

労災疾病臨床研究事業費補助金

高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究

令和元年度 総括研究年度終了報告書

令和2年 3月

研究代表者

東京慈恵会医科大学環境保健医学講座

池田 知純

目 次

I. 総括研究年度終了報告	
高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究	----- 1

労災疾病臨床研究補助金事業
統括研究報告書及び分担研究報告書

高気圧作業に伴う船上(水上) 減圧等に係る調査研究 (170602-01)

研究代表者 東京慈恵会医科大学環境保健医学講座
客員准教授 池田知純
研究分担者 東京慈恵会医科大学環境保健医学講座
非常勤講師 望月 徹

研究要旨

本研究の目的は、船上減圧法に係わる諸外国における規制の状況及び安全に実施するための技術的要件について文献等の調査を実施し、高気圧作業安全衛生規則（高圧則）への適用を検討するために必要な知見を得ることにある。

船上減圧法を安全に運用するためには、適切な運用基準を設定する必要がある。我が国には船上減圧法に関する知見が乏しいことから、その情報を得るために欧米諸国を対象に、潜水の安全衛生関連法令や規則等について調査を行い、必要な設備器材等に関する基準について情報を収集した。船上減圧法に不可欠な設備である船上減圧室には、救急酸素再圧処置にも対応することができる能力が求められていた。また、水面インターバルを確実にを行うために、潜水バスケットやダイバー昇降装置についても基準が示されていた。船上減圧法に関して国内の潜水事業者から意見を聴取したところ、導入には賛成であるが、十分な安全基準やガイドラインの提示が必要であるとのことであった。

研究分担者

○望月 徹：東京慈恵会医科大学環境保健医学講座 非常勤講師

則（高圧則）への適用を検討するために必要な知見を得ることにある。

潜水による高気圧環境曝露から安全に水面（大気圧）復帰するためには、段階的な減圧を必要とする。船上減圧法は、その減圧の一部を船上に設けた再圧室（船上減圧室）内で実施するものである。減圧は再圧室内で再開されるものの、必要な減圧をいったん中断して浮上することから、

A. 研究目的

本研究の目的は、船上減圧法に係わる諸外国における規制の状況及び安全に実施するための技術的要件について文献等の調査を実施し、高気圧作業安全衛生規

減圧症リスクが懸念される。一方水中での減圧時間が短縮されることから、寒冷環境下でのダイバーの体熱損失とそれに伴う疲労が軽減され、波浪等の海象条件や危険な海棲生物への影響を排除することができ、ダイバーの減圧管理が容易となるなどのメリットもある。これらのことから、船上減圧法の使用は長時間の減圧を必要とする大深度での長時間潜水が対象であり、専ら業務潜水に利用されている。

研究は三年間で行われ、一年次には諸外国の規則や基準の収集に努め、二年次にはそれらの背景となる学術文献等の調査を行う。三年次は、船上減圧法に用いる設備器材の基準について調査を行うとともに、国内の潜水事業者から船上減圧法の導入報道に関して意見を聴取した。これら三年間で収集した情報は整理分析を行い、船上減圧法に関する現状の国際的な安全基準を把握し、我が国へ船上減圧法の導入を検討する際に有用となる安全衛生上の基礎的な資料を作成する。

B. 研究方法

1. 船上減圧法に必要な設備器材の基準に関する調査

潜水業務に船上減圧法を採用している6か国（米国、カナダ、英国、ドイツ、フランス、ノルウェー）の潜水業務関連規則を調査し、船上減圧法の設備器材に関する項目を抽出した。規則では、関連業界団体によるガイドラインや公的機関の基準を採用しているものがあるため、それらについても同様に調査を実施した。これら以外の資料収集に際しては、インター

ネットによる情報検索、文献資料の調査に加え、国内外の関連学会や国際会議へ参加し、さらなる情報の収集に努めた。なお調査を行った規則や基準、ガイドライン等は以下の通り。

1) 米国

・潜水規則：OSHA PART 1910 - Occupational Safety and Health standards
Subpart T - Commercial Diving Operations

・ガイドライン：ADCI Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations

2) カナダ

・潜水規則：Canada Occupational Health and Safety Regulations SOR/86-304

18.1 PART XVIII Diving Operations

Canada Oil and Gas Diving Regulations SOR/88-600

・公的基準：CSA Standard CAN/CSA Z275.1-93 “Hyperbaric Facilities”

3) 英国

・潜水規則：Diving at Work Regulations 1997

・実施準則：L-103 Commercial diving projects offshore

L-104 Commercial diving projects inland/inshore

4) ドイツ

・潜水規則：BVG C23 Taucherarbeiten

・ガイドライン：BGR 235 Taucherdruckkammern

5) フランス

・潜水規則：TRAVAUX EN MILIEU HYPERBARE Mesures particulieres de

prevention

6) ノルウェー

・潜水規則：Arbeidstilsynet Forskrift, best.nr. 511 Forskrift om Dykking

・公的基準：NORSOK Standard U-100 Manned underwater operations

2. 船上減圧法に関する国内の潜水事業者からの意見聴取

国内で大深度潜水作業を実施している潜水業者から船上減圧法に関する意見を聴取した。地域的な特長を含めるため対象を北海道、東京、大阪、岡山、沖縄に本社を置く5社を調査対象とした。調査に際しては、以下の点について意見を求めた。

[意見聴取項目]

① 船上減圧法の国内導入に対する是非について

② 船上減圧法で実施する潜水作業の種類や内容

③ 規則としての運用基準の望ましい形

④ 船上減圧法導入に際して特に必要と考える事項

なお調査に際しては、調査対象者の了承を得て議事内容をICレコーダーに記録した。後日、議事録作成時に生じた疑問点や不明点を担当者に電話及びメールにて確認を行った。

C. 結果

1. 船上減圧法に必要な設備器材の基準に関する調査

船上減圧法では、ダイバーは水中での減圧を省略して浮上し、船上に設けられ

た減圧室内で必要な減圧を完了する潜水方式である。そのため、通常行われる水中減圧法とは異なる設備機材が必要となる。ダイバー自身が装備する潜水器材は、一般的な送気式潜水とほぼ同等のものが使用可能である。ただし、水面インターバルを確実に実施するために、着脱性に優れた器材が望まれる。

