

## 生体情報を利用した画像コミュニケーション支援

大村 裕子 葛岡 英明 高原 勉 広瀬 通孝 石井 威望  
東京大学工学部

フォーマルな局面を中心に考えている既存のコミュニケーション・システムでは、インフォーマルなコミュニケーションをサポートすることは困難である。インフォーマル・コミュニケーションにおいては、人間に与えるべき情報の選択をコンピュータでサポートできることが望ましい。その解決策の一つとして、画像、音声、コンピュータを用いたインフォーマル・コミュニケーションにおける、生体情報の利用を提案する。視野、会話のテンポ、RRV(心拍変動の分散を表す)の三種を利用可能な生体情報として挙げる。このうち視野については、対話者の見ている映像を得るためのカメラ(ShareView)を開発した。

## Visual Communication supported with Physiological Data

Hiroko Omura Hideaki Kuzuoka Tsutomu Takahara  
Michitaka Hirose Takemochi Ishii  
Faculty of Engineering, The University of Tokyo  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

It is hard to support informal communication with a current communication system. Because most of them are for formal communication. In informal communication, we want computers to support to select information for us. To solve this problem, we propose to use physiological data in informal communication with visual images, voices, and computers. We suggest to use a field of vision, a conversation tempo, and RRV(R-R variance) as physiological data. In these parameters, we used the field of vision to develop the new camera(ShareView) to get one's field of vision.

## 1 はじめに

遠隔地に分散した人間同志のコミュニケーションをコンピュータ及びマルチメディア・ネットワークによってサポートするための研究は、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) などの分野で盛んに行なわれている ([1][2][9][10])。しかしながら、それらの研究のほとんどはテレビ会議システムといった、フォーマルな局面での利用を目的としたものである。フォーマルな作業においては、伝えるべき情報が比較的確定されているために、そのサポートを目的とする現存のコミュニケーション・システムには、柔軟性があまり必要ではない。一方、現実に行なわれる種々の作業において、非定常的でインフォーマルなコミュニケーションが重要な場合が多いとの報告もある ([8][12])。したがって、フォーマルな作業を中心に考えている現存のコミュニケーション・システムは、平常作業時に生じる疑問点に関する質問、緊急時の作業指示などといった非定常的、あるいはインフォーマルなコミュニケーションに対応可能なものではない。この観点から、著者らは、実画像や音声、及びコンピュータを媒体としてインフォーマル・コミュニケーションをサポートするシステムを構築することを目的に研究を行なっている。特に注目しているのは、多様な情報を同時に必要とする可能性が大きい、インフォーマル・コミュニケーションにおいて、いかに適切な情報を人間に与えるか、その選択をどのようにしてコンピュータでサポートするかということである。本稿では生体情報を利用してこれらの情報選択をサポートすることを提案する。

## 2 インフォーマル・コミュニケーション支援システム

これまでの遠隔地間のコミュニケーション支援システムは、会議支援システムやオフィスの定型業務の支援システムなどのように、定型的かつ仕事に直接関係する情報を扱うものが多かった。従ってこれらのシステムがサポートしているのはフォーマルなコミュニケーションであるといえる。しかしながら今後のシステムはよりインフォーマルなコミュニケーション、すなわち内容、場所、時間が必ずしも一定していないようなコミュニケーションをサポートするべきであると考えている。現在、成功しているシステムとしては電話、電子メール

があり、実画像通信においても同様の機能が達成されるべきである。ここで、インフォーマル・コミュニケーション支援に必要なコンセプトとして、インフォーマル・インフォメーションとBPSSについて説明する ([3][5][6][7])。

### 2.1 インフォーマル・インフォメーション

人間同士が円滑なコミュニケーションを行なうためには例えば、誰に聞けばある事柄がわかるか、どのような通信手段を利用すればある人と連絡がとれるかといった、いわば情報を得るための情報、すなわちメタ情報が重要である。また、対面時の会話では身振り、手振り、表情、口調などの non-verbal information が重要な役割を果たす。著者らはこれら仕事とは直接関係のない情報をインフォーマル・インフォメーションと呼んでいる。インフォーマル・コミュニケーション支援システムではこのインフォーマル・インフォメーションを積極的に提供する。

