

H24/12/6 版

高気圧作業安全衛生規則  
改正検討会報告書（案）

平成 24 年 12 月日

厚生労働省労働基準局

## 第1 検討会開催の趣旨等

### 1 趣旨及び目的

労働安全衛生法施行令（昭和47年政令第318号。以下「安衛令」という。）第6条第1号で定める高圧室内作業及び安衛令第20条第9号で定める潜水業務（以下「高気圧作業」という。）については、高気圧作業安全衛生規則（昭和47年労働省令第40号。以下「高圧則」という。）で、減圧症、酸素中毒及び窒素酔い等（以下「高気圧障害」という。）の防止のための対策が規定されているが、その後の技術の進展等により、その取り巻く状況は変化している。

特に、新たな知見による減圧表の考え方、酸素窒素混合ガスやヘリウムを含む混合ガス等（以下「混合ガス」という。）の使用、酸素減圧の実施、閉鎖循環呼吸回路方式（呼気を外に排出せず、二酸化炭素を取り除いて再利用する方式）の潜水器等新技術を用いた機器等（以下「新技術を用いた機器」という。）を使用することによる急性または慢性の高気圧障害の防止技術等が既に実用化されている等の状況にある。

これらを踏まえ、高圧則の改正について検討するため、厚生労働省労働基準局長が集めた高気圧作業等の専門的知識を有する者によって構成される高気圧作業安全衛生規則改正検討会（以下「検討会」という。）を開催する。

### 2 検討事項

- ・ 高気圧作業安全衛生規則別表1から別表3に掲げる高圧下の時間及び減圧の速度等に係る規定の在り方
- ・ 高気圧作業における混合ガス及び酸素減圧の取扱いに係る規定の在り方
- ・ 高気圧作業における新技術を用いた機器の取扱いに係る規定の在り方
- ・ その他高気圧障害防止のための規定の在り方

### 3 構成

- (1) 本検討会は、高気圧作業等の専門的知識を有する者を参集者とする。
- (2) 本検討会には座長を置き、座長は、本検討会を統括する。
- (3) 本検討会の参集者は、必要に応じ追加することができる。
- (4) 本検討会は、参集者以外の者に出席を求めることができる。

### 4 その他

- (1) 本検討会は、原則として公開する。ただし、個人情報、企業秘密等を取り扱うなどの場合においては、非公開にすることができる。
- (2) 本検討会の事務は、厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課において行う。

## 5 参集者（五十音順）

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| 畔田 忠彦  | 大豊建設株式会社<br>安全環境部長               |
| 川崎 恭史  | オリエンタル白石株式会社<br>施工・技術本部 執行役員     |
| 芝山 正治  | 駒沢女子大学<br>人間健康学部健康栄養学科 教授        |
| 鉄 芳松   | 社団法人日本潜水協会<br>会長                 |
| ○眞野 喜洋 | 国立大学法人東京医科歯科大学<br>名誉教授           |
| 村山 盤   | 社団法人日本埋立浚渫協会<br>安全環境対策本部委員       |
| 毛利 元彦  | 日本海洋事業株式会社<br>顧問・産業医             |
| 柳下 和慶  | 国立大学法人東京医科歯科大学医学部附属病院<br>高気圧治療部長 |

（○は座長）

オブザーバー

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 吉澤 文悠子 | 人事院職員福祉局職員福祉課健康安全対策推進室課長補佐 |
| 土田 容子  | 人事院職員福祉局職員福祉課健康安全対策推進室主査   |
| 岩男 勝実  | 海上保安庁警備救難部救難課専門官           |
| 佐々木 千尋 | 海上保安庁警備救難部救難課業務係長          |
| 鈴木 信哉  | 自衛隊中央病院臨床医学研究部長            |
| 芳倉 勝治  | 国土交通省港湾局技術企画課課長補佐          |
| 後藤 嘉雄  | 国土交通省港湾局技術企画課直轄事業係長        |
| 中川 英毅  | 社団法人日本潜水協会事務局長             |
| 高橋 元   | 建設業労働災害防止協会技術管理部長          |
| 齊藤 泰彦  | 社団法人日本埋立浚渫協会安全環境対策部会長      |

## 6 検討の経緯

|        |            |
|--------|------------|
| 第1回検討会 | 平成24年5月30日 |
| 第2回検討会 | 平成24年6月25日 |
| 第3回検討会 | 平成24年7月10日 |
| 第4回検討会 | 平成24年7月30日 |
| 第5回検討会 | 平成24年12月6日 |

## 第2 高気圧作業の安全衛生基準の課題と改正の方向

### 1 現行高気圧作業の安全衛生基準の課題と検討

#### (1) 潜水業務・高圧室内業務共通の課題と検討

ア 高気圧作業安全衛生規則（以下「高圧則」という。）は昭和47年に制定されているが、別表の減圧表はそれ以前の高圧則が制定された昭和36年に施行されており、それ以降は、単位換算による改正はあったが、抜本的改正はされていない。

