

高気圧作業安全衛生規則 改正検討会報告書

平成 26 年 2 月 21 日

厚生労働省労働基準局

高気圧作業安全衛生規則改正検討会

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、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、高圧則を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（呼吸を外に排出せず、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。）を開催した。

2 検討事項

- ・ 高圧則別表第1から別表第3まで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 安全環境部長
川崎 恭史	オリエンタル白石株式会社 施工・技術本部 執行役員
芝山 正治	駒沢女子大学 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 会長
○眞野 喜洋	国立大学法人東京医科歯科大学 名誉教授
村山 盤	社団法人日本埋立浚渫協会 安全環境対策本部委員
△毛利 元彦	日本海洋事業株式会社 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 高気圧治療部長

（○は座長、△は座長代行）

名簿は最終の検討会当時（平 25. 6. 19）。なお、座長代行は平成 26 年 2 月に置いた。
オブザーバー

吉澤 文悠子	人事院職員福祉局職員福祉課	第 1～5 回
武藤 康代	健康安全対策推進室課長補佐	第 6 回
土田 容子	人事院職員福祉局職員福祉課	第 1～4 回
大村 啓太	健康安全対策推進室安全班主査	第 6 回
岩男 勝実	海上保安庁警備救難部	第 1～5 回
武田 治	救難課専門官	第 6 回
佐々木 千寿	海上保安庁警備救難部救難課業務係長	第 1～6 回
鈴木 信哉	自衛隊中央病院臨床医学教育・研究部長	第 1～6 回
芳倉 勝治	国土交通省港湾局	第 1～5 回
野沢 良一	技術企画課課長補佐	第 6 回
後藤 嘉雄	国土交通省港湾局	第 1～5 回
三浦 健	技術企画課直轄事業係長	第 6 回
中川 英毅	社団法人日本潜水協会	第 1～5 回
浦辺 信一	事務局長	第 6 回
高橋 元	建設業労働災害防止協会 技術管理部長	第 1～6 回
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	第 1～6 回

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6回検討会	平成25年	6月19日

特記事項

本報告書に示す単位はSI単位系 (The International System of Units) とし、圧力は全てPa (パスカル) にSI接頭辞を用いて表記する。

単位換算は簡便のため $1.0 \text{ atm} = 10.0 \text{ msw} = 1,000 \text{ hPa} = 100 \text{ kPa} = 0.10 \text{ MPa}$ (mswは、meter sea waterの略称であり、10.0mswは、海面から深度10mの場所における圧力を表す。通常はゲージ圧力として用いられているが、本報告書では、原則として絶対圧力を表すものとして用い、必要がある場合はゲージ圧力として用いている旨を明記する。) とする。

本報告書は、表記上の都合で少数第3位を四捨五入した少数第2位までとする。

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結果

(1) 高圧室内業務と潜水業務に共通する課題と検討結果

ア 高圧則は昭和 47 年に制定されているが、別表の減圧表はそれ以前の高気圧障害防止規則（以下「旧高圧則」という。）が制定された昭和 36 年に施行されたもので、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 現行減圧表は、減圧症のうち、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ベンズ（関節症）等の急性減圧症に対する対応を中心に考えられている。なお、慢性減圧症の予防に関して、急性減圧症を発症した後に治療せずに放置することにより無菌性骨壊死（慢性減圧症）が発生する可能性が高くなるという報告があるが、これについては、更なる知見の集積に努めるとともに、前提となる急性減圧症を予防することが重要である。急性減圧症の予防のためには、体内の不活性ガスの排出促進効果のある酸素減圧法等についても実施可能な減圧基準を導入することが求められる。

ウ 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、酸素と呼吸用不活性ガス（窒素及びヘリウム）を混合し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リスクを下げ減圧時間の短縮が可能である。しかし、現行の高圧則別表第 1 及び別表第 2 の減圧表は空気呼吸のみを想定して作成されているため、これらの技術を利用するための適切な減圧表がない。

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）である別表第 3 を用いて減圧表を修正して作業を行うが、非常に分かりにくく、また作図精度でずれが出る等の問題もあるため、誤った算出結果により、体内に溶け込んだ窒素が十分排出されないまま次の作業を行ってしまう危険性がある。

オ 酸素減圧を行う場合等で、一定分圧以上の酸素を一定時間以上吸入した場合には、蓄積した酸素が毒性を及ぼすことが知られており、この慢性酸素中毒の予防の観点から、規制値を設けるべきである。また、慢性酸素中毒では肺機能の低下が生じるため、現在、高圧則で実施を義務付けている健康診断により、肺活量の検査を 6 か月以内に 1 回確実にを行うことが重要である。また、肺活量については、定期の健診に加え、可能な範囲で高気圧作業実施期間の前後にも肺活量を測定することが望ましい。

カ 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、医師が行う酸素再圧による治療のみを可とすべきという意見があった。しかし、一方で、現行

の高圧則において、機器故障等の緊急浮上時に再圧室を利用した空気減圧が実施可能であることから、緊急時の空気再圧を禁止することは適当でないと考えられる。また、治療再圧については、治療方法に関する問題であるため、労働衛生上の問題として本検討会で検討を行うことは困難であるとされた。

キ 酸素再圧を行う場合、労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号、以下「安衛法」という。）で定める構造規格のみを具備した再圧室では十分でなく、日本工業規格（JIST7321「高気圧酸素治療装置」）で定める処置する者と治療者の最低 2 人以上の定員がある第 2 種装置（複数人用）を原則とし、但し、第 1 種装置（1 人用）で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。しかし、高圧則第 42 条第 1 項において、救急処置を行うため必要な再圧室を設置し、又は利用できるような措置を講じなければならないとされているため、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って 2 種設置が困難な場合もあり、2 種設置を一律に求めることは困難な面がある。また、本意見は、禁止すべきとする理由が治療方法に関する問題であるため、本検討会で検討を行うことは困難であるとされた。

ク 高気圧作業者について、高気圧作業記録等を記載する手帳などにより、作業従事歴等を記録することが必要ではないかという意見があったが、長期間において蓄積された有害性と作業従事歴の評価については知見が不十分であるため、過去の作業歴についてまとめておくという意味で推奨することはできても、事業者の義務とするには困難な面があるとされた。

ケ 高気圧作業終了後の大気圧下になった後でも、一定時間純酸素で呼吸した方が減圧症の予防のためによいという意見があった。

（2） 高圧室内業務の課題と検討結果

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、減圧症発症の原因の一つと考えられるため、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、通常の高圧室内業務と比較し、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という報告もあることから、ゲージ圧力が 0.4MPa 以上の潜函作業では、なるべく浅い深度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。しかし、エレベータの設置は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の意見があった。

(3) 潜水業務の課題と検討結果

- ア 潜水業務で主に利用する減圧表である別表第2は、水深90mまでの潜水業務を想定しているが、現在の知見では、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ことが難しいとされている。
- イ 減圧管理を必要とする深度については、水深10m以浅においても減圧症の発症の報告がある旨の指摘があったが、減圧管理を必要とする深度を10mより浅く設定するには、知見が不十分であり、当面は現行通り、水深10mから減圧管理を要するとすることが適当である。
- ウ 高圧則第35条の純酸素の使用制限については、酸素減圧の利点を鑑み、酸素分圧による規制に置き換え、急性酸素中毒による痙攣が発症したときに給気マスクを外して純酸素以外の空気を吸うことができることから、溺水のおそれがない場合に限り、使用できるようにすることが適当である。

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 高圧室内業務の高圧下の時間、減圧停止時間等に係る規制については、昭和36年以降、別表第1の減圧表によっているが、ゲージ圧力が0.2MPaを超える場合の減圧症発症率は2%以上であった。なお、昭和45年以降は現場の運用においては、ゲージ圧力が0.25MPaを超えると、運用上は、別表第1を安全側に修正した上で業務を行う傾向となっていたとの指摘があった。
- 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との指摘があった。
- ウ イギリスでは、水深7mから、アメリカでは、水深9mから減圧停止時間を設けているとの指摘があった。
- 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との指摘があった。