### 2.2 ポータビリティ及びBPSS

インフォーマル・コミュニケーションを達成するための要因として、著者らはシステムのポータビリティが重要であると考えている。前述したとおり、インフォーマル・コミュニケーションでは内容、場所、時間が必ずしも一定しておらず、そのためにコミュニケーションの必要が生じてからシステムをセットアップし、通信を終了するまでの時間が短時間であることが望ましい。このようなシステムの性能に対して、著者らはBPSSという概念を提唱している。BPS(Bit Per Second)が通信速度を表しているのに対してBPSS(Bit Per Second Second)は通信加速度を表したものである。例えば通信速度の遅いシステムでもセットアップが速く、また少量しか情報がない場合には有効である場合が多い。従ってBPSSの高さとシステムの有効性は正の相関関係があると考えている。

## 3 コミュニケーション・システムにおける生体情報の利用

コミュニケーション・システムに限らず現実の多くのシステムについて、それを使う人間の側が機械のルールに合わせる必要がある。したがって、機械のことを知らない未経験者は失敗を犯しがち

であるし、経験者は機械に調子を合わせることで自分に負荷がかかる。また、長時間作業する場合には、注意力の低下や油断によるミスも起こりがちである。これらのことから、著者らは図1のような作業仮説を立てた。

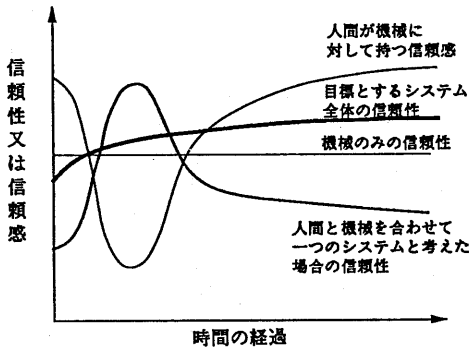


図1: 人間の心理を考慮したシステムの信頼性

これは、システムについて全く経験のない人が作業を行なう場合の、時間の経過を横軸に、信頼性を縦軸にとり、両者の関係を表したものである。

システム全体の信頼性を考える場合、機械自身が持つ信頼性と、その機械を操作する人間の信頼性を考慮しなくてはならない。この時、人間自身の信頼性はその熟練度に応じた信頼性ばかりでなく、人間が機械に対して持つ信頼感が重要なファクタとなる。すなわち、機械の操作に熟練した人間であっても作業に慣れるに従って機械の信頼性を過大評価し、確認作業を怠ることが原因で事故が発生する場合がある。この場合、人間の信頼性が低下したために人間-機械システム全体としての信頼性が低下したと言うことができる。逆に人間が機械に対して必要以上の不信感を持つ場合、常に緊張して監視作業をおこなうこととなる。この場合システム全体としては信頼性が高まるが、人間に対する負担が必要以上に大きくなる。

上図では簡単のために時間の経過に対して機械の信頼性は一定としてある。例えば、機械に対する知識がない人間は最初のうちはその信頼性を過信している。従ってシステム全体の信頼性は低い。しかし、機械の値段やその故障が与える損害を知るに従ってシステムに対して警戒感を持つようになる。すると注意深く機械を操作するためにシステム全体としては信頼性が増すが、人間にかかる負担は大きくなる。しかしやがて操作に慣れるに従って油断が生じ、確認作業などがおろそかになるためにシステム全体としては信頼性が低下して

いく。

仮に人間がシステムに対して持つ信頼性を適切にコントロールすることが可能であればシステム全体の信頼性を向上させ、安定したものとすることができると思われる。筆者らは、コミュニケーションを円滑にし、適切な情報を提供することによって人間が機械に対して持つ信頼感をコントロールできるのではないかという仮説を立てている。コミュニケーションを円滑なものにするためには、インフォーマルな情報を利用すべきであると思われる。この場合、必要に応じて適宜利用することが重要である。そのためには、いつ、どのように利用すべきかについて、人間の側から何らかの手がかりとなる情報を得る必要がある。その手がかりとなる情報として、著者らは生体情報を提案する。但し、ここでは生体情報を、人間の動作や口調といったものまで含めた非常に広いものとして解釈している。ここで述べた作業仮説においても、著者らは人間側のパフォーマンスの向上によって人間-機械系全体を改良しようとしている。人間に視点の中心を向けることは、ヒューマン・インタフェースの分野全体の課題である。しかし、現実のコミュニケーションにおける人間の挙動は複雑であり、どこにどう注目すれば良いといった指標は明らかではない。ここで紹介する生体情報はその指標としての可能性を持つものであると期待できる。また、その結果を生かして、円滑なコミュニケーションのためのコミュニケーション・システムの構築を目指す。

