

# 低酸素症と酸素供給装置について

## パイロットのための航空医学

### 低酸素症

抜粋

(財)航空医学研究センター 研究・指導部部長  
医学博士 三浦 靖彦

表 2. 症状から見た高度分類

高度の分類 (ft)	特 徴
不関域 (0 - 10,000)	夜間視力は約4,000ft から低下する。
代償域 (10,000 - 15,000)	呼吸・心拍数の増加 (代償機能により、短時間であれば症状は発現しない。)
障害域 (15,000 - 20,000)	種々の循環器症状・中枢神経症状が出現する。
危険域 (20,000以上)	意識喪失・ショックなどがおこり、放置すれば生命に危険が生じる。

表 3. 低酸素症の症状

自 覚 症 状	他 覚 的 症 状
熱感・発汗 疲労感 頭重感・頭痛・めまい 視力の低下 判断力・計算能力の低下 言語能力低下 多幸福感	呼吸・心拍数の増加 チアノーゼ (口唇・爪が紫色になる) 知能活動の低下 反応時間の遅延 手指等の協調運動の障害 けいれん・意識混濁 意識喪失

表 4. 有効意識時間 (Time of Useful Consciousness)

10,000~15,000ft	1 時間以内
18,000	30分
20,000	5~10分
25,000	2~3分
30,000	90秒
35,000	45秒
40,000	30秒
50,000	10秒

## 低酸素症の対処法

上記症状などから低酸素症が疑われた場合には直ちに以下の処置を行う必要があります。

### ①酸素装置の点検と酸素吸入

装置の故障か否かをチェックし、速やかに酸素吸入を行う。

民間旅客機の場合、機内高度が12,000ft を超えると酸素マスクが自動的に出てきます。

### ②直ちに安全高度に降下 (10,000ft 以下)。

### ③着陸。

安全高度で十分な時間 (15分以上) 飛行し、低酸素の症状が回復してから着陸を行う。

## 喫煙と低酸素

喫煙と飛行の組み合わせの危険性についての貴重な体験談があります。軽量単発機で13,500 ft を飛行中、喫煙をしたところ、次に気がついた瞬間には、機体がきりもみ状に降下していましたが、幸い機体を立て直すのに十分な高度があったということです。これは、喫煙により、血液中の酸素が、一酸化炭素に置き換わってしまったために低酸素状態に陥り、失神してしまったものと考えられます。

喫煙運動は主にタバコの発がん性、つまりタールの成分のところで論じられていますが、航空分野では他の成分、つまり一酸化炭素を重視しなくてはなりません。血液の赤血球の中には、ヘモグロビンが含まれており、これが酸素と結合することにより、体の隅々まで酸素を運搬しています。しかし、一酸化炭素は、酸素の210倍もヘモグロビンとの結合親和性が高いため、喫煙をすることにより、ヘモグロビンと結合していた酸素は一酸化炭素に置き換わってしまい、相対的な低酸素状態になってしまうのです。実験によると、5,000ft の高度が、喫煙者にとっては10,000ft に相当するとも言われています。

[操縦中の喫煙は、低酸素症を起こし、急減圧などの緊急時の判断力等の低下につながる可能性があるのです。FAA は1976年から商業用民間航空機の乗員に対して、飛行中のコックピットでの禁煙だけでなく、フライト 8 時間前からの喫煙禁止を勧告しています。]

### 参考文献:

HYPOXIA; The higher you fly...the less air in the sky. Medical Facts for Pilots; AM-400-91/1, Aeromedical Education Division, FAA Civil Aeromedical Institute

酸素供給装置の装備については、航空法や施行規則には規定されておらず、右に示す航空局発行のサーキュラー中の飛行規程の作成要領の中で具体的な記載があり、各機体の飛行規程記載の根拠となっている。

米国においては、下に示すとおり、FAR Part91 (General Operating & Flight Rules) の211項に具体的に記載されている。

§ 91.211 Supplemental oxygen.

(a) General. No person may operate a civil aircraft of U.S. registry—

(1) At cabin pressure altitudes above 12,500 feet (MSL) up to and including 14,000 feet (MSL) unless the required minimum flight crew is provided with and uses supplemental oxygen for that part of the flight at those altitudes that is of more than 30 minutes duration;

(2) At cabin pressure altitudes above 14,000 feet (MSL) unless the required minimum flight crew is provided with and uses supplemental oxygen during the entire flight time at those altitudes; and

(3) At cabin pressure altitudes above 15,000 feet (MSL) unless each occupant of the aircraft is provided with supplemental oxygen.

