

平成 19 年 4 月 20 日

平成 18 年度「無重力環境下における上肢作業負荷及び作業精度の 測定調査」活動報告書

首都大学東京システムデザイン学部 鈴木 哲

1. 構成メンバ

氏名	所属
鈴木哲	首都大学東京システムデザイン学部
松井岳巳	首都大学東京システムデザイン学部
矢頭悠介	青山学院大学理工学部
稲積宏誠	青山学院大学理工学部
小谷賢太郎	関西大学工学部
笠松慶子	金沢工業大学情報フロンティア学部

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第 1 回：平成 18 年 12 月 6 日
- (2) 第 2 回：平成 18 年 12 月 8 日

3. 活動目的

無重力環境下での身体の特徴的变化として、筋の廃用性萎縮、身長伸び等の身体寸法変化が挙げられる。このような状況において作業を遂行する場合、地球上での身体の運動制御とは感覚的に異なると考えられる。特に船外における作業においては、船外活動ユニット（宇宙服）による作業性の低下や、無重力による姿勢保持の困難さが考えられ、さらに作業効率や作業における安全性の低下が懸念される。

そこで、本 WG での議論の目的として、①無重力環境下での姿勢保持及び作業における筋負担、姿勢保持の不安定性、及び船外活動ユニットに伴う作業性の変化、②無重力環境下でのバイタルサインの非接触計測及びメンタルストレスの計測方法、の 2 点について検討する。また、この問題に関する実験計画が可能か併せて検討を行う。

4. 活動内容

第 1 回目は主に心理・メンタルストレス評価について、第 2 回目は微小重力環境における筋骨格系の変化と作業パフォーマンスの変化、及びその調査と支援方法について検討を行った。

4. 1 メンタルストレスについて

・検討事項：

数ヶ月といった長期に亘る閉鎖空間での作業では、作業に伴う身体的作業負担（フィジカルワークロード）のみでなく、精神的作業負担（メンタルワークロード）の影響も考慮すべきであるといった指摘もあった。一般には質問紙によるものが多いが、生理的な変化を捉えることによりメンタルストレスの変化を推定するといった、生理的データを基にした客観的な指標を利用すべきであるといった意見があった。

・調査検討：

本 WG で提案されたものとして、微弱なマイクロ波レーダーを用いる方法であった。作業に伴う身体的・精神的作業負担を把握するためには、一般的に心拍や呼吸などのバイタルサインをモニタし、その変化により負荷の程度の評価を行う。しかし、実際の作業中の変化を捉える場合、取り付けに伴う知識や煩雑さ、センサによる拘束性が作業遂行の障害となり、作業性へ影響を及ぼす可能性が生じる。特に長期に亘る調査を行う場合、センサ取り付けによって、調査対象者に対する負担が増加するなど、センサの体表面への取り付けによる弊害が大きな問題となる。そこで、マイクロ波の性質である、①衣類等の「透過性」、②一定距離離れた位置から観察可能な「遠隔性」、の 2 つを用いて、生体の心拍や呼吸に伴って体表面に生ずる微小な変化を捉えようとするものである。宇宙飛行士の心拍や呼吸などのバイタルサインを、一定距離離れた場所から完全な非接触でモニタ

することにより、自律神経系の変化を算出し、作業や長期閉鎖空間より受けるフィジカル及びメンタルワークロードを評価しようとするものである。

すでに、このシステムを天上に実験的に設置し、衣類や布団を透過し、就寝中の被験者の呼吸・心拍を2m上方の天井から取得することに成功している。この技術を用いて宇宙飛行士の作業中・安静中のバイタルサインを衣類越しに、また離れた場所から遠隔的に、非接触且つ無拘束で取得する。この取得した波形から心拍・呼吸に関する周波数成分を抽出し、長期閉鎖空間で受けるフィジカル及びメンタルストレスを定量的に評価するといったものである。