コミュニケーションの例として今回著者らが取り上げているのは、設計・生産・加工などに関するものである。近年のFAの進展により、生産システムは自動化と分散化が著しく、遠隔地にいる複数のオペレータが互いに連絡を取り合うことが必要である。また、これらの作業は非定常的であり、インフォーマルなコミュニケーションが要求される。したがって、著者らは、これらを念頭においた実験環境を設定している。基本的な設備を図2に示す。

### 3.1 ShareView/MultiView

#### 3.1.1 実画像通信の問題点

人間同士のコミュニケーションでは、直接対面している場合が最も円滑であると考えられる。対面した場合と実画像通信を利用した場合のコミュニケーションを比較すると、両者の差の一つとし

て視野の選択が挙げられる。すなわち対面して会話する場合は「自分の見たいものを見、相手に見せたいものを見せる」ことが簡単にこなせるが、モニタとカメラを利用した場合にはかなり困難となる。対面で会話を行なった場合、どの程度人間が視野を移動するか(見る対象を変化させるか)を測定した。この実験では、NCフライス盤の操作に精通した人間(Expert)が素人(Novice)に対して操作の方法を教えつつ、ドリルを任意の位置に移動させた。視野は1(ドリル周辺)、2(操作パネル周辺)、3(会話の相手)の3種類に大別した。測定の一例を図3に示す。

この図や、実験の観察から対面時の会話に関して次のような事柄がわかった。

- 対面時にはお互いに非常に高速に、かつ頻繁に視野を変化させている。
- 指さしによって会話の相手の視線をコントロールする動作が頻繁に観察された。また、手振りによって3次元的な方向を「こっち」といった言葉のみで表現することが可能であった。
- 会話の直接の対象物を見つ、対話者を視野のすみに置くことによって、その動作などから会話、視線移動のタイミングを掴むことが容易にできる。
- 一つの物でもさまざまな角度、距離から眺めることが可能である。

同様の課題で遠隔地間で実画像通信を用いて実験した結果、実画像通信での会話が困難である要因として、次のような問題点をあげることができる。

- 遠隔地のカメラを自分の意思で自由に動かすことが困難である。
- 相手が現在何を見ている(注目している)のかわからないため、相手が自分の話す内容を理解しているかどうか確認しづらい。
- 対面におけるように、指さしによって相手の注意を誘導することが困難である。

これらの問題点を解決するために複数台のカメラ、モニタを利用して遠隔地の画像を多角的に取得するシステム(MultiView System)を製作中である。本論文では、その中で頭部に親指大のカメラを搭載した装置(ShareView)を紹介する。

