

監視サービスの管制員に対する情報提示の影響評価

○魚住光成(三菱電機) 山田耕一(三菱電機) 村井秀聡(三菱電機)

浅間一(東京大学) 高草木薫(旭川医科大学)

概要

一般にシステム監視における管制員はアラームを待ち続ける受動型の作業であるが、アラームを待っている時間に、監視に関連する情報を提示し閲覧可能とする能動型の監視を行うと、管制員のアラームを処置する時間が短縮する傾向にある。

模擬環境を構築し、同環境でのアラーム処理の経験量が異なる被験者の比較を行った。その結果、経験量に関わらず、受動型に比べ能動型においてアラーム処置時間は短いことが確認された。一方、経験量の少ない被験者の生理的反応は、両環境間で僅差であったが、経験豊富な被験者は、能動型において、緊張感が高く苛立ちが少ない傾向にあることも確認できた。

従って、能動型の監視はアラーム処置の生産性を向上されるだけでなく、経験量の多い管制員に安定した作業を促す効果もあると考えられる。

1. 背景

様々な機器やネットワークから構成されるシステムを継続的に稼働させるため、監視が行われている。システムによってサービスを提供する事業者は、システムの監視を安価で効率的に行うため、監視業務をアウトソーシングすることは少なくない。

アウトソーシングの受け皿として監視をサービスとして提供する事業者は、集中的に監視を行う設備を有し、管制員を用意して 24 時間 365 日の監視を実施する[1]。監視サービスの事業者は、監視業務の合理化を進めることで、自らの生産性を向上させて競争力のあるサービス料金を実現する[2]。

その合理化の手段の一つとして、図 1 に示す管制員の待ち時間に情報を提示し、点検のような能動的

作業を可能とすることで、管制員の処理時間を短縮する方法が考えられる[3]。

このような手段をとった場合の管制員の経験量の差異による影響を、生理計測を用いて比較する実験を行った。その結果について報告する。

2. 監視オペレーションのモデル

監視サービスにおいて、管制員の監視のオペレーションは、アラーム待ちの状態、アラーム発生から処置開始までのアラーム認知の初動の状態、処置開始から完了までの処置作業の状態を繰り返す(図2)。

アラーム待ちの状態では、管制員は表示器等を注意してアラームに対し待機している。アラーム認知の初動の状態では、管制員は表示器等の変化を検知し、発生したアラームに対する処置を開始する。アラームの処置の状態では、管制員は手順書等の記載に従いアラームの処置を行い、処置を完了する。

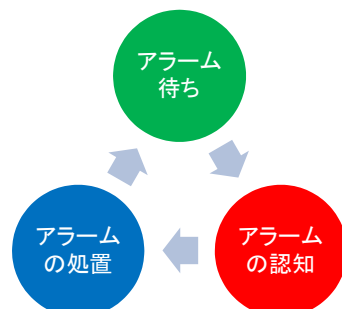


図2 オペレーションのモデル

3. 模擬環境による計測

コンピュータを用いた監視システムの模擬環境を構築し、被験者を用いた計測を行った。

3.1 模擬環境の構成

模擬環境は PC を用いた監視を模したアプリケーションソフトウェアと、生理計測装置、アラーム発生を通知するランプから構成される。

被験者は、PC に表示されるコンテンツを操作して管制員と同等の作業を行うとともに、生理計測のプローブを装着する。ランプは被験者の前に設置し、アラーム発生時に点灯、処置完了時に消灯する。

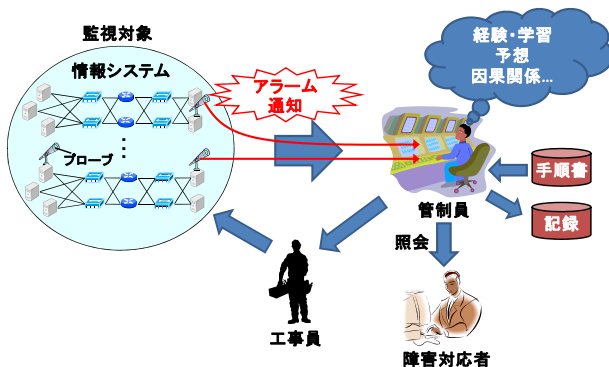


図1 監視サービスと管制員

3.2 監視を模したアプリケーションソフトウェア

PC上のアプリケーションソフトウェアは、アラームをランダムに発生し、その発生間隔は平均すると25秒としている。

アラームが発生するとその旨の表示が行われる。被験者はアラームを認知すると画面上のボタンをクリックする。アラーム発生からこのクリックまでの時間を初動時間とする。

クリックによってアラームに対する処置の画面が表示される。被験者は画面の内容に従って処置を決定し、該当する画面上のボタンをクリックする。処置の画面表示からこのクリックまでの時間を処置時間とする。

