飽和潜水時のダイバーズウオッチの内圧上昇

山田　稔*1

深海潜水はヘリウムガスが使われるが，ヘリウムガスの浸透によってダイバーズウオッチの内圧が上昇することが知られている。

1982年暮の300m飽和潜水実験で，300ｍ以深の使用深度を表示するダイバーズウオッチ４機種の防水ケースに，りゅうず部分から貫通孔を開け，圧力計を取り付けて，内圧の上昇，下降の過程を測定した。

この４機種は，いずれも5.3kg/cm²，3.4kg/cm²，2.4kg/cm²，0.7kg/cm²とそれぞれ内圧が上昇していた。上昇した内圧は，排気弁を有するものでは，環境圧が内圧より低下すると排気されて環境圧とともに低下するが，他は内圧の低下は緩やかで，減圧時には内圧が環境圧を超えた状態が続き，常圧に下降するのに300日近く要するものもみられた。

これらの結果から，深海用ダイバーズウオッチでは耐ヘリウム混合ガス対策を講じることが強く要望され，ＩＳＯ規格に深海用の性能表示，ヘリウム試験の方法を記載することを望む。

Rise of Inner Pressure of Diver's Watch in Saturation Diving

Minoru Yamada*2

Among diver's watches, those for professional divers have a pressure-resistance against depths exceeding 300m, 500m, 600m, 1,000m and 2,000m. It is known, however, that helium gas penetrates the watch and causes the inner pressure to increase during deep-sea diving. Further, trouble occurs when the crystal is displaced as a result of decompression when the inner pressure of the watch exceeds environmental pressure.

Thus, the variation of inner pressure was measured by fixing special pressure gauges to the crown fitting holes of four typical deep-sea diver's watches (for 300m, 600m, 610m, and 1,300m) in a 300m saturation diving experiment (SEADRAGON-V).

As a result, inner pressure of 0.7kg/cm^2 was observed in the watch case of two-piece structure, and 2.4 and 3.4 kg/cm^2 in two watch cases of three-piece structure respectively. In all of these cases, O-ring of butyl rubber was used to avoid penetration of helium gas. The highest value of 5.3 kg/cm^2 was observed in the watch case using O-ring of neoprene.

---

*1 潜水技術部

*2 Manned Undersea Science and Technology Department

In decompression, inner gas was discharged by reducing the pressure in the watch case with a exhaust valve of the non-return type where inner pressure was not greater than environmental pressure. Thus, the exhaust valve was found to be effective. In the watch case with O-ring of butyl rubber, the reduction of inner pressure was extremely slow. It took nerarly 300 days to return to the atmospheric pressure. This fact suggests a new problem.

From the above results, it was found that during saturation diving of 300m and for 15 days (in contrast to four days for this test), by using an ordinary deep-sea diver's watch with an O-ring consisting of neoprene, inner pressure rises up to around 15kg/cm^2 and the danger of the crystal being displaced by inner pressure increases during decompression.

Therefore, the helium-resistant test is considered necessary for deep-sea diver's watches.

1. はじめに

過酷な水中環境に挑むダイバーにとって，潜水病予防のための時間管理に使用するダイバーズウオッチは高い信頼性が求められている。

ダイバーズウオッチは，国際標準化機構規格ISO 6425 DIVER'S WATCHES[1]によれば，水深100m以深の耐水圧能力を有し，厳しい要求性能，試験に合致・合格したウオッチで，表1に示す200m，300m，500m，600m，1,000m，2,000mクラスがあり，その一部は人間の潜水記録〔実海域 1977年 501m，(仏)，シミュレータ 1981年 686m，(米)〕を超えた耐水圧能力を表示したものもある。

一方，使用者であるダイバーの潜水方法は，(1) 40～60m以浅(空気潜水)，(2) 50～150m以浅(ヘリウムガス）を主体とする混合ガス短時間潜水)，(3) 100～686m 以浅(同じくヘリウムを主体とする飽和潜水）の3方法に大別される。したがって，50m以深に潜水するダイバーの呼吸ガスおよび雰囲気ガスはヘリウム混合ガスとなり，ダイバーズウオッチを含む潜水装備品はヘリウム混合ガスに曝される。

潜水装備品のなかで耐圧区画を有する水中カメラ，深度計，ダイバーズウオッチなどが長時間ヘリウム混合ガスに曝されると，ヘリウムがOリングなどのパッキング部から浸透し，耐圧区画内の内圧が徐々に上昇することが知られている。またこれが原因で，深度表示の誤差，減圧時にカメラレンズ，ウオッチガラスの外れなどトラブルが生ずる。このほか，内圧が上昇するため，内蔵部品のトラブルも予想される[2]。

このようなことから，海洋科学技術センターが昭和57年12月に実施した300m飽和潜水実験（シードラゴンーV）において，時計メーカーの協力のもと代表的な深海用ダイバーズウオッチ4種の防水ケースについて，内圧の上昇および下降の過程を計測し，ヘリウムガスの浸透による影響を検討した。

2. 計測方法および機器

2.1 計測方法

ダイバーズウオッチへのヘリウムガスの浸透は主に防水ケースのパッキング部Oリングと考えられるので，今回の計測には機械部（ムーブメント）を除いた防水ケースによって内圧を計測した。防水ケースの内圧測定には，ガラス，胴，裏蓋間のパッキング部に影響を与えないよう，りゅうず頭部から内径2㎜の貫通孔を開け，図1のごとく精

