

海上自衛隊横須賀地区病院 潜水医学実験部 伊藤善三部 中山英明  
大岩弘典 杉本英雄 伊藤教之 秋志雅文 森田明紀 小比木国明

目的：①の構造を有する国産軟式ハリウム-酸素潜水器(以下OH型と略す)の潜水性能(使用深度;100m以上、呼吸ガス;He-O<sub>2</sub>、使用時間;7時間)を矯正させる再循環装置(ejectorによりヘルメット内ガスを循環させる=キャニスター流量)にかかる①ノズル供給圧-流量、②ノズル供給圧-循環流量を深度0~120m(0~384ft)、密度の異なるガス(He-O<sub>2</sub>、純O<sub>2</sub>濃度を14~20%及び純O<sub>2</sub>)について検討した。

実験方法及び結果：①ノズル供給圧-流量：理論式より計算可能であり、かつ実験値より正確さを期待できる(防衛衛生誌18巻2号)。図3はノズル供給圧-流量関係を呼吸ガスHe-O<sub>2</sub>(80-20%)、深度0~120mで示したものであり、図4は呼吸ガス、純O<sub>2</sub>深度0~30m(0~100ft)の場合を示したものである。②ノズル供給圧-循環流量：図2に示すダイヤグラムを用い実験した。図5はノズル供給圧-循環流量を呼吸ガスHe-O<sub>2</sub>(80-20%)、深度0~120mを示したものであり、図6は呼吸ガス純O<sub>2</sub>、深度0~30mの場合を示したものである。呼吸流量計の指示目盛の深度及び呼吸ガス密度の変化に基づく補正は表1の式を用いた。

考察：半肉鎖式回路を有する潜水器の炭酸ガス吸収能及び回路内O<sub>2</sub>分圧を規制する、圧-流量関係はOH型の様はejector方式では運用上供給圧を100psi(7kg/cm<sup>2</sup>)又は50psi(3.5kg/cm<sup>2</sup>)として適切な流量が得られるように考慮されるべきである。OH型では供給圧100psiの場合、深度0~120mでは200ℓ/分から82ℓ/分の範囲にあり、供給圧50psi(減圧時O<sub>2</sub>呼吸を必要とする場合)では深度0~30mで121ℓ/分から86ℓ/分の範囲にあった。He-O<sub>2</sub>又は純O<sub>2</sub>使用時にあっても供給圧50~100psiの範囲でノズル流量が音速を越える事がガス供給の一定さ

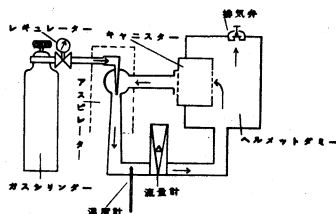
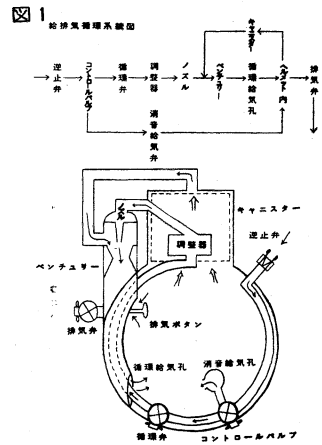
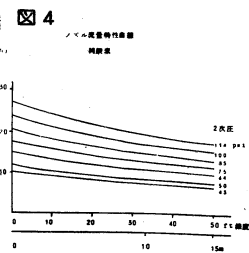
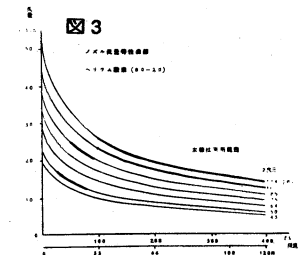