処置を完了すると、再び待ちの状態に戻る。処置の完了から次のアラームの発生までの時間を待ち時間とする。このシーケンスを1つのテストあたり20回繰り返す。

模擬する監視対象の機器は1000個であり、発生するアラームは3種類、処置は3種類であり、機器と発生するアラーム、対応する処置の組み合わせは、テスト毎に生成される。

実験では、管制員が受動的にアラームを待つ状態を模すテストと、提案の管制員に能動性を持たせた監視を模すテストを行うため、アラームを待つ画面は次の2種類を用意した。

(1)受動型

受動型の待ち時間では、アラームが発生するまで付加的な情報は表示されない。アラームが発生すると、画面の上段に発生した機器の情報が表示される。被験者はアラームの表示を認知すると処置のボタンをクリックする。図3に、アラームが発生した時の画面例を示す。

機器ID	使用時間	信頼性	予兆	閾値異常	部分停止	全体停止	稼働状態
163	8560	0.9953628	無	再起動	連絡	交換	閾値異常

163 閾値異常				インシデント数 0 件		処置	
----------	--	--	--	-------------	--	----	--

図3 受動型のアラーム待ち画面

(2)能動型

能動型の待ち画面では、常時、監視対象の一覧が画面下部に表示される。

被験者はアラームを待っている間に、この一覧をスクロールすること、機器IDや使用時間などの項目で一覧をソートすることが可能である。

尚、使用時間や信頼性、予兆の項目の表示内容と、アラームが発生する機器の可能性は、この模擬環境において相関性はとっていない。実システムにおいては、統計的にはアラームの発生と相関性のある項目ではあるが、この模擬システムで被験者が対応する20のアラームにおいては有意な差異とはならない。

図4に、アラームが発生した時の画面例を示す。

機器ID	使用時間	信頼性	予兆	閾値異常	部分停止	全体停止	稼働状態
916	4109	0.9916213	無	再起動	再起動	交換	閾値異常

916 閾値異常				インシデント数 0 件		処置	
----------	--	--	--	-------------	--	----	--

機器ID	使用時間	信頼性	予兆	閾値異常	部分停止	全体停止	稼働状態
906	4906	0.9937637	有	連絡	再起動	再起動	正常
907	4852	0.9937613	無	再起動	再起動	連絡	正常
908	51	0.9928326	無	交換	交換	交換	正常
909	7931	0.9983225	無	再起動	連絡	交換	正常
910	3366	0.9995264	有	交換	交換	連絡	正常
911	3813	0.9981338	有	交換	再起動	再起動	正常
912	5466	0.9924261	無	連絡	再起動	連絡	正常
913	8833	0.9907081	無	連絡	交換	交換	正常
914	2093	0.9978009	有	再起動	連絡	再起動	正常
915	8845	0.9956984	無	連絡	連絡	交換	正常
916	4109	0.9916213	無	再起動	再起動	交換	閾値異常

図4 能動型のアラーム待ち画面

3.3 生理計測装置

精神性発汗の変動をとらえるため、皮膚電気反射 (Galvanic Skin Reflex: GSR) を計測する。また、ストレスによる苛立ちの程度を把握するため、咀嚼筋の表面筋電流 (electromyogram: EMG) を、精神的緊張度を把握するため心電図 (electrocardiogram: ECG) を採取する。計測機器として、PowerLab 26T および Bio Amp (ECG, fEMG 用アンプ)、GSR Amp によって構成されたシステム (ADInstrument 社製) [4] を使用した (図5)。計測結果例を図6に示す。

