

スクーバダイビング中の小型医療機器を用いた 測定を可能にする防水ケース開発に関する研究

田中博史*, 森口哲史**, 兵頭圭介***, 中間和男****

*外国語学部英語学科, **東京医科大学,
経済学部社会経済学科, *文学部中国文学科

Research developing a waterproofing case to enable measurement using small medical apparatus during scuba diving

Hiroshi Tanaka, Tetsushi Moriguchi, Keisuke Hyodo, Kazuo Nakama

Abstract

The purpose of this study was developing a waterproof case to make it possible to measure physiological information during scuba diving using a small medical apparatus.

Clinical data about the physiological information during scuba diving can be obtained by using this development waterproof case. This potentially allows development of an index to measure diving safety.

The following conclusions were obtained from the results of this study.

- 1) The waterproofing of the developed case was confirmed as satisfactorily high. Moreover, it was confirmed to have satisfactory capacity to resist pressure.
- 2) In order to maintain a neutral lift for the developed waterproofing case, it is necessary to attach a 2kg weight.
- 3) The regulator attached to the waterproofing case showed that there was no squeeze on the human body.

Introduction

スクーバダイビング (Scuba Diving) は約50年前に日本に紹介され⁶⁾、現在では老若男女が楽しめる生涯スポーツのひとつとして多くの人に楽しまれている。以前は、職業としてスクーバダイビングを行うケースが多かったが、現在ではレジャーダイビングと呼ばれスポーツもしくはレクリエーションとしてスクーバダイビングを楽しむ人が飛躍的に増え¹⁾、国内だけで10万人以上の人たちが楽しんでいるといわれている。

スクーバダイビングでは水圧によって体に圧力がかかる。大気圧1は1 atm abs (atmosphere absolute) であり、深度10mでは2 atm abs、深度20mでは3 atm abs…と変化する。潜水による物理的な環境変化は人間の体に窒素酔い、酸素中毒、減圧症などの影響を与え潜水中の安全面や人体の健康に危険を及ぼす可能性がある。このような環境の物理変化による体への影響と予防法については、ダイビングのバイブルといわれ国際的に高い評価を得ている U. S. NAVY Diving Manual⁷⁾ に掲載されており、国内においては多くの指導団体がこのマニュアルに従って指導をしているのが現状である。しかし、本マニュアルにおいては物理的、生理学的理論に基づいたものであり、その記述の多くは実際のダイビング中に測定を行ったものではなく、時々刻々と変化する実際のダイビング環境での体の変化についてははっきりとした記述がなされていない。

スクーバダイビングによってもたらされる身体の変化に関する研究は減圧症に関する研究が多く見られ、その中でもダイビングの事後の症状について報告されたもの^{2) 4) 5) 9) 10)}が多く、時々刻々と変化するダイビング中の生理変化の様子を報告したものはみあたらない。また、作業ダイバーについての研究^{3) 8) 10)}や減圧症に代表される潜水事故に関する報告^{12) 13) 14) 15)}もみられるが、ダイビング中における人体の生理的機能についての測定にいたったものはない。したがって、各種医療器具を用いて実際のダイビング中における体の生理的変化を時系列に従って測定することは、今後のスクーバダイビング活動において安全ダイビング遂行上極めて有用な指標を示すことになるだろうと考えられる。

そこで本研究は、実際のスクーバダイビング中に各種小型医療機器を用いて生体情報を測定可能にするため、陸上で使用されている医療機器を水中でドライ環境に保つ防水ケースを開発することを目的として行った。なお今回開発する防水ケースは人体の手首から先の部位をカバーするものであり、想定される使用可能機器は指先もしくは手首で測定する機器である。