表1　代表的なダイバーズウォッチ
Typical diver's watch

クラス・機種数 class	機種 Kind	耐圧深度 depth
2000m 1sp	I.W.C. OCEAN	2000m
1000m 11sp	CITIZEN PROFESSIONAL DIVER	1300m
	ROLEX SEA-DWELLER 4000	1220m
	BREITING SUPER OCEAN	1000m
	CHRONOSPORT HYPERBARIC	1000m
	HEUER PROFESSIONAL	1000m
	OMEGA SEAMASTER	1000m
600m 7sp	ROLEX SEA-DWELLER 2000	610m
	CITIZEN PROFESSIONAL	600m
	DOXA DIVING STAR	600m
	SEIKO PROFESSIONAL	600m
500m 8sp	AQUASTER BENTHOS	500m
	NAUTILUS PROFESSIONAL	500m
	SCUALE PROFESSIONAL	500m
	SCUBAPRO	500m
	SUBMAREX	500m
300m 12sp	YEMA	330m
	DOXA SUB 300T	300m
	ROLEX SUBMARINER	300m
	SEIKO PROFESSIONAL	300m
	TAUCH-TEAM	300m
200m 25sp	CASIO DEGITAL DIVER	200m
	CITIZEN SPORTE DIVER	200m
	ROLEX SUBMARINA DATE	200m
	SQUALE DAME DIPPY	250m
	TECHNOS SKY DIVER	200m

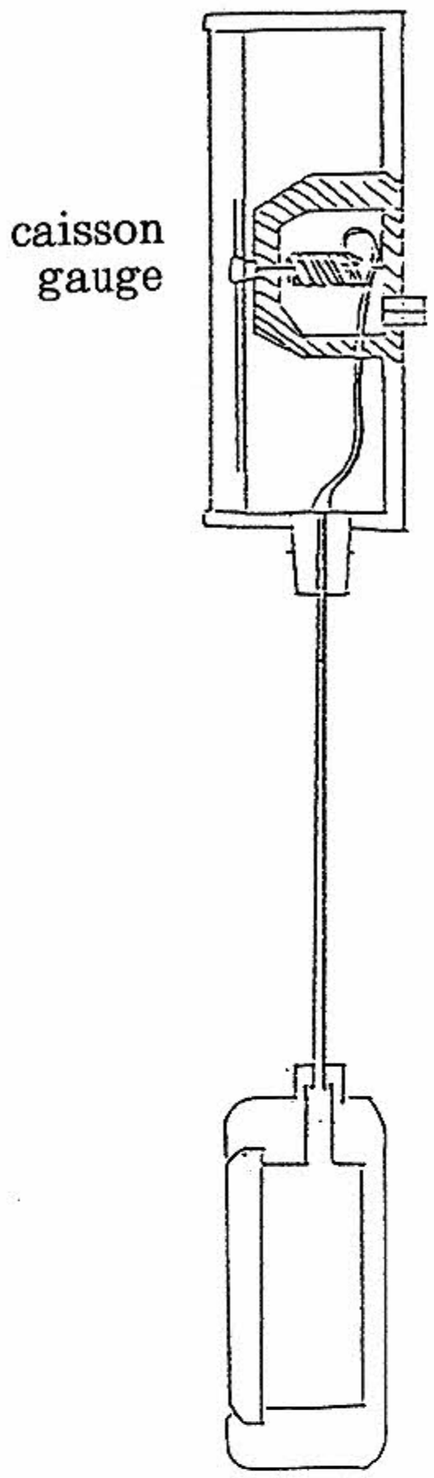

図1　ダイバーズウオッチの内圧測定
Measurement of inner pressure of the diver's watch

密圧力計の継手を接続して接着剤で密封し，潜水シミュレータ室内に吊り下げ，高圧ヘリウム混合ガス環境に曝した。

2.2　ダイバーズウオッチ

今回の計測に使用したダイバーズウオッチ4機種は代表的な深海用ダイバーズウオッチで，①耐内圧対策としてガラスをネジ式ガラス固定リングで固定しているもの，②内圧上昇に備えて防水ケースに排気弁を装備しているもの，③パッキング部にヘリウムガスが浸透し難い配慮がされているもの，などいずれもヘリウムガス対策を行っているものを選んだ。計測に使用した深海用ダイバーズウオッチは，いずれも300m以深の耐水圧能力のあるもので，それぞれの特徴を表2に示す。

2.3　精密圧力計

一般の圧力計はヘリウムガス環境下で使用するヘリウムガスの浸透によって徐々に誤差を生ずる。今回使用した精密圧力計はヘリウム対策としてブルドン管部を真空気密状態にし，ヘリウムガス環境で使用実績の有るものを使用した。またこの圧力計は管内容積が1.25ccと極めて少ないことも，この計測に適していた。

2.4　ダイブプロファイル

このシードラゴン－V飽和潜水実験のダイブプロファイルを図2に示す。飽和潜水では滞底日数

表2　ダイバーズウォッチの特徴
Specification of diver's watch

深海用ダイバーズウオッチ防水ケース diver's watch	防水ケース watch case		パッキング部Oリング O-ring	排気弁 exhaust valve	内容積 inside volume
	2ピース 2 piece	3ピース 3 piece			
A	—	○	ブチルゴム butyl rubber	—	4.0 (cc)
B	—	○	ブチルゴム butyl rubber	—	6.0
C	○	—	ブチルゴム butyl rubber	—	6.2
D	—	○	ネオプレーンゴム neoprene rubber	○	6.2

表3　精密圧力計　要目表
Specificatin of caisson gauge

項　目 item	要　目 specification
精密圧力計 gauge	ケーソンゲージ caisson gauge
圧力計直径 gauge diameter	150 mm
計測範囲 measurement	0～36.0 kg/cm² (35.3 bar)
計測最小目盛 minimum scale	0.1 kg/cm²
圧力計管内容積 inside volume	2.0 cc (圧力計 1.25 cc, 継手 0.75 cc) gauge adapter
製造会社名 manufacturer	3D INSTRUMENTS社(米国)