船上減圧法では、船上減圧室は必須の設備である(図1)。船上減圧室には、規定された時間内(概ね30秒間)に加圧が完了するよう相応な能力を有するコンプレッサーや貯気タンクなどの付帯設備が含まれる。また、酸素減圧用の酸素マスクや酸素供給設備も不可欠である。

船上減圧法では、水中での減圧を省略して浮上することから、通常よりも深い深度から水面浮上を開始される。その際、水面インターバルを厳守するために、速やかな浮上速度が求められるが、急速な浮上は肺過膨張による肺圧外傷のリスク要因ともなるため、慎重な浮上管理が求められる。ダイバーの浮上を管理するための設備には、ダイバー昇降装置や潜水ステージ、潜水バスケット等がある。潜水バスケットはダイバーを収容するカゴ状の設備で、通常2名のダイバーを収容することができる(図2)。ダイバー昇降装置はLaunch And Recovery System(LARS)とも呼ばれ、A型フレームとウインチから構成されており、ダイバーを収容した潜水バスケットの引き上げに用いられる(図3)。潜水バスケットとLARSを用いることによって、ダイバーの浮上管理を船上から行うことが可能となる。また、浮上に伴うダイバーの労力が削減されるため

安全性の向上が期待できる。以下に、これらの設備に関する各国の基準を示す。



図-1. 船上減圧室

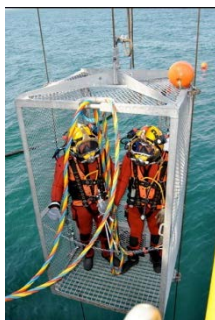


図-2. 潜水バスケット



図-3. ダイバー昇降装置

1-1. 米国の基準

1-1-1. 船上減圧室

米国の潜水作業関連の労働安全衛生規則 (OSHA 29 CFR Part 1910, Subpart T - Commercial Diving Operations) では、船上減圧法に用いる減圧チャンバーには、作業現場に設置する再圧処置用チャンバーと同等の性能が求められている [29 CFR 1910.423(c)]。米国では潜水深度が 100feet (30m) を超えるすべての空気潜水及び 300feet (90m) を超える混合ガス潜水を行う際には、潜水現場から 5 分以内にアクセスすることができる場所に、165feet (6ATA) まで加圧することができる再圧チャンバーの設置を義務付けている [29 CFR 1910.423 (c) (1) 及び(3)]。規則によって求められる減圧チャンバーに必要な性能は以下の通り [29 CFR 1910.430(f) Decompression chambers]。

- ・チャンバー内の雰囲気中の酸素濃度を 25% 未満に維持する方法を備えること

- －適切な換気装置もしくは送排気ダンプ式内蔵型呼吸装置 (BIBS) 設置

- ・吸気および排気口に騒音防止マフラーを設けること

- ・排気ライン開口部に吸引ガードを設けること

- ・消火設備を設置すること

- －チャンバー内への可燃性材料の使用は必要最小限とする

上記に加え、規則ではガイドラインとして Association of Diving Contractors International (ADCI : 潜水請負者協会) による Consensus Standards (コンセンサス基準) を参照することを求めている。当該コンセンサス基準ではより詳細な要求事項が定められている。主なものを以下に示す。

[ADCI Consensus Standard による基準 (抜粋)]

- 1) 二重ロック機構と主室、副室を有する二室以上の区画を有すること

- 2) 収容されたダイバーが横になることができ、サポートのための要員が入り内部支援活動ができる十分な内部寸法を持っていること

- 3) 加圧状態を維持したまま、人員や器材の搬出入が可能なこと

- 4) すべての操作を確実に行うことができ、目視観察を可能にするのに十分な

- 内部照明があること
- 5) 外部から観察することができる観察窓を装備していること
 - 6) 6ATA (165fsw) まで加圧が可能なこと
 - 7) 少なくとも毎分 1 ATA 以上の加圧速度が可能なこと
 - 8) 2ATA (33fsw) まで毎分 0.9atm (30fsw) の速度で減圧が可能なこと
 - 9) 減圧室内の酸素濃度を 25%以下に維持できる手段を備えていること
 - 10) 減圧室内の炭酸ガス濃度を 1%以下に維持できる手段を備えていること
 - 11) 排気口にマフラー又は消音機を備えていること
 - 12) 安全弁は毎年定期的に検査し、その結果を記録しておくこと
 - 13) 区画あたりの収容可能人数分の酸素呼吸マスク (built-in breathing system :BIBS) に加え予備 1 台を備えていること
 - 14) 激しい作業をした場合と同等の呼吸ガス供給能力を有していること
 - 15) BIBS は室外排気式のものとし、接続部には逆止弁を設けていること
 - 16) 内部の人員と外部の操作者との通話のために 2 系統の通話装置を備えていること
 - 17) 直ちに利用可能な消火設備を備えていること
 - 18) チャンバー並びに BIBS からの排気が密閉空間に滞留しないようにすること
 - 19) 夜間でも確実に操作できるため、減圧室操作盤とその周囲には十分な照明装置を配置すること
 - 20) チャンバー内のすべての区画には、酸素に加え BIBS に直ちに供給することが

できる緊急用呼吸ガスを準備しておくこと

1-1-2. 潜水バスケット／ステージ

米国の規則では、水中での減圧時間が 120 分以上となる場合には、潜水ベルや潜水バスケット／ステージの使用を義務付けているが [29 CFR 1910.425(b)(3)]、船上減圧法には関する記載は特に見られない。なお、ADCI Consensus Standard では、潜水バスケット／ステージ等に関しては以下のような基準を定めている。

[ADCI Consensus Standard による基準 (抜粋)]

- 1) 潜水機材を装備した 2 人のダイバーの重量に対応できること
- 2) 腐食対策が施されていること
- 3) 使用時にダイバーが落下することのないように安全チェーンや安全扉、ダイバー用グリップを備えていること

1-1-3. ダイバー昇降装置 (Launch And Recovery System : LARS)