イ 今日では、高気圧作業の呼吸ガスに、窒素混合ガス（ナイトロックス、窒素と酸素の混合ガス）、ヘリウム混合ガス（ヘリオックス、ヘリウムと酸素の混合ガス）、三種混合ガス（トライミックス、窒素とヘリウムと酸素の混合ガス）といった混合ガスを利用することが技術的に可能であり、これを用いれば健康障害を起こすことなく減圧時間の短縮が可能だが、高圧則の減圧表が空気を想定して規制されている制約を受けるため、これらの技術を有効に利用するための適切な減圧表による基準が必要であると考える。

なお、建設業のうちゲージ圧力が0.3MPa以上の圧気工法による作業による仕事については、安衛法第88条第3項に基づく届出及び大臣審査が必要であるが、この審査において混合ガス呼吸と酸素減圧が既に採用されている。

ウ 現行減圧表は、減圧症のうちベンズ（関節症）等の作業が終わってから少なくとも2～3時間以内に発生する急性減圧症に対する対応を中心として考えられてきたが、その後の知見で判明した3か月から3年程度の間には発生するといわれている無菌性骨壊死という慢性減圧症に対する配慮も必要であると考えられる。

慢性減圧症の予防のためには、減圧時間を延ばすことや、酸素窓効果を活用した酸素減圧を利用することにより、無症候性気泡というマイクロバブルを体内に残さないようにすることが効果的である。

エ 1日に高気圧作業を複数回行う場合は、ノモグラム（計算尺）である別表3を用いて減圧表を修正して作業を行うが、非常に分かりにくい、作図精度でずれが出る等の問題がある。

オ 急性減圧症発症時に現場で救急再圧を行う場合は、空気による再圧は禁止し、医師の常駐を外した上で酸素再圧による治療とするのがよいという意見があったが、一方で、機器故障等の緊急浮上時の業務再圧でも利用されることを考慮すれば、空気再圧は禁止までできない、また、酸素減圧を行う場合、医師の配置が必要となるが、治療再圧については、労働衛生の問題としては解決できないことから、高圧則による実現は困難な面がある。

なお、原則的には専門医と相談して再圧の指示を受ける、または、救急搬送するのが望ましいとの意見もあった。

カ 酸素再圧の場合、酸素吸入装置の備えられた第1種装置（一人用）を禁止し、処置する者と治療者の最低2人は定員がある第2種装置（複数人用）を原則とするが、但し、第1種装置でも加圧で空気を用いても酸素吸入が出来る場合はこの限りではないとすべきという意見があったが、一方で、機器故障等の緊急浮上時の再圧でも利用されていること、高圧則第42条第1項では、設置、または、利用できるような措置、としているので、再圧室を設置せず、救急体制を整備することでも足り、また、設備投資の問題や船上における狭隘等の事情により、2種設置が困難な場合もあるので、2種設置を一律に求めることは困難な面があるとの意見もあった。

キ 高気圧作業者は、手帳等により高気圧作業記録等保持管理することが望ましいという意見があった。

## (2) 潜水業務の課題と検討

ア 潜水業務で主に利用する減圧表である別表2は、水深90mまで潜水業務を許容しているが、空気を呼吸用ガスとして行う潜水業務では、この水深まで安全性を十分確保するのは難しい。

イ 10m以浅から酸素減圧を行い、減圧速度を滑らかにすれば、減圧症の発症率は相当数減るはずであるから、減圧管理を必要とする作業は、現行の水深10mでなく水深8mとすることが望ましいが、一方、8mからの減圧管理を規則化とするには、十分な根拠がなければ難しい面がある。

ウ 潜水作業では酸素減圧を禁止しているが、慢性減圧症の予防のためには、

酸素窓効果を活用した酸素減圧を利用することにより、無症候性気泡というマイクロバブルを体内に残さないようにすることが効果的であり、減圧終了後等に酸素吸入をしても一定の効果がある。

一方、酸素中毒により溺水のおそれがある潜水作業にはウェットな環境における酸素減圧の採用は困難な面がある。

### (3) 高圧室内業務の課題と検討

ア 高圧室内業務で利用する減圧表である別表 1 は、ゲージ圧力が 0.4MPa まで許容しているが、これに従った作業での減圧症発症率は 5%という報告があるとの意見があった。