が2週間にもおよぶことがあるが，今回は短かく3日間で，300 mの環境ガスはヘリウム96.5%，窒素2.5%，酸素1%，室温は32℃であった。

3. 計測結果

今回の計測では，防水ケース内圧上昇は，ヘリウムがパッキング部から浸透して防水ケースの内部および精密圧力計の配管内部の圧力を上昇させ，内圧の下降はこれと逆に，防水ケースの内部および精密圧力計の配管内部の，上昇した圧力がパッキング部を通じて外部へ漏気し，常圧に戻る過程をたどる。さらに，防水ケースに排気弁を有するものは，内圧が外圧より超えた状態から逆止弁構造の排気弁が作動して，内圧が外圧の下降に従って低下し常圧に戻る。したがって内圧上昇と内圧下降を分けて検討した。

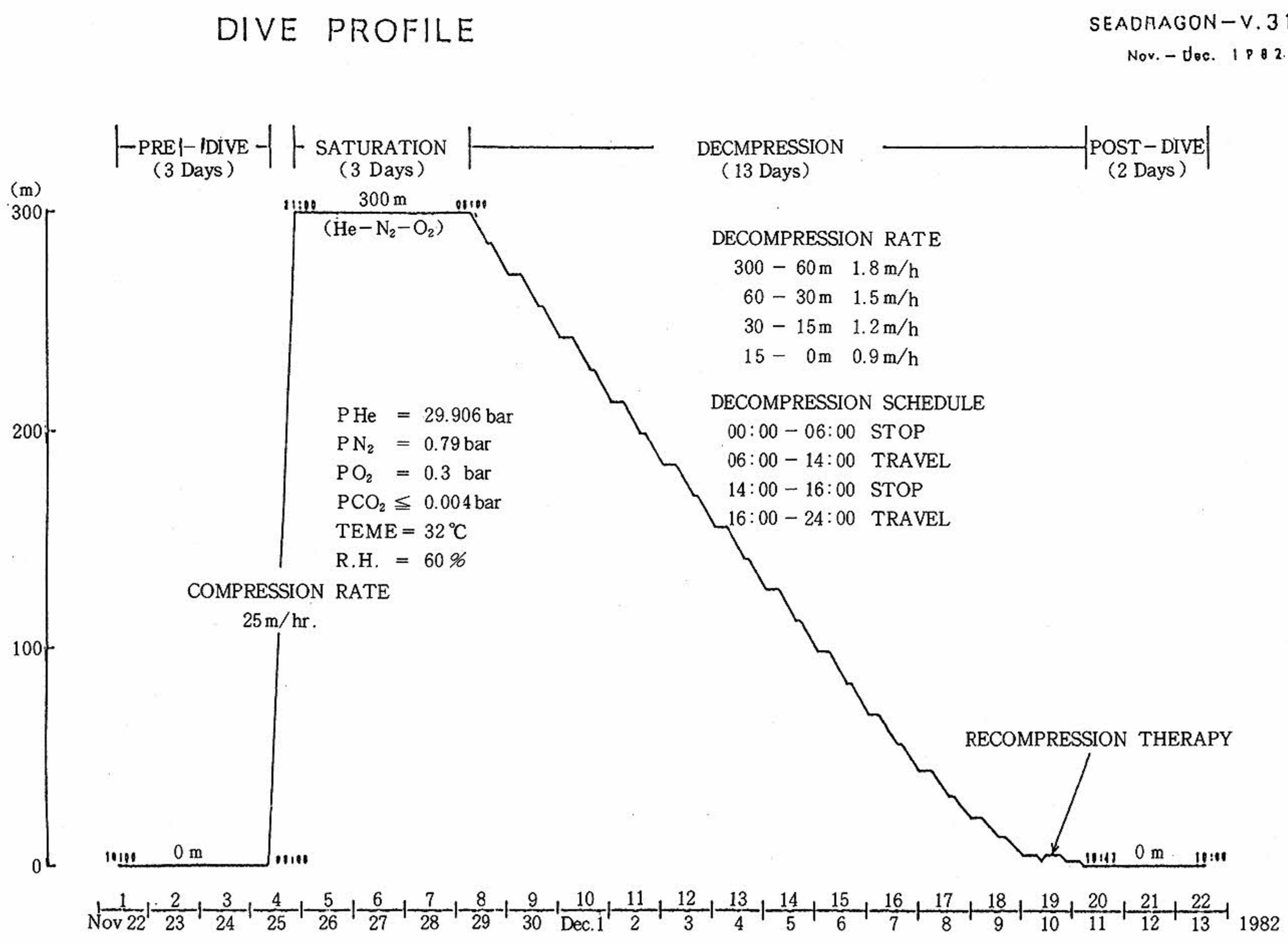

図2　300 m飽和潜水ダイブプロファイル
300 m experimental diving, dive profile

3.1　内圧上昇

代表的な深海用ダイバーズウオッチ防水ケース４機種の，内圧上昇の計測結果を図３に示す。なおこの値は圧力計管内容積（２cc）分内圧上昇が遅れることを考慮して修正した。

この結果，内圧上昇の著しいダイバーズウオッチは，パッキング部にネオプレーンゴム製Oリングを使用している３ピース（ガラス，胴，裏蓋）構造のもの「D」で，300ｍ飽和潜水としては短かい滞底日数にもかかわらず5.3 kg/cm² にも達した。この「D」のパッキング部は一般の深海用ダイバーズウオッチの材質と同様であるから，300ｍ，15日間も滞底が続く場合，一般の深海用ダイバーズウオッチでは15kg/cm² 近く上昇すると予想される。

一方のパッキング部に，ヘリウムが浸透し難いブチルゴムのOリングが使われているものは，いずれも内圧上昇が緩やかで，ヘリウム浸透に対してブチルゴムのOリングの有効性が確かめられた。