3 高気圧作業の安全衛生基準の見直しの方向性

混合ガスの使用など、近年の高気圧障害等の防止方策に関する知見を踏まえ、高気圧作業の安全衛生基準については、次の方向とするのがよいと考えられる。

(1) 高圧室内業務と潜水業務に共通する課題

ア 現行の、減圧表による高圧下の時間及び減圧停止時間等の規制については、混合気体を用いた業務に対応するため見直しを行い、ビュールマンが提唱したZ H-L 1 6モデル^[1]に基づくものとする。 (計算式の考え方など詳細は第3を参照。)

イ 高気圧作業従事者が吸入する環境の気体又は吸気に用いる気体については、窒素酔い、酸素中毒、酸素欠乏症等を防止するため、高気圧作業中は、どのような圧力下においても次の分圧範囲とすること。なお、下記表示は分圧値であり、濃度 (%) 表示ではないことに注意すること。

なお、混合気体中の窒素又は酸素以外のガスとしては、中毒等のおそれがないヘリウムを使用することが望ましい。

- ・ 窒素分圧は、400kPa (4.0atm、40msw) 以下。
- ・ 酸素分圧は、原則 18kPa 以上 160kPa 以下 (0.18atm 以上 1.6atm 以下、1.8msw 以上 16.0msw 以下)。ただし、気こう室又は再圧室 (潜水業務では溺水するおそれのない場所又は再圧室) において、空気より高濃度の酸素を吸入させて減圧する場合は、18kPa 以上 220kPa 以下 (0.18atm 以上 2.2atm 以下、1.8msw 以上 22.0msw 以下) とする。
- ・ 二酸化炭素分圧は、0.5kPa (0.005atm、0.05msw) 以下。 (現行制度と同様)

ウ 上記イに基づき、空気を呼吸ガスとする高気圧作業を行う場合については、空気中の各気体の分圧をイの範囲内とするために、水深 40m 又はゲージ圧力が 0.4MPa までとすることとなる。水深 40m 又はゲージ圧力が 0.4MPa を超える高気圧作業を行う場合は、窒素ガス分圧が空気のそれよりも小さくなる混合ガスを呼吸用に使用することとなる。また、水深 30m 又はゲージ圧力が 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。

参考として典型的な作業を想定し作成した減圧表の例を、別添 1～4 に示す。

※ 海外で利用されている減圧表については、第2の3の(1)のアで示した計算方法により求めた減圧時間を満たすものは利用可能であるが、各深度の減圧時間が不足する様な場合は、減圧停止時間の延長等減圧表の修正を行わなければならないことに留意すること。

エ 酸素ばく露による慢性酸素中毒の予防については、ランバーセンらが提唱した計算式による酸素ばく露量を、1日当たりでは 600 肺酸素毒性量単位 (UPTD) 以下、1週間当たりでは 2,500 累積肺酸素毒性量単位 (CPTD) 以下とすること。

なお、連日作業する場合は、1日当たりの酸素ばく露量を平均的にする (例えば、6日間連続で作業する場合は、各日の酸素ばく露量を 416 肺酸素毒性量単位 (UPTD) 以下、更に可能であれば 400UPTD 以下とする) ことが望ましいこと。 (計算式の考え方

など詳細は第3を参照。)

オ 事業者は、労働者に高気圧作業を行わせるときは、上述のアからエまでの条件を全て満たす作業計画を策定し、これを関係労働者に周知すること。また、高気圧作業（再圧室における減圧を含む）を行った記録は、高圧則第20条の2の気こう室の減圧状況の記録と同様に5年間保存すること。

カ 高気圧作業時の身体強度、個人の性質・体調、環境等により、減圧症の罹患状況も変化するものであるから、規則の定める最低基準を遵守するとは当然として、更に高い安全率を採用する、なるべく身体に窒素を溶け込ませない、窒素をなるべく早く排出する等身体に負担の少ない方法を採用するよう努めること。

キ 高気圧作業の業務間及び業務終了後の労働者は、過飽和、もしくはそれに近い状態にあるため、衝撃等の物理要因で溶解ガスの気泡化が促進されるという知見もある。よって減圧完了後は極力安静にして、大きな負荷をかけないことが必要であることから、直前の作業が終了してから14時間は重激な業務（高圧室内業務又は潜水業務を除く。）に就かせないこと。

ク 事業者がオの高気圧作業の作業計画を策定するときは、安衛法第3条第3項の理念に基づき、事業者及び発注者が連携するとともに、業界団体も協力して労働者の安全と健康を一層確保できる方法を検討することが望ましいこと。

（2）高圧室内業務に関する事項

ア 無症候性気泡（サイレントバブル）を体内から速やかに減少させるようにするため、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こと。

イ 高圧室内業務については、減圧速度を0.015MPa/min以下とすることが望ましいこと。なお、規則として定める最低基準は現行のままとすること。

ウ ゲージ圧力が0.4MPa以上の潜函作業では、出来るだけ浅い深度からエレベータを設置するのが望ましいこと。

（3）潜水業務に関する事項

ア 潜水業務での純酸素の使用は、上記（1）イのとおり分圧で規制されるべきであり、加えて、急性酸素中毒の発症による痙攣により溺水のおそれがあるため、慎重に考える必要があるが、潜水鐘（ダイビングベル）などを用いた潜水のように急性酸素中毒が発

症しても給気マスクを外して純酸素以外の空気を吸うことができることから、溺水のおそれのない場合に限り使用可能とすること。

イ 減圧管理が必要となる作業の水深については、現行どおり水深 10m 以降とすること。
なお、水深 10m 以浅の深度についても自主的に減圧管理を行うことが望ましい。

(4) 今後の課題

今後、高気圧作業に関する新たな知見の集積や技術の進展についての情報収集に努め、その結果、高圧則等の見直しなどが必要と認められる場合には、高気圧作業に係る安全衛生基準の在り方を再度検討する必要がある。

第3 高気圧作業の安全衛生基準見直しの具体的内容

第2の3に示した方向性に従って、高気圧作業に係る安全衛生基準については、以下のとおり見直すことが適当である。

1 高圧下の時間及び減圧停止時間に係る規制について

ア 現行の減圧表による高圧下の時間及び減圧停止時間の規制については、第2の3の(1)のアで示したとおり、新たな規制基準として、ビュールマンが提唱したZH-L16モデル^[1,2,3]に基づく減圧時間を基準とすることとする。具体的な計算方法は、第3の2に示す。

イ 現行の減圧表では作業時間の上限を示しているが、これは、旧高圧則を制定した昭和36年当時、人体が長時間高圧環境下に置かれた場合の健康影響についての十分な知見がなく、健康影響を及ぼす可能性が否定できない状況であったことから、減圧時間に加えて、作業時間についても一定の基準を設けたものと考えられる。しかしながら、その後の海上自衛隊や海外における知見の集積により、人体への健康影響は、高圧環境下に置かれる時間そのものではなく、圧力の変化とそれに応じた減圧時間によるものであることが明らかになっていることから、今後は作業時間を直接規制の対象とすることは不要と考えられる。

ウ 高気圧作業と高気圧作業の間に空けるべき時間については、現行の減圧表においては業務間ガス圧減少時間を定めているが、今後は、アに示した計算方法において、業務間ガス圧減少時間を任意に設定して計算することができる。しかし、当該計算方法では、業務間ガス圧減少時間も考慮した上で次の高気圧作業の減圧時間等が導かれることになるため、業務間ガス圧減少時間を十分設けなかった場合には、次の作業における減圧時間がより長くなることに留意すること。