Methods

(1) プロトタイプの作成

思案されたラフスケッチを元に、カメラ用の水中ハウジングを作成販売している (株) DIV (東京池袋) に依頼しプロトタイプを作成した (図1)。

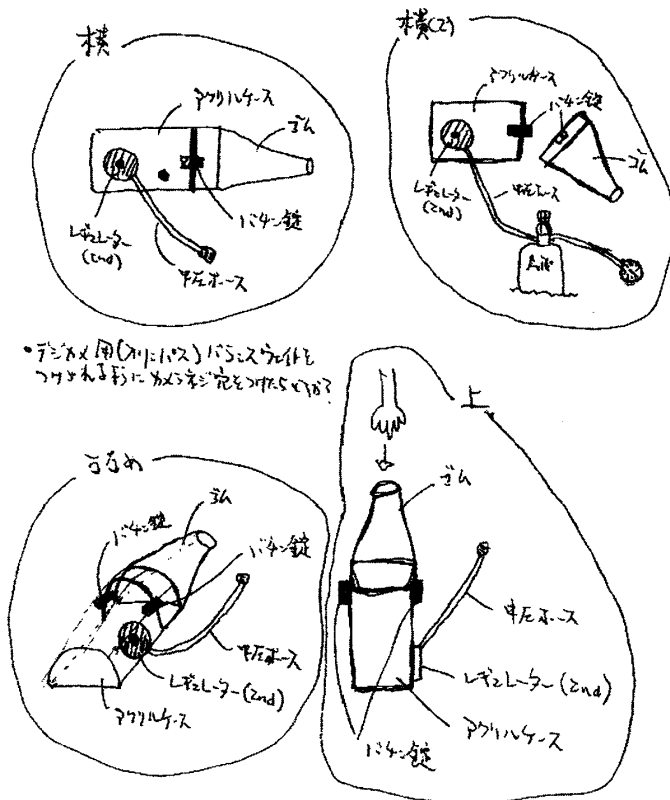


図1. 開発された防水ケースのラフスケッチ

(2) 防水性, ケース浮力, スクーズの各検査

1) 被検者

被検者はスクーバダイビングのインストラクター資格を有するプロのダイバー3名であった。なお検査中は陸上, 水面及び水中でのダイビングインストラクターによる監視下で行われ, ダイバーの安全確保を十分考慮して行われた。また, 検査ダイバーにはあらかじめ検査の趣旨などを口頭説明しインフォームドコンセントを得て検査を行った。

2) 検査期間及び場所

検査の期間は防水ケースのプロトタイプ Ver 1 を用いての検査を2004年5月22日(土)に行い, そこで問題となった部分の修正を加えたプロトタイプ Ver 2 の検査を6月19日(土)に行った。いずれの検査もセントラルフィットネスクラブ錦糸町(東京墨田区)のスクーバダイビングプール(深度4m)にて行った。

3) 検査内容

検査は各種部品の接合部及び手首との接点の防水性, ケース内にエアが入るためそれによって生じるプラス浮力を補正しケース自体が中性浮力を保てるようにするためのバランスウェイトの適正量の確認, 手首接合部の圧力変化によるスクイズの有無の確認の3種類の検査を行った。



図 2. 水深 4 m での検査風景

Result and discussion

(1) 防水性について

まず、開発された防水ハウジングを装着して水面にて水漏れのチェックを行った。5月22日に行われたプロトタイプ Ver 1 を用いての検査では水面ですでに水漏れが確認された。しかし、その時点でどの部分からの水漏れか確認が出来なかったため被験者に装着させ水深 4 m まで潜行し部位の特定をすることとした。ケースに装着されているレギュレーター (図 3 の 1) よりケース内にエアをいれケース内の圧を高め水漏れしている場所を特定したところレギュレーター接続部 (図 3 の 1) からの水漏れが確認された。また、手首部のゴム (図 3 の 6) の接着面とアクリルケース (図 3 の 3) 本体を接続する部分については防水用の Oリング (図 3 の 7) を使用しているため高い防水性が確認された。さらに、手首部のゴム (図 3 の 6) と手首との接点について

は手首の動かし方により水漏れが確認されたため防水性を高めるためにドライスーツ用の手首バンドを用いて行ったところ高い防水性が得られた。

プロトタイプ Ver1 防水検査において水漏れがあった箇所について（株）DIV（東京池袋）にて修理を行い6月19日に2度目の防水検査を行ったところ実際に装着し深度4mまで潜行，体を動かしながら約10分間の潜水を行ったが水漏れはみられなかった。しかし，ケース内が密閉状態であるためケース内に結露が生じる現象がみられたため使用する際にケース内に湿度を調節するためのシリカゲルをいれることで結露については解決した。

