

●原 著

300m潜水用DDC（船上減圧室）の環境制御に関する調査

富安和徳* 他谷 康* 中野正美*
 設楽文朗* 関 邦博* 中山英明**

Investigate on The Environmental Control of The DDC for 300 msw Dive

A deep diving system constructed to use 300 msw diving experiment for Japan Marine Science and Technology Center. The DDC(Deck Decompression Chamber) of this system have adapt the inner gas circuit type as the environmental control system.

To get the practical characteristics, we investigated on the temperature, humidity, oxygen, noise and floating dust of the environment when the 7 ATA saturation dive training.

The result fined that distribution of the temperature, the mixture of oxygen, the noise level and the amount of floating dust. And the data shall useful to improve the environment of the DDC.

はじめに

海洋科学技術センターでは水深300mでの潜水実験を計画中で、すでに昭和56年に建造されたSDC*-DDC**システム（飽和潜水装置）を用いてダイバーの養成訓練を行っている。

SDC-DDCシステムは船上に設置されているDDC（図1）と、DDCと海底の作業現場とのダイバー移送に用いるSDCで構成されている。300m飽和潜水実験の計画では加圧開始から減圧終了まで約1カ月の予定であり、この間、ダイバーは

DDCの中で生活しなければならない。周知の通り、ごく浅い深度を除く飽和潜水ではヘリウム-酸素（He-O₂）混合ガスを用いるので、環境コントロールに注意が払われている。特に、空気に対し約6倍の熱伝導度を有するHeガスの特性によって、高圧He-O₂環境下のヒトの至適温度域は図2¹⁾のように高圧に到るほど高温側へ移り、かつ狭くなるので、温度制御精度の高いことが要求される。

本DDCの環境コントロールシステムには、同じく300m潜水用として海上自衛隊に建造された潜水艦救難母艦に搭載されているDDC用システムの外部循環方式²⁾と異なり、内部循環式と称しているKinergetics社の環境コントロールシステムModel CMU-2が採用されている。このシステムは1ユニットにつき、DDC内部に設置されている64^L×27^W×41^HcmのHCU（Heat Control Unit）、DDC外部に設置されている163^L×91^W×86^HcmのCMU（Control Master Unit）およびDDC管制盤に組込まれている温湿度設定器で構成されている。このHCUには冷暖房、除湿、炭酸ガス除去および送風能力があり、温調用循環水をブローの駆動源としているため電気的には安全な装置である。圧力および酸素制御はModel CMU-2とは別途の装置で行われるが、添加された酸素の攪拌はHCUのブローに頼っている。本装置の環境コントロール主要目は表1の通りである。

当センターでは昭和62年度を目途に本システムを用いて実海域での300m飽和潜水実験を計画中であり、本システムの実際の性能を把握しておく必要がある。本システムの機械的性能はDDC建