2 減圧停止時間等の計算方法等

ビュールマンが提唱したZH-L16モデルは、ある気圧下における「半飽和組織」毎の「体内不活性ガス分圧」及び「M値」をそれぞれ求め、全ての「半飽和組織」において前者が後者を上回らないように減圧停止時間を設定するものである。

以下に具体的な計算方法を示す。

(1) 体内不活性ガス分圧の計算方法

① 体内不活性ガス分圧の定義

「体内不活性ガス分圧」とは、高圧室内業務又は潜水業務に従事する労働者の体内に含

まれる不活性ガス分圧をいう。

なお、以下の計算式においては、「不活性ガス」とは窒素又はヘリウムのみを指すこととする。

② 体内不活性ガス分圧の計算方法

体内の不活性ガス分圧は、半飽和組織ごと（各半飽和組織を $l=1, 2, 3, \dots, 16$ と表す。半飽和組織については(2)③参照）に各々計算する。

また、一連の作業の途中で加減圧速度を変更する場合や、呼吸用ガスの変更等不活性ガス濃度を変更する場合は、その都度別工程（各工程を $n=1, 2, \dots$ と表す）として扱い、直前の工程において計算した体内不活性ガス分圧を変化前の不活性ガス分圧として、再帰的に計算を繰り返す。

不活性ガス分圧の表記方法は、

$$P_{(l=\text{半飽和組織}), (m=\text{不活性ガスの種類}), (n=\text{作業様態の変更がある各工程})}$$

とする。

(i) 高気圧作業のうち、圧力が可変の工程、即ち、加圧（潜降）又は減圧（浮上）時に使用する式は、法定の加減圧速度に留意し、以下となる。

なお、不活性ガス濃度と加減圧速度が一定の場合には、それぞれの値を代入するものとする。不活性ガス濃度と加減圧速度が変化している場合には、変化している時間における最大不活性ガス濃度及び最大加減圧速度を保った状態で加減圧したものと仮定して計算する。

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

$P_{l,m,n}$: 変化後の不活性ガス分圧 ($l = 1, 2, 3 \dots 16$; $m = N_2, He$; $n = 1, 2 \dots$) [kPa]

$P_{l,m,n-1}$: 変化前の不活性ガス分圧 ($l = 1, 2, 3 \dots 16$; $m = N_2, He$; $n = 1, 2 \dots$) [kPa]

P_a : 大気圧[kPa]（ここでは絶対圧を求め、基本100kPaを採用）

P_b : 変化前の環境圧力(ゲージ圧力)[kPa]

N_m : 不活性ガス濃度($m = N_2, He$)[%]

R : 加減圧速度[kPa / min]（加圧速度は正、減圧速度は負の符号とする）

t : 当該工程に要する時間[min]

S_l : 不活性ガスの半飽和時間($l = 1, 2, 3 \dots 16$)[min]

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

(ii) 高気圧作業のうち、圧力が不変の工程、即ち、作業時・減圧停止時に使用する式は、加減圧速度が0であることから、(i)に $R=0$ を代入すると以下のとおりとなる。

この時の P_b は、変化前の環境圧力（ゲージ圧力）だが、 $R=0$ なので、環境圧力に変化はない。

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

以上のとおり、工程に応じて(i)又は(ii)を使った計算をし、その結果を元に、次の工程の体内不活性ガス分圧を(i)又は(ii)で求める。また、加圧（潜降）の工程において、加圧（潜降）計算を省略し、始めから作業気圧（水深）に滞在すると仮定した計算を行うと、より簡易で安全な減圧計画となる。

③ 体内不活性ガス分圧の初期値

定常状態の空気は、1気圧で窒素 79%、酸素 21%とする。すなわち、業務を開始する際（繰り返し作業である場合を除く。）の窒素分圧は、79kPa (7.9msw)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、

$$P_{l,N_2,0} = 79 \times (1 - 0.0567) = 74.5207$$

$P_{l,N_2,0}$: 初期窒素分圧（大気圧） [kPa]

となる。

④ 繰り返し作業について

繰り返し作業とは、最後の減圧を終了した後、次の高気圧作業との間が 14 時間未満であるときの高気圧作業とする。この場合、大気圧下に戻った後も引き続き第3の2の②の計算式に基づき計算を行い、次の高気圧作業を開始する際の労働者の体内不活性ガス分圧の推定値を適切に把握しなければならない。

次の高気圧作業との間が 14 時間以上空いた場合は、繰り返し作業には当たらないため、第3の2の③の初期窒素分圧を基に第3の2の②の計算を行う。

参考として、空気呼吸・空気減圧・一回のみの作業の場合について、当該計算方法により求めた減圧表（水深 40m まで）を別添 1 として添付する。

(2) M値の計算方法等

① M値とは

ビュールマンが提唱した ZH-L 16 モデルによる M 値とは、ある環境圧力に対して労働者の身体が許容できる最大の体内不活性ガス分圧をいう。体内不活性ガス分圧が M 値を超えると体内で気泡化した不活性ガスが減圧症の危険性を高めると言われている。

② M値の計算方法

M 値の計算は、ヘリウムと窒素の両方を考慮する場合、それぞれの a 値及び b 値を加重平均して、

$$A_{l,n} = \frac{a_{l,N_2,n} \cdot P_{l,N_2,n} + a_{l,He,n} \cdot P_{l,He,n}}{P_{l,N_2,n} + P_{l,He,n}}$$

$$B_{l,n} = \frac{b_{l,N_2,n} \cdot P_{l,N_2,n} + b_{l,He,n} \cdot P_{l,He,n}}{P_{l,N_2,n} + P_{l,He,n}}$$

$a_{l,m,n}$: 絶対圧が0の時のM値($l = 1, 2, 3 \dots 16$; $m = N_2, He$; $n = 1, 2, \dots$)

$b_{l,m,n}$: M値の傾きの逆数($l = 1, 2, 3 \dots 16$; $m = N_2, He$; $n = 1, 2, \dots$)

を計算後、以下の式で算出する。

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

P_c : 圧変化後の環境圧力(ゲージ圧力)[kPa]

$A_{l,n}$: a値の合成値($l = 1, 2, 3 \dots, 16, n = 1, 2, \dots$)

$B_{l,n}$: b値の合成値($l = 1, 2, 3 \dots, 16, n = 1, 2, \dots$)

$M_{l,n}$: M値の合成値($l = 1, 2, 3 \dots, 16, n = 1, 2, \dots$)

なお、ヘリウムを利用せず窒素のみの場合は、ヘリウムの分圧 $P_{l,He,n}$ が0となるので、

$$M_{l,n} = \frac{P_a + P_c}{b_{l,N_2,n}} + a_{l,N_2,n}$$

となり、簡易に計算が可能となる。

③ 半飽和時間と半飽和組織

半飽和時間とは、ある組織に不活性ガスが半飽和するまでに係る時間のことであり、半飽和時間の長さごとに体内の組織をモデル的に 16 に分割したものが、半飽和組織 (No. 1 ~ No. 16) である。

kPa を単位とした場合の各半飽和組織の窒素及びヘリウムの半飽和時間と a 値及び b 値を表 1 及び表 2 で示す^[3]。

表 1 窒素における各半飽和組織の半飽和時間と a 値、b 値

半飽和組織	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	126.885	109.185	94.381	82.446	73.918	63.153	56.483	51.133
b 値	0.5578	0.6514	0.7222	0.7825	0.8126	0.8434	0.8693	0.891
半飽和組織	No9	No10	No11	No12	No13	No14	No15	No16
半飽和時間	109	146	187	239	305	390	498	635
a 値	48.246	43.709	40.774	38.680	34.463	33.161	30.765	29.284
b 値	0.9092	0.9222	0.9319	0.9403	0.9477	0.9544	0.9602	0.9653