サーキュラー

国土交通省航空局安全部航空機安全課長

件名：航空機及び装備品等の検査に関する一般方針

目次\_\_抜粋

第 I 部 耐空証明関係

- 1. 概要 . . . . . 4
- 2. 耐空証明検査の申請区分別の提出書類及び検査の概要 . . . . . 4
- 3. 耐空証明関係手続き . . . . . 26
- 4. 法改正に伴う経過措置 . . . . . 30
  
- 様式 I -1~6 . . . . . 31
- 付録 I -1 航空機現況表等の記載要領 . . . . . 37
- 付録 I -2 飛行規程の作成、管理要領 . . . . . 42
- 付録 I -3 整備手順書について . . . . . 75

運用様式区分

70頁\_\_抜粋

- A 計器飛行方式による飛行(管制の指示に常時従う飛行)
- B 計器飛行(計器気象状態における飛行)
- C 計器航法による飛行(有視界気象状態で規則第66条に定める距離又は時間をこえて行なう雲上又は洋上飛行)
- D 計器航法による飛行以外の有視界飛行
- E 夜間飛行
- F 昼間飛行
- G 着氷気象状態における飛行(型式証明で認められたもの)
- H 高々度飛行(3,000m以上の高度)

(注1)酸素供給装置として次の容量を有するもの。

(1)与圧装置を有しない航空機

(イ) 3,000mから4,000mまでの高度で飛行する場合は、当該飛行に係る飛行時間から30分を減じた飛行時間中航空機乗組員全員が必要とする量。

(ロ) 4,000mをこえる高度で飛行する場合は、当該飛行に係る飛行時間中搭乗者全員が必要とする量。

# 酸素供給システム

## Oxygen System

14 CFR part 91 also requires that the pilot in command (PIC) use supplemental oxygen for flights more than 30 minutes in duration above 12,500 feet and at all times during a flight above 14,000 feet. If supplemental oxygen is used, the system should be checked for flow, availability, and the PRICE checklist should be used:

- P = Pressure
- R = Regulator
- I = Indicator
- C = Connections
- E = Emergency bail-out bottle

The importance of understanding the need for oxygen equipment in gliders has been heightened in recent years by a considerable increase in the number of high-altitude soaring flights. The exploration of mountain waves has led to numerous flights at altitudes in excess of 30,000 feet with several record flights in excess of 40,000 feet. In some parts of the country, it is frequently possible to soar to a 16,000- to 18,000-foot cloud base in thermals. In almost all parts of the United States such altitudes are attainable in cumulonimbus clouds.

Glider Flying Handbook FAA-H-8083-13A より

## 酸素供給システム

連邦航空規則14のPart91 (General Operating and Flight Rules Regulations)によれば、機長(PIC)は、12,500ft以上では滞在時間の30分を超える分、14,000ft以上ではその高度以上にいる間はずっと酸素供給システムを使用しなければならない。酸素供給システムを使用するのであれば、その供給流れと使い勝手と共に以下のPRICE点検をしておくこと。

- P ; Pressure (圧力; 即ち酸素量)
- R ; Regulator (調整・調圧装置)
- I ; Indicator (指示器)
- C ; Connections (接続)
- E ; Emergency bail-out bottle (緊急ボトル)  
(+Electric Power Supply (電源\_バッテリー等; EDS使用時))

...訳者追加)

高高度飛行が近年増加してきていることからグライダーに取り付ける酸素供給システムをよく理解することの重要性が高まっている。山岳波(ウェーブ)の探検は数多くの30,000ft越えの飛行をもたらし、いくつかの記録は40,000ft越えもある。地域によっては、サーマルで16,000ftから18,000ftの雲底まで飛行することができるし、米国の殆どの場所において積乱雲によりこの高度まで到達可能である。

グライダー・フライング・ハンドブック(FAA-H-8083-13A)、13章 Human FactorsにCockpit Managementの項があり、グライダーに良く搭載される酸素システムについての説明がありましたので原文を切り貼りし訳もつけてみました。いつものように珍訳などは読み飛ばし、内容の正しい把握をお願いします。