*日本海洋科学技術センター

**産業医科大学高気圧治療部

*SDC: Submersible Decompression Chamber

**DDC: Deck Decompression Chamber

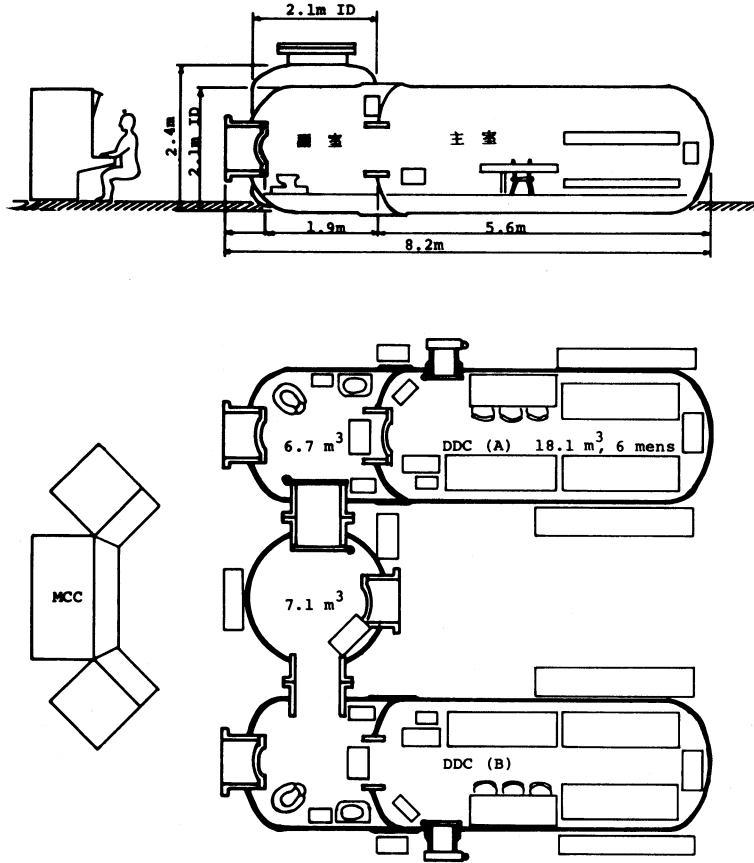


図1 DDCの概略図

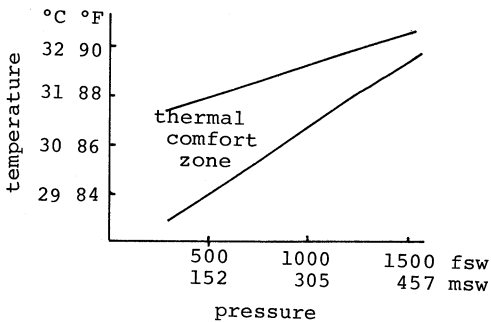


図2 高圧 He-O₂ 環境下の至適温度域¹⁾

造後の検査で良好な結果を得ている³⁾が、その後、DDCに6名が滞在して行われた第1回目の7 ATA飽和潜水ダイバー訓練(1982)で「足の方が涼しい」ほかダイバーからの意見があったので、1983年の第2回目の同様訓練時に全般的に調査し

た。これらの調査結果から特に、加圧時のガス混合状態、温度分布、湿度制御、騒音および浮遊粉塵について報告する。

調査方法

調査は7 ATA飽和潜水訓練に組込まれて実施された。各項目毎の調査方法を次に記す。

温度分布は図3の通り床上95cmに25cm間隔の横糸を張り、78点に温度センサーを取り付けて水平温度分布を、点D-13の位置で4点の鉛直温度分布を、またHCU出入口の循環水温度を水管外壁に温度センサーを張り付けて測定した。なお、温度センサーには宝工業社製サーミスタZL型を使用し、耐圧殻貫通コネクターを経由して宝工業社製K710型データロガー2台に接続した。設定気温は7 ATA He-O₂環境下で28°Cとし、DDC内はこの温度分布計測のみ無人状態で計測した。

表1 DDCの環境コントロールの主要目

項目	制御範囲	測定範囲	センサー
圧力	0~300msw±2msw 昇圧速度 自動 5~60m/h 手動 0~30m/min 降圧速度 自動 6~3 m/h 手動 0~30m/min	0~50 ±0.3msw 0~350±2msw	HEW DPP-100 精度 0.25%
酸素	0.17~0.5±0.03ata	0~1.5ata ±0.03 (PO ≤0.6) ±0.151 (PO >0.6)	Bechman MINOS AOM 精度 4% 応答 15秒 (90%, 23.9℃)
炭酸ガス	0.005ata以下	0~0.04±0.002ata	Bechman MINOS ACDM 精度 0.002ata (16~32℃) 応答 1~2min (63%)
窒素	(0~6 ata)		ガスクロマトグラフ
温度	20~35 ±1℃	0~50±0.5℃	HEW Pt 100 精度 0.3℃ 応答 3.5秒
湿度	50~70 ±10%RH	0~100 ±10%RH	HUMETER LiCl type 精度 2.5%
(騒音)	60dB 以下		

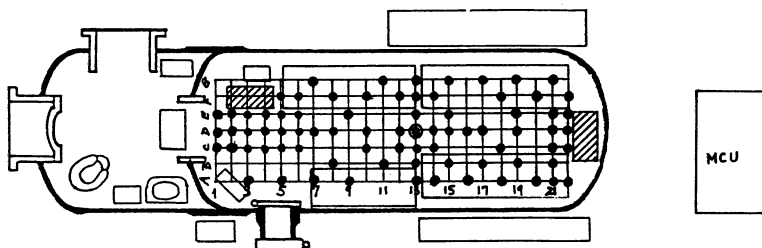
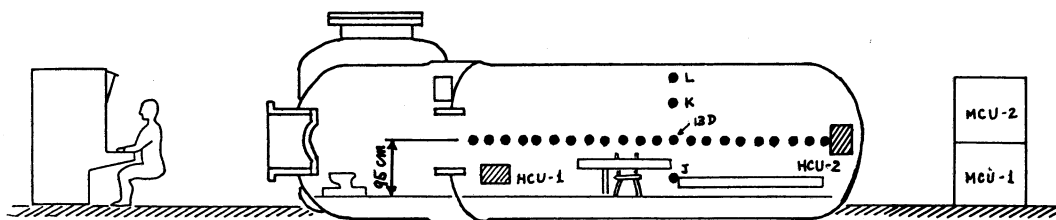