同じ３ピース構造でブチルゴムのOリングを使用しているもの「A」2.4 kg/cm²，「B」3.4 kg/cm² に差が生じたのは，Oリングを２重にしているなど構造上の差であり，さらに２ピース（ガラス，

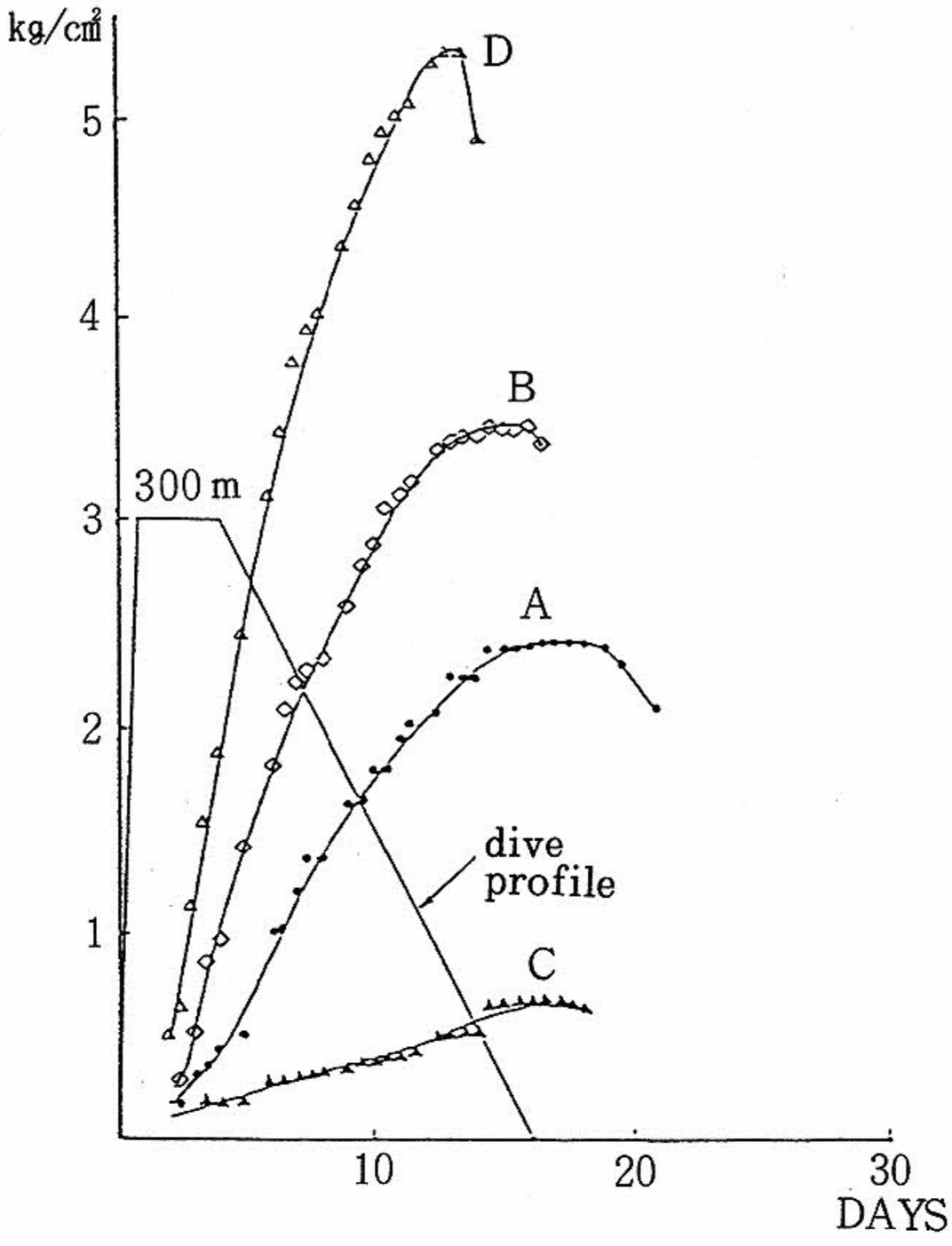

図３　ダイバーズウオッチの内圧上昇
Rise of inner pressure

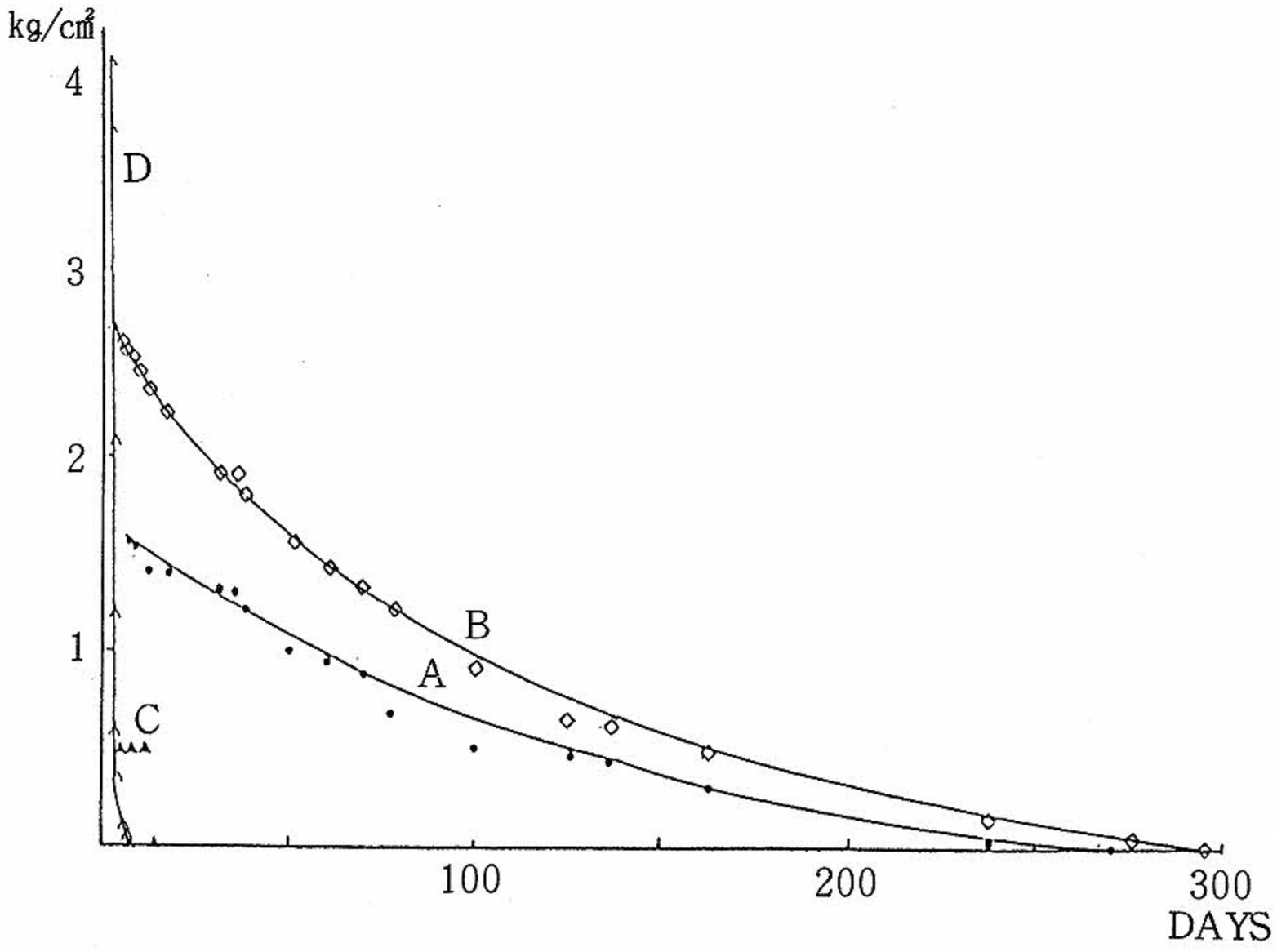

図４　ダイバーズウオッチの内圧下降
Discharge of inner pressure

① ガラス
crystal
② 胴
case
③ りゅうず
crown
④ 裏　蓋
cover
⑤ 排気弁
exhaust valve
⑥ ガラス固定リング
crystal retainer
⑦ ヘリウムガス浸透
helium gas penetrates
⑧ 外れたガラス(trouble)
crystal gets out
⑨ 排気弁からの排気
exhaust gas