ヘリウムについては、窒素の半飽和時間の 1/2.65 で計算する。a 値及び b 値は次のとおり。

表 2 ヘリウムにおける各半飽和組織の半飽和時間と a 値、b 値

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	174.247	147.866	127.477	112.400	99.588	89.446	80.059	71.709
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	66.285	62.049	59.152	58.029	57.586	58.143	57.652	57.208
b 値	0.8757	0.8903	0.8997	0.9073	0.9122	0.9171	0.9217	0.9267

④ M値の安全率

また、M値については、安全率を見込んで、

$$\text{換算M値} = \frac{\text{M値}}{\alpha}$$

$$\alpha \geq 1.0 \text{ (安全率)}$$

とした換算M値を用いて減圧表を作成することが望ましい。

3 減圧停止時間の計算方法

各深度における減圧停止時間は、第3の2(2)及び3(2)の計算を行い、第1から第16までの半飽和組織の全てについて、不活性ガス(窒素及びヘリウム)の合成分圧がM値以下となるtを計算する。

すなわち、tの値が

$$P_{l,N_2,n} + P_{l,He,n} \leq M_{l,n} (l = 1, 2, \dots, 16; n = 1, 2, \dots)$$

を満足するよう減圧停止を行うこととする。

具体的な方法として、待機減圧深度区間は 0.03MPa(水深 3m)以内で設定し、減圧停止圧ごとに 16 半飽和組織全てにおいて、体内不活性ガス分圧が、対応するM値を下回っているか確認する。下回っていれば、次の減圧停止圧に移動するが、下回っていない場合は、浮上(減圧)せずに減圧のために待機する。これを作業終了(大気圧)まで繰り返す。

4 酸素ばく露量の計算方法等

(1) 酸素ばく露量とは

ある分圧以上の酸素に一定時間以上ばく露することは、人体に有害である。このとき、肺に蓄積している酸素毒性を示すものを「酸素ばく露量」といい、一定以上の酸素ばく露量により、慢性酸素中毒を発症するおそれが生じる。

(2) 酸素ばく露量の計算方法 [4,5]

酸素減圧を利用する時など、酸素分圧が 50kPa(0.5atm、5msw)を超える時は、酸素における身体影響を鑑み、以下の計算式で定める UPTD(肺酸素毒性量単位)及び CPTD(累積肺酸素毒性量単位)について、それぞれ1日当たり、1週間当たりの制約を受ける。

なお、tは酸素分圧が50kPaを超え、加減圧速度が一定である時間ごとに区切って計算を行うものとする。

$$UPTD = t \cdot \left(\frac{PO_2 - 50}{50} \right)^{0.83}$$

t: 酸素ばく露時間[**min**]

PO₂: 上記 t の間の平均酸素分圧[**kPa**]

(ただし、PO₂>50の場合に限る。)

$$CPTD = \sum UPTD$$

1日当りの最大酸素ばく露量 600UPTD 以下

1週間当りの最大酸素ばく露量 2,500CPTD 以下

純酸素の使用については、潜水業務においては、急性酸素中毒が発症した時に溺水のおそれがない措置を講じている場合に限り使用可能で、25分か30分の酸素吸入と、5分の空気呼吸によるエアブレイクを挿入し、計30分か35分で1サイクルとする。

(なお、後に記載するが、酸素毒性計算では、O₂=100%で計算し、体内不活性ガス分圧の計算ではマスクからの漏れ等を考慮し、N₂:O₂=20:80で計算するとより安全な減圧表となる。)

(具体的事例)

1. 空気呼吸・空気減圧

空気呼吸・空気減圧により、0.08[MPa/min]で加圧、到達圧力 0.15[MPa]で合計 150[min]作業後、0.08[MPa/min]で減圧し、更に 60 分の休憩後、空気呼吸・空気減圧により、0.08[MPa/min]で加圧、到達圧力 0.15[MPa]で合計 170[min]作業後、0.08[MPa/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、

$$P_{1,N2,0}=74.5207 \text{ [kPa]}$$

減圧表の計算において、加圧（潜降）速度を考慮する場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,1}=(100+0) \cdot 0.79+80 \cdot 0.79 \left\{ (150/80)-S_1/\ln(2) \right\} - \left\{ (100+0) \cdot 0.79-74.5207-80 \cdot 0.79 \cdot (S_1/\ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2)/S_1) \cdot (150/80) \right\}$$

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[kPa]	89.70	84.32	80.92	78.89	77.54	76.66	76.03	75.59
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[kPa]	75.28	75.09	74.96	74.87	74.79	74.73	74.69	74.65

となる。

次工程で、到達圧力 150[kPa]のまま、加圧（潜降）時間を除いた 148.1[min]作業を行う工程では、②式を用い、

$$P_{1,N2,2}=P_{1,N2,1}+\left\{ (100+150) \cdot 0.79-P_{1,N2,1} \right\} \cdot \left\{ 1-\exp(-148.1 \cdot \ln(2)/S_1) \right\}$$

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[kPa]	197.50	197.50	197.47	197.04	194.82	189.22	179.17	165.37
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[kPa]	149.85	136.91	126.74	117.69	109.87	103.15	97.57	92.99

となる。

次工程で、減圧を開始するが、停止減圧を 30[kPa]毎にとると、120[kPa]、90[kPa]、60[kPa]、30[kPa]で計算する。

次工程である 120[kPa]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,3}=(100+150) \cdot 0.79-80 \cdot 0.79 \left\{ (30/80)-S_1/\ln(2) \right\} - \left\{ (100+150) \cdot 0.79-P_{1,N2,2}+80 \cdot 0.79 \cdot (S_1/\ln(2)) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2)/S_1) \cdot (30/80) \right\}$$

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[kPa]	196.90	197.12	197.22	196.88	194.74	189.20	179.20	165.44
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[kPa]	149.94	137.00	126.82	117.77	109.93	103.20	97.61	93.03

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,3} = (100+120) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

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
521.29	446.92	399.01	363.60	344.65	324.00	309.56	298.05
M9, 3	M10, 3	M11, 3	M12, 3	M13, 3	M14, 3	M15, 3	M16, 3
290.22	282.27	276.85	272.65	266.60	263.67	259.88	257.19

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、停止時間は必要無い。

次工程である 90[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,4} = (100+120) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+120) \cdot 0.79 - P_{1,N2,3} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

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[kPa]	195.12	195.99	196.50	196.39	194.42	189.01	179.11	165.42
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[kPa]	149.96	137.04	126.87	117.82	109.97	103.24	97.65	93.06

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,4} = (100+90) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

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
467.51	400.86	357.47	325.26	307.74	288.43	275.05	264.38
M9, 4	M10, 4	M11, 4	M12, 4	M13, 4	M14, 4	M15, 4	M16, 4
257.22	249.74	244.66	240.74	234.95	232.24	228.64	226.11

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、停止時間は必要無い。

次工程である 60[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,5} = (100+90) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+90) \cdot 0.79 - P_{1,N2,4} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,4}$ 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, 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[kPa]	192.23	194.15	195.30	195.58	193.88	188.67	178.92	165.33
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[kPa]	149.94	137.04	126.88	117.84	110.00	103.27	97.67	93.08

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,5} = (100+60) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

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
413.73	354.81	315.93	286.92	270.82	252.86	240.54	230.71
M9, 5	M10, 5	M11, 5	M12, 5	M13, 5	M14, 5	M15, 5	M16, 5
224.23	217.21	212.47	208.84	203.29	200.81	197.40	195.04