イ 作業終了後、タラップ（一時的に架設される階段等）を上がるときに膝・腰にかかる負担が大きいため、減圧症が発症する原因とも考えられるが、代わりにエレベータを利用させ、作業終了後の負担軽減を図ることによって、減圧症の発症率が 4 分の 1 程度にまで減少させることができたことから、ゲージ圧力が 0.4MPa 以上の潜函作業では、出来るだけ低いゲージ圧力からエレベータを用意するのが望ましいとの意見があった。

一方、業者の設備投資があまりに過大になることから、一律に義務化するのには難しい面があり、発注者・業界団体の自主的取組みによるのがよいとの意見があった。

## 2 高気圧作業の安全衛生基準をめぐる国内実用面及び海外の動向

ア 1961 年以降、別表 1 の減圧表に従っていたが、ゲージ圧力が 0.2MPa を超えると減圧症発症率は 2%以上であったが、1970 年代にはゲージ圧力が 0.25MPa を超えると別表 1 を安全側に修正して実施する傾向となったとの意見があった。

1980 年代にイギリス領香港の地下鉄工事を日本のゼネコンが落札したことで、国内でも減圧症予防の立場からイギリスの労働基準法に基づくブックプール表（BP 表）を使用することが一般になった。

イ フランスの減圧表は水深 60m、45 分間の条件を超える不飽和潜水は避けるべきとの考え方にたっている。

ウ イギリスでは、深水 7m から、アメリカでは、深水 9m から減圧停止時間

を設けている。

エ シンガポール等東南アジアを中心にイギリスに倣う国では、飽和潜水システムが可能な設備を持っていないと入札に参加できない。

### 3 高気圧作業の安全衛生基準の見直しの方向

混合ガスの使用など、高気圧障害の防止に有効な方法を活用するため、高気圧作業の安全衛生基準について次の方向とするのがよいと考えられる。

#### (1) 潜水業務・高圧室内業務共通の方向

ア 空気を呼吸ガスとする高気圧作業は水深 40m またはゲージ圧力が 0.4MPa までとすること。

イ 水深 40m またはゲージ圧力が 0.4MPa を超える高気圧作業は、窒素ガス分圧が空気よりも小さくなる混合ガス呼吸を使用することとするが、混合ガス呼吸、酸素減圧の減圧表は、その条件により変わるものであるので、標準的な計算方法を示すことにより、これにより当該条件下の減圧表を作成するものとする。また、水深 40m またはゲージ圧力が 0.4MPa を超えない高気圧作業においても、当該方法により減圧表を作成することにより、混合ガス呼吸、酸素減圧を利用できることとする。

#### (2) 潜水業務の方向

ア 潜水業務での純酸素の使用は酸素中毒による溺水のおそれがあり、慎重に考える必要があるが、溺水のおそれのない潜水ベル等を用いた潜水では使用可能とする。

イ 減圧管理を必要とする作業は、現行の水深 10m でなく水深 8m とすることが望ましいが、基準となる減圧表において、8m から 10m までの減圧の必要性については明確でないため義務としては現行どおりとする。

#### (3) 高圧室内業務の方向

ア ゲージ圧力が 0.3MPa 以上では、ヘリウム混合ガスを呼吸ガスとすること

が望ましい。

イ 無症候性気泡というマイクロバブルを体内に残さないようにするため、減圧を要する作業では酸素減圧を採用することが望ましい。

ウ 減圧管理がやり易い高圧室内作業については、減圧速度を 1.5m/min 以下とすることが望ましい。

エ ゲージ圧力が 0.4MPa 以上の潜函作業では、出来るだけ低いゲージ圧力からエレベータを用意するのが望ましい。

#### (4) 今後の技術の発展等への対応

高圧則による、減圧表等の基準については、今後の技術の発展、新たな知見の集積等を見極めて、適宜、見直しの検討を行うものとする。

### 第3 高気圧作業の減圧表の見直し

#### 1 空気呼吸による減圧表の見直し

・空気呼吸・空気減圧による業務は、ゲージ圧力が 0.4MPa(水深 40m)までに制限する。

・空気呼吸・空気減圧による業務の減圧表は、別添 1 の表のとおりとするが、その作業の特異性により、高圧室内作業と潜水作業とを分ける方が適当であると考えられる場合は、その特異性に係る部分のみを勘案し、減圧表を分けることも考えらる。

・スプリットシフト方式により、空気呼吸・空気減圧による業務を 1 日 2 回以上行わせるときは、高圧下の時間を 2 倍にした減圧表を用いる。また、当作業と次作業の間に一律 2 時間以上の業務間ガス圧減少時間を設ける (P)。

・高圧則では「潜函」と「潜かん」、「気闇」と「気こう」がそれぞれ混在しているため、「潜かん」と「気こう」に統一する。

#### 2 新しい技術の使用による基準式を用いて求めた減圧表使用の新設

第3の1で新たに定める減圧表によらず減圧待機時間の短縮を図りたい場合等は、混合ガス呼吸や酸素減圧を用いることとし、最新の安全の知見に基づく次に定める条件、式による計算結果を上回る値を減圧時間として作成した減圧表により高気圧作業を行うこととする。