潜水バスケット／ステージには、水中で横転することがなく、迅速かつ円滑に潜降できるように重錘 (ガイドアンカー) と共に用いられることが一般的である。これらを含めた総重量は相当なものとなるため、人力等による操作は不可能であり、機械的な動力によるダイバー揚収システムが (LARS) が不可欠となる。ADCI Consensus Standard では、LARS に関しては以下のような基準を定めている

[ADCI Consensus Standard による基準 (抜粋)]

- 1) 通常動作時には、ブレーキではなく

駆動装置で動作の制御が可能なこと

- 2) 使用するウインチの許容負荷の 1.25 倍を保持できる 2 つの独立したブレーキ・システムを有すること
- 3) 電源装置の故障や電力の遮断、または駆動制御装置の故障など万一の事態が生じた場合には、所定の位置に停止し、それを保持できるような機構を設けること
- 4) 潜水バスケット等の上げ下げ操作の状態を操作者並びに支援員に表示する装置の設置、もしくは、シグナルマンを配置すること
- 5) 新たに設置した場合、または修理や改造を行った場合には、十分な検査を実施し、装置の使用最大負荷の 1.25 倍の負荷テストを行うこと
- 6) 使用するワイヤーロープや吊具等は以下の基準を満たしていること：
 - ・設計基準に合致し、製造元に勧告に従って維持整備されている
 - ・6 ヶ月毎以内に目視にて損傷、劣化または変形の無いことを詳細に確認する
 - ・定期的に検査と試験を行い、適切な基準／規格に準拠していることを確認する
 - ・定格荷重の 8 倍の強度を持つワイヤーロープと吊具を用いる

1-2. カナダの基準

1-2-1. 船上減圧室

カナダ労働安全衛生規則（Canada Occupational Health and Safety Regulations; SOR/86-304）は「18.50 Hyperbaric Chambers」において、潜水業

務に使用する高気圧チャンバーは CSA Standard CAN/CSA Z275.1-93「Hyperbaric Facilities」のクラス A（ダブルロック式）高気圧チャンバーの要件を満たすものであることを定めている。すなわち、クラス A 高気圧チャンバーでは、少なくとも 2 つの相互接続された圧力区画を備え、そのうちの 1 つには出入り口の機能を備えていること。また、主となる圧力区画は、横臥者と付添人を収容するのに十分なスペースを有していることが求められる。さらに当該労働安全衛生規則では、(a) 減圧潜水を行うとき、(b) 潜水深度が 40 m を超えるとき、には作業現場に高気圧チャンバーを設置し、正常に稼働する状態を維持すること、並びにその操作は有資格者に限ることを事業者に義務付けている。

カナダでは、海洋石油／天然ガス関連の作業で特に大深度潜水の頻度が高いことから、通常の労働安全衛生規則に加え「カナダ石油及びガス潜水規則 [Canada Oil and Gas Diving Regulations SOR/88-600]」が規定されている。当該規則では、船上減圧室に関してさらに詳細な基準が定められている。

[カナダ石油及びガス潜水規則 SOR/88-600 による基準]（一部抜粋）

Surface Compression Chambers

第 16 項 潜水作業を行う潜水事業者は、以下の要件が満たされていない船上減圧チャンバーを使用してはならない。

- 1) 少なくとも 2 つの圧力区画を有すること
- 2) 少なくとも 1 つの区画には、収容者が快適に横になることができる十分な

スペースを有すること

- 3) 減圧室内に滞在する時間が 8 時間以内の場合には、内部の高さが 1.5m 以上であること。また 8 時間以上の場合には 2m 以上であること
- 4) 圧力区画の収容者用の内蔵型呼吸装置 (BIBS) を備えていること
- 5) BIBS は呼気を減圧室外部に廃棄することができる機能を備えていること
- 6) 圧力区画内の酸素濃度、二酸化炭素濃度、温度、湿度を安全なレベルに維持するための手段を備えていること
- 7) 圧力シールとして機能し、内/外両側から開閉できるドアを装備していること
- 8) 火災のリスクを最小化する措置を講じること
 - ・不燃性もしくは耐火性の材料を用いること
 - ・適切な消火装置を備えていること
- 9) 外側から各圧力区画内の圧力を確認し、制御するために必要なゲージ並びにバルブ等の器具を備えていること
- 10) メディカルロックを備えていること
- 11) 連続 12 時間以上使用される場合には、適切な衛生設備を設けること
- 12) チャンバーへのガスの流入出が事前に設定し制限を超えた場合に、自動的に遮断する緊急遮断バルブが装備されていること

1-2-2. 潜水バスケット／ステージ

潜水バスケット／ステージに関しては、カナダ労働安全衛生規則 18.28 において、以下のように規定している。

- (1) 事業者は、水面から 2m 以上の高さ

に位置する潜水作業場から潜水業務を実施する場合には、ケージ、バスケット、プラットフォームなどでダイバーを搬送しなければならない。

- (2) 事業者は、水中の作業場所からのダイバーの昇降浮上に使用されるケージ、バスケット、プラットフォームが、下記の要件を満足していること確認しなければならない：

- (a) 設計意図に則して使用されること
- (b) それ自体が危険を生じさせないこと

- (3) (2) でいうところのケージ、バスケット、プラットフォーム、及びそれに付随する機材は、所定の潜水作業が完了するまで、その業務に専有的に使用されること

カナダ石油及びガス潜水規則では、以下の要件が求められている。

[カナダ石油及びガス潜水規則 SOR/88-600 による基準] (一部抜粋)

潜水作業で使用するケージ、バスケット、ステージ等は以下の機能を有していること。

- 1) 少なくとも 2 人のダイバーが潜水器材を装備した状態で滞在できる十分な大きさを有すること
- 2) バスケット／ステージ等自体が転倒や回転しないよう措置されていること
- 3) 搭乗したダイバーの足場または手に干渉するものがないこと
- 4) 搭乗したダイバーが姿勢を保持できるグリップを装備していること
- 5) 搭乗したダイバーが落下することの内容な安全装置が装備されていること