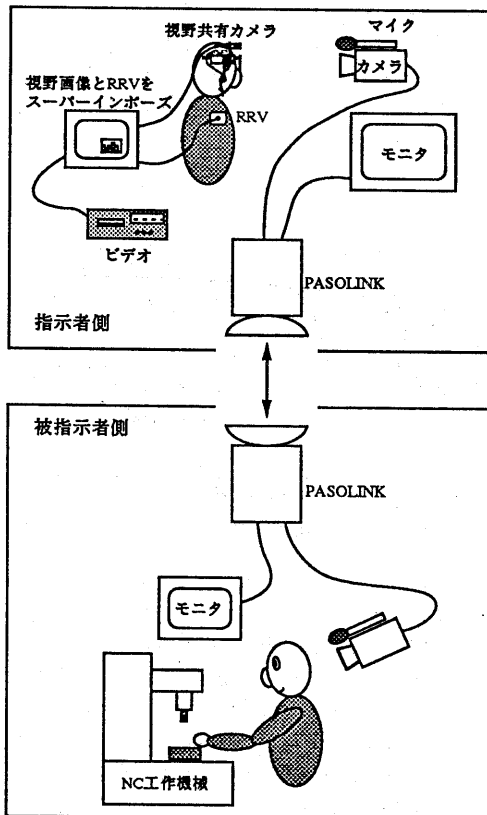


図 2: 基本的な実験環境

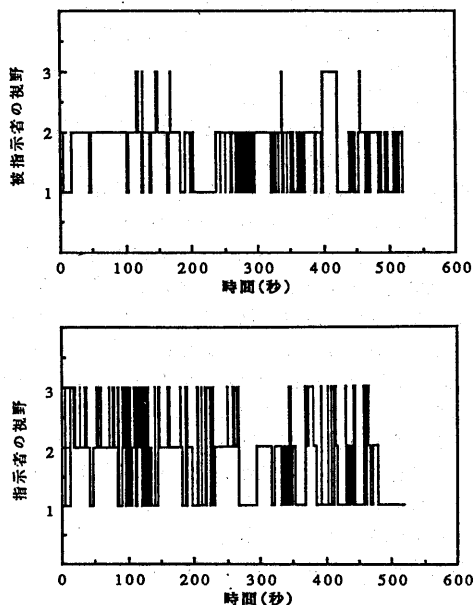


図 3: 対面での会話時の視野の移動

### 3.1.2 視野共有カメラ (ShareView)

この装置は頭部に親指大のカメラを搭載し、人の見ている視野をそのまま遠隔地に送ることを目的としている。ただしここで問題となるのは、頭部にカメラを固定した場合、実際に人間が見ている方向と顔の向きが異なることである。すなわち、体の向きに対して横の方向を見る場合、通常そちらの方向へ頭を向けるが、実は顔は見るべき対象物の方向まで完全に回転せず、眼球がさらに回転することによって対象物を見ているのである(図4)。これらの角度の関係を実測したデータを図5に示す。

このずれを補正するために、顔の向きと体の向きの角度差を利用して、顔の向きよりもさらにカメラを回転させるための装置を製作した(図6、図7)。本装置ではワイヤの一端を体に固定し、もう一端を頭部に固定されたカメラの駆動装置へ導き、角度差が生じた時にスイッチが入ることによってカメラを小型モータで駆動している。この装置によって補正された、目の角度とカメラの角度との関係を図8に示す。

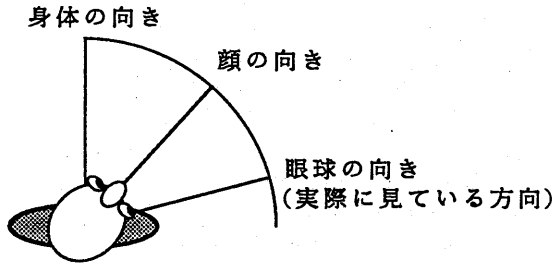


図4: 体、顔、目の向き関係

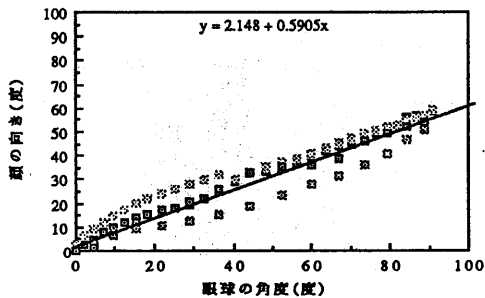


図5: 顔と眼球の向き関係

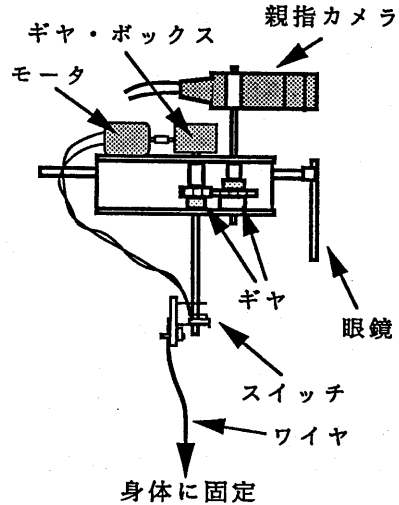


図6: 視野共有カメラ (ShareView)