この防水検査により作成された防水ケースの防水性が確認された。また耐圧についてはアクリルの素材が約1.5cmであることと，ケース内のエアはレギュレーター（図3の1）から出入りすることから考えるとレジャーダイバーが潜水する深度ではまったく問題ないことが構造上確認されている。さらに，万が一ケース内への水漏れが見つかったときにはレギュレーター（図3の1）よりケース内にエアを入れることによりケースの内圧が外圧より高まることによりそれ以上の水漏れを防ぐことが出来る仕様となっている。

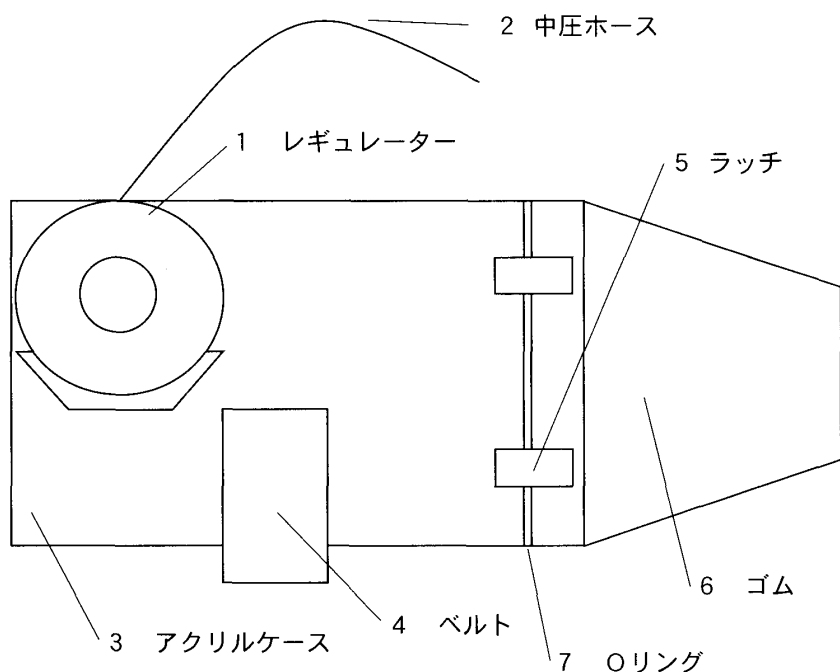


図3. 開発された防水ケースの図面

(2) 浮力検査について

本研究で開発された防水ケースは円形筒状のアクリル素材で作られているためケース内部のエアにより防水ケース自体がプラスの浮力を持つこととなる。スクーバダイビングにおいては潜水中の急浮上は身体に減圧症や耳のリバースブロック等の悪影響を及ぼすため緊急時以外はしないよう指導がなされている。したがって，防水ケースの浮力が原因により急浮上することになると

極めて危険な測定装置となりうるためケースの浮力を中性に保つ必要がある。そこで、ケース底部にベルト（図3の4）を取り付け浮力調整用のウェイトを取り付けられるようにした。検査ではケースの容積から2 kgのウェイトを装着して4 mまで潜水を行った。その結果、ケースに中性浮力が保たれるようになり、開発された防水ケースを使用する際には被験者の安全面から2 kgのウェイトをつけての使用がベストな重さであることがわかった。

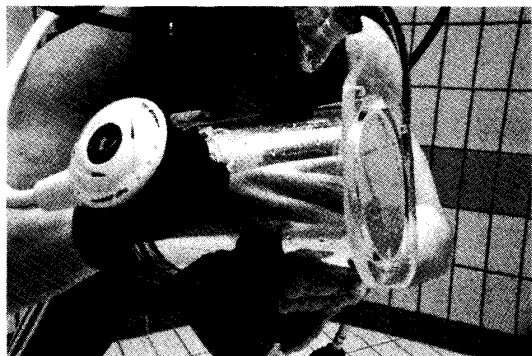


図4. 浮力検査（ケース下部に2 kg ウェイト装着）

（3）スクイーズについて

スクーバダイビング中に中耳やサイナス、ウェットスーツのしわ、マスクなど空間がある部分に起こる現象であるスクイーズが本研究で開発された防水ケースにおいてもケース内の圧力変化により起こるのではないかと予想される。しかし、開発されたケースはケース内とつながるレギュレーターを取り付けてあり、ケース内の圧力が上がればエキゾーストティーからエアが排出され（図4）、ケース内の圧力が下がればエアタンクからエアが供給される。この構造から考えるとスクイーズはおきないと考えられ、検査においては深度4 mまでであったがまったくスクイーズを感じることはなかった。このことについてはもう少し高深度において確認をしておかなければならないであろうと思われるが構造上問題はないであろうと予測される。