1-2-3. ダイバー昇降装置

潜水バスケット／ステージ等の昇降に用いられるダイバー昇降装置に関しては、カナダ石油及びガス潜水規則において以下のような基準が定められている。

[カナダ石油及びガス潜水規則 SOR/88-600 による基準] (一部抜粋)

潜水作業で使用するウインチや昇降装置は、以下のような機能を有すること

- 1) 操作レバー、ハンドル、またはスイッチが運転位置にないときに作動するブレーキまたは機械式ロック装置が装備されていること
- 2) 装置のブレーキは、計画の最大作業負荷で停止および保持ができること
- 3) 停電時等には自動的にブレーキが作動すること
- 4) 降下及び上昇は、ブレーキ機構とは独立した装置によって制御されること
- 5) 潜水作業中には、昇降装置を他の用途に使用しないこと
- 6) 最大作業負荷を引き上げ可能な予備の動力装置を用意していること

1-3. 英国の基準

潜水に関する英国の労働安全衛生法 [The Diving at Work Regulations 1997] では、潜水業務に係る設備器材に関し、潜水事業者の責務を以下のように規定している。 [The Diving at Work Regulations 1997]

第 6 条 潜水事業者の責務 (Duties of diving contractor)

- (3) 潜水事業者は以下のことを実施しなければならない；
 - (b) 安全かつ健康へのリスクなしに、潜水業務とそれに関連する合理的に予

見可能な緊急事態が発生した場合に必要となる可能性のある緊急処置の両方を実行するために必要なときはいつでも、潜水業務に係る適切で十分な設備が利用可能であることを確認しておかなければならない；

上記規則に基づいて、潜水業務に使用する設備器材に関する基準は、潜水目的別に規定された各実施準則 (Approved Codes of Practice: ACOP) に記されている。

1-3-1. 船上減圧室

実施準則 L-104 Commercial diving projects inland/inshore では、船上減圧室について以下のように規定している。

第 114 条 潜水事業者は、緊急時にダイバーを再圧できるような施設を提供しなければならない。減圧 (再圧) 室による減圧障害の治療は、可能な限り早く開始しなければならない (医師の指示による)。減圧室の供給は、潜水業務計画の一部として選択される減圧方法に従わなければならない。

第 115 条 減圧室は少なくとも以下の性能を有していなければならない：

- (c) 20 分以上の水中減圧停止が計画された潜水では、潜水事業者は、適切で利用可能な 2 人用で 2 つの圧力区画を有する減圧室を潜水現場に用意しなければならない。また、ダイバーは、素早くかつ容易に水から離れることができ、減圧室内で、使用される減圧スケジュールに規定された適切な再圧を行われなければならない。チャンバーの管理は、

十分な資格と能力を有する人員だけが担当することができる。そのような人員には適切な訓練と経験が求められる。操作を監督する人員を指名する際には、十分な経験を有する者でなければならない。

第 119 条 2 人用、2 圧力区画の減圧室は、意図された目的に適したもので、に適切な規格に準拠したものでなければならない。

第 120 条 酸素は、減圧室を含む当該実施準則の対象となるすべての場所で、必要な時に直ちに利用できなければならない。

1-3-2. 潜水バスケット／ステージ

潜水バスケット／ステージ等に関して、実施準則 L-104 では、以下のように規定している。

第 112 条 送気式潜水に用いられる潜水バスケットまたはウェットベルは、クランプされていない状態で少なくとも 2 人のダイバーの昇降が可能でなければならない。またこれらは、ダイバーの落下を防ぎ、バスケット等自体が回転や転倒することの無いように措置しなければならない。バスケット等には、ダイバーの頭部を保護するための措置とダイバー用グリップを備えていなければならない。

第 113 条 万一に備え、ダイバーを回収するための二次的な手段を用意しておかななければならない。

1-3-3. ダイバー昇降装置

ダイバー昇降装置に関して、実施準則 L-104 では、以下のように規定している。

第 108 条 ダイバー昇降装置は、他の関連規則並びに適切な国内基準、ヨーロッパ、または国際基準に適合したものでなければならない。

第 109 条 ダイバーの昇降に用いられるリフトワイヤーは、予備ワイヤーまたはバック装置に関しても、特定の基準に合致したものを使用しなければならない。これらのワイヤーは、国内、ヨーロッパ、または国際基準に準拠した有効な安全係数を備えたものでなければならない。

第 110 条 ダイバー昇降装置に用いるウインチは、独立した一次および二次のブレーキ・システムを備えていなければならない。油圧ウインチでは、操作レバーがニュートラルに戻ったとき、または停電時にはセカンダリシステムが自動的に作動することが推奨される。一次及び二次のブレーキ・システムは、有資格者によってそれぞれテストされなければならない。

1-4. ドイツの基準

潜水業務に関するドイツの規則 (BVG C23) では、船上減圧法は緊急時の非常用減圧法として位置付けられている (第 26 条 非常減圧)。常用とはされていないことから、船上減圧法に係る機材設備に関し特に規定はない。潜水作業現場に再圧治療用のチャンバー (潜水作業員圧力室)

が備えられている場合に限り、緊急時にはそれを用いて船上減圧法を行うことが認められている。

1-4-1. 船上減圧室

BVG C23 では、潜水作業現場で使用することができる減圧室（潜水作業員圧力室：Taucher-Druckkammern）について以下のように規定している

第5条 潜水作業員圧力室

潜水作業員圧力室は

1. 少なくとも5バール (bar) の加圧が可能で、
2. この5バールの加圧に6分以内に達することができ、
3. 室内にいる人員を目視で確認でき、人員と会話ができ、
4. 酸素呼吸が可能であり、
5. 支援員が自由に入ることができ、病気になった潜水作業員の治療がその室内でできるものでなければならない。

なお潜水作業現場への減圧室の設置が義務付けられる条件は以下のように規定されている。

第14条 装備の準備

(8) 企業は次の場合は潜水作業場所に潜水作業員圧力室を用意しなければならない。

1. 潜水行程が35分を超える浮上時間を伴う場合。
2. 潜水深度が10mを超え、最寄りの潜水作業員圧力室に3時間以内に搬送することができない場合。

減圧室の技術的な基準に関しては、ガイドラインが別途定められている (BGR 235 Taucherdruckkammern [潜水作業員圧力室])。その主なものを以下に示す。