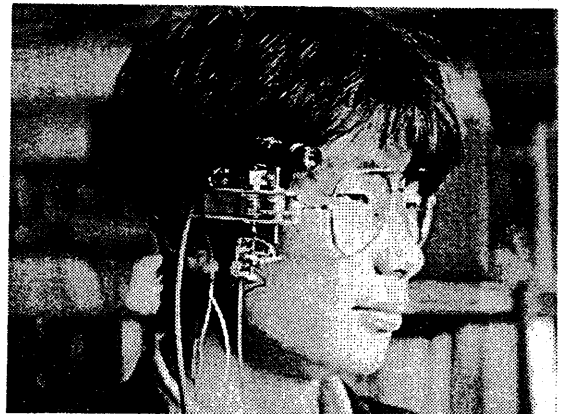


図7: ShareViewの装着

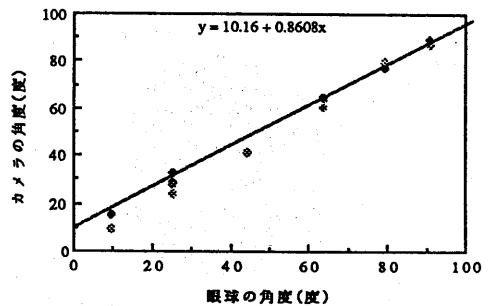


図8: ShareView利用時のカメラと眼球の向き関係

このカメラによって上述した実画像通信の問題点に関して以下のような点で有効性を確認した。

1. 対話者はお互いの視野を自然に共有することができる。実画像による WYSIWIS(What You See Is What I See) が実現できたと言える。従来この技術はコンピュータ画面でのみ行なわれてきた。
2. 映像を送る側はカメラの位置をあまり気にせずすみ、また両手が自由になる。
3. カメラを搭載した人の両手が映像の中に現れるため、指さし動作やその他の手振りが利用し易い。そのため、「あれ」、「これ」といった言葉が多様でき、会話の負担が軽減される。
4. 遠隔地の人間が周囲の状況を把握するために周りを見回すと、同時に遠隔地に同様の映像が送られるため、作業環境といったインフォーマルな情報を遠隔地でも掴むことが可能となる。

### 3.2 会話のテンポ

対面でのコミュニケーションの場合、人間は常に相手の顔や身振り・手振りを見ているわけではない。画像通信を用いた遠隔地とのコミュニケーションにおいても、実験結果を見ると、いつもモニタに注目しているわけではなかった。そこで、画像を用いたコミュニケーションにおいて、画像がどの程度利用されているか調べてみた。実験は、遠隔地にいる設計者と加工者が画像及び音声でコミュニケーションし、設計者が加工側の制約に合致するものを設計していくというものである。この実験について、画像情報の時間的な利用割合を調べた結果を図9に示す。

この場合、視覚情報を利用した時間は全体の3割程度である。そのうち、確認動作や非言語コミュニケーションに費やされた時間が約半分を占める。すなわち、被験者はいつもモニタを見ているわけではなく、必要な時や見たい時に見ているのである。また、相手の顔や機械を見て確認するといったように、画像が心理的なバックアップとして機能している面もある。

画像通信を利用する場合であっても、音声によるコミュニケーションと切り離して考えることはできない。画像の有無が音声コミュニケーションに与える影響としては、指示語の使用頻度が増すこと、単語の種類と使用頻度の増減などをあげる研究が存在する〔2〕。著者らは、画像を利用することによる心理的な影響が、音声コミュニケーションに単語レベルとはまた違った何らかの形で現れるのではないかと考えた。画像を確認のために用いることが良くあることは既に述べたが、そのことが音声コミュニケーションすなわち会話にどのように影響するかについて注目した。具体的には次のような実験を行なった。被験者Aに、遠隔地にいる被験者Bに指示をして、被験者BのところにあるNC工作機械を動かしてもらう。ただし被験者Bは、対象となるNC工作機械についての知識や経験を持たない人である。被験者Aについては経験度の異なる5人の被験者について実験した。被験者Aはまず簡単な操作方法などについて被験者Bに教え、さらにいくつかの操作課題を出して操作させる。一人の被験者Aに対して、画像を用いる場合、音声のみによる場合の双方について、被験者Bを変えて同じ実験を行なった。この実験の一例における、会話の時間的な推移を図10に示す。