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

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

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 30[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,6} = (100+60) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+60) \cdot 0.79 - P_{1,N2,5} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,5}$ 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, 6	P2, N2, 6	P3, N2, 6	P4, N2, 6	P5, N2, 6	P6, N2, 6	P7, N2, 6	P8, N2, 6
窒素分圧[kPa]	188.29	191.60	193.63	194.45	193.12	188.17	178.61	165.16
半飽和組織	P9, N2, 6	P10, N2, 6	P11, N2, 6	P12, N2, 6	P13, N2, 6	P14, N2, 6	P15, N2, 6	P16, N2, 6
窒素分圧[kPa]	149.85	137.00	126.87	117.83	110.00	103.27	97.68	93.09

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,6} = (100+30) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 6	M2, 6	M3, 6	M4, 6	M5, 6	M6, 6	M7, 6	M8, 6
359.94	308.76	274.39	248.58	233.90	217.29	206.03	197.04
M9, 6	M10, 6	M11, 6	M12, 6	M13, 6	M14, 6	M15, 6	M16, 6
191.23	184.68	180.27	176.93	171.64	169.37	166.15	163.96

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,6} \leq M_{1,6}$$

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 0[kPa] まで減圧した場合、①式を用いて計算すると、

$$P_{1,N2,7} = (100+30) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \left\{ \frac{30}{80} - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (100+60) \cdot 0.79 - P_{1,N2,6} + 80 \cdot 0.79 \cdot \left(S_1 / \ln(2) \right) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \right\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,6}$ 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, 7	P2, N2, 7	P3, N2, 7	P4, N2, 7	P5, N2, 7	P6, N2, 7	P7, N2, 7	P8, N2, 7
窒素分圧[kPa]	183.35	188.38	191.52	193.00	192.14	187.51	178.19	164.91
半飽和組織	P9, N2, 7	P10, N2, 7	P11, N2, 7	P12, N2, 7	P13, N2, 7	P14, N2, 7	P15, N2, 7	P16, N2, 7
窒素分圧[kPa]	149.71	136.92	126.82	117.81	109.99	103.27	97.67	93.08

となる。

このときのM値は、

$$M_{1,7} = (100+0) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときのM値は、a値及びb値を代入し、

M1, 7	M2, 7	M3, 7	M4, 7	M5, 7	M6, 7	M7, 7	M8, 7
306.16	262.70	232.85	210.24	196.98	181.72	171.52	163.37
M9, 7	M10, 7	M11, 7	M12, 7	M13, 7	M14, 7	M15, 7	M16, 7
158.23	152.15	148.08	145.03	139.98	137.94	134.91	132.88

となる。半飽和組織(l=6~8)で

$$P_{1,N2} \geq M_1$$

となるので、停止時間を設ける。②式を用い、30[kPa]の深度で8分の停止をした場合、

$$P_{1,N2,7} = P_{1,N2,6} + \left\{ (100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,6} \right\} \cdot \left\{ 1 - \exp(-8 \cdot \ln(2) / S_1) \right\}$$

となる。停止時間は基本的に整数を採用する。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,6}$ 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, 7	P2, N2, 7	P3, N2, 7	P4, N2, 7	P5, N2, 7	P6, N2, 7	P7, N2, 7	P8, N2, 7
窒素分圧[kPa]	130.94	147.15	161.05	170.69	176.34	176.65	171.24	160.82
半飽和組織	P9, N2, 7	P10, N2, 7	P11, N2, 7	P12, N2, 7	P13, N2, 7	P14, N2, 7	P15, N2, 7	P16, N2, 7
窒素分圧[kPa]	147.51	135.72	126.16	117.49	109.87	103.27	97.73	93.17

となる。

そして、次工程である0[kPa]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,8} = (100+30) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \left\{ \frac{30}{80} - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,7} + 80 \cdot 0.79 \cdot \left(S_1 / \ln(2) \right) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \right\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,7}$ 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, 8	P2, N2, 8	P3, N2, 8	P4, N2, 8	P5, N2, 8	P6, N2, 8	P7, N2, 8	P8, N2, 8
窒素分圧[kPa]	128.90	145.35	159.61	169.57	175.52	176.07	170.86	160.58
半飽和組織	P9, N2, 8	P10, N2, 8	P11, N2, 8	P12, N2, 8	P13, N2, 8	P14, N2, 8	P15, N2, 8	P16, N2, 8
窒素分圧[kPa]	147.38	135.64	126.11	117.46	109.85	103.26	97.73	93.17

となる。

このときのM値は、

$$M_{1,8} = (100+0)/b_{1,N2} + a_{1,N2} \quad (M_{1,7} \text{ と同様})$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 8	M2, 8	M3, 8	M4, 8	M5, 8	M6, 8	M7, 8	M8, 8
306.16	262.70	232.85	210.24	196.98	181.72	171.52	163.37
M9, 8	M10, 8	M11, 8	M12, 8	M13, 8	M14, 8	M15, 8	M16, 8
158.23	152.15	148.08	145.03	139.98	137.94	134.91	132.88

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,8} \leq M_{1,8}$$

となるので、1 回目の作業が完了する。

【補足】

より安全に減圧時間を設定する場合は、安全率を設けることができる。

例として、安全率 $\alpha = 1.1$ とした場合、30[kPa] から 0[kPa] まで減圧するときの M 値は、

$$M_{1,8} = \{(100+0) / (b_{1,N2} + a_{1,N2})\} / 1.1$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

'M1, 8	'M2, 8	'M3, 8	'M4, 8	'M5, 8	'M6, 8	'M7, 8	'M8, 8
278.33	238.82	211.68	191.13	179.07	165.20	155.93	148.52
'M9, 8	'M10, 8	'M11, 8	'M12, 8	'M13, 8	'M14, 8	'M15, 8	'M16, 8
143.85	138.32	134.62	131.85	127.25	125.40	122.65	120.80

となる。

① を用い、30[kPa] の深度で 35 分の停止が必要となり、

$$P_{1,N2,7} = P_{1,N2,6} + \{(100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,6}\} \cdot \{1 - \exp(-35 \cdot \ln(2)/S_1)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,6}$ 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, 7	P2, N2, 7	P3, N2, 7	P4, N2, 7	P5, N2, 7	P6, N2, 7	P7, N2, 7	P8, N2, 7
窒素分圧 [kPa]	103.37	106.98	115.76	127.42	139.52	148.06	151.26	148.28
半飽和組織	P9, N2, 7	P10, N2, 7	P11, N2, 7	P12, N2, 7	P13, N2, 7	P14, N2, 7	P15, N2, 7	P16, N2, 7
窒素分圧 [kPa]	140.44	131.75	123.93	116.37	109.44	103.24	97.92	93.45

となる。

そして、次工程である 0[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,8} = (100+30) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{(30/80) - S_1/\ln(2)\} - \{(100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,7} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1/\ln(2))\} \cdot \exp\{-(\ln(2)/S_1) \cdot (30/80)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,7}$ 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, 8	P2, N2, 8	P3, N2, 8	P4, N2, 8	P5, N2, 8	P6, N2, 8	P7, N2, 8	P8, N2, 8
窒素分圧 [kPa]	102.73	106.47	115.24	126.91	139.05	147.68	150.97	148.09
半飽和組織	P9, N2, 8	P10, N2, 8	P11, N2, 8	P12, N2, 8	P13, N2, 8	P14, N2, 8	P15, N2, 8	P16, N2, 8
窒素分圧 [kPa]	140.33	131.68	123.88	116.35	109.43	103.23	97.91	93.44