図3 温度分布測定センサー位置

湿度は設定値を60%RH, 制御予定を60±10%RHとしDDC内の湿度コントロール結果の計測のみ行った。

酸素分布の計測は海洋科学技術センターで試作したガルバニ電池式酸素センサー⁴⁾を用い, DDC主室の副室側中央部における加圧時3時間の鉛直酸素濃度を計測した。酸素センサーは90%応答が

約10秒で, 床上20cmより30cm毎に170cmまで6点設置し, その出力電圧を温度計測用に用いている同じデータロガーに入力した。

炭酸ガスはHCUの炭酸ガス吸収器に充てんされたソーダ・ソープにて除去され, ガスクロマトグラフとBeckmann MINOS ACDMの両計器にて計測されたうえ, 炭酸ガス分圧が0.005ataに

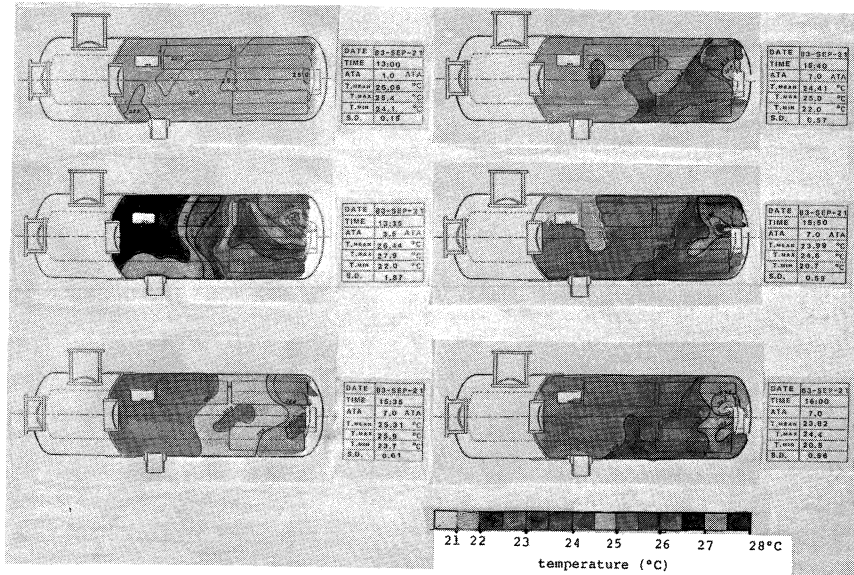


図4 DDC内の水平温度分布

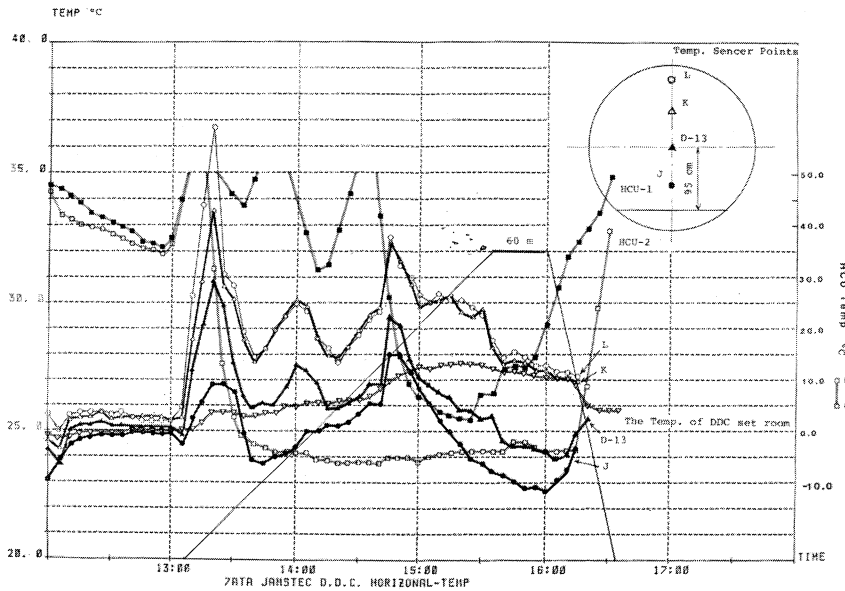


図5 DDC内鉛直温度とHCU水温の経時変動

達する前に炭酸ガス吸収剤を交換するので、1時間毎の炭酸ガス分布記録のみに止めた。

加圧時のガス攪拌については、酸素の鉛直分布計測の他に、島津製作所製 MEDICAL MASS SPECTROMETER R-MC を用いて主室3点(床上約1mの副室側, 中央およびベッド側)と副室

2点(床上30cmおよび150cm)の5点について12分毎のO₂, N₂, H_eガス濃度を測定した。

騒音計測はリオンNA-60を用いてDDC内11カ所(主室9カ所), DDCの周囲9カ所について、1日に14時と21時の2回, 合計20回行った。DDC内の計測はダイバーが行い, DDC周囲については

調査員が行った。

浮遊粉塵は労研式 PS-3 型粉塵サンプラーを用いて 8 日間、合計13回の採取を行った。採取場所は主室および副室のおおのの HCU 付近 3カ所と主室の副室側 HCU の対面壁側床上 1.6m 位置、合計 4ケ所とした。採集時間は 7~24時間とし、炭酸ガス吸収剤の交換時期と採集時間帯を関連させた。サンプリングは 1,000mℓ/min で行い、そのサンプルをカールツアイス社製電子分析天秤 SAR φ rius 2004 MP6 を用い、精度 0.01 mg で重量測定し、吸入性粉塵量と総粉塵量を求めた。