4. 2 作業パフォーマンスについて

・検討事項：

作業パフォーマンスに関して検討する際、宇宙船外と船内とで大きく異なると考えられるが、特に船外活動での動作と安全性について検討することが重要であると考えられる。

無重力環境下における身体の変化に関する問題点として、筋の廃用性萎縮による筋力低下、身体寸法の変化、体液の上方へのシフト等が指摘された。特に廃用性萎縮については、過去に30%もの萎縮も報告されていることから、抗重力筋の低下によって遅筋が萎縮し、作業に伴う負担だけでなく姿勢保持のために求められる身体の負担や作業効率、安全性への影響も懸念される。その他、上半身への体液シフトによって船外活動用ユニット内部の与圧により掛かる負荷、断熱層や放射線遮断層等の厚みによる作業負担等も大きくなる問題点も指摘された。宇宙船外では安全性の確保が最優先されるべきであるが、一方で船

外活動用ユニットの安全性のための装備が作業活動への負担となり、操作性が阻害されていると考えられる。

このような状況において、ヒューマンエラーが発生すると考えられる仕組みについて、図1のような構造であると考えられた。重力環境下での筋や身体寸法変化等の生理状態変化と、既に保持されている体性感覚の関係が、特に体性感覚における動作・作業イメージが異なると考えられ、この2つのイメージのズレがエラー発生に起因すると考えられる。つまり、重力の相違による感覚量のズレがエラー等に影響すると考えられる。また、重力の有無とは余り関係は無いが、船外活動ユニットとの使用性について検討する必要があることが指摘され、特に今後ロボットアームでは処理が困難と考えられる微細な作業に対してどの程度船外活動ユニットが適しているか、また宇宙空間で作業しやすい操作具の仕様はどのようなものか検討する方法が提案された。

・調査検討：

検討時に指摘された、船外活動ユニットと微細な動作の関係を調査するために、特に指から受ける外力に対する体性感覚の反応レベルの調査について提案がなされた。船外活動ユニットのグラブの厚さによって指で受ける感覚量が変化すると考えられ、この関係を水中で調査する提案がなされた。まず、適当な厚さを持つグラブを数種用意し、被験者に装着させる。適当な水槽内を用意し、この中でボタンやダイヤル等の操作具をどの程度の変位で弁別できるか調査するといった簡易な調査方法が提案された。この種のデータは、今後船外で利用されると考えられるボタンやダイヤル等の操作具をどの程度の加圧レベルに設定すべきか、また弁別レベルの調査を基に、ダイヤル等の操作具の可変程度をどう設定するかといった、設計段階での検討材料として提供できると考えられる。

その他、地上における研究としては水中実験の他にパラボリックフライトが考えられる。本WGで検討する種の調査では、細胞レベルの実験や動物実験等とは異なり人間自身が実験を行わなければならない、パラボリックフライトのような実験では

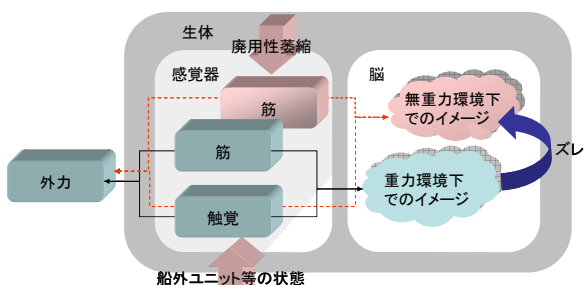


図1 生体の変化と作業中におけるエラー発生の構造

数十秒と制限されるため、十分な調査時間が確保できない問題がある。したがって、水中での実験の方が現実的であるといった指摘があった。また、「きぼう」の乗員に対して調査依頼を行うことも考えられるが、船外での安全性確保が可能である場合は検討可能であるが、実際には困難であるという結果に至った。

4. 3 課題

検討に際し、メンバから「無重力」が感覚的にイメージしにくいとの意見があった。また、地上では水中での調査が適しているが、得られる結果に対し調査の安全性と経費が見合うかどうかといった点が指摘された。また、「きぼう」等の船外調査依頼も検討したが、宇宙飛行士の安全性確保が最優先であるため、調査は困難であると考えられる。

今後、船外における人間の作業も考得るべきであるが、より安全性を考えるのであれば、ロボットハンド・アーム、さらにロボットのよる作業化が行われると考えられ、特殊な状態でのみ人間が船外で直接作業を行うようになると考えられる。したがって、これらの機器操作に関する調査が重要となるが、これは宇宙であっても地上であっても大きな差異が無いと考えられる。