2016.5 吉田s

At 18,000 feet, air density is only one-half that at sea level. The purpose of breathing is to supply oxygen to the blood and remove carbon dioxide. In each breath at 18,000 feet, the pilot breathes in only half as much oxygen as at sea level. This is not enough to deliver an adequate supply of oxygen to the blood, and the situation worsens as altitude increases. The automatic reaction is to breathe twice as fast. This hyperventilation, or overbreathing, is almost worse than going up without oxygen in the first place because it results in eliminating too much carbon dioxide from the blood. The immediate effects of hyperventilation are:

- Spots before the eyes
- Dizzy feeling
- Numbing of fingers and toes, followed by possible unconsciousness

The dangers of oxygen deprivation should not be taken lightly. At around 20,000 feet MSL, pilots might have only 10 minutes of “useful consciousness.” By 30,000 feet MSL, the time frame for “useful consciousness” decreases to 1 minute or less. For planned flights above 25,000 feet MSL, an emergency oxygen backup or bailout bottle should be carried.

The U.S. Air Force in cooperation with the Federal Aviation Administration (FAA) provides a 1-day, high-altitude orientation and chamber ride for civilian pilots. The experience is invaluable for any pilot contemplating high-altitude soaring and is even required by many clubs and operations as a prerequisite.

18,000ftでは、空気密度は海面上の半分となる。呼吸の目的は、酸素を血液に取り入れて二酸化炭素を排出することにある。18,000ftでは、パイロットは1回の呼吸で海面上に比べ半分の酸素しか取り込むことができない。これでは、血液への酸素供給が不十分となり、高度が上がるほど状況は悪くなる。この状態への自動的な対応は、2倍の速さで呼吸することとなる。これは、過呼吸状況となり血液中の二酸化炭素を排出し過ぎることになり酸素不足より悪いことになる。

過呼吸の初期症状などは、以下のとおり。

- 目の前に星が飛ぶ
- 眩暈を感じる
- 指やつま先のしびれ、放置すると意識を失う

酸欠の危険性も軽く考えてはいけない。20,000ftMSLでは、10分程しか「有効意識」でいられない。30,000ftMSLではこの「有効意識時間」は1分かそれ以下に減少する。25,000ftMSL以上の飛行を計画するときは、バックアップとなる緊急酸素カベールアウト・ボトルを携行すること。

米空軍では、FAAと協力して1日の高高度オリエンテーションと減圧チャンパー体験を民間のパイロットに提供している。この経験は、高高度飛行をしようとするパイロットには非常に貴重なものであり、多くのクラブでは高高度飛行のための必須事項としている。

訳者注 ;上記の米空軍の1日体験はとても重要だと思う。訳者は仕事の関係で空自浜松基地で何度か同乗者としての教育を受けたことがあるが、半日の学科教育の後、1時間位の酸素マスクをつけたチャンパー・フライトを実施してくれる。学科教育では、低酸素症の特徴として

・苦痛が少ない ・大脳から冒され5分で障害が残る ・個人差が大きい  
ことを教わり、自覚症状として多い順に次があることを知る。

・身体の熱感 ・疲労感 ・けん怠感 ・視覚障害

チャンパー内では、最初100%酸素を吸って脱窒素をした後、計画された高度パターンで訓練を受ける。この中には、8,000ftから36,000ft位までの急減圧と24,000ftへのフリー・フォール、24,000ftでマスクを外しての低酸素症の体験があった。低酸素症の体験では、別に苦しくもなく普通に呼吸しながら配られた紙に1000から999、998、・・・と書いている内に気を失ってしまい、見張りの人にマスクをつけて貰って何回か呼吸して意識が戻り、気を失う前には書いている字も乱れ正しく数字も書けていなかった事を確認できた。(昔はこのように気を失うまで体験できたが、今は3分間で酸欠時の症状を確認する方式に変わってきていると聞く・・・残念！)

このように、低酸素症は自分で気がつかない内に失神してしまうのでとても危険である。

## Aviation Oxygen Systems

Aviation oxygen systems are designed for airborne aviation applications. Unlike a medical-type oxygen system, an aviation system is generally much lighter, compact, and calibrated to deliver oxygen based on extensive research in human flight physiology. Prior to purchasing any type of oxygen system, pilots should research the different options and choose an oxygen system that is appropriate for the type of flying that they do because there are many manufacturers and types of system available. Two common types of systems used today are the Continuous-Flow System and the Electronic Pulse Demand Oxygen System (EDS).