結果および考察

7 ATA 飽和潜水訓練は訓練ダイバー 6 名を DDC に滞在させ飽和潜水の体験をさせること、および操作員の装置の取扱い習熟が目的であった。なお、DDC(A)は訓練に使用しなかった。7 ATA 飽和潜水訓練時のスケジュールは 2 日間の大気圧下事前観察の後、20 m/hour で 60 m まで加圧し、2 日間の 7 ATA 下滞在後、約 3 日かけて減圧、2 日間の事後観察を含め合計 10 日間であった。この時の環境設定は $PO_2=0.3 \text{ ata}$, $PN_2=0.8 \text{ ata}$, 気温 28℃, 湿度 60%RH であった。温度分布計測はダイバー訓練に先立って行われた装置の作動運転時に行った。

温度分布の計測結果を図 4 に示した。特徴的なことは、温度域が二分されていることおよび、HCU-2 では初期に暖房運転が行われたがその後は冷房運転のみとなっていることである。また、環境気温が HCU-1 側で高くなっているのはサーミスターの位置に対し、HCU-1 は下部、HCU-2 はブローの吹出し高さにあるのも一因である(図 3 参照)。

HCU の冷暖房運転の状況は図 5 に示すが、図 3 の結果と合致する。鉛直 4 点についてみれば、点 K と点 J の気温は接近することのない経時変動を示している。その温度差は加圧初期を除き 3~5℃あり、天井付近と床付近では更に開くものと考えられる。また、HCU からの吹出し気温は暖房時に最高 40℃, 冷房時に最低 15℃を記録したが、これは HCU の循環水温が図 5 の通り暖房時約 60℃, 冷房時 -6℃となることから理解される。更に、暖房時の循環水温のピークと DDC 内気温のピークとの間に約 30 分のズレがあり、制御用温度