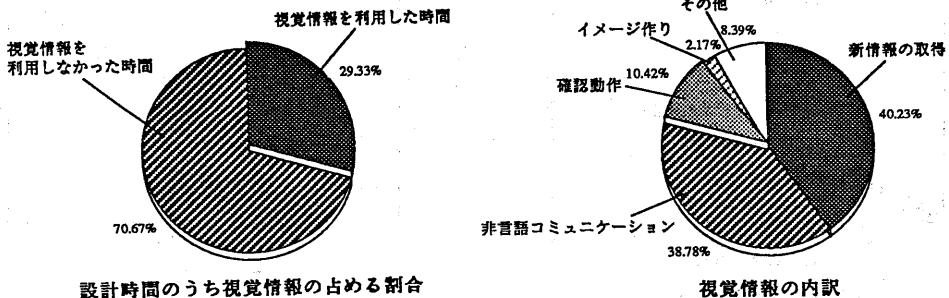


図9: 視覚情報利用時間の解析

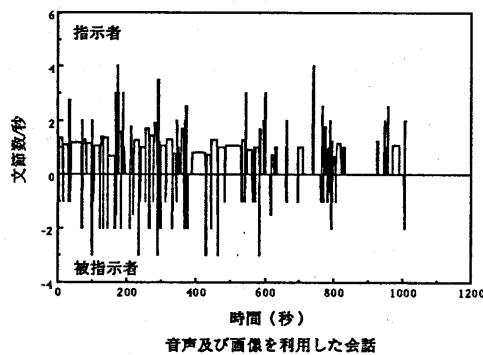
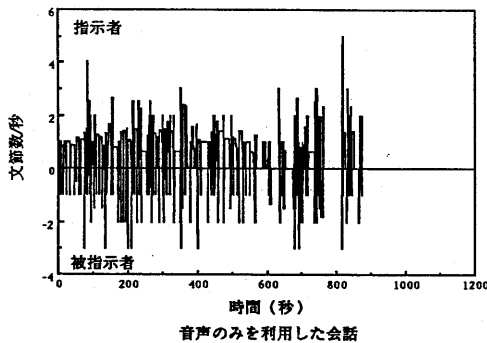


図 10: NC 工作機械操作の遠隔指示実験における会話量の時間的推移

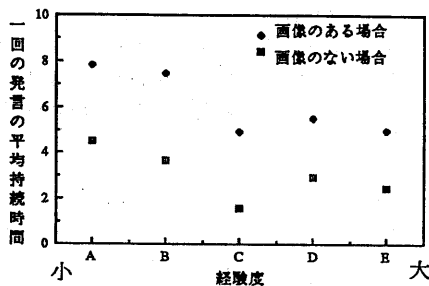


図 11: 1 回の発言の平均持続時間と NC 工作機械に対する経験度との関係

これを見ると、音声のみのコミュニケーションの場合は絶えず相手とやりとりしているのに対して、音声・画像コミュニケーションの場合のやりとりの数はそれほど多くはないことがわかる。こ

の傾向は、すべての被験者について見られたものである。実験に要する時間や、被験者 A が説明する言葉の量は、音声のみの場合でも画像を用いた場合でもそれほど変わらない。これもすべての被験者に共通の傾向である。また、被験者 A の理解・経験の度合いが大きい方が、むしろ会話のやりとりが頻繁になる傾向も見られた。図 11 は、各被験者の一回の発言の平均持続時間をグラフにしたものである。これらの結果は、画像が心理的なバックアップとして機能していること、一つの現われとすることができる。工作機械というかなり危険なものを、遠隔で、しかも全くの未経験者に操作させる。個人差が大きいとはいえ、多少の不安感誰しもが抱くであろう。そのために頻繁に確認を行なうのである。しかし、画像情報を利用できる場合は、画像によって正常・異常の判断ができることも多く、また、相手の表情や全体の雰囲気なども必要に応じて見ることができるので、不安感はかなり軽減されると考えられる。その結果、確認無しに一方的に説明や指示をすることが、音声のみの場合に比べて行ない易くなった。また、音声のみ・画像ありの双方において、経験度が大きいの方がしばしば確認する傾向が見られることは、経験者が抱きがちである「危なっかしくて見ていられない」といった不安感を反映していると考えられる。このことから、会話のテンポが不安・安心という心理的な状況を表す一つのパラメータになり得ると考えられる。

以上のことから、著者らは、この会話のテンポを生体情報として利用することを提案する。会話のテンポを即時的に検出して人の不安感を調べ、それによってミクロ・マクロ画像の切替をするなどの対応をすることも、将来的には可能であると考えられる。そのためには、不安感を軽減するためにはどのような対応をすべきかについて詳細に検討する必要がある。