[BGR 235 Taucherdruckkammern による基準] (一部抜粋)

§ 4.2.1 一般的事項

§ 4.2.1.1 潜水作業員圧力室は、少なくとも主室と副室から構成されていなければならない。

§ 4.2.1.2 潜水作業員圧力室は、5 bar の最大圧力に6分以内に到達し、安全に圧力を維持できなければならない。また、0.4~0.2 bar の圧力からの大気圧までの圧力解放は、1分間で行う能力を有していなければならない。

§ 4.2.1.6 潜水作業員圧力室の内径は、1.48m以上でなければならない。

§ 4.2.1.7 潜水作業員圧力室内に設置される座席は、1人あたり0.5m以上の座席幅と0.4m以上の座席奥行きが必要であり、冷たい圧力室内面壁との接触による体の冷却が回避される措置を講じなければならない。

§ 4.2.1.9 潜水作業員圧力室のドアロックは、均圧後いずれの室からも操作できなければならない。

§ 4.2.1.11 潜水作業員圧力室には、室内のすべての場所が容易に観察できるような観察窓を装備しなければならない。また観察窓はアクリルガラス製でなければならない。

§ 4.2.1.18 潜水作業員圧力室には、適切な防火対策を講じなければならない

ない。

- ・室内の装備におけるプラスチックの使用は最小限としなければならない。
- ・電気機器は、火災の危険がないように固定しなければならない。

§ 4.2.2 主室

§ 4.2.2.1 潜水作業員圧力室の主室には、少なくとも1人用のベッドと、2人が着席できる座席を設けること

§ 4.2.2.2 主室入口には最大収容人数を示す標識を掲示すること

§ 4.2.2.3 最大収容人数に応じた座席を設けること

§ 4.2.2.4 主室には、収容者1人当たり毎分30 l以上の空気をパージするための装置が設けられていること。パージ空気量は各圧力レベルで調整可能なこと

§ 4.2.2.5 主室には大気圧下で毎分75 l以上の酸素を供給することのできる酸素呼吸ポイントを最大収容者数に応じて設けること。これらのポイントには酸素呼吸器が接続可能であり、呼吸が主室内に留まらないようにすること

§ 4.2.2.8 主室にはメディカルロック（供給用ロック）を装備すること。このロックは、直径200 mm以上、長さ300 mm以上であること。ロック扉は、圧力が均一化されたときのみ開くことができるようにすること。ロック内の圧力を示す圧力計を設置すること

1-5. フランスの基準

フランスの潜水業務に関する労働安全衛生規則では、常用としての船上減圧法は認められていないことから、当該減圧法に係る器材設備に関する基準も特に示されていない。

1-5-1. 船上減圧室

潜水業務に係る設備機材に関する基準は、「高気圧環境下で作業する作業員の保護に関する政令第90-277号：TEFT9003290D」に示されており、その第13条（共用装備品）で、対象を以下のように定めている。

第13条：共用装備品には、工事に要する高気圧状況に適合した特殊工具一式のほか、以下に示す各手段が含まれる。

- a) 高気圧状況へのアクセス、滞在および退出手段
- b) 高気圧状況に置かれている作業員の監視手段
- c) 呼吸用ガスの生成、送気、貯蔵、供給および検査手段
- d) 救助手段（蘇生、火災、再加圧）

救助手段としての再加圧を行うためには、高気圧チャンバーが必要であり、それに関する基準を以下に示す。

第17条：副室を有さない1人用高圧室を使用してはならない。

第18条：居住可能高圧室、とりわけ再圧室、飽和室、高気圧酸素治療室、水中エレベーター、トンネル掘削作業員用気閘室および圧縮空気中の作業用水中潜函などに適用される使用規定については、その用

途または目的に応じて、労働担当大臣、農業担当大臣および海洋担当大臣の省令に定めることができる。

第 20 条：呼吸装置または高圧室への供給に関するあらゆる不具合に対処するため、緊急用ガス供給源またはバッファタンク付圧縮機を直ちに使用できるよう整えておくこと。

第 23 条：現地で使用可能な応急処置手段（少なくとも酸素吸入器と救急箱を含む）を十分な数備えておかなければならない。さらに事業者は、加圧下で同時に作業する人数に対応可能な再圧室が事故発生時に使用可能な状態になっていること、またその使用資格を有する人員が配置されていることを確認しなければならない。再圧室に到着するまでに要する時間は、いかなる場合にも 2 時間を超えてはならない。

第 24 条：高圧室内および室外には、あらゆる防火措置を講じなければならない。高圧室内の消火手段は、加圧環境において有効なものでなければならない。高圧室外の消火手段は、圧力下に置かれた作業員の特殊な状況、圧縮ガスの存在および（場合により）酸素の存在を考慮したものでなければならない。居住可能室を運転する作業員のために、煙が充満した環境における救命手段を使用できるよう整えておく必要がある。

1-6. ノルウェーの基準

ノルウェーでは、条件付きながら船上減圧法の使用は認められており、使用する機材についても基準が示されている。

1-6-1. 船上減圧チャンバー

船上減圧チャンバーに関しては、潜水業務安全衛生規則では以下のような基準を示している。

[潜水業務安全衛生規則（Forskrift om Dykking）による基準]

第 X 章 加圧室（減圧室）と潜水ベル 第 98 条 加圧室

加圧室、加圧室操作パネルおよび配管は、作業者を完全に保護できるように設計および構築されなければならない。加圧室は、ダイバーや他の労働者に人間工学に基づいた良好な大きさでなければならない。加圧室は、少なくとも副室と主室からなり、酸素濃度系を備えていなければならない。加圧室には、収容可能な人数だけでなく、予備の呼吸システムが装備されていなければならない。加圧室とその配管類は 5 年ごとに耐圧試験を行い、10 年ごとに油圧試験を行わなければならない。