となり、全ての半飽和組織 (l=1~16) で、 $P_{1,N2,8} \leq M_{1,8}$ となる。

次工程である 0[kPa]での 60 分の休憩時間は、②式を用いて計算すると、

$$P_{1,N2,9} = P_{1,N2,8} + \{(100+0) \cdot 0.79 - P_{1,N2,8}\} \cdot \{1 - \exp(-60 \cdot \ln(2)/S_1)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,8}$ 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, 9	P2, N2, 9	P3, N2, 9	P4, N2, 9	P5, N2, 9	P6, N2, 9	P7, N2, 9	P8, N2, 9
窒素分圧[kPa]	79.01	79.37	81.89	88.57	99.69	111.77	121.71	126.54
半飽和組織	P9, N2, 9	P10, N2, 9	P11, N2, 9	P12, N2, 9	P13, N2, 9	P14, N2, 9	P15, N2, 9	P16, N2, 9
窒素分圧[kPa]	125.69	121.60	116.72	111.32	105.92	100.80	96.23	92.27

となる。

2 回目の作業は、到達圧力 150[kPa]で合計 170[min]作業を行うとすると、加圧（潜降）速度を考慮する場合は、①式を用い、

$$P_{1,N2,10} = (100+0) \cdot 0.79 + 80 \cdot 0.79 \left\{ \left(\frac{150}{80} \right) - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (100+0) \cdot 0.79 - P_{1,N2,9} - 80 \cdot 0.79 \cdot \left(S_1 / \ln(2) \right) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (150/80) \right\}$$

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, 10	P2, N2, 10	P3, N2, 10	P4, N2, 10	P5, N2, 10	P6, N2, 10	P7, N2, 10	P8, N2, 10
窒素分圧[kPa]	93.16	88.44	87.56	91.98	101.52	112.67	122.10	126.74
半飽和組織	P9, N2, 10	P10, N2, 10	P11, N2, 10	P12, N2, 10	P13, N2, 10	P14, N2, 10	P15, N2, 10	P16, N2, 10
窒素分圧[kPa]	125.84	121.75	116.87	111.46	106.06	100.93	96.34	92.36

となる。

次工程で、到達圧力 150[kPa]のまま、加圧（潜降）時間を除いた 168.1[min]作業を行う工程では、②式を用い、

$$P_{1,N2,11} = P_{1,N2,10} + \{(100+150) \cdot 0.79 - P_{1,N2,10}\} \cdot \{1 - \exp(-168.1 \cdot \ln(2)/S_1)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,10}$ 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, 11	P2, N2, 11	P3, N2, 11	P4, N2, 11	P5, N2, 11	P6, N2, 11	P7, N2, 11	P8, N2, 11
窒素分圧[kPa]	197.50	197.50	197.49	197.31	196.22	193.45	188.68	181.92
半飽和組織	P9, N2, 11	P10, N2, 11	P11, N2, 11	P12, N2, 11	P13, N2, 11	P14, N2, 11	P15, N2, 11	P16, N2, 11
窒素分圧[kPa]	172.89	163.40	154.26	144.66	135.09	125.87	117.44	109.99

となる。

以降は、前述と同様に大気圧まで計算を繰返し行う。

次工程である 120[kPa]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,12} = (100+150) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \left\{ \left(\frac{30}{80} \right) - S_1 / \ln(2) \right\} - \left\{ (100+150) \cdot 0.79 - P_{1,N2,11} + 80 \cdot 0.79 \cdot \left(S_1 / \ln(2) \right) \right\} \cdot \exp \left\{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \right\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,11}$ 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, 12	P2, N2, 12	P3, N2, 12	P4, N2, 12	P5, N2, 12	P6, N2, 12	P7, N2, 12	P8, N2, 12
窒素分圧[kPa]	196.90	197.12	197.25	197.14	196.12	193.40	188.67	181.93
半飽和組織	P9, N2, 12	P10, N2, 12	P11, N2, 12	P12, N2, 12	P13, N2, 12	P14, N2, 12	P15, N2, 12	P16, N2, 12
窒素分圧[kPa]	172.92	163.44	154.30	144.71	135.14	125.91	117.48	110.02

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,12} = (100+120) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 12	M2, 12	M3, 12	M4, 12	M5, 12	M6, 12	M7, 12	M8, 12
521.29	446.92	399.01	363.60	344.65	324.00	309.56	298.05
M9, 12	M10, 12	M11, 12	M12, 12	M13, 12	M14, 12	M15, 12	M16, 12
290.22	282.27	276.85	272.65	266.60	263.67	259.88	257.19

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,12} \leq M_{1,12}$$

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 90[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,13} = (100+120) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+120) \cdot 0.79 - P_{1,N2,12} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,12}$ 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, 13	P2, N2, 13	P3, N2, 13	P4, N2, 13	P5, N2, 13	P6, N2, 13	P7, N2, 13	P8, N2, 13
窒素分圧[kPa]	195.12	195.99	196.52	196.65	195.79	193.19	188.54	181.86
半飽和組織	P9, N2, 13	P10, N2, 13	P11, N2, 13	P12, N2, 13	P13, N2, 13	P14, N2, 13	P15, N2, 13	P16, N2, 13
窒素分圧[kPa]	172.90	163.44	154.31	144.72	135.16	125.93	117.50	110.04

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,13} = (100+90) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 13	M2, 13	M3, 13	M4, 13	M5, 13	M6, 13	M7, 13	M8, 13
467.51	400.86	357.47	325.26	307.74	288.43	275.05	264.38
M9, 13	M10, 13	M11, 13	M12, 13	M13, 13	M14, 13	M15, 13	M16, 13
257.22	249.74	244.66	240.74	234.95	232.24	228.64	226.11

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,13} \leq M_{1,13}$$

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 60[kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,14} = (100+90) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+90) \cdot 0.79 - P_{1,N2,13} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,13}$ 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, 14	P2, N2, 14	P3, N2, 14	P4, N2, 14	P5, N2, 14	P6, N2, 14	P7, N2, 14	P8, N2, 14
窒素分圧 [kPa]	192.23	194.15	195.32	195.84	195.24	192.81	188.30	181.72
半飽和組織	P9, N2, 14	P10, N2, 14	P11, N2, 14	P12, N2, 14	P13, N2, 14	P14, N2, 14	P15, N2, 14	P16, N2, 14
窒素分圧 [kPa]	172.82	163.39	154.29	144.72	135.16	125.94	117.51	110.05

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,14} = (100+60) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 14	M2, 14	M3, 14	M4, 14	M5, 14	M6, 14	M7, 14	M8, 14
413.73	354.81	315.93	286.92	270.82	252.86	240.54	230.71
M9, 14	M10, 14	M11, 14	M12, 14	M13, 14	M14, 14	M15, 14	M16, 14
224.23	217.21	212.47	208.84	203.29	200.81	197.40	195.04

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,14} \leq M_{1,14}$$

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 30 [kPa] まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,15} = (100+60) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{ (30/80) - S_1 / \ln(2) \} - \{ (100+60) \cdot 0.79 - P_{1,N2,14} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1 / \ln(2)) \} \cdot \exp \{ -(\ln(2) / S_1) \cdot (30/80) \}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,14}$ 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, 15	P2, N2, 15	P3, N2, 15	P4, N2, 15	P5, N2, 15	P6, N2, 15	P7, N2, 15	P8, N2, 15
窒素分圧 [kPa]	188.29	191.60	193.66	194.70	194.47	192.28	187.95	181.49
半飽和組織	P9, N2, 15	P10, N2, 15	P11, N2, 15	P12, N2, 15	P13, N2, 15	P14, N2, 15	P15, N2, 15	P16, N2, 15
窒素分圧 [kPa]	172.68	163.30	154.24	144.68	135.15	125.93	117.51	110.06

となる。

このときの M 値は、

$$M_{1,15} = (100+30) / b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときの M 値は、a 値及び b 値を代入し、

M1, 15	M2, 15	M3, 15	M4, 15	M5, 15	M6, 15	M7, 15	M8, 15
359.94	308.76	274.39	248.58	233.90	217.29	206.03	197.04
M9, 15	M10, 15	M11, 15	M12, 15	M13, 15	M14, 15	M15, 15	M16, 15
191.23	184.68	180.27	176.93	171.64	169.37	166.15	163.96