また、この手法を典型的な作業に用いることができるよう作成した減圧表を、参考として別添2～5に示す（別添6～8は比較用）。

(1) 呼吸に用いる気体について、どのような圧力下においても次の分圧範囲とすること。

- ・窒素分圧は、4ATA 以下
- ・酸素分圧は、0.18 以上 1.6ATA 以下
- ・二酸化炭素分圧は、0.005ATA 以下
- ・これら以外のガスは、混入させずにヘリウム等不活性ガスに置換する
- ・作業後の残留窒素分圧が 1.5ATA を下回るまでは管理する (P)。

(2) 作成する減圧表については、窒素及びヘリウムを不活性ガスとして取扱ひ、各待機深度毎に体内の不活性ガス分圧と M 値（次の減圧停止圧に移行できる最大不活性ガス分圧値: Maximum value）の計算結果を比較することにより減圧表を作成する。

定常状態の空気は、1気圧で窒素 79%、酸素 21%とする。即ち、窒素分圧は、7.9msw、酸素分圧は、2.1msw であるが、体内に取り込む空気の初期窒素分圧は、飽和水蒸気圧を鑑み、

$$P_{1,N_2,0} = 7.9 \times (1 - 0.0567) = 7.45207$$

$P_{1,N_2,0}$  : 初期窒素分圧（大気圧） [msw]

とする。

待機減圧深度区間は 3m 以内で設定し、各減圧停止圧毎における減圧待機時間は、16 半飽和組織毎に計算した M 値と 16 半飽和組織それぞれの各不活性ガス分圧を比較し、全ての不活性ガス分圧が対応する 16 半飽和組織の M 値を下回った場合、次の減圧停止圧まで移動ができることとする。これを深度 0 まで繰り返す。

また、この理論 M 値については、

$$M_1 \text{ 値} = \frac{\text{理論} M_1 \text{ 値}}{\alpha}$$

## $\alpha \geq 1.0$ (安全率)

とした M 値を利用することで、安全率を見込むことができる。

酸素減圧は溺水のおそれがない場合に限り使用可能で、25 分の酸素減圧には、酸素中毒防止のため、5 分のエアブレイク（空気呼吸）を挿入する（計 30 分）。（酸素毒性計算では、 $O_2=100\%$  で計算するが、減圧計算では  $N_2:O_2=20:80$  で計算する。）

(3) 体内の不活性ガス分圧は、人体を半飽和組織毎に分割できると想定し、下式により、半飽和組織毎かつ不活性ガス毎に各々計算する。

また、作業様態の変更がある各工程において、次の①及び②により、各々分圧を計算する。

(添え字については、1 が半飽和組織の番号、m が不活性ガスの種類、n が工程である。)

① 圧力が可変時の工程、即ち、加圧（潜行）または減圧（浮上）時に使用する式は、法定の加減圧速度に留意し、

$$P_{l,m,n} = (P_a + P_b) \cdot N_m + R \cdot N_m \cdot \left( t - \frac{1}{k_1} \right) - \left\{ (P_a + P_b) \cdot N_m - P_{l,m,n-1} - \frac{R \cdot N_m}{k_1} \right\} \cdot e^{-k_1 \cdot t}$$

$P_{l,m,n}$  : 体内の不活性ガス分圧 (1=1~16 , m=N<sub>2</sub>, He , n=1, 2, 3, 4...) [msw]

$P_{l,m,n-1}$  : 直前の不活性ガス分圧 (1=1~16 , m=N<sub>2</sub>, He , n=1, 2, 3, 4...) [msw]

$P_a$  : 大気圧 [msw]

$P_b$  : 到達圧力(ゲージ) [msw]

$N_m$  : 不活性ガス濃度 (m=N<sub>2</sub>, He) [%]

$R$  : 加減圧速度(加圧方向を正とする) [m/min]

$t$  : 当該工程経過時間 [min]

$S_1$  : 不活性ガスの半飽和時間 (1=1~16) [min]

$$k_1 : \frac{\log_e 2}{S_1}$$

② 圧力が不変時の工程、即ち、作業時・減圧待機時に使用する式は、

$$P_{l,m,n} = P_{l,m,n-1} + \left\{ (P_a + P_c) \cdot N_m - P_{l,m,n-1} \right\} \cdot (1 - e^{-k_1 \cdot t})$$

$P_c$  : 作業、減圧（浮上）時に停止する圧力 [msw]