第 109 条 加圧室の使用要件

次の場合には、潜水作業場に加圧室を設置しなければならない。

(a) 水深 30m を超える潜水を行うとき

(b) 減圧潜水が計画されるとき

上記以外であっても、潜水作業期間や作業の厳しさを考慮して、加圧室の設置を検討すること。

減圧時間が短かったり、無減圧潜水の場合には、加圧室の必要性が軽視されることがあるが、実施する潜水作業のリスクは慎重に検討しなければならない。なお自給気式潜水器（SCUBA）を用いる潜水は無減圧潜水の範囲内で行わなければならない。水中減圧は認められていない。船上減圧潜水を行う場合には、使用する減圧表に示された時間（水面インターバル）内に潜水者が加圧室に到達できるように配慮しなければならない。

ノルウェーでは北海における海底石油並びに天然ガス資源の開発が鋭意行われており、大深度潜水も頻繁に行われている。これらの開発に係る作業では、国による安全衛生規則に加えて関連産業団体による安全基準が規定され、NORSOK Standards としてまとめられている。NORSOK Standards は材料に関するものから、大型の海洋構造物に関する基準まで多岐に及ぶが、潜水作業に関するものは「U-100 Manned underwater operations（有人潜水作業）」に記されている。U-100 では減圧チャンバーについて以下の基準を定めている

[U-100 有人潜水作業]による基準（一部抜粋）

§ 7.2.1 減圧室

減圧室の大きさ、構造、照明、レイアウトは、減圧室内で行われるすべての活動をサポートし、最適化すること。減圧室は、人員、設備、備品を出し入れが可能なこと。有人潜水作業で使用される減圧室の各区画は、

正確で均一な環境を維持する一次および二次環境制御システムを備えているか、それに接続されていなければならない。潜水者が滞在する各圧力区画には、収容者数に加え 1 台の予備の BIBS を備えていること。BIBS からの排気は減圧室外部に排出すること。

§ 7.2.3 送気式潜水用減圧室

送気式潜水作業の間、潜水作業現場には副室付きダブルロック減圧室を用意しなければならない。収容者が横になることができるよう、主室の大きさは内径 1.8m×長さ 2.0m 以上であること。万一の場合、医療従事者が減圧室内で効率的に応急処置を実施することができるように設計されること。

1-6-2. 潜水バスケット／ステージ

NORSOK Standards の「U-100 有人潜水作業」では潜水バスケット／ステージ等についても基準を定めている。

[U-100 有人潜水作業]による基準（一部抜粋）

§ 7.2.6 湿式ベルと潜水バスケット

湿式のベルと潜水バスケットは、十分な大きさを持ち、意識不明や怪我をした潜水者の搬送に利用できるものでなければならない。湿式ベルと潜水バスケットは、潜水者の落下を防止し、それ自身が回転や転倒することのないように措置しなければならない。潜水バスケットは、潜水者の頭部を保護する機能と姿勢を保持するためのグリップを備えていなく

ればならない。湿式ベルと潜水バスケットには、緊急事態のための非常用呼吸ガス供給機能を備えていなければならない。

1-6-3. ダイバー昇降装置

NORSOK Standards の「U-100 有人潜水作業」ではダイバー昇降装置についても以下のような基準を定めている。

[U-100 有人潜水作業]による基準（一部抜粋）

§ 7.3 ハンドリングシステム（潜水ベル、湿式ベル及び潜水バスケット）

§ 7.3.1 一般事項

潜水ベル等のハンドリングシステムは、水面を安全に案内する手段が含まれていなければならない。装置の設計負荷は、計画された運用上の最大負荷を基に算出すること。設計負荷は、最大静荷重の2倍以上とすること。

主な吊り上げ用ワイヤーの安全な作業負荷は、最大設計荷重に関連する最小安全係数4.0を用いて計算すること。静的および動的な負荷を十分に考慮すること。

ハンドリング装置には、ベル/湿式ベル/潜水バスケットが設定された制限を超えた操作を規制するリミットスイッチを装備すること。ハンドリング装置操作ステーションからウインチドラムを直接目視することが難しい場合には、ビデオ監視装置を設置すること。電源またはウインチモーターが停止している場合でも、主な装置類は操作可能でなければならない。

ハンドリング装置の主要な部分が故

障した場合に備え、代替の装置を準備しておかなければならない。代替え装置は、メインのハンドリング装置と同等の荷重強度をもつものでなければならない。

2. 船上減圧法に関する国内の潜水事業者からの意見聴取

潜水事業者に対する面談調査は2019年12月から2020年1月に3社で実施した。2-3月にも2社の面談調査を計画していたが、COVID-19感染拡大に伴う予防のため中止とした。面談時間は概ね2時間程度とし、当該調査研究に関する過年度の調査報告書を資料とした。調査対象は、沖合海域でサルベージ作業等の大深度潜水を行っている事業者（A社）、発電所関係の作業を多く手掛けている事業者（B社）、並びに以前から国内外で大深度潜水を行っている事業者（C社）であった。調査結果を以下に示す。

船上減圧法に関する面談調査（1）：A社の調査議事録

日 時 : 2019年12月25日 14時～16時
場 所 : A社会議室
回 答 者 : 担当役員、サルベージ部長他計3名
議事内容 : <p>議事に先立ち、今回の議事内容を IC レコーダーに記録すること、会議出席者の氏名所属を含め内容を研究報告書に記載し公表する場合があることについて了承を得た。過年度の調査研究結果を説明し、船上減圧法の国内導入に関して意見を聴取した。以下にその内容を記す。</p> <p>当社は長年サルベージ作業を中心に潜水作業を行っている。大深度潜水は 1980～90 年代に携わった本四架橋関連が最後で、最近は行っていない。</p> <p>船上減圧法の国内導入には賛成である。サルベージ作業では、海象条件の悪い中での作業を強られるため、浮上時の減圧深度を確実に維持することができず、減圧所のリスクが懸念される。船上減圧法が利用可能となれば、これが解消できる。また、船上減圧法では、潜水者を船上の装置に収容した後、脱着した潜水装備を用いて、次の潜水者が直ちに作業を開始することができるため、作業効率の向上が期待できる。実施に際しては、本四架橋工事の際に船上減圧法を経験した社員が在籍しているので、それらから技術指導を受ける形で体制や教育訓練を整えていく予定。運用上の規則やガイドラインはあまり厳しくしてしまうと、各社の技術開発が停滞してしまうので、最低限なものが望ましい。高圧則第 32 条（浮上の特例等）を一部改正し、現在の「事故のために潜水作業者を浮上させるときには」という条件を「海象条件の悪化等、水中での減圧が困難な場合には」という形にすればよいと考える。</p> <p>これらのことから、船上減圧法の早期の導入を希望する。</p>