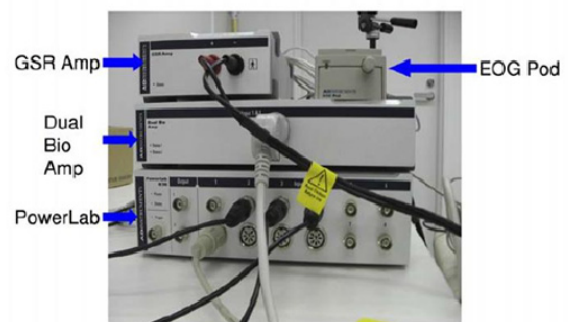


図5 PowerLab 26T

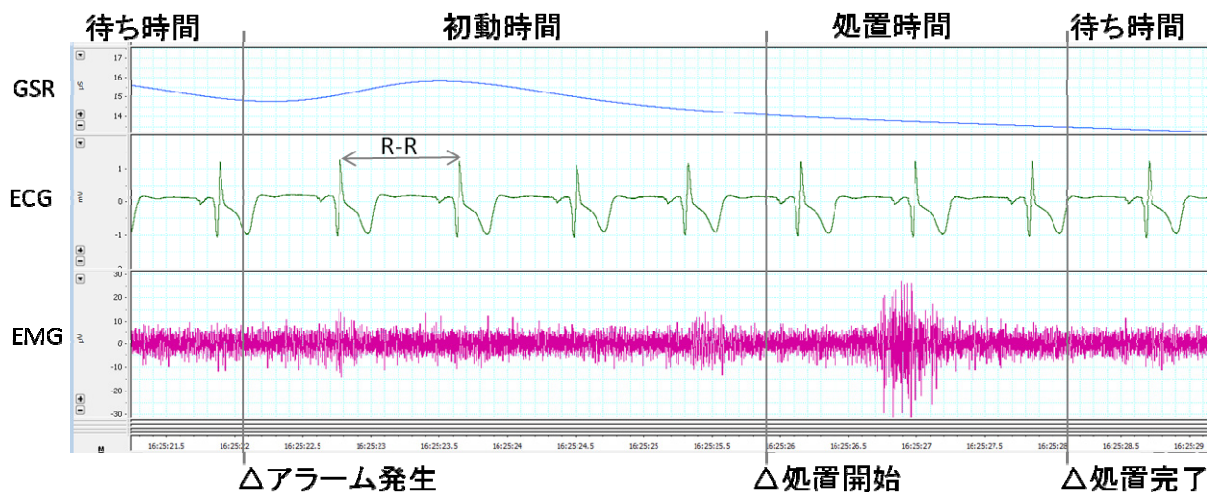


図 6 PowerLab による計測結果例

4. 計測結果

模擬環境にて、アラームをひたすら待つ受動型と事前の情報提示と任意の操作を伴う能動型について、初めてこの模擬環境を使用する初心者3名と、10回以上この模擬環境を使用した経験のある熟練者2名の合計5名の被験者を使って計測を行った。尚、提示するグラフは典型例として初心者、熟練者それぞれについて特定の被験者の結果を提示する。

各グラフの値は、受動型、能動型のそれぞれのテストで発生した20回のアラームについての平均値である。

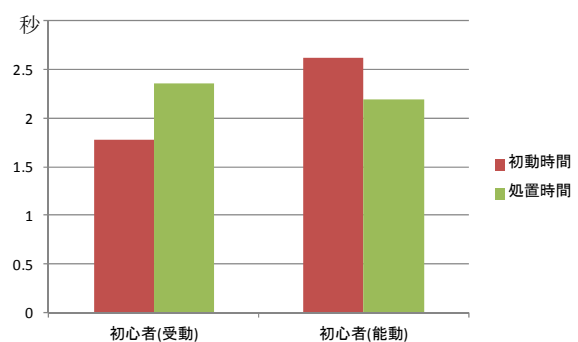


図 7 初心者の反応時間

4.1 被験者の反応時間

被験者が、アラーム発生を認知して処置開始のアクションをとるまでの初動時間と、処置開始から処置完了までの処置時間について、各条件における差異を図7と図8に示す。

アラームの発生を待ち続ける受動型と待ち時間に情報を閲覧する能動型を比較すると、初動時間は受動型の方が短く、処置時間は能動型の方が短い。この傾向は初心者、熟練者ともに変わらない。

能動型における初動時間は、アラーム発生時の注意喚起の方法で改善が図れると思われる。

処置時間は相対的に熟練者の方が短く、経験の差が作業時間に現れている。

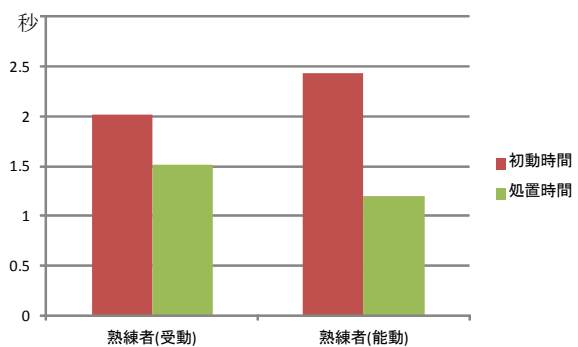


図 8 熟練者の反応時間

4.2 心拍の変動

心電図より R-R 間隔を抽出した。前回の処置完了からアラーム発生までの待ち時間、アラーム発生から認知までの初動時間、処置開始から処置完了までの処置時間について、それぞれの区間の平均値を図 9 と図 10 に示す。

