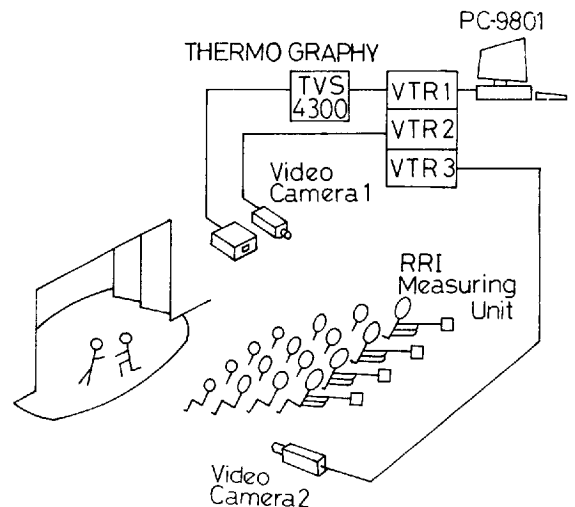


図10 劇場における生体情報計測システム

の移動を示し、Y方向は上下方向の移動を示している。劇のクライマックス時には4人とも体動がないことがわかる。

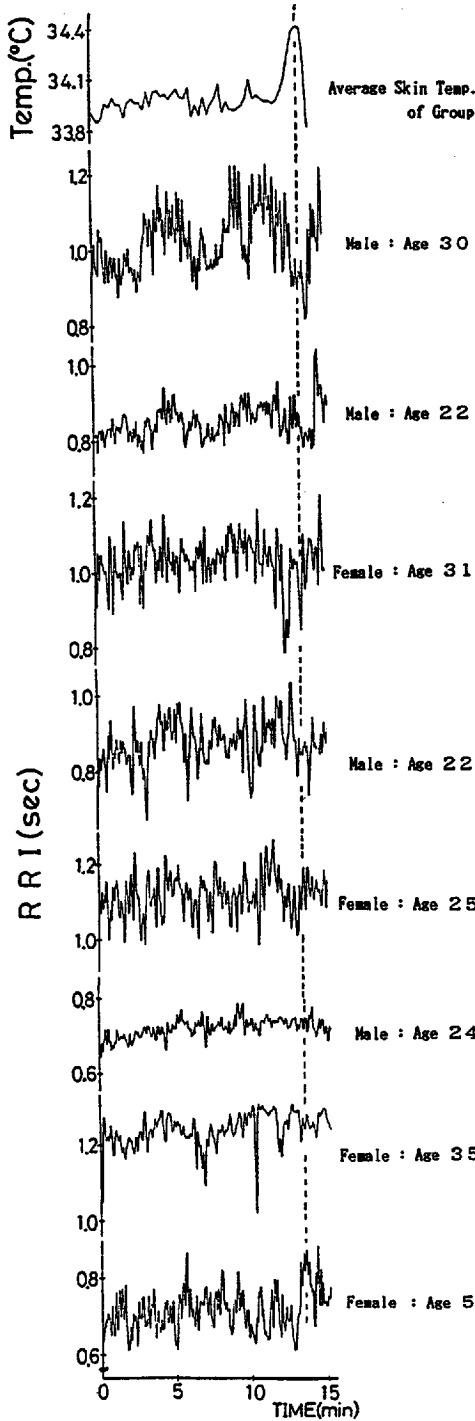


図11 集団の平均皮膚温と心拍間隔の変動

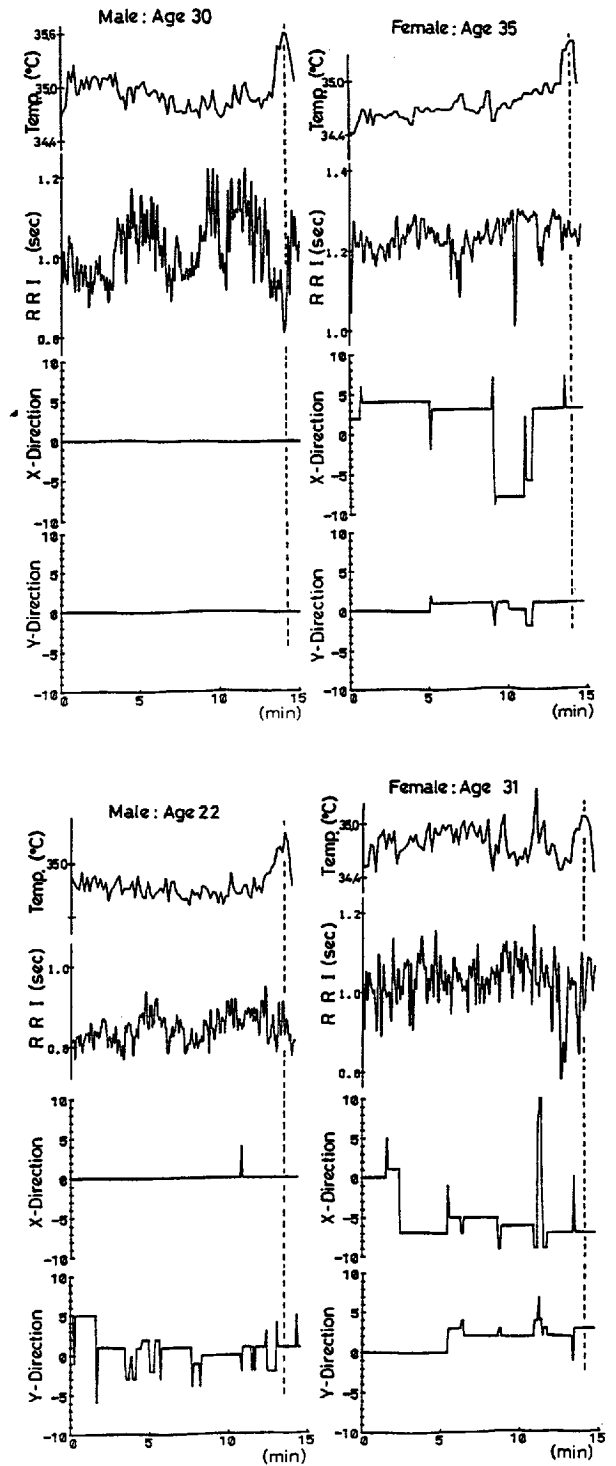


図12 劇場における観客の頭の動き

## 7. まとめ

本研究の本年度の成果を要約すると以下のようになる。

- (1) 多人数の内部状態を推測するための指標として心拍間隔と顔面皮膚温、体動を提案した。
- (2) 心拍間隔を測定するために小型心電計を開発し、その実用性を確認した。また、サーモグラムの画像処理を行ない。顔面皮膚温と頭の動きを計測した。
- (3) 劇場において本システムで予備的実験を行った結果、情緒的反応を検出することができた。



## 検索用テキスト OCR(光学的文字認識)ソフト使用

論文の一部ですが、認識率の関係で誤字が含まれる場合があります



### 1.はじめに

我々のグループでは、従来より各種の生体情報を計測することにより作業者の情報処理活動における内部状態を推定する研究を行ってきた。すなわち、計算機端末における作業者の心拍間隔・皮膚温の計測や動作解析等を行ってきた。これらの生体情報計測は従来個人に対して行われてきたが、本年度からは多人数の集団を対象にして計測することを目的とし、システムの開発・整備を進めている。多人数の生体情報を計測する方法としては以下の2つを検討している。

#### (1)サーモグラフィによるリモートセンシング

遠隔より集団の温度分布画像を測定し皮膚温や体動を計測する。

#### (2)小型心電計による心拍計測

軽量・小型の心電計を製作し、観客一人一人に装着する。