作業に応じて①または②を使った計算をし、その結果を元に、次の作業の体内

不活性ガス分圧を①または②で求める。

16 半飽和組織毎に計算した、各分圧は、次の (4) で計算する 16 半飽和組織の M 値を下回ると、次の停止圧力へ移行できる。

(4) M 値の計算は、

$$A_{l,n} = \frac{a_{l,N2,n} \cdot P_{l,N2,n} + a_{l,He,n} \cdot P_{l,He,n}}{P_{l,N2,n} + P_{l,He,n}}$$

$$B_{l,n} = \frac{b_{l,N2,n} \cdot P_{l,N2,n} + b_{l,He,n} \cdot P_{l,He,n}}{P_{l,N2,n} + P_{l,He,n}}$$

を計算後、以下の式で算出する。

$$M_{l,n} = \frac{P_d + P_c}{B_{l,n}} + A_{l,n}$$

$P_d$  : 大気圧 (ただし、水蒸気圧を減ずるため  $10 - 0.567 = 9.433$ msw)

$a_{l,m,n} = a_{l,m}$  : a 値 ( $l=1 \sim 16$ ,  $m=N2, He$ ,  $n=1, 2, 3, 4 \dots$ ) (表参考)

$b_{l,m,n} = b_{l,m}$  : b 値 ( $l=1 \sim 16$ ,  $m=N2, He$ ,  $n=1, 2, 3, 4 \dots$ ) (表参考)

$A_{l,n}$  : a 値の合成値 ( $l=1 \sim 16$ ,  $n=1, 2, \dots$ )

$B_{l,n}$  : b 値の合成値 ( $l=1 \sim 16$ ,  $n=1, 2, \dots$ )

$M_{l,n}$  : M 値の合成値 ( $l=1 \sim 16$ ,  $n=1, 2, \dots$ )

なお、ヘリウムを利用せず窒素のみの場合は、

$$M_{l,n} = \frac{P_d + P_c}{b_{l,N2,n}} + a_{l,N2,n}$$

で簡易に計算が可能となる。

以上により、各減圧待機深度における待機時間は、不活性ガスの合成分圧が、1 から 16 までの半飽和組織の全ての M 値未満となる t を計算する。すなわち、

$$P_{l,N2,n} + P_{l,He,n} \leq M_{l,n} \quad (l=1 \sim 16 \quad n=1, 2, \dots)$$

を満足する t となる。

表 1 窒素

| 組織数   | No1     | No2     | No3    | No4    | No5    | No6    | No7    | No8    |
|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 半飽和時間 | 5       | 8       | 12.5   | 18.5   | 27     | 38.3   | 54.3   | 77     |
| a 値   | 12.6885 | 10.9185 | 9.4381 | 8.2446 | 7.3918 | 6.3153 | 5.6483 | 5.1133 |
| b 値   | 0.5578  | 0.6514  | 0.7222 | 0.7825 | 0.8126 | 0.8434 | 0.8693 | 0.891  |
| 組織数   | No9     | No10    | No11   | No12   | No13   | No14   | No15   | No16   |
| 半飽和時間 | 109     | 146     | 187    | 239    | 305    | 390    | 498    | 635    |
| a 値   | 4.8246  | 4.3709  | 4.0774 | 3.868  | 3.4463 | 3.3161 | 3.0765 | 2.9284 |
| b 値   | 0.9092  | 0.9222  | 0.9319 | 0.9403 | 0.9477 | 0.9544 | 0.9602 | 0.9653 |

リウムについては、窒素の半飽和時間の 1/2.65 で計算するが、簡便のために次の表を用いてもよい。

表 2 ヘリウム

| 組織数   | No1     | No2     | No3     | No4    | No5     | No6    | No7     | No8     |
|-------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
| 半飽和時間 | 1.887   | 3.019   | 4.717   | 6.981  | 10.189  | 14.453 | 20.491  | 29.057  |
| a 値   | 17.4247 | 14.7866 | 12.7477 | 11.24  | 9.9588  | 8.9446 | 8.0059  | 7.1709  |
| b 値   | 0.477   | 0.5747  | 0.6527  | 0.7223 | 0.7582  | 0.7957 | 0.8279  | 0.8553  |
| 組織数   | No9     | No10    | No11    | No12   | No13    | No14   | No15    | No16    |
| 半飽和時間 | 41.132  | 55.094  | 70.566  | 90.189 | 115.094 | 147.17 | 187.925 | 239.623 |
| a 値   | 6.6285  | 6.2049  | 5.9152  | 5.8029 | 5.7586  | 5.8143 | 5.7652  | 5.7208  |
| b 値   | 0.8757  | 0.8903  | 0.8997  | 0.9073 | 0.9122  | 0.9171 | 0.9217  | 0.9267  |