図2 可循環装置の特性状のダイヤグラム



から必要である。表又はHe-O<sub>2</sub> (15~20%)及び純O<sub>2</sub>使用時の音速流を示し比容の50~100 f s i の範囲で深度にかかわらず安定な流量が得られることを示している。一方ejector型では、ノズル流量-循環流量の比がキヤニスター流量に關係する炭酸ガス吸収能に影響するので、0~120 m 深度の範囲で大きく変わらねばならないと要求される。このejector効率にはノズル径(この場合0.63 mm)、位置、再循環装置の幾何学的形状等が關係して、これらが一定に供給圧とガス粘性により決まる。図7は0~120 m 深度で各供給圧のもとでのHe-O<sub>2</sub> (80-20%)及び純O<sub>2</sub>使用時の効率を示している。深度が増すに連れて、ガス粘性が増すため効率は良くなるが、ある深度までいくと逆に低下する。供給圧100 f s i を仮定した場合、He-O<sub>2</sub> では90~120 m 深度で効率は大きく変わらな、かつ最高深度でも落ち込まなく安定している。減圧時O<sub>2</sub>呼吸を切らな場合供給圧50 f s i で0~30 m 深度でも同様に安定している。潜水深度により混合ガスのO<sub>2</sub>濃度を考えることはO<sub>2</sub>中毒の予防上必要であり、ヘルメット内O<sub>2</sub>分圧の変化は潜水員のO<sub>2</sub>摂取量を0.5~2.8 l/minと仮定すると、理論上図8の式が得られる。その結果、混合ガス中のO<sub>2</sub>濃度を15~20%の範囲で各深度によりO<sub>2</sub>分圧を最高1.8 kg/cm<sup>2</sup>に抑えるには図8の如き使用区分をする必要がある。

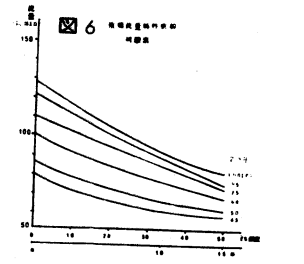
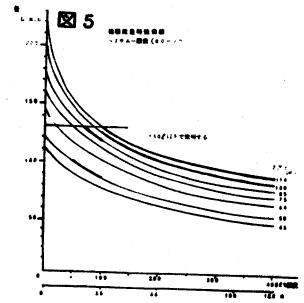
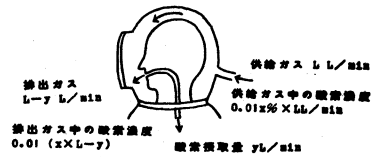


図7 供給ガス中の酸素濃度とノズル流量との関係



各深度(d)におけるヘルメット内の酸素分圧は次の式で表わされる

$$\frac{0.01xL-y}{L-y} = \frac{d+32}{33}$$

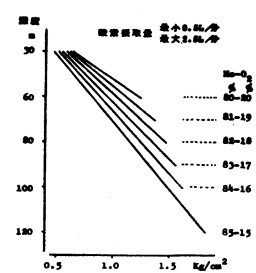


図8 供給ガス中の酸素濃度と各深度におけるヘルメット内の酸素分圧との関係

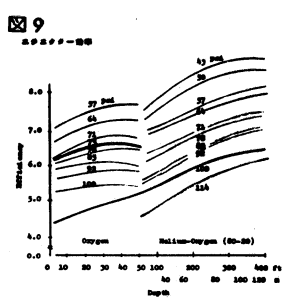


表2 ノズル流速 (NO.72ドリルサイズ0.028")と音速の表

供給ガス	音速	供給圧		
		100psi	75psi	50psi
ヘリウム-酸素 O <sub>2</sub> 濃度15%	660.3 f s i	2036.2		1237.4
ヘリウム-酸素 O <sub>2</sub> 濃度20%	634.4	2427.5		1163.7
純酸素	326.1			

エジエクター効率(η)の式

$$\eta = \frac{Q}{q} \quad \begin{matrix} Q: \text{キヤニスター循環流量} \\ q: \text{ノズル流量} \end{matrix}$$

表1 流速の増加ともなうガス密度の増加による流量計の指示値の修正式は以下の方程式による。

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1} \times \frac{P_1}{P_0} \times \frac{T_0}{T_1}}$$

Q<sub>0</sub> = 流量計指示値の読み (NTP)  
 ρ<sub>0</sub> = 指示流体の密度 (NTP)  
 P<sub>0</sub> = 指示圧力 (psi)  
 T<sub>0</sub> = 指示温度 (°C)  
 Q<sub>1</sub> = 測定流体の流量 (NTP)  
 ρ<sub>1</sub> = 密度 (NTP)  
 P<sub>1</sub> = 圧力 (psi)  
 T<sub>1</sub> = 温度 (°C)

キヤニスター循環流量(Q)

$$Q = Q_1 - q$$

但し Q<sub>1</sub> = アスピレーター流出量  
 Q = ノズル流量