### Continuous-Flow System

The continuous-flow system uses a high-pressure storage tank and a pressure-reducing regulating valve that reduces the pressure in the cylinder to approximately atmospheric pressure at the mask. [Figure 13-9] The oxygen flow is continuous as long as the system is turned on. In some installations, it is possible to adjust the amount of oxygen flow manually for low, intermediate, and high altitudes; automatic regulators adjust the oxygen flow by means of a bellows, which varies the flow according to altitude. When using the continuous-flow oxygen system, the pilot can use either an oxygen mask or a nasal cannula. [Figures 13-10 and 13-11]

## 航空用酸素システム

航空用酸素システムは、航空機への搭載用として設計されている。医療用の酸素システムと違い、航空用は一般に軽くコンパクトで人間の飛行時の生理学の研究に基づき、供給する酸素流量を計量している。酸素システムを購入する前には、パイロットはそのシステムとオプションが自分の飛行目的に適切か研究しておくこと。その位多くの製造業者とシステムの種類がある。今日良く使われるのは、コンテニューアス・フロー・システムと電子パルス供給システム (Electronic Pulse Demand Oxygen System ; EDS) である。

### コンテニューアス・フロー・システム

コンテニューアス・フロー・システムは、高圧の貯蔵タンクとこの圧力をマスク位置の大気圧に減圧調整するバルブからなる。{Fig.13-9} この装置をONにしている間、連続的に酸素が流れ出すことになる。種類によっては、酸素の流れる量を低、中間、高高度用に切り替えられるものもあり、これをベローを使って高度に応じ自動的に調整してくれるものもある。コンテニューアス・フロー・システムを使う時は、パイロットはマスクか鼻用のカニュラを装着する。{Fig.13-10、Fig.13-11}



Figure 13-9. Continuous-flow oxygen system.



Figure 13-10. Oxygen mask.

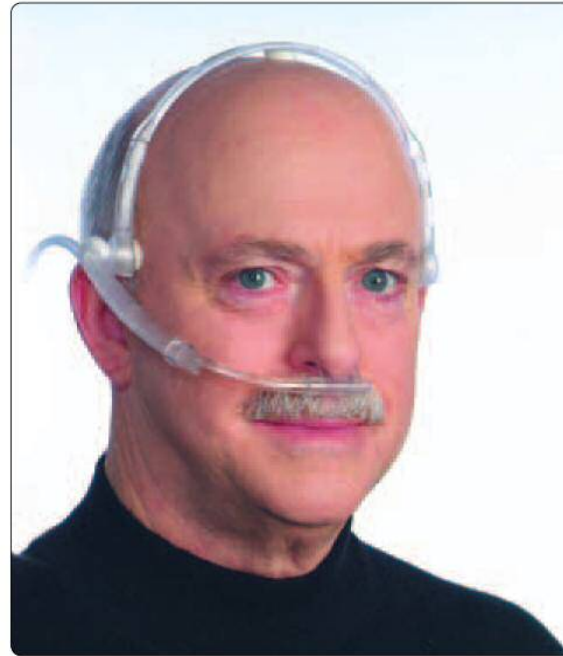


Figure 13-11. Nasal cannula.



Figure 13-12. Electronic Pulse Demand Oxygen System (EDS).

訳者注) カニュラ型は、マスク型に比べ手軽で使いやすいが、18,000ftまでの高度で使い、それ以上はマスク型を使用するようFAAでは求めている (FAA-H-8083-25Aより)。1999年にDG400がFL230前後で飛行中に墜落した事故があり事故調査では低酸素症の疑いも指摘しているものの、この辺りの事は触れていない。また、当たり前なことだが、マスクは顔に密着する(隙間から空気が漏れないもの)を選び使用する時は装着帯をきつく締めること(顔にマスク跡が残る程度)。

Pilot's Handbook  
of Aeronautical  
Knowledge  
FAA-H-8083-25A

### Cannula

A cannula is an ergonomic piece of plastic tubing which runs under the nose and is often used to administer oxygen in non-pressurized aircraft. [Figure 6-44] Cannulas are typically more comfortable than masks and can be used up to 18,000 feet. Altitudes greater than 18,000 feet require the use of an oxygen mask. Many cannulas have a flow meter in the line. If equipped, a periodic check of the green flow detector should be part of a pilot's regular scan.