(5) 酸素減圧を利用する場合、高圧下の作業時等酸素分圧が 0.5ATA 以上の場合は、酸素による身体影響を鑑み、以下による制約を考慮すること。

$$UPTD = t \cdot \left( \frac{PO_2 - 0.5}{0.5} \right)^{0.83}$$

t : 酸素暴露時間 [min]

PO<sub>2</sub> : 酸素分圧 [ATA]

(UPTD は、常気圧下で純酸素を 1 [min] 吸入した場合の酸素毒性量を基本単位とする)

なお、UPTD が複数日に渡る場合は、CPTD とする。この場合の換算は、

## UPTD=CPTD

とする。

上式の積算により、UPTD（肺酸素毒性量単位）及び CPTD（累積肺酸素毒性量単位）を

**1 日当りの最大酸素暴露量 600UPTD 以下**

**1 週間当りの最大酸素暴露量 2,500CPTD 以下**

となる様に作業計画を作成しなければならない。

（具体的事例）

空気呼吸・空気減圧により、8[msw/min]で加圧、12[msw]の到達圧力で300[min]作業後、8[msw/min]で減圧した場合の減圧スケジュール。

作業前の初期窒素分圧は、

$$P_{1,N2,0}=7.45207[\text{msw}]$$

### 1 工程目

到達圧力までの工程は、①式を用い、

$$P_{1,N2,1}=(10+12) \cdot 0.79+8 \cdot 0.79 \left\{ (12/8)-S_1/\ln(2) \right\} - \left\{ (10+12) \cdot 0.79-7.45207-8 \cdot 0.79 \cdot (S_1/\ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2)/S_1) \cdot (12/8) \right\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間を代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織     | P1, N2, 1 | P2, N2, 1  | P3, N2, 1  | P4, N2, 1  | P5, N2, 1  | P6, N2, 1  | P7, N2, 1  | P8, N2, 1  |
| 窒素分圧[msw] | 10.23676  | 9.252218   | 8.627996   | 8.256114   | 8.007317   | 7.845475   | 7.730542   | 7.648941   |
| 半飽和組織     | P9, N2, 1 | P10, N2, 1 | P11, N2, 1 | P12, N2, 1 | P13, N2, 1 | P14, N2, 1 | P15, N2, 1 | P16, N2, 1 |
| 窒素分圧[msw] | 7.59139   | 7.556195   | 7.533422   | 7.515756   | 7.501996   | 7.491128   | 7.482665   | 7.476069   |

となる。

### 2 工程目

次工程で、到達圧力12[msw]のまま、300[min]作業を行う工程では、②式を用い、

$$P_{1,N2,2}=P_{1,N2,1}+\left\{ (10+12) \cdot 0.79-P_{1,N2,1} \right\} \cdot \left\{ 1-\exp(-300 \cdot \ln(2)/S_1) \right\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,1}$ の値を代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織     | P1, N2, 2 | P2, N2, 2  | P3, N2, 2  | P4, N2, 2  | P5, N2, 2  | P6, N2, 2  | P7, N2, 2  | P8, N2, 2  |
| 窒素分圧[msw] | 17.38     | 17.38      | 17.38      | 17.37988   | 17.37576   | 17.33818   | 17.17042   | 16.72639   |
| 半飽和組織     | P9, N2, 2 | P10, N2, 2 | P11, N2, 2 | P12, N2, 2 | P13, N2, 2 | P14, N2, 2 | P15, N2, 2 | P16, N2, 2 |
| 窒素分圧[msw] | 15.92723  | 15.01558   | 14.14146   | 13.2476    | 12.38456   | 11.5779    | 10.86109   | 10.2418    |

となる。次工程で、減圧を開始するが、停止減圧を3[msw]毎にとると、3[msw]、6[msw]、9[msw]で計算する。

### 3 工程目

次工程である9[msw]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,3} = (10+9) \cdot 0.79 - 8 \cdot 0.79 \left\{ (3/8) - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (10+9) \cdot 0.79 - P_{1,N2,2} + 8 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (3/8) \right\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,2}$ を代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|           |           |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織     | P1, N2, 3 | P2, N2, 3  | P3, N2, 3  | P4, N2, 3  | P5, N2, 3  | P6, N2, 3  | P7, N2, 3  | P8, N2, 3  |
| 窒素分圧[msw] | 17.19939  | 17.26614   | 17.30675   | 17.33024   | 17.34173   | 17.31441   | 17.15444   | 16.71661   |
| 半飽和組織     | P9, N2, 3 | P10, N2, 3 | P11, N2, 3 | P12, N2, 3 | P13, N2, 3 | P14, N2, 3 | P15, N2, 3 | P16, N2, 3 |
| 窒素分圧[msw] | 15.92222  | 15.01346   | 14.14102   | 13.24823   | 12.38578   | 11.5794    | 10.86264   | 10.24327   |