船上減圧法に関する面談調査（２）：B社の調査議事録

日 時 : 2020年1月17日 17時~19時
場 所 : B社会議室
回 答 者 : 工務部長、公務係長、潜水士他計8名
議事内容 : <p>議事に先立ち、今回の議事内容はICレコーダーに記録すること、会議出席者の氏名所属を含め内容を研究報告書に記載し公表する場合があることについて了承を得た。過年度の調査研究結果を説明し、船上減圧法の国内導入に関して意見を聴取した。以下にその内容を記す。</p> <p>当社は発電所関係の保守点検作業を大に行っている。水深が40mを超える大深度潜水作業も多く、またダムなど高所での潜水も実施している。寒冷水域での作業が多いことから、温水潜水服の利用などの防寒対策には留意しているが、限界があり、抜本的な対策として船上減圧法の利用を希望している。過去船上減圧法の経験はなく知識も十分ではないため、導入に際しては、専門の教育訓練が必要と考えている。ただしそのような訓練機関は国内には存在しないため、定められたガイドラインや規則に従って、自主的に実施する予定。したがって、充実したガイドラインの提示を求める。船上減圧法の減圧症リスクには、減圧時間等の延長で対処したい。船上減圧室内であれば通常の水中減圧に要する時間より大幅な延長になっても構わない。設備器材等についてもガイドラインの提示が必要である。また、併せて教育訓練についても検討が必要と考える。船上減圧では、浮上から船上減圧室での再加圧～減圧までの流れが特に重要となるので、現在の「救急再圧員」の業務を拡充し、スーパーバイザーとしてその任に当たることも検討する必要がある。</p> <p>寒冷地潜水対策として、船上減圧法の早期の導入を希望する。</p>

船上減圧法に関する面談調査（3）：C社の調査議事録

日 時 : 2020年1月8日 13時30分～15時30分
場 所 : C社会議室
回 答 者 : 担当役員、担当技術課長計2名
議事内容 : 議事内容 : 議事に先立ち、今回の議事内容はICレコーダーに記録すること、会議出席者の氏名所属を含め内容を公表する可能性があることについて了承を得た。過年度の調査研究結果を説明し、船上減圧法の国内導入に関して意見を聴取した。以下にその内容を記す。 当社は海外での海洋開発作業に従事しており、現在は国内の作業も行っている。船上減圧法は海外での作業を中心に、以前より使用してきている。使用形態としては、飽和潜水システムを利用したベルバウンス方式が多い。海外では、船上減圧法は一般的ではなく、利用には制限が設けられているので、当社もそれに準じている。以前は、水中での酸素減圧が禁じられていたので、酸素減圧が必要な場合には船上減圧法を用いていたが、規則改正後はそれが可能となったため、船上減圧法の利用は減っている。 船上減圧法は減圧症リスクが高いため、安易に利用すべきではなく、相応の設備と訓練が必要である。特に水面インターバルの厳守は重要であるが、これを数分の規定時間内で実施するのは容易ではない。また、設備に関しても昇降用の潜水ステージや専用の昇降装置は必須であり、スクーバでの利用も禁じた方がよい。一定の基準やガイドラインは必要であり、ある程度実績が重なるまでは、当局が事前に作業計画を審査して、実施の可否を判断することが望ましい。 船上減圧法の導入には賛成であるが、リスク対策を含め慎重に行うべきである。

D. 考 察

1. 船上減圧法に必要な設備器材の基準に関する調査

欧米各国の潜水設備器材に関する規則のうち、船上減圧法に特別に限られたものはなかったが、船上減圧法に使用しては、いくつかの基準が定められていた。

1) ダイバーの潜水装備機材

ダイバーが装備する潜水機材について、特に船上減圧法の際に必要なものはなかったが、今回の調査対象国では、スクーバによる潜水作業は禁じられており、潜水方式としては必然的に送気式潜水に限られていた。船上減圧法は、減圧時間が長時間に及ぶ潜水に対応したものであることから、送気式潜水が必然的にその対象となる。我が国においては、潜水作業にスクーバを用いることが認められており、当然厳しい条件下での潜水が実施される場合もある。スクーバでは、給気量に制限があることや船上からの支援が難しいことなど、送気式潜水に比べ潜水業務ではリスクが高くなる。船上減圧法はこのようリスクに対応するものではないため、その導入に際しては、対象とする潜水方式について検討が必要である。

2) 船上減圧室

船上減圧法では、減圧用の高気圧チャンバーが不可欠である。船上減圧法における再加圧深度は9～15mであり、減圧室には最低限この加圧能力が求められる。また酸素減圧に対応できなければならない。これらの条件を満たせば、船上減圧室として利用は可能である。しかしながら、今回調査を行った欧米諸国では、船上減圧法の減圧室には救急再圧室もしくは同

等の能力を有する高気圧チャンバーの使用が義務付けられている。すなわち、主・副室をもつ二室構造の減圧室で、BIBS マスクによる酸素呼吸が可能であり、最大6 ATAまで加圧することができ、さらに二名以上の人員が収容できる能力を有する高気圧チャンバーが必要となる。欧米諸国では潜水作業現場への救急再圧チャンバーの設置を強く求めており、それを利用することが合理的であること。また、船上減圧後に減圧障害が認められた場合に直ちに再圧処置の実施が可能であること、水面インターバルの超過や水中減圧の逸脱などの場合には、救急再圧と同様な処置が必要となることなどが理由としてあげられる。

我が国では、救急再圧室については、潜水作業現場に設置するか、もしくは利用できる措置を講じること（高気圧作業安全衛生規則第42条）とされている。現状では、実際に再圧室が潜水作業現場に設置されることは少なく、設置された場合でも「ワンマンチャンバー」と呼ばれる一人用の小型再圧室が利用されることが多い。