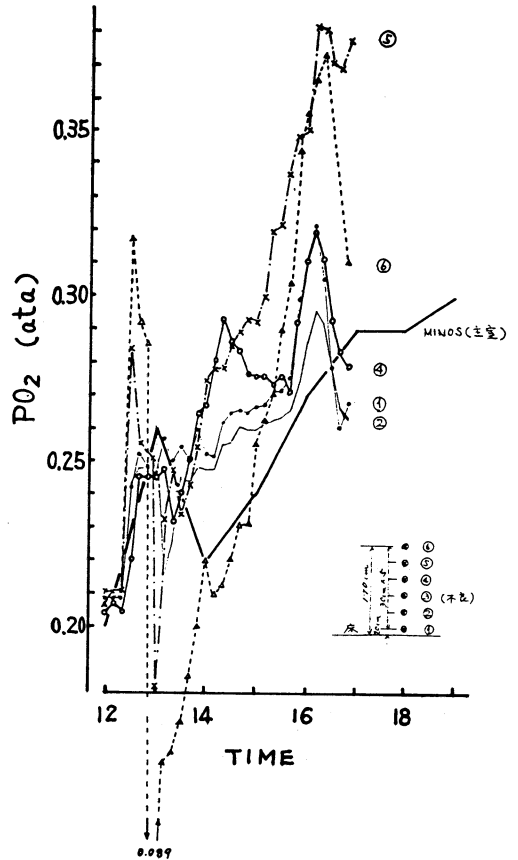


図 6 加圧時の酸素分圧の変動
加圧開始時刻 13:00
加圧終了時刻 16:00

センサーの位置が不適切であろうと思われる。

湿度は制御設定を初日に 60%RH にしたところ、制御結果が $65 \pm 5\%RH$ 程度となったので、以後設定目盛を 56%RH とした。その結果、高圧時の結果と大気圧時の結果より、除湿能力は十分であることが示されたが、設定値と制御値に約 10% のズレがみられた。

酸素の鉛直分布の計測結果を DDC の制御に用いている Beckmann MINOS AOM の出力と合わせて図 6 に示した。概略、上方に向うに従って激しく変動している。He ガスによる加圧が 13 時に開始されたことによって、加圧開始の直後、上層部の酸素は激減しており、その後、酸素の注入によって高酸素になり、加圧の終了と酸素注入の停止によって安定に向った。このように大きく変動した要因として、攪拌の不足と制御系統の応答

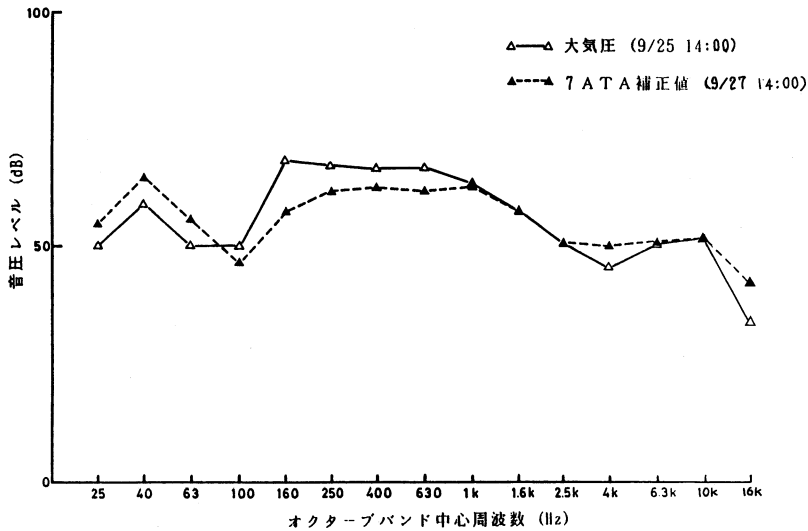


図7 各周波数における DDC (B) 主室3カ所の平均音圧レベル

遅れが考えられる。

ガス攪拌状態の調査結果では、60mまでの加圧中、加圧初期に最もバラツキが大きく、25m前後でも30分以上の遅れと見放し得る攪拌の遅れがみられた。しかし、50m付近からバラツキも漸次小さくなり、加圧終了後30分には均一化がみられた。主室で測定した水平3点のバラツキに対し、副室で測定した上下2点の方が遙かに大きいことから、水平方向の攪拌より鉛直方向の攪拌の方が遅いと考えられる。

騒音計の出力レベルは環境ガス圧が高くなると低下するので、補正値を別途用意し、7ATAの実測値を補正して計測値とした。DDC周囲の騒音は仮設場所のため参考値として計測したが、A特性で72~88dBであった。DDC内の騒音は図7に示すが、平均値でみても大気圧時のA特性69.2dB、C特性74.7dBに対し7ATA時の値はおおの68.1dBおよび74.5dBと大差なかった。DDC内の騒音についてCMUの停止時と運転時を比較すると、A特性でおおの40.9dBおよび73.9dB、C特性でおおの49.1dBおよび77.8dBであった。この結果からCMUがDDCの最も大きな騒音源と見做し得る。図7に見られる通り、騒音の周波数は広域に渡って高いレベルにある。この騒音は、ダイバーがDDC滞在期間中連続して発生してい