となる。

このときのM値は、

$$M_{1,3} = (9.433+9) / b_{1,N2,3} + a_{1,N2,3}$$

となる。このときのM値は、a値及びb値を代入し、

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| M1, 3    | M2, 3    | M3, 3    | M4, 3    | M5, 3    | M6, 3    | M7, 3    | M8, 3    |
| 45.73439 | 39.21601 | 34.9615  | 31.80115 | 30.07578 | 28.17088 | 26.85272 | 25.80129 |
| M9, 3    | M10, 3   | M11, 3   | M12, 3   | M13, 3   | M14, 3   | M15, 3   | M16, 3   |
| 25.09847 | 24.35897 | 23.85742 | 23.47132 | 22.89655 | 22.6298  | 22.27354 | 22.02402 |

となる。全ての半飽和組織(l=1~16)で、

$$P_{1,N2,3} \leq M_{1,3}$$

となるので、次の減圧停止圧に移行できる。

### 4 工程目

次工程である6[msw]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,4} = (10+6) \cdot 0.79 - 8 \cdot 0.79 \left\{ (3/8) - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (10+6) \cdot 0.79 - P_{1,N2,3} + 8 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (3/8) \right\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程  $P_{1,N2,3}$  を代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|            |           |            |            |            |            |            |            |            |
|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織      | P1, N2, 4 | P2, N2, 4  | P3, N2, 4  | P4, N2, 4  | P5, N2, 4  | P6, N2, 4  | P7, N2, 4  | P8, N2, 4  |
| 窒素分圧 [msw] | 16. 90787 | 17. 08016  | 17. 18624  | 17. 24823  | 17. 28531  | 17. 27477  | 17. 12722  | 16. 69888  |
| 半飽和組織      | P9, N2, 4 | P10, N2, 4 | P11, N2, 4 | P12, N2, 4 | P13, N2, 4 | P14, N2, 4 | P15, N2, 4 | P16, N2, 4 |
| 窒素分圧 [msw] | 15. 91158 | 15. 00713  | 14. 13729  | 13. 24628  | 12. 38499  | 11. 57931  | 10. 86295  | 10. 24376  |

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,4} = (9.433+6) / b_{1,N2,3} + a_{1,N2,3}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

|           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| M1, 4     | M2, 4     | M3, 4     | M4, 4     | M5, 4     | M6, 4     | M7, 4     | M8, 4     |
| 40. 35612 | 34. 61055 | 30. 80753 | 27. 96728 | 26. 38392 | 24. 61385 | 23. 40166 | 22. 43429 |
| M9, 4     | M10, 4    | M11, 4    | M12, 4    | M13, 4    | M14, 4    | M15, 4    | M16, 4    |
| 21. 79886 | 21. 10588 | 20. 63819 | 20. 28085 | 19. 73099 | 19. 48647 | 19. 14919 | 18. 91618 |

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,4} \leq M_{1,4}$$

となるので、次の減圧停止圧に移行できる。

## 5 工程目

次工程である 3 [msw] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,5} = (10+3) \cdot 0.79 - 8 \cdot 0.79 \left\{ (3/8) - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (10+3) \cdot 0.79 - P_{1,N2,4} + 8 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (3/8) \right\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程  $P_{1,N2,4}$  代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|            |           |            |            |            |            |            |            |            |
|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織      | P1, N2, 5 | P2, N2, 5  | P3, N2, 5  | P4, N2, 5  | P5, N2, 5  | P6, N2, 5  | P7, N2, 5  | P8, N2, 5  |
| 窒素分圧 [msw] | 16. 51106 | 16. 82436  | 17. 01944  | 17. 1343   | 17. 20672  | 17. 21937  | 17. 08881  | 16. 67322  |
| 半飽和組織      | P9, N2, 5 | P10, N2, 5 | P11, N2, 5 | P12, N2, 5 | P13, N2, 5 | P14, N2, 5 | P15, N2, 5 | P16, N2, 5 |
| 窒素分圧 [msw] | 15. 89532 | 14. 99659  | 14. 13027  | 13. 24176  | 12. 38218  | 11. 57765  | 10. 86202  | 10. 24329  |

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,5} = (9.433+3) / b_{1,N2,5} + a_{1,N2,5}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

|           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| M1, 5     | M2, 5     | M3, 5     | M4, 5     | M5, 5     | M6, 5     | M7, 5     | M8, 5     |
| 34. 97785 | 30. 00508 | 26. 65355 | 24. 13342 | 22. 69207 | 21. 05682 | 19. 95061 | 19. 06728 |
| M9, 5     | M10, 5    | M11, 5    | M12, 5    | M13, 5    | M14, 5    | M15, 5    | M16, 5    |
| 18. 49926 | 17. 85279 | 17. 41896 | 17. 09038 | 16. 56543 | 16. 34313 | 16. 02484 | 15. 80833 |