R-R 間隔は心拍数の逆数であるため、値が小さくなるほど心拍数が上昇していることになる。精神的緊張が高くなると、心拍数は上昇すると考えられるため、R-R 間隔の値が小さいほど精神的緊張が高いとみることができる。

図 9 に示すように、初心者においてはアラーム発生後の初動時間、処置時間に緊張が高まっているとみることができる。また、受動型、能動型で傾向に差異はない。

図 10 は熟練者の R-R 間隔を示しており、初心者とは傾向が異なる。熟練者は、受動型においてはアラーム発生後に緊張が高まっているとみることができるが、能動型では、アラーム発生後は緊張が低下する。また、熟練者の受動型と能動型の R-R 間隔を比較すると、能動型の方が、全般的に緊張が高いとみることができる。監視において能動型の業務を行うことで、熟練者の緊張を高める効果も期待できる。

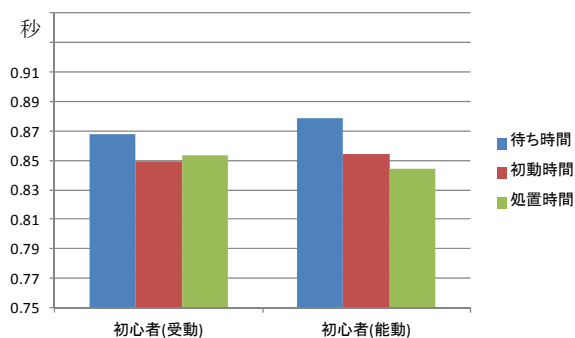


図 9 初心者の R-R 間隔

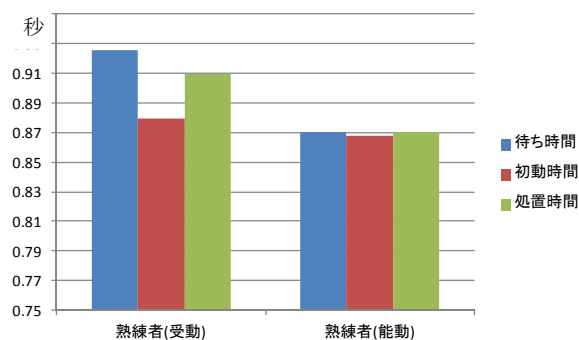


図 10 熟練者の R-R 間隔

4.3 咀嚼筋の活動

歯を食いしばるなど行為は苛立ちのあるときに多く見られ、これは咀嚼筋の筋電の変化として検知できる。このとき筋電は大きく振れる。

この実験では計測した信号を整流化し、自乗平均平方根を求め、各区間の平均を比較[5]することとした。

前回の処置完了からアラーム発生までの待ち時間、アラーム発生からその認知までの初動時間、処置開始から処置完了までの処置時間について、それぞれの区間の平均値を図 11 と図 12 に示す。