（4）まとめ

本研究により開発された防水ケースの防水性及びプラス浮力を補うための適正ウェイト量、スクイーズが発生しない構造が確認された。これにより、指先もしくは手首に小型の医療機器を装着して実際のダイビングの中で測定が可能になる。今後の課題としてはそれらの小型医療機器をケース装着状態で測定した際に陸上での測定との誤差がないデータを得ることが出来るかどうかの確認が必要であると考えられる。

この防水ケースの開発により想定される測定可能な生体情報は、指先もしくは手首を用いた血圧、パルスオキシメーターを用いた血中酸素飽和度及び心拍数である。これら循環器系の生体情報得ることは日常とは違う環境下に入るものにとって極めて重要な生体情報であり臨床データを得ることにより今までよりもさらに安全ダイビングを進めていくことが可能になるであろうと考えられる。

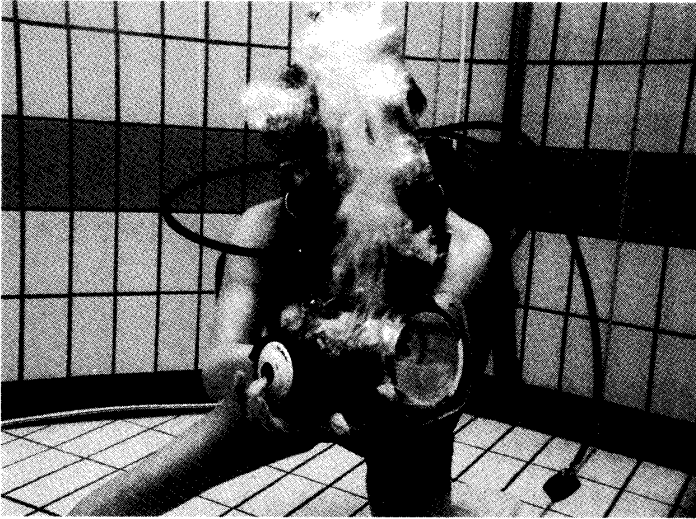


図5. ケース内部のレギュレーターからのエアインとアウト

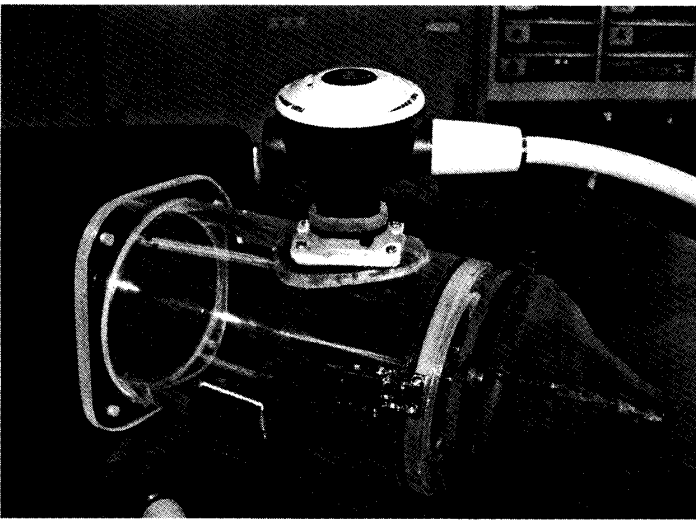


図6. 開発された防水ケース

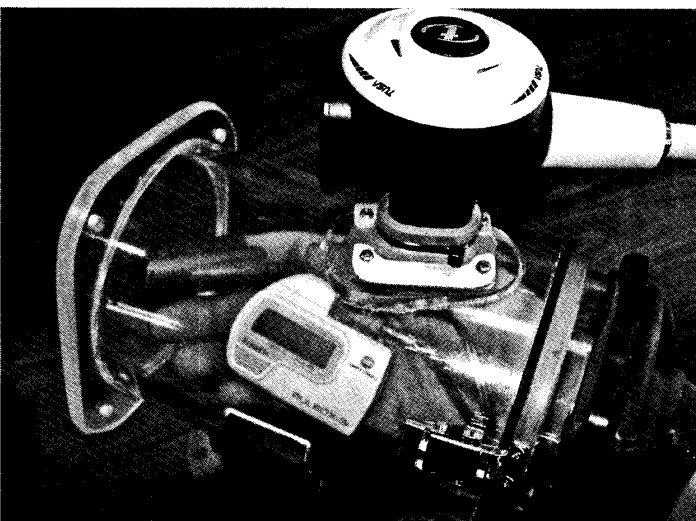


図7. 小型医療機器を装着した状態での防水ケース

Abstract

本研究は、スクーバダイビング中の生体情報を小型医療機器を用いて測定することを可能にするための防水ケースを開発することを目的として行った。この開発によりスクーバダイビング中の生体に関する臨床データを得ることが出来、安全ダイビングの指標を得ることが出来ると考えられる。

本研究で以下の結論を得た。

- 1) 開発されたケースの高い防水性が確認された。また、ケースの耐圧についてはレジャーダイバーの水中行動範囲では問題がないことが確認された。
- 2) ケースのプラス浮力を中性に保つためのウェイト量は2 kgが適切であった。
- 3) ケースに装着されたレギュレーターの働きによりスクイーズによる人体への影響はないことがわかった。

Acknowledgment

本研究を結ぶにあたり、快く協力をしていただきました(株)DIV 工藤氏、セントラルスポーツ(株)に御礼を申し上げます。

References

- 1) 池田知純：潜水医学入門—安全に潜るために—, (株)大修館書店, 1995年, 東京