となる。全ての半飽和組織 (1=1~16) で、

$$P_{1,N2,5} \leq M_{1,5}$$

となるので、次の減圧停止圧に移行できる。

## 6 工程目

次工程である 0[msw]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,6} = (10+0) \cdot 0.79 - 8 \cdot 0.79 \left\{ \frac{3}{8} - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (10+0) \cdot 0.79 - P_{1,N2,5} + 8 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (3/8) \right\}$$

となる。

1=1~16 の半飽和時間及び前工程  $P_{1,N2,5}$  代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

|            |           |            |            |            |            |            |            |            |
|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 半飽和組織      | P1, N2, 5 | P2, N2, 5  | P3, N2, 5  | P4, N2, 5  | P5, N2, 5  | P6, N2, 5  | P7, N2, 5  | P8, N2, 5  |
| 窒素分圧 [msw] | 16. 391   | 16. 74859  | 16. 97066  | 17. 10123  | 17. 18402  | 17. 20334  | 17. 07749  | 16. 66523  |
| 半飽和組織      | P9, N2, 5 | P10, N2, 5 | P11, N2, 5 | P12, N2, 5 | P13, N2, 5 | P14, N2, 5 | P15, N2, 5 | P16, N2, 5 |
| 窒素分圧 [msw] | 15. 88967 | 14. 99238  | 14. 12698  | 13. 23918  | 12. 38016  | 11. 57607  | 10. 86078  | 10. 24232  |

このときの M 値は、

$$M_{1,6} = (9.433+3) / b_{1,N2,6} + a_{1,N2,6}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

|           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| M1, 5     | M2, 5     | M3, 5     | M4, 5     | M5, 5     | M6, 5     | M7, 5     | M8, 5     |
| 29. 59958 | 25. 39962 | 22. 49958 | 20. 29955 | 19. 00022 | 17. 49979 | 16. 49956 | 15. 70028 |
| M9, 5     | M10, 5    | M11, 5    | M12, 5    | M13, 5    | M14, 5    | M15, 5    | M16, 5    |
| 15. 19965 | 14. 5997  | 14. 19973 | 13. 8999  | 13. 39987 | 13. 1998  | 12. 9005  | 12. 70049 |

となる。M<sub>7,5</sub>、M<sub>8,5</sub>、M<sub>9,5</sub>、M<sub>10,5</sub> の半飽和組織で M 値より分圧の方が高いので、減圧待機が必要となる。

必要な減圧待機時間は、②式を変換し、

$$t_1 = -\frac{1}{k} \cdot \ln \left| 1 - \frac{M_{1,n} - P_{1,m,n-1}}{(P_a + P_c) \cdot N_m - P_{1,m,n-1}} \right|$$

を解くと、

|      |                |                |                |                 |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|      | t <sub>7</sub> | t <sub>8</sub> | t <sub>9</sub> | t <sub>10</sub> |
| 待機時間 | 6.502578       | 16.88502       | 18.98427       | 16.63746        |

となり、一番長い t<sub>9</sub>、19 分の待機時間が必要となる。その後は、次工程だが、0[msw]となるため、減圧は完了となる。

## 第4 別添資料

- 1 高気圧業務（潜水業務・高圧室内業務共用） 空気呼吸空気減圧表  
[ $\alpha$ : 1.0、加圧・減圧は8m/minを係数とした]
  
- 2 潜水業務 空気呼吸空気減圧表（奨励）  
[ $\alpha$ :1.1(21~6m)、1.0(それ以外)、加圧・減圧は8m/minを係数とした]
  
- 3 高圧室内業務 空気呼吸空気減圧表（奨励）  
[ $\alpha$ :1.1(21~6m)、1.0(それ以外)、加圧は8m/min、減圧は6m/minを係数とした]
  
- 4 高圧室内業務 空気呼吸酸素減圧表  
[ $\alpha$ :1.1(21~15m、6m)、1.3(12~9m)、1.0(それ以外)、加圧は8m/min、減圧は6m/minを係数とした]
  
- 5 高圧室内業務 混合ガス（He82% O<sub>2</sub>18%）空気呼吸併用酸素減圧表  
[ $\alpha$ :1.05(21~18m、6m)、1.1(15m)、1.25(12m)、1.3(9m)、1.0(それ以外)、加圧は8m/min、減圧は6m/min(30msw~)、1.5(~27msw)を係数とした] (35~70msw用)
  
- 6 ブラックプール表
  
- 7 別表1（現行高圧則）  
[加圧・減圧は約8m/min以下]
  
- 8 別表2（現行高圧則）  
[加圧は規定なし、緊急浮上後の再圧時は8m/min以下、減圧は10m/min]