の該当箇所を示す。  
(より詳しく知りたい方はFAAのホームページより入手できます)



Figure 6-44. Cannula with green flow detector.

### *Electronic Pulse Demand Oxygen System (EDS)*

The EDS is the lightest, smallest, and most capable on-demand oxygen system available that delivers altitude-compensated pulses of oxygen only as you inhale, using as little as  $\frac{1}{8}$ , typically  $\frac{1}{4}$  the amount of oxygen at  $\frac{1}{4}$  the weight and volume over conventional constant-flow systems that deliver one liter per minute per 10,000 feet. [Figure 13-12] The EDS has a precision micro-electronic pressure altitude barometer that automatically determines the volume for each oxygen pulse up to pressure altitudes of 32,000 feet and higher altitudes are compensated with pulses of greater volume. The EDS automatically goes to a 100 percent pulse-demand mode at pressure altitudes above 32,000 feet.

The EDS can be set to one of three D (day or delayed) modes and delays, responding with oxygen until it senses pressure altitudes of approximately 5,000 or 10,000 feet, conserving oxygen when it is not needed. It can also be set to N (night or now) mode for night flying where it responds from sea-level and up. Both modes provide the same amount of oxygen, automatically tracking pressure altitude changes. The EDS limits its response to a maximum respiration rate of about 20 breaths per minute, virtually eliminating hyperventilation usually encountered in stressful situations. There are no scales to observe or knobs to turn as you climb or descend. Adjusting (zeroing) for new barometric pressures is not needed because the EDS responds directly to pressure altitude, as do the physiological properties of your body.

### Electronic Pulse Demand Oxygen System (EDS)

EDSは、最も軽く、小型で、能力の高い、必要時供給型の酸素システムで、高度に応じた酸素を使用者の吸入時にパルス的に供給し、 $\frac{1}{8}$ から代表的には $\frac{1}{6}$ の酸素の量で済み、重量と容積は10,000ft毎に毎分1ℓの供給する通常のコンスタント・フロー・システムの $\frac{1}{4}$ となる。[Fig.13-12] EDSは、精密な圧力高度センサーの電子回路を有しており、32,000ftまで高度が上がるほど多くの酸素を供給するよう、各パルス毎の供給量を自動的に決定している。32,000ft以上では、EDSは100%パルス供給モードとなる。

EDSは、3種類のD (day若しくはdelayed)モードがあり、凡そ5,000ftから10,000ftを感知するまで酸素が不要な時は供給せずに節約する。また、N (nightまたはnow)モードもあり、これは夜間飛行に備えて海面上から酸素を供給する。両モードとも、高度による供給酸素量は同じである。EDSは、1分間の最大呼吸回数を20回としており、ストレス環境下での過呼吸を実質的に防止している。この装置には、確認の目盛や上昇、効果により操作するノブはない。新たな気圧高度に対応するための調節や“0”出しは不要で、EDSは貴方の体が生理的に対応するように直接気圧高度に対応して動作する。

f. Effective Performance Time (EPT) or Time of Useful Consciousness (TUC) is the amount of time in which a person is able to effectively or adequately perform flight duties with an insufficient supply of oxygen. EPT decreases with altitude, until eventually coinciding with the time it takes for blood to circulate from the lungs to the head usually at an altitude above 35,000 feet. Table 1-1 shows the TUC (shown as average TUC) at various altitudes. The rate of ascent directly affects TUC. Faster rates of ascent result in shorter TUC.

有効意識時間 v.s. 高度

TABLE 1-1. TIMES OF USEFUL CONSCIOUSNESS AT VARIOUS ALTITUDES		
Altitude (Feet)	Standard Ascent Rate	After Rapid Decompression
	標準上昇率時	急減圧時
	Time	Time
18,000	20 to 30 minutes	10 to 15 minutes
22,000	10 minutes	5 minutes
25,000	3 to 5 minutes	1.5 to 3.5 minutes
28,000	2.5 to 3 minutes	1.25 to 1.5 minutes
30,000	1 to 2 minutes	30 to 60 seconds
35,000	30 to 60 seconds	15 to 30 seconds
40,000	15 to 20 seconds	7 to 10 seconds
43,000	9 to 12 seconds	5 seconds
50,000	9 to 12 seconds	5 seconds