るので、ダイバーの睡眠障害や聴力への影響防止上からも、騒音レベルを作業場の基準値である65dB以下、更に夜間では睡眠のため45dB⁵⁾以下となるような対策を必要としている。

浮遊粉塵の測定結果、吸入性粉塵量は最大0.0591mg/m³、最小0.0241mg/m³、総粉塵量はおおの0.0714、0.0400mg/m³であった。これらの値は労働衛生上の基準値の0.10mg/m³⁶⁾より低い値であったが、塵芥の顕微鏡観察で繊維ダストの他、活性炭の粉沫と思われる黒色の粉塵およびソーダソーブの粉と思われる白色の粉塵が混入していた。このソーダソーブはCa(OH)₂が主成分であり、有害性としての粉塵許容量の基準値はない。しかしダイバー6名に共通してみられた喉への刺激は、炭酸ガス吸収剤が水に溶解すると強度のアルカリ水溶液になる⁷⁾ことと関連あるものと考えられ、炭酸ガス吸収剤粉沫の浮遊防止対策を要求するものである。

調査結果を総合的に考察すると、騒音を除く他の事項は環境ガスの流動、つまり環境ガス循環装置の能力と関連していると思われる。この事は表2に示す通り、潜水装置の風量としては当センターで所有している他の潜水装置より大きいにもかかわらず攪拌が充分でなかった理由として、送風

表2 潜水装置の環境ガス循環機の比較
(JAMSTEC 所有の装置)

装置名称	風量 (m^3/min)	対称空間 (m^3)	送風機の形式及び仕様	ダクトの 有無	備 考
シートピアのDDC	4.0	20	ターボファン 200mmAq×3450rpm	有	
シートピアのハビタット	4.0 (実測: 3.4)	40	ターボファン 140mmAq×3450rpm	有	
潜水シミュレーター	0~2.5×2台 (実際: 2.3)	70	可動翼回転式 0~5km/cd×1300rpm	有	4台のプロワーの内通常は 2台を700rpmで運転
300m潜水用DDC	6.5×2台	18	多翼プロワー	無	1500ftswの時の回転 は大気圧時の1/2となる

機の力不足およびダクトを採用していない事が挙げられよう。環境ガス循環装置で必要なことは環境空間の温度、ガス分布等が均一になるような攪拌を得ることである。加圧訓練中のダイバーはHCUから吹き出す風に熱さと冷たさを強く感じており、圧力が高くなるに従って環境気温に対するダイバーの温熱感覚も鋭敏なることを考慮すれば、DDC内の気流が低速で均一な流れを有し、更に攪拌を促進するような装置上の改善が必要である。

おわりに

300m潜水用DDCの環境制御について、DDC内の温度分布、加圧時の酸素分圧の鉛直分布および環境ガスの攪拌状態、騒音、浮遊粉塵を中心に調査した。本装置が採用している内部循環式環境制御装置は、DDC内環境ガスの攪拌能力が不足しており、これを改善することで環境状態の向上を期待できる。300m潜水用SDC-DDCシステムは昭和60年度より海中作業実験船「かいよう」と共

に使用が予定されており、現場資料の蓄積をもとに潜水システムの環境制御の向上を期している。

[参 考 文 献]

- 1) Schmidt, T.C.: Theoretical heat loss and survival times in cold hyperbaric helium environments. OCEANS'76 MTS-IEEE Conference, 21D:1~6, 1976.
- 2) 大岩弘典他: 潜水艦救難艦母艦・深海潜水装置. 日高圧医誌18(2): 53~55, 1983.
- 3) 村井徹他: 海洋科学技術センターのSDC・DDCシステムにおける環境コントロールについて. 日高圧医誌17(1): 29~32, 1982.
- 4) 富安和徳, 鴻田研三: 潜水器用酸素センサーの試作. 海洋科学技術センター試験研究報告書(JAMSTECTR) No.8. pp91~101, 1982.
- 5) Cox, RAF: Some special problems, Offshore Medicine. Springer-Verlog, pp82~83, 1982.
- 6) 三浦豊彦他編: 新労働衛生ハンドブック. 労働科学研究所, 昭和49年.
- 7) 富安和徳: 潜水用炭酸ガス吸収剤の吸収効率試験. JAMSTECTR-11, pp175~187, 1983.