- 2) Mano Y., N. Yamami, M. Shibayama, and M. Kawashima: Profile of actual diving circumstance on recreation divers in japan. Proceedings of the 14th Meeting of the United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Panel on Diving Physiology, Florida, 139-148, 1998
- 3) 眞野喜洋：圧気土木作業における減圧症発症率に関する研究—最近5年間の発症率推移—, 産業医学, 29 (4), 271-278, 1987
- 4) 中山晴美, 芝山正治, 小宮正久, 内山めぐみ, 山見信夫, 高橋正好, 眞野喜洋：レジャーダイバーの減圧症罹患頻度について, 日高圧医誌, 33 (2), 73-80, 1998
- 5) 眞野喜洋, 芝山正治：潜水病(減圧症), 臨床スポーツ医学, 文光堂, 3 (6), 593-597, 1986
- 6) 大岩弘典：新しい潜水医学, (株)水中造形センター, 2003年, 東京
- 7) 関邦博, 眞野喜洋, 横山曠大 訳：U.S. NAVY ダイビングマニュアル第6刷, (株)朝倉書店, 2002年, 東京
- 8) 柴山正治, 眞野喜洋：追い込み漁潜水作業における潜水プロフィールと労作強度, 日衛誌, 44 (2), 587-594, 1989
- 9) 柴山正治：潜水で用いる自動減圧計によって発症した減圧症について, 駒沢女子大学研究紀要, 3, 95-100, 1996
- 10) 柴山正治, 眞野喜洋, 大久保仁：漁業(追い込み漁法)ダイバー耳管機能に関する研究, 産業医学, 29 (4), 265-270, 1987
- 11) 柴山正治, 山見信夫, 中山晴美, 高橋正好, 水野哲也, 眞野喜洋：レジャーダイバーの現状—現地実態調査からの分析—, 日高圧医誌, 33 (4), 201-204, 1998
- 12) 山見信夫, 眞野喜洋, 芝山正治, 高橋正好：DAN ホットラインの実状及び潜水後の酸素の利用, 日高圧医誌, 33 (3), 143-150, 1998

- 13) 山見信夫, 眞野喜洋, 芝山正治, 高橋正好: 高所移動に伴う減圧症, 日高压医誌, 35 (4) 205-213, 2001
- 14) 山見信夫, 芝山正治, 水野哲也, 高橋正好, 中山徹, 眞野喜洋: ダイバーのための緊急電話相談に寄せられた減圧症の特徴. 臨床スポーツ医学, 13 (6), 691-693, 1996
- 15) 山見信夫, 芝山正治, 高橋正好, 眞野喜洋: スクーバ潜水後の飛行機搭乗によって発症するスポーツダイバー減圧症, 日本臨床スポーツ医学会, 8 (2), 171-176, 2000