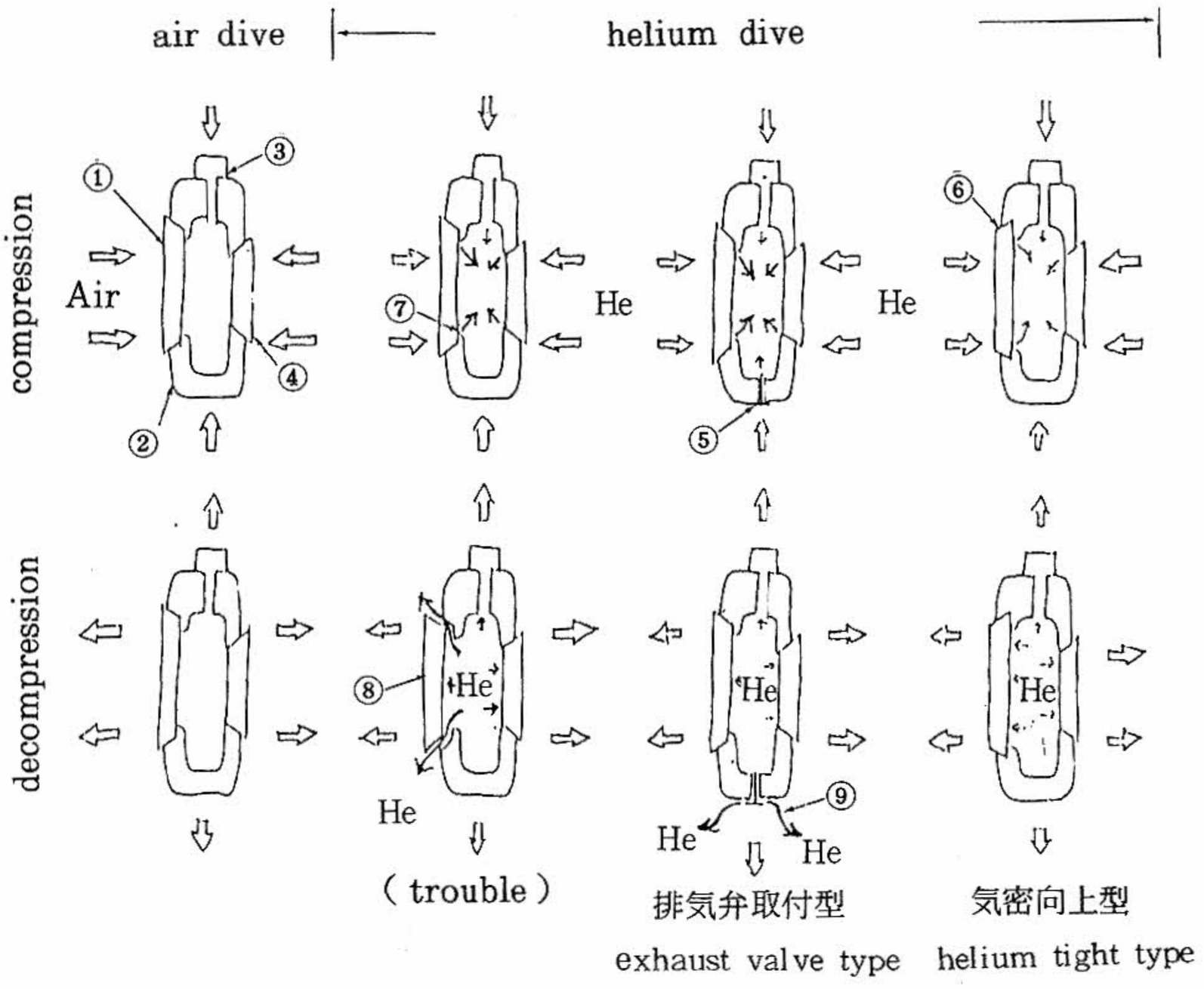

図5　ダイバーズウオッチにおけるヘリウムガス浸透
Helium gas penetrates into the diver's watch

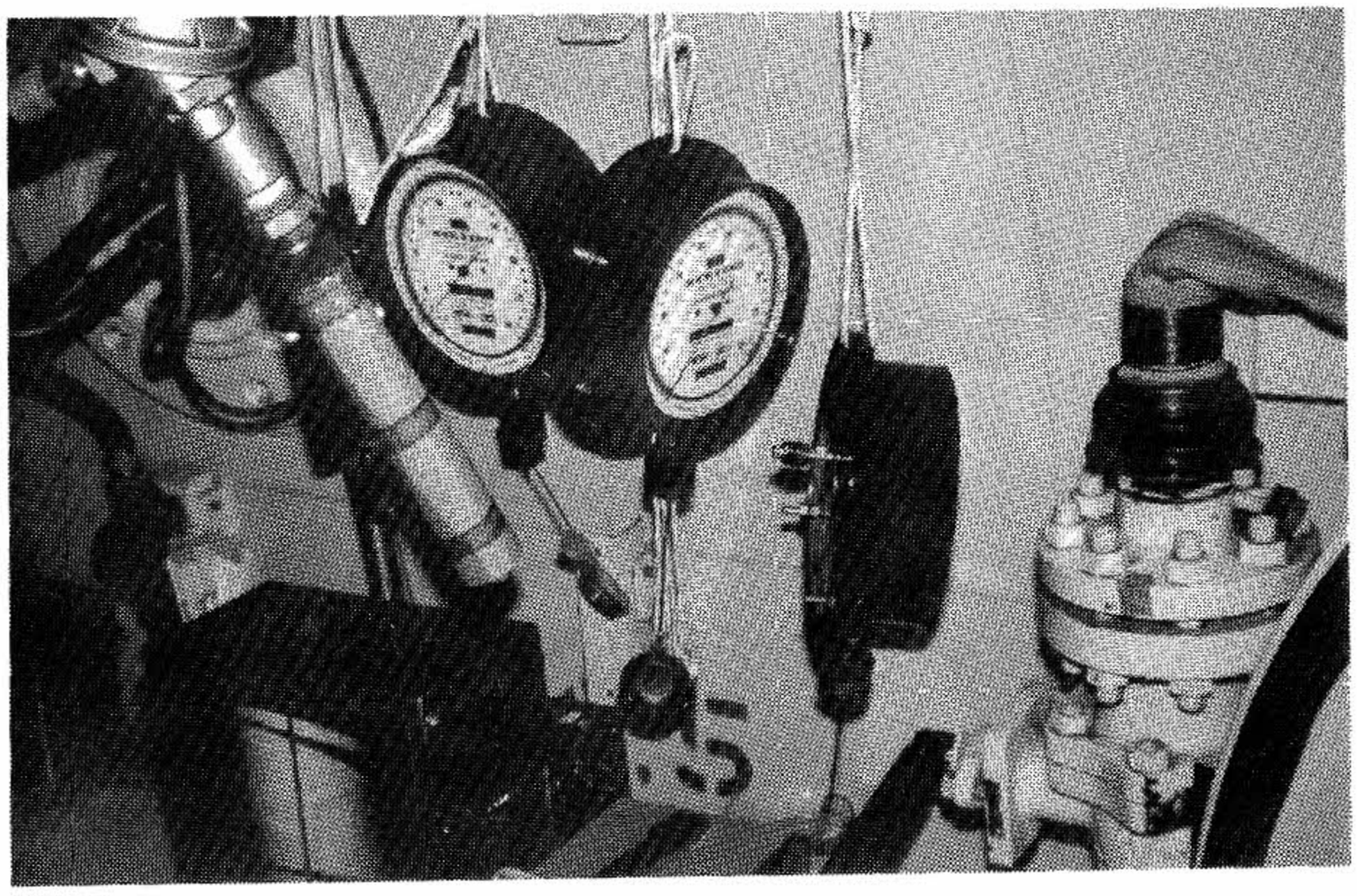

写真1　チェンバー内部
Inside of chamber

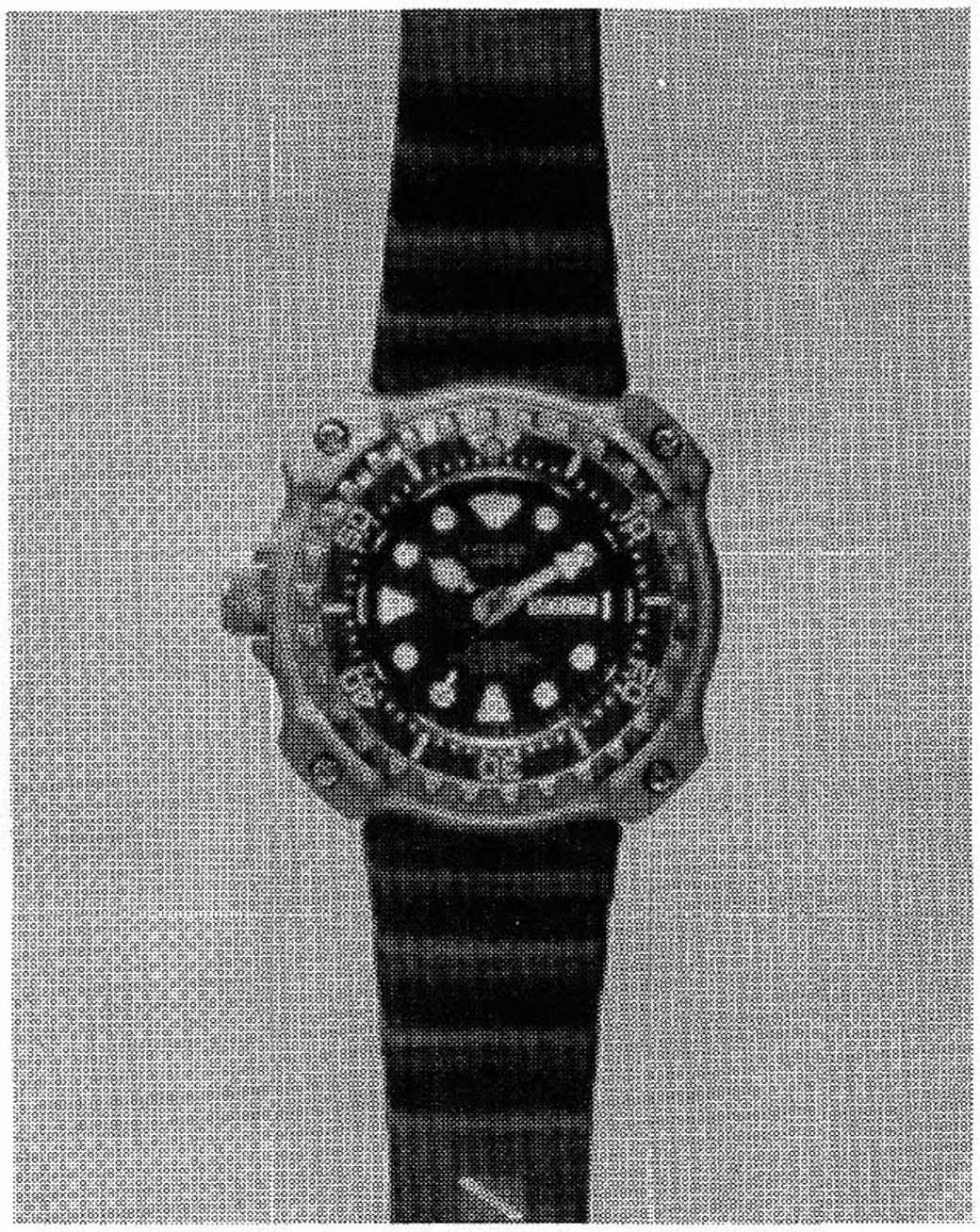

写真2　シチズンプロフェショナルダイバー 1300
CITIZEN PROFESSIONAL DIVER 1300

写真3　セイコープロフェショナル 600
SEIKO PROFESSIONAL 600

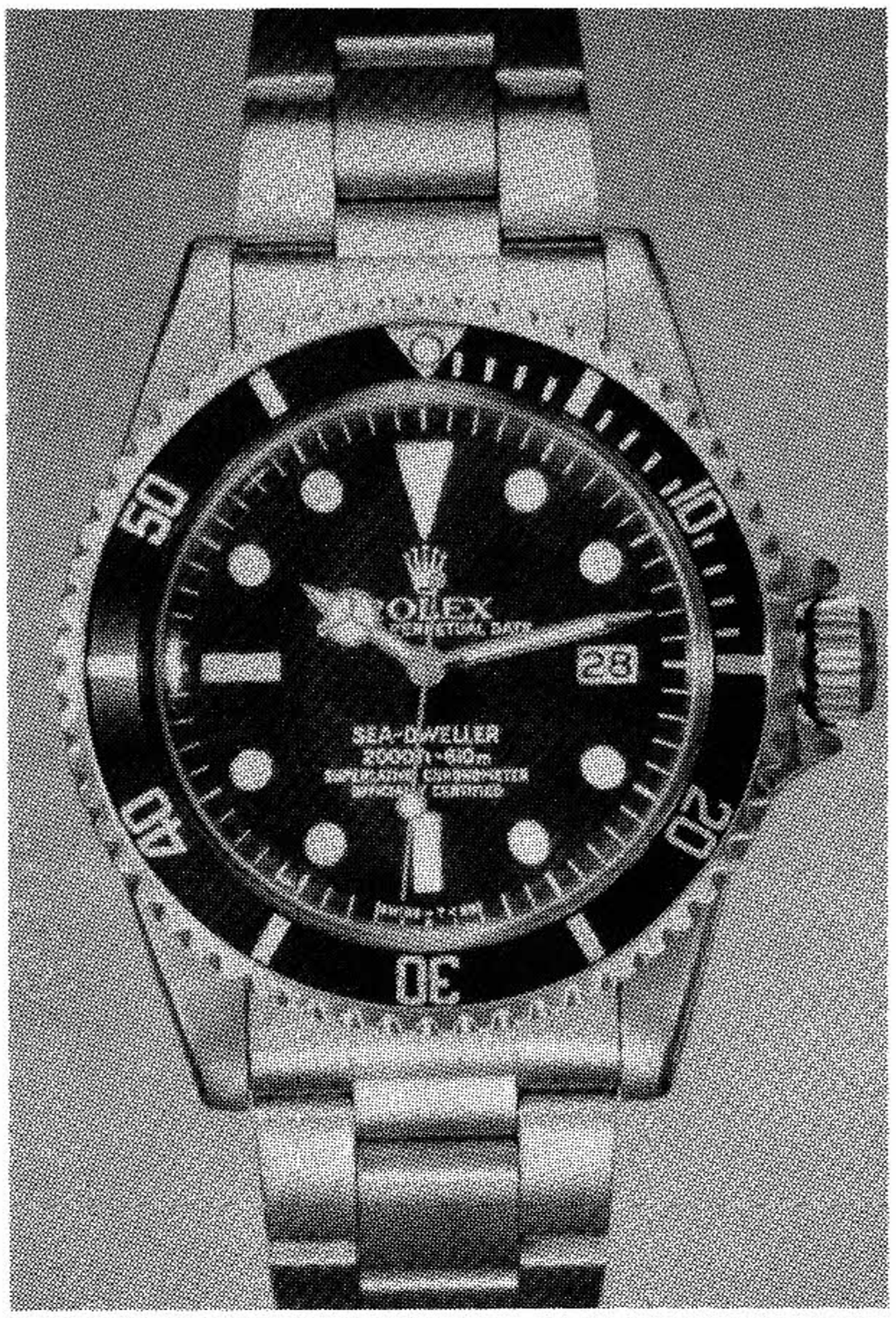

写真4　ローレックスシードエラー 2000
ROLEX SEA-DWELLER 2000

胴）構造の「C」で内圧上昇が極めて緩やかであったのは，2ピースでパッキング部が少ない，Oリングの接触面積を配慮している，などの差によるものであった。

3.2　内圧の下降

いったん上昇した内圧の下降過程を図4に示す。この結果，逆止弁構造の排気弁を有する防水ケース「D」は，排気弁が有効に作動して，周囲の圧力（外圧）よりも内圧を高めることなく，飽和潜水の減圧スピードに沿って徐々に排気され常圧に戻った。したがって，この排気弁によりガラス，裏蓋に内圧を掛けていないことが判明した。