となる。全ての半飽和組織 (l=1~16) で、

$$P_{1,N2,15} \leq M_{1,15}$$

となるので、停止時間は必要無い。

次工程である 0 [kPa] まで減圧した場合、①式を用いて計算すると、

$$P_{1,N2} \geq M_1$$

となるので、停止時間を設ける。②式を用い、30[kPa]の深度で43分の停止をした場合、

$$P_{1,N2,16} = P_{1,N2,15} + \{(100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,15}\} \cdot \{1 - \exp(-43 \cdot \ln(2)/S_1)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,15}$ 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, 16	P2, N2, 16	P3, N2, 16	P4, N2, 16	P5, N2, 16	P6, N2, 16	P7, N2, 16	P8, N2, 16
窒素分圧[kPa]	102.92	104.84	111.08	121.07	133.13	143.84	151.94	156.20
半飽和組織	P9, N2, 16	P10, N2, 16	P11, N2, 16	P12, N2, 16	P13, N2, 16	P14, N2, 16	P15, N2, 16	P16, N2, 16
窒素分圧[kPa]	155.94	152.11	146.64	139.76	132.12	124.23	116.65	109.72

となる。

そして、次工程である0[kPa]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,17} = (100+30) \cdot 0.79 - 80 \cdot 0.79 \{(30/80) - S_1/\ln(2)\} - \{(100+30) \cdot 0.79 - P_{1,N2,16} + 80 \cdot 0.79 \cdot (S_1/\ln(2))\} \cdot \exp\{-\ln(2)/S_1 \cdot (30/80)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,16}$ 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, 17	P2, N2, 17	P3, N2, 17	P4, N2, 17	P5, N2, 17	P6, N2, 17	P7, N2, 17	P8, N2, 17
窒素分圧[kPa]	102.30	104.39	110.66	120.65	132.72	143.48	151.65	155.98
半飽和組織	P9, N2, 17	P10, N2, 17	P11, N2, 17	P12, N2, 17	P13, N2, 17	P14, N2, 17	P15, N2, 17	P16, N2, 17
窒素分圧[kPa]	155.78	152.00	146.56	139.71	132.09	124.20	116.64	109.71

となる。

このときのM値は、

$$M_{1,17} = (100+0)/b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときのM値は、a値及びb値を代入し、

M1, 17	M2, 17	M3, 17	M4, 17	M5, 17	M6, 17	M7, 17	M8, 17
306.16	262.70	232.85	210.24	196.98	181.72	171.52	163.37
M9, 17	M10, 17	M11, 17	M12, 17	M13, 17	M14, 17	M15, 17	M16, 17
158.23	152.15	148.08	145.03	139.98	137.94	134.91	132.88

となる。全ての半飽和組織(l=1~16)で、

$$P_{1,N2,17} \leq M_{1,17}$$

となり、2回目の作業が完了する。

2. 空気呼吸・酸素減圧

前述、2回目の作業で、30[kPa]の深度から酸素減圧を行った場合について計算する。

酸素減圧は 25[min]酸素呼吸、5[min]空気呼吸を繰り返すため、25[min]間は窒素ガス濃度を 20[%]、5[min]間は 79[%]として計算する。

②式を用い、酸素呼吸を行いながら 30[kPa]の深度で **18**分の停止をすると、

$$P_{1,N2,18} = P_{1,N2,15} + \{(100+30) \cdot \underline{0.20} - P_{1,N2,15}\} \cdot \{1 - \exp(-\underline{18} \cdot \ln(2)/S_1)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,15}$ 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, 18	P2, N2, 18	P3, N2, 18	P4, N2, 18	P5, N2, 18	P6, N2, 18	P7, N2, 18	P8, N2, 18
窒素分圧[kPa]	39.38	60.81	87.79	111.95	132.13	146.05	154.70	158.23
半飽和組織	P9, N2, 18	P10, N2, 18	P11, N2, 18	P12, N2, 18	P13, N2, 18	P14, N2, 18	P15, N2, 18	P16, N2, 18
窒素分圧[kPa]	156.81	152.06	145.96	138.65	130.77	122.79	115.25	108.42

となる。

そして、次工程である酸素呼吸を行いながら 0[kPa]まで減圧した場合、①式を用い、

$$P_{1,N2,19} = (100+30) \cdot \underline{0.20} - 80 \cdot \underline{0.20} \{(30/80) - S_1/\ln(2)\} - \{(100+30) \cdot \underline{0.20} - P_{1,N2,18} + 80 \cdot \underline{0.20} \cdot (S_1/\ln(2))\} \cdot \exp\{-(\ln(2)/S_1) \cdot (30/80)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N2,18}$ 代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

半飽和組織	P1, N2, 19	P2, N2, 19	P3, N2, 19	P4, N2, 19	P5, N2, 19	P6, N2, 19	P7, N2, 19	P8, N2, 19
窒素分圧[kPa]	38.55	59.60	86.46	110.71	131.08	145.22	154.07	157.78
半飽和組織	P9, N2, 19	P10, N2, 19	P11, N2, 19	P12, N2, 19	P13, N2, 19	P14, N2, 19	P15, N2, 19	P16, N2, 19
窒素分圧[kPa]	156.50	151.83	145.79	138.53	130.68	122.72	115.20	108.39

となる。

このときのM値は、前述と同様に

$$M_{1,17} = (100+0)/b_{1,N2} + a_{1,N2}$$

となる。このときのM値は、a値及びb値を代入し、

M1, 17	M2, 17	M3, 17	M4, 17	M5, 17	M6, 17	M7, 17	M8, 17
306.16	262.70	232.85	210.24	196.98	181.72	171.52	163.37
M9, 17	M10, 17	M11, 17	M12, 17	M13, 17	M14, 17	M15, 17	M16, 17
158.23	152.15	148.08	145.03	139.98	137.94	134.91	132.88

となる。全ての半飽和組織(l=1~16)で、

$$P_{1,N2,19} \leq M_{1,17}$$

となり、2回目の作業が完了する。

3. 混合ガス呼吸・酸素減圧

混合ガス呼吸・酸素減圧により、400[kPa]の到達圧力で60[min]作業後、80[kPa/min]で減圧した場合の減圧計算（途中まで）を以下に示す。

「混合ガスとして呼吸する酸素分圧は、18以上160kPa以下」と定義されているため、酸素中毒を考慮した安全側に配慮し、最大酸素分圧を140[kPa]とすると、

$$\text{酸素濃度} = (140 / (400 + 100)) \times 100 = 28[\%]$$

残りをヘリウムガスで考えると、72[%]となる。

混合ガス分圧は、窒素ガス分圧とヘリウムガス分圧を各々計算し加算する。

作業前の初期窒素分圧は、 $P_{1,N_2,0} = 74.5207$ [kPa]

(加圧(潜降)速度を考慮しない) 始めから到達圧力400[kPa]に滞在する計算を行うと、60[min]作業として、②式を用い、

$$P_{1,N_2,1} = 74.5207 + \{(100 + 400) \cdot 0 - 74.5207\} \cdot \{1 - \exp(-60 \cdot \ln(2) / S_1)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間の値を代入すると、半飽和組織毎の窒素分圧は、

半飽和組織	P1, N2, 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[kPa]	0.02	0.41	2.68	7.87	15.97	25.16	34.65	43.42
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[kPa]	50.88	56.05	59.66	62.62	65.02	66.98	68.55	69.80

となる。

作業前の初期ヘリウム分圧は、 $P_{1,He,0} = 0$ [kPa]

同様に②式を用い、

$$P_{1,He,1} = 0 + \{(100 + 400) \cdot 0.72 - 0\} \cdot \{1 - \exp(-60 \cdot \ln(2) / S_1)\}$$