船上減圧法に用いる減圧室の基準を考える際には、これらの点を考慮する必要がある。現行の高気圧作業安全衛生規則における「再圧室構造規格」では、可搬型としてワンマンチャンバーの利用が認められている。減圧室は船上減圧の中心を成す設備であり、安全性を損なう恐れのある要因があってはならない。船上減圧室の運用基準については慎重な検討が必要である。

3) その他の設備等について

欧米諸国では船上減圧法を用いる際に、ダイバー昇降装置 (LARS) や潜水バスケットなどが用いられている。従来の潜水では、減圧浮上の管理は全てダイバーに委ねられているが、船上減圧法では、減圧管理は支援員 (チャンバーオペレーター) が担当することになる。これによりダイバーの負担軽減とより正確な減圧浮上が可能となる。LARS や潜水バスケットの利用はこれを水中の領域にまで拡大するもので、安全性に寄与する。船上減圧法の要となる水面インターバルは、水面への浮上開始から、減圧室内での再加圧完了までの時間を 5 分以内としている。その内訳は、水面までの浮上に 1 分、水面到着後減圧室への収容までに 3 分 30 秒、再加圧完了までに 30 秒とされている。ダイバーが水面までの浮上を急ぎすぎると、空気塞栓症を生じるリスクが高まることから、水上支援員による浮上時間の管理は有用である。また、潜水場所から水面までの高低差が大きい場合、ダイバーが潜水ハンゴを使って短時間で潜水場所まで戻ることには大きな労力を要するうえ、時間が超過するリスクも大きくなる。このようなことから、ダイバーの昇降手段については何らかの基準やガイドラインの検討が必要である。

2. 船上減圧法に関する国内の潜水事業者からの意見聴取

今回調査した 3 社はいずれも水上減圧法の導入には賛成であったが、導入の際の規制のありかたについては意見が異なっていた。なお船上減圧法の使用経験は様々であり、A 社はかなり以前 (約 30 年前)

に使用した経験を有するが、それ以降の実績は有していない。B 社は使用実績が全くない。C 社は主に海外を中心に豊富な使用実績を有しており、設備器材関係もほぼ充足している。

A 社は、現行の高気圧作業安全衛生規則に準ずる形で、運用基準は使用者の自由度が高い状態であることが望ましいとした。B 社は、船上減圧法に関する経験がなく、必要な知識も不足しているため、導入に際しては十分な安全基準やガイドラインの提示が必要であるとした。C 社は、船上減圧法には特有のリスクがあり、通常の送気式潜水法とは異なることから、安全に配慮したガイドラインを設定することに加え、教育訓練方法や資格制度なども検討するべきであるとした。

船上減圧法は専ら潜水業務で用いられており、企業ノウハウを含むため詳細な情報を入手することが難しい。船上減圧法では、ダイバーの減圧管理を支援員が担当することになるため、その役割は従来に比べ重要なものとなる。ダイバーの安全確保の観点から、船上減圧法における減圧浮上方法に関しては詳細なガイドラインが必要であり、特に減圧室操作担当者に関しては、資格要件等について検討が必要である。また、他の支援員についても、その役割や必要な人員配置等に関してガイドラインを提示する必要がある。

E. 今後の計画

本研究は、船上減圧法に係わる諸外国における規制の状況及び安全に実施するための技術的要件について文献等の調査を実施し、高気圧作業安全衛生規則 (高圧則) への

適用を検討するために必要な知見を得ることを目的とする。

本研究は3年間で実施し、1年次（平成29年度）には船上減圧法に関連する諸外国の法令規則や関連団体における基準等の情報収集を実施した。2年次（平成30年度）は各国規則における船上減圧法の運用基準制定の経緯や背景、ならびに運用実績等について調査を実施した。3年次（令和1年度）は、船上減圧法に用いる設備器材の基準について調査するとともに、国内の潜水事業者から船上減圧法に関する意見を聴取した。これらの調査研究によって収集した情報を整理し、船上減圧法導入に際して高気圧作業安全衛生規則への適用条件の検討に資する知見について取りまとめを行う。

F. 参考文献

- 1) OSHA, 29 CFR part 1910 – Occupational safety and health standards, U.S. Department of Labor, 2011, ISBN 978-1512332971
- 2) U.S. Department of Navy. U.S. NAVY Diving Manual revision 7, NAVSEA 0910-LP-115-1921. Washington, DC: NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND, 2016
- 3) Minister of Justice, Canada Occupational Health and Safety Regulations SOR/86-304, 2018, <https://laws-lois.justice.gc.ca/>
- 4) DCIEM, DCIEM Diving Manual, Universal Dive Techtronics, Inc. British Columbia, CANADA, 1992
- 5) HSE, Diving at Work Regulations 1997, London, TSO, 1998, ISBN 978-0110651705
- 6) HSE, L-103 Commercial diving projects offshore, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665921
- 7) HSE, L-104 Commercial diving projects inland/inshore, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665938
- 8) HSE, L-105 Recreational diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665945
- 9) HSE, L-106 Media diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665952
- 10) HSE, L-107 Scientific and archaeological diving projects, 2nd ed., London, TSO, 2014, ISBN 978-0717665969
- 11) Ministry of Defence, BR 2806 Diving Manual, London, HMSO Press, 1972, SBN 117713457
- 12) BG-BAU, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft BVG C23 Taucherarbeiten Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BG-Vorschrift, 2012, <https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/DGUV-Vorschriften/>
- 13) Journal Officiel de la Republique Francaise, TRAVAUX EN MILIEU HYPERBARE, Paris, 1992, ISBN 211-0733225
- 14) Arbeidstilsynet Forskrift, best.nr. 511 Forskrift om Dykking, Oslo, Arbeidstilsynet, 2007, <http://radem.no/dok/publikasjoner/>
- 15) Western Norway University of Applied Sciences, Norwegian Diving and Treatment Tables, 4th ed., Bergen, Molvik Gafisk AS, 2017, ISBN 978-8269069938

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
	該当なし						

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
望月 徹	水上減圧法の運用管理	日本高気圧環境 潜水医学会雑誌	53巻4号	275	2018