### 3.3 RRV

人間の心理的緊張度(メンタル・ストレス)を評価する指標としては、脳波、心電図、皮膚電位、血圧などの生体情報が挙げられる。とりわけ心電図は、測定やデータ処理の簡便性や実験装置の小型化という面から、工学分野でも広く利用されている。今回著者らは、心電図から得られる情報の中でも特に、心拍変動量(RRV)に注目した。RRV とメンタル・ストレスの因果関係は生理学

的にも示されており、また、著者らの研究室における過去の実験結果からも裏付けられているからである ([4])。すなわち、作業負荷が大きく注意・集中度が高い時は RRV が小さく、逆に注意・集中度が低い場合には RRV は大きくなる傾向がある。

非常に単純な実証実験として、次のようなことを試みた。被験者に、5分間のリラックスしたら5分間計算問題を解く、ということを繰り返してもらった。その結果から、明らかにリラックスしている時の RRV は大きく、計算を行なっている時の RRV は小さくなっている (図 12)。このことから、RRV はメンタル・ストレスを表す指標として妥当であると考えられる。著者らは、本研究で扱っている設計・加工システムなどにおけるコミュニケーションの場合についても、RRV を測定してきた。しかしながら、未だ音声のみ・画像利用の場合についての差を言明するには至っていない。会話のテンポについては明白な差が見られたことなどからも、本来両者に差が無いとは考えにくい。作業が複雑であり、緊張かリラックスかという解析が困難であったことも一因であろう。また、RRV の装置を装着したことによるストレスが無かったかどうかについても検討する必要があると思われる。しかし、研究室内の他の実験では、やや複雑な計算機関係の作業を行なった場合でも、トラブルに陥ると RRV が小さくなるという傾向が示されている例もある。現実の作業に RRV の情報を反映させるためには、今後さらに RRV の測定及びデータ解析について検討してゆく必要がある。

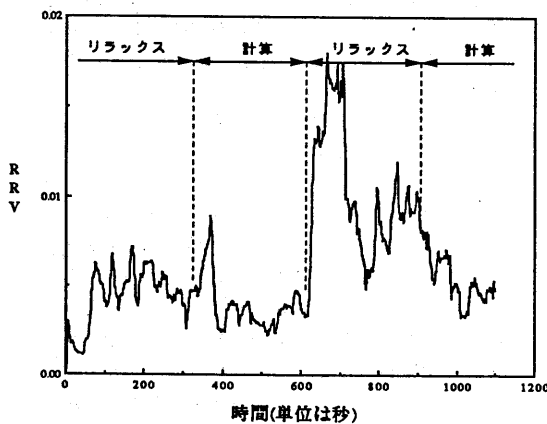


図 12: 簡単な計算問題を解いた場合の RRV

#### 4 まとめ

インフォーマル・コミュニケーションにおいて人間にとって適切な情報が何であるか知るために、本稿では生体情報を利用することを提案した。具体的には、視野、会話のテンポ、RRV の3つを挙げた。これらは、いずれも著者らのいう広義の生体情報と言うことができる。人間の内部状態や必要としている情報を知るためには、これらの情報は有用であると思われるが、不完全でありまいであることは否めない。視野については、この情報を直接コミュニケーションに利用する装置 (Share-View) を開発することができた。しかしながら、他の2つについては直接利用できる種類の情報ではなく、その値が大きい時には人間の心理状態はどうであって、どういう情報を与えるべきであるか、また逆に値が小さい時にはどうであるか、といった法則性を明らかにしなければならない。これは今後の課題である。仮に各指標が不完全であっても、それらを総合することによってかなりの状態を把握できると考えている。

また著者らは、生体情報を利用して人間の心理状態を把握し、その結果をメンタル・モデルの研究に応用することも考えている。人間が抱く心理的なイメージをモデル化したものがメンタル・モデルであるにもかかわらず、現在のモデルには現実的でないものも多い。本稿で取り上げたような生体情報を調べることで、実際の人間の心理状態に合うメンタル・モデルを構築することもできると期待している。さらに、構築したメンタル・モデルを、コンピュータを用いてコミュニケーション・システムに採り入れることも可能である。メンタル・モデルが正しければシステムのパフォーマンスは向上し、そうでなければ低下するので、システムを利用してメンタル・モデルの評価を行なえると考えられる。