となる。

l=1~16の半飽和時間の値を代入すると、半飽和組織毎のヘリウム分圧は、

半飽和組織	P1, He, 1	P2, He, 1	P3, He, 1	P4, He, 1	P5, He, 1	P6, He, 1	P7, He, 1	P8, He, 1
ヘリウム分圧[kPa]	360.00	360.00	359.95	359.07	353.92	339.74	312.70	273.96
半飽和組織	P9, He, 1	P10, He, 1	P11, He, 1	P12, He, 1	P13, He, 1	P14, He, 1	P15, He, 1	P16, He, 1
ヘリウム分圧[kPa]	229.03	190.77	160.32	132.99	109.18	88.62	71.47	57.36

となる。

$P_{1,N_2,1} + P_{1,He,1} = P_{1,mix,1}$ を計算し、l=1~16の半飽和時間の値を代入すると、半飽和組織毎の混合ガス分圧は、

半飽和組織	P1, mix, 1	P2, mix, 1	P3, mix, 1	P4, mix, 1	P5, mix, 1	P6, mix, 1	P7, mix, 1	P8, mix, 1
混合ガス分圧[kPa]	360.02	360.41	362.62	366.94	369.89	364.90	347.35	317.38
半飽和組織	P9, mix, 1	P10, mix, 1	P11, mix, 1	P12, mix, 1	P13, mix, 1	P14, mix, 1	P15, mix, 1	P16, mix, 1
混合ガス分圧[kPa]	279.91	246.82	219.98	195.61	174.20	155.61	140.02	127.16

となる。

次工程で、減圧を開始するが、停止減圧を 30[kPa]毎にとると、390、360、330・・・0[kPa]まで計算する。

次工程である 390[kPa]まで減圧した場合、まず窒素分圧を①式を用い、

$$P_{1,N_2,2} = (100+400) \cdot 0 - 80 \cdot 0 \cdot \{(30/80) - S_1/\ln(2)\} - \{(100+400) \cdot 0 - P_{1,N_2,1} + 80 \cdot 0 \cdot (S_1/\ln(2))\} \cdot \exp\{-(\ln(2)/S_1) \cdot (30/80)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,N_2,1}$ 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[kPa]	0.02	0.41	2.66	7.83	15.92	25.10	34.59	43.37
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[kPa]	50.84	56.02	59.63	62.60	65.00	66.97	68.54	69.79

となる。

次にヘリウム分圧を①式を用い、

$$P_{1,He,2} = (100+400) \cdot 0.72 - 80 \cdot 0.72 \cdot \{(30/80) - S_1/\ln(2)\} - \{(100+400) \cdot 0.72 - P_{1,He,1} + 80 \cdot 0.72 \cdot (S_1/\ln(2))\} \cdot \exp\{-(\ln(2)/S_1) \cdot (30/80)\}$$

となる。

l=1~16 の半飽和時間及び前工程 $P_{1,He,1}$ を代入すると、半飽和組織毎のヘリウム分圧は、

半飽和組織	P1, He, 2	P2, He, 2	P3, He, 2	P4, He, 2	P5, He, 2	P6, He, 2	P7, He, 2	P8, He, 2
ヘリウム分圧[kPa]	359.84	359.90	359.88	359.04	353.95	339.84	312.89	274.20
半飽和組織	P9, He, 2	P10, He, 2	P11, He, 2	P12, He, 2	P13, He, 2	P14, He, 2	P15, He, 2	P16, He, 2
ヘリウム分圧[kPa]	229.29	191.03	160.56	133.21	109.36	88.78	71.60	57.47

となる

$P_{1,N_2,2} + P_{1,He,2} = P_{1,mix,2}$ を計算し、l=1~16 の半飽和時間の値を代入すると、半飽和組織毎の混合ガス分圧は、

半飽和組織	P1, mix, 2	P2, mix, 2	P3, mix, 2	P4, mix, 2	P5, mix, 2	P6, mix, 2	P7, mix, 2	P8, mix, 2
混合ガス分圧[kPa]	359.86	360.31	362.54	366.87	369.87	364.94	347.48	317.58
半飽和組織	P9, mix, 2	P10, mix, 2	P11, mix, 2	P12, mix, 2	P13, mix, 2	P14, mix, 2	P15, mix, 2	P16, mix, 2
混合ガス分圧[kPa]	280.14	247.05	220.19	195.81	174.37	155.75	140.14	127.26

となる。

このときの M 値は、まず a 値と b 値の合成値を求め、

$$A_{1,2} = (a_{1,N_2} \cdot P_{1,N_2,2} + a_{1,He} \cdot P_{1,He,2}) / (P_{1,N_2,2} + P_{1,He,2})$$

$$B_{1,2} = (b_{1,N_2} \cdot P_{1,N_2,2} + b_{1,He} \cdot P_{1,He,2}) / (P_{1,N_2,2} + P_{1,He,2})$$

$$M_{1,2} = (100+390) / B_{1,2} + A_{1,2}$$

となる。このときの $M_{1,2}$ 値は、

M1, 2	M2, 2	M3, 2	M4, 2	M5, 2	M6, 2	M7, 2	M8, 2
1201.49	1000.31	877.38	788.94	742.76	700.92	666.64	638.55
M9, 2	M10, 2	M11, 2	M12, 2	M13, 2	M14, 2	M15, 2	M16, 2
618.71	603.83	593.57	585.70	578.45	572.51	565.49	558.84

となる。全ての半飽和組織 (1=1~16) で、

$$P_{1, \text{mix}, 2} \leq M_{1, 2}$$

となるので、停止時間は必要無い。

以上の行程を繰り返し、0[kPa]まで実施する。

混合ガス呼吸を空気に変えた場合は、ガス濃度を変更し、合成計算を継続する。

酸素減圧を実施する場合は、2に準じて計算を行い、合成計算を継続する。

第4 別添資料

1 空気呼吸・空気減圧表

[α : 1.0、加圧速度は0.08MPa/min、減圧速度は0.08MPa/minとした]

2 空気呼吸・空気減圧（繰返し作業）

[α : 1.0、加圧速度は0.08MPa/min、減圧速度は0.08MPa/minとした]

「60min作業、60min作業間隔による同気圧作業における計算とした」

3 空気呼吸・空気減圧表（奨励）

[α : 1.1(0.18MPaから大気圧下まで)、1.0(0.21MPa以深)、加圧速度は0.08MPa/min、減圧速度は0.08MPa/minとした]

4 空気呼吸・酸素減圧表（奨励）

[α : 1.1(0.18MPaから0.12MPaまで)、1.35(0.09MPa)、1.4(0.06MPa)、1.21(大気圧下)、1.0(0.21MPa以深)、加圧速度は0.08MPa/min、減圧速度は0.08MPa/minとした]

[酸素減圧は停止圧0.12MPa以下とした]

5 別表1（現行高圧則）（参考）

6 別表2（現行高圧則）（参考）

第5 参考文献

[1] 眞野喜洋、山見信夫、芝山正治；平成16～18年度厚生労働科学研究費補助金 労働安全衛生総合研究事業「高気圧作業に伴う標準減圧表の安全性評価のための疫学的調査に関する研究」

[2] Erik C. Baker, P.E. ; Understanding M-values. Immersed. Vol. 3, No. 3, 23-27 1998

[3] 眞野喜洋、山見信夫、芝山正治；平成19年度厚生労働科学研究費補助金 労働安全衛生総合研究事業「新しい標準減圧表作成に伴う実地調査および検証調査研究」

[4] Erik C. Baker, P.E. ; Oxygen Toxicity Calculations

[5] Hamilton, R. W. Tolerating exposure to high oxygen levels: Repex and other methods. Mar Tech Soc Journal, 23(4): 19-25, 1989.