筋電流(EMG)を整流化して評価しているため、咀嚼筋の活動が活発なほど値は高くなる。

初心者、熟練者の何れも、受動型より能動型の方が、咀嚼筋の活動は低い傾向にあり、苛立ちも小さいと推察できる。特に熟練者にその傾向が強く見られる。

監視において能動型の業務を行うことで、管制員の苛立ちを軽減する効果も期待できるといえる。

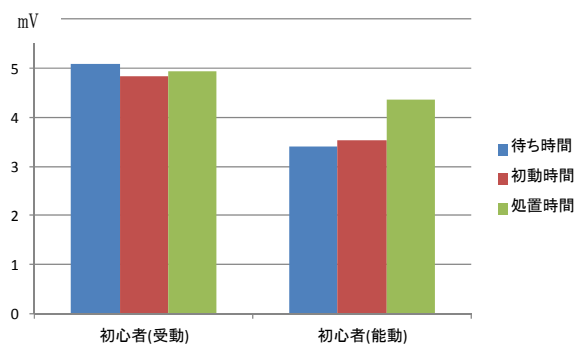


図 11 初心者の咀嚼筋の活動

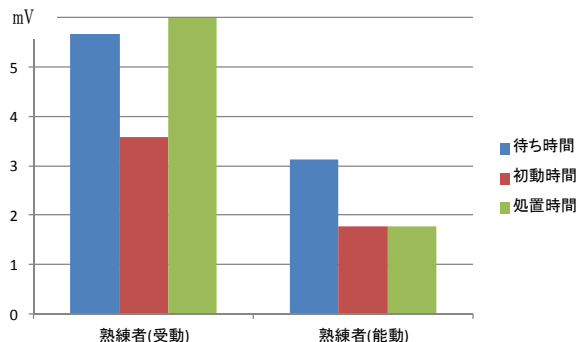


図 12 熟練者の咀嚼筋の活動

4.4 精神性発汗の変動

皮膚電気反射(GSR)は、精神性発汗に伴う皮膚の電気変動を測定したものである[6].

作業に伴い交感神経の活動が活発となり持続的に発汗が増加する傾向と、作業中の刺激などによる情動の変化にともなう皮膚電気反射の変動が想定される. そのため、待ち時間、初動時間、処置時間のそれぞれの区間について、皮膚電気反射の水準として平均値を、振幅として最大値と最小値の差を求めた.

各被験者の受動型、能動型の平均を図 13、図 14、図 15、図 16 に示す.

初心者の皮膚電気反射の水準は、待ち時間よりも初動時間、処置時間のほうが高い傾向にある. これは、アラーム発生後の作業が被験者にとって負荷となっていることを示していると考えられる. 熟練者の皮膚電気反射の水準は、受動型において若干、待ち時間よりも初動時間、処置時間が高い傾向を示すが、顕著な差異とは言えない. 能動型においては全ての区間を通じて皮膚電気反射の水準に差異がない. これは、アラーム発生後の作業が被験者にとって軽微な負荷であることを示していると考えられる.

また、受動型と能動型を比較すると、初心者は能動型の方が全般に皮膚電気反射の水準が高い傾向をしめしているが、熟練者においてはこうした差異は見られない. 待ち時間に情報提示されることが初心者においては負荷上昇となっていると考えられる.

皮膚電気反射の振幅は、初心者、熟練者ともに、待ち時間に大きい傾向を示している. この実験においてはアラームの発生が最も大きな刺激となっているためと考えられる.

初心者においては、受動型よりも能動型の方が初動時間、処置時間の皮膚電気反射の振幅が大きい傾向にある. 一方、熟練者においては、待ち時間含め、能動型の方が皮膚電流反射の振幅は小さい傾向にある. この差異は、待ち時間に提示した情報の作用が経験量によって異なる可能性を示していると考えられる.