内圧の上昇が緩やかであったブチルゴムOリング使用のものは，いったん上昇した内圧の下降はさらに緩やかで減圧終了時に「A」1.6 kg/cm², 「B」2.6 kg/cm², 「C」0.5 kg/cm²と内圧が高い状態であった。しかしこれら防水ケースは，ガラス固定リングを使用しているので，ガラスの外れ

るトラブルは無かった。「B」は内圧が2.6kg/cm²，ガラス内側の面積が7cm²であったから，ガラス面に18.2kgの力が内部から加わっていたことになる。またこの実験で参考に持ち込まれた，200m耐水圧表示の外国製ダイバーズウオッチは，減圧時にガラスが外れた。このウオッチはネオプレーン製Oリングが使われていたところから，「D」と同様に5.3kg/cm²近くに達していたと考えられ，ガラスが7cm²であったから37.1kgの内部からの力が加わって外れたものと推察される。

その後，ダイバーズウオッチの周囲の圧力が常圧に戻った後も内圧下降は緩やかに進み，内圧が常圧に復帰するのに300日近く要するものもあった。実際には減圧後にりゅうず操作の機会があるので内圧が常圧に復帰するのはこれより早まると考えられるが，内圧の高い異常状態がこれほど長期間続くことは，防水ケースのパッキング部に逆圧状態が続くことになるなど，今後新たな問題点となるであろう。