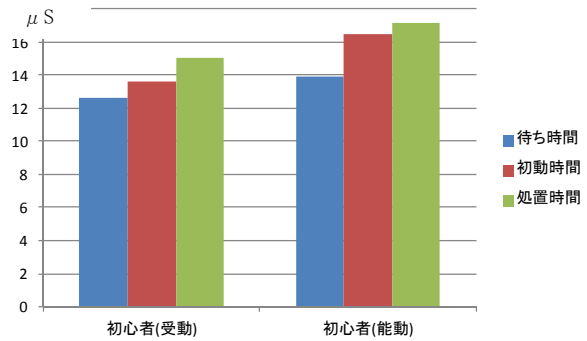


図 13 初心者の皮膚電気反射の水準

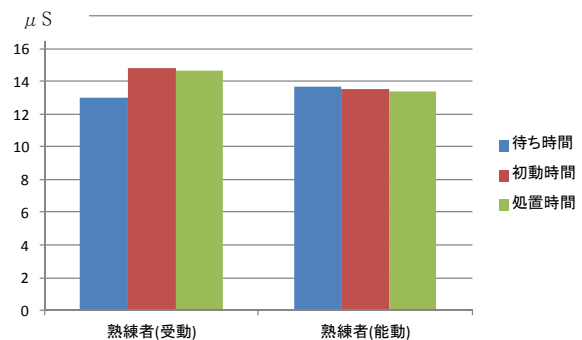


図 14 熟練者の皮膚電気反射の水準

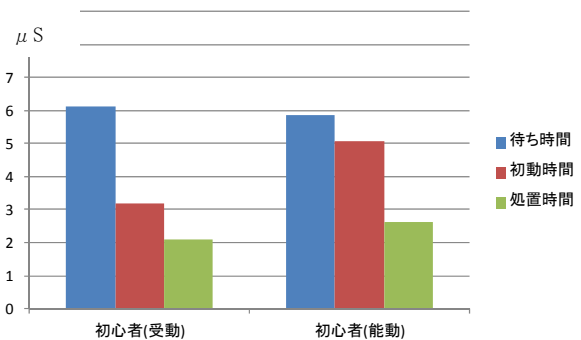


図 15 初心者の皮膚電気反射の振幅

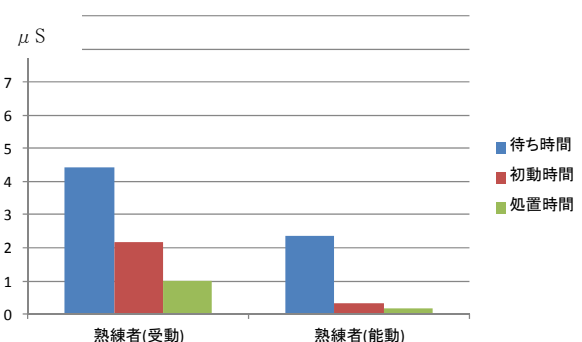


図 16 熟練者の皮膚電気反射の振幅

5. 考察

アラームの処置時間は、初心者、熟練者ともに、受動型と比較し能動型の方が短縮されるが、その時の生理的反応は異なることが明らかになった。

表1にその差異を纏めた。

心拍については、初心者と熟練者を比較すると、初心者においては、受動型と能動型で大きな差異がなかったのに対し、熟練者では、能動型の方が高い傾向にあった。これは、熟練者には慣れた作業であっても、待ち時間に情報を表示することで緊張感を高めたと考えられる。適度な緊張感であれば、慣れによるミスなどの防止に効果が期待できる。

咀嚼筋の活動は、熟練者の能動型において大きく低下している。これは、作業に対する苛立ちが低下したと考えることができる。

精神性発汗も、皮膚電気反射の振幅によると熟練者の能動型においておおきく低下している。これは、精神的な変動が待ち時間に情報を表示することで、少なくなっていると考えられる。一方、初心者においては、皮膚電気反射の振幅が能動型において上昇しており、表示される情報が増えたことが精神的な変動を大きくしている可能性がある。しかし、これは作業が慣れるにつれ熟練者のように安定していくと想定される。

従って、能動型の監視はアラーム処置の生産性を向上させるだけでなく、経験量の多い管制員に安定した作業を促す効果もあるということが出来る。

本稿では、従来の受動的な監視を、管制員にとって能動性のある監視に変えることで、アラームの処置時間が短縮されることを示した。管制員の経験量に関わらず、受動型に比べ能動型がアラーム処置時間は短い。

また、経験量の少ない管制員は生理的反応に受動型と能動型に大きな差異は見られないが、経験量が多い管制員では、能動型の方が、緊張感が高く、苛立ちが少なく、精神的変動も小さい傾向であることも示した。

従って、能動型の監視はアラーム処置の生産性を向上させるだけでなく、経験量の多い管制員に安定した作業を促す。この方法は、監視における有人対応の作業の生産性向上に効果があるといえる。

参 考 文 献

- [1] “統合運用管制センター(ICC)”, <http://www.mind.ad.jp/service/icc/>
- [2] 子方秀介 他: “クラウド指向データセンター基盤”, NEC 技報 Vol.63 No.2, 2010
- [3] 魚住光成 他: “監視サービスの自動化と管制員のオペレーションの課題”, 日本ロボット学会学術講演会, 2011
- [4] “PowerLab26T”, <http://www.adinstruments.co.jp>
- [5] レクオン ズン他: “カーレーサーのレース中のストレス推定のための咀嚼筋活動の計測”, 第25回自律分散システム・シンポジウム, 2013
- [6] 堀忠雄: “生理心理学”, 培風館, 2008

表1 初心者と熟練者の差異

	初心者	熟練者
初動時間	受動 < 能動	受動 < 能動
処置時間	受動 > 能動	受動 > 能動
心拍	受動 ≒ 能動	受動 < 能動
咀嚼筋活動	受動 > 能動	受動 ≧ 能動
精神性発汗	受動 < 能動	受動 ≧ 能動

6. おわりに

監視サービスの事業者は、監視業務の合理化を進めることで、自らの生産性を向上させて競争力のあるサービス料金を実現する。その為の手段として、自動化が進められているが、全ての事象を自動で処理することは不可能であり、管制員の生産性も重要である。