4. まとめ

300m飽和潜水シミュレーション実験の機会を得て，代表的な深海用ダイバーズウオッチの実際の使用上の問題点を摘出するため，ヘリウム浸透による内圧上昇，下降の過程を計測した。

その結果，今回の実験では，3日間の短かい滞底日数にもかかわらず，通常のもので5.3kg/cm²，ヘリウム浸透対策を施したものは3.4kg/cm²，2.4kg/cm²，0.7kg/cm²と内圧上昇が緩やかであり，それぞれのヘリウム浸透対策の有効なことが確認された。

内圧の上昇したダイバーズウオッチをダイバーとともに減圧した結果，一般のネオプレーンゴムOリングを使用しているものでは，内圧によってガラス面に推定37kgの力が加わり外れるトラブルが生じ，さらに300m15日間の滞底日数の場合には，ガラス面に105kgもの力が加わることが予想され，外れ，さらにガラス固定リングを備えているものではガラスの割れが起るであろう。

今回計測した4機種のダイバーズウオッチは，排気弁を設けて周囲の圧力より内圧が高まることを防いでいるものと，パッキング部のヘリウム浸透対策およびガラス固定リングによって耐内圧構造にしているもので，いずれも減圧時にガラスの外れ，割れるトラブルを起さず，これらの有効なことが証明され，深海用ダイバーズウオッチでは耐ヘリウム混合ガス対策を講じることが強く要望された。

しかし一方では，パッキング部にヘリウム浸透対策を講じているものに，減圧終了後300日近くも内圧の高い異常状態が続くことが計測確認され，新たな問題点として示唆された。

これらの結果から，現行のISO規格6－11項には，耐ヘリウム雰囲気性「ダイバーズウオッチをヘリウム雰囲気中で使用した時，時計の正常な機能が損われる危険性があることに注意しなければならない。」との文章が新たに記載されたが，耐ヘリウム試験などについての記載がまだない。またダイバーズウオッチの耐深表示(使用可能水深)は使用者であるダイバーに誤解を招き，200m以深はすべて耐ヘリウム対策が講じられているかに思えるが，実際はその一部のみである。具体的な深海用ダイバーズウオッチの性能表示，耐ヘリウム試験方法が一日も早く検討され，ISO規格にこれらが記載されて，さらに信頼できるダイバーズウオッチとなることが望まれる。

文　献

1) International Standard ISO 6425. Diver's Watches. 1982－12－01

2) 山田　稔，山縣英朝生，1982，“ダイバーズウオッチに係る諸問題”，日本時計学会誌(101)，55－69