

iasa

JOURNAL OF THE INSTITUTE FOR ADVANCED SPACE ACTIVITIES

宇宙先端

宇宙先端活動研究会誌

MAY. 1988

VOL. 4—NO. **3**

IN THIS ISSUE,

CONCEPT OF SPACE ROBOT	R. IMAI	79
HUMAN ENGINEERING SERIES (3)	T. YAMAGUTI	87

宇宙先端

宇宙先端活動研究会誌

編集局

〒105 東京都港区浜松町2-4-1
世界貿易センタービル内郵便局私書箱165号

編集人

岩田 勉 TEL0298-51-2271 EX 341

編集局長

長谷川秀夫 TEL03-769-8230

編集顧問

久保園 晃	宇宙開発事業団理事
土屋 清	千葉大学映像隔測センター長
中山 勝矢	工業技術院中国工業技術試験所長
長友 信人	宇宙科学研究所教授
山中 龍夫	航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ総合研究官

監査役

伊藤 雄一 日本電気株式会社宇宙開発事業部技師長

宇宙先端活動研究会

世話人代表

園山重道

世話人

石澤禎弘	伊藤雄一	岩崎茂弘	岩田 勉	上原利数	宇田 宏
大仲末雄	川島鋭司	菊池 博	五代富文	笹原真文	佐藤雅彦
茂原正道	柴藤羊二	鈴木和弘	竹中幸彦	鳥居啓之	中井 豊
長嶋隆一	長谷川秀夫	樋口清司	福田 徹	馬島亜矢子	松原彰二
森 雅裕	森本 盛				

目 次

1. 宇宙ロボットの概念	79
2. 人間工学シリーズ(3)	87

(次回予告)

1. 南極大陸と月面基地の対応
2. ハイテクパンセ

宇宙インフラの走りともなる、'90年代後半の宇宙ステーションやプラットフォームは、軌道上におけるさまざまな実験の実施や材料製造、観測、大型構造物の組み立てといったような、宇宙環境、空間の多様な利用活動に供されることになる。このようなシステムを準恒久的に維持するためには、物資の移送、交換、回収や宇宙機の組立、点検、修理、リコンフィギュレーションと言った作業を宇宙ステーション近傍や、無人プラットフォーム上等で頻繁に行うことが必要とされるようになる。

これらの作業を行うためには、人間のように柔軟で器用な作業能力が不可欠と考えられるが、作業時間の制約、安全性、活動範囲の制限等により、有人活動で対応可能な軌道上作業の範囲は極めて限られたものとなってしまう。なにやらどこかで聞いたような話になってきたが、そのため宇宙空間において自由で多様な活動を展開するためには、人間に代わって時間や場所の制約に依らずに作業を行うことができる高機能な宇宙用ロボットの研究、開発が重要な鍵となってくるのである。

さて、話をなんとか現在の宇宙用ロボットにつなげて来た分けであるが、宇宙用ロボットの研究を本格的に開始するにあたり当初その概念を狭く定義しすぎることは、研究の応用範囲を限定し、今後の発展性を阻害することになりかねない。そこで本題に入って、宇宙用ロボットをなるべく広くとらえながら、その機能と作業範囲による世代分けと条件分けを行って概念を整理してみることにする。

持ってまわった言い方をすれば、一般に宇宙用ロボットとは、「高度に智能化された作業機械であり、柔軟で器用な動作機能を有し、宇宙環境下において複雑な作業を行うことが可能なシステム」と定義できる。つまり、宇宙用ロボットは対象物やその状態を認識し、目的に応じた作業行動を生成する「頭脳」と、宇宙環境下で作業場所へ移動し、対象物に対して作用する「器用な手と足」を持ったシステムと見ることができる。そこで宇宙用ロボットを、時間軸に沿ったシステムの自律化レベル（知能）により三つの世代に分類し、さらにその移動能力（作業場所や作業条件）に従って三種類に分けて整理した。その結果を図-1に示す。

	プログラム制御／遠隔 操作ロボット (第一世代)	遠隔操作／部分自律 ロボット (第二世代)	自律型ロボット (第三世代)
固定 ロボット	JEMRMS	宇宙工場内製造用 遠隔操作／部分自律 ロボット	月・惑星上産業 自律ロボット
トラス 移動 ロボット	(MSC : カガ)	トラス移動 遠隔操作／部分自律 ロボット	トラス移動 自律ロボット
空間移動 ロボット		空間移動 遠隔操作／部分自律 ロボット O S V	空間移動 自律ロボット
			月・惑星表面 移動自律ロボット

図-1 宇宙用ロボットの概念

第一世代のロボットは、現有のほとんどのロボットがそうであるように、あらかじめ定められた対象物の保持、運搬等をプログラム制御や至近距離からの遠隔操作により行うものである。第二世代のロボットは、テレプレゼンス型の遠隔操作機能に加えて、単純な作業であればタスク指令に基づき、オンボードで作業状況を認識・判断してクローズドループ制御も行う部分自律機能を持つ。そのため、地上からの操作も可能であり、また遠隔操作に伴う負担も軽減されることから、より広い作業領域で柔軟かつ多様な作業能力を有することになる。

第三世代のロボットは、自然言語等による指令に基づき作業行動計画を自己生成して実行する高度な自律機能を有するものと定義する。また、この世代では自律性と同時にある種の自己修復性も持っており、超遠隔地である惑星上や通信回線の不可視域での作業の実行が可能となる。一方、宇宙用ロボットの移動能力はその作業対象や作業範囲と密接に関係することから、システム概念に大きな影響を及ぼす。そこでこのことに着目し、宇宙用ロボットを移動能力によって固定型、トラス移動型（構造物の足場上を移動）、及び空間移動型（推進系を有するもの）の三つに分類することができる。次にこの中から、当面の研究対象となる第二世代の宇宙用ロボットの例をいくつか示してみよう。

(1) 固定ロボット

宇宙ステーション与圧モジュールや宇宙工場といった特定の宇宙機に据え付けられ、機器の操作、保守を行うメンテナンスロボット、あるいは原材料や補給物資の移送、交換、装填、管理、から試料の加工、評価等を行う実験・生産のオートメーション化用ロボットを指す。このようなロボットでは、作業対象、及び作業環境をある程度事前に設定することができ、比較的単純な動作を組み合わせた反復作業が多くなる。イメージ的には、FA (Factory Automation) ロボットに近いものとなり、ティーチングすることによって大部分の作業を自動的に行わせることができる。手順が確立されていない新規の実験、作業等については、遠隔操作かもしくは、出来上りの評価結果をフィードバックして手順の改善を行う学習機能を持たせることにより行うことになる。図-2に固定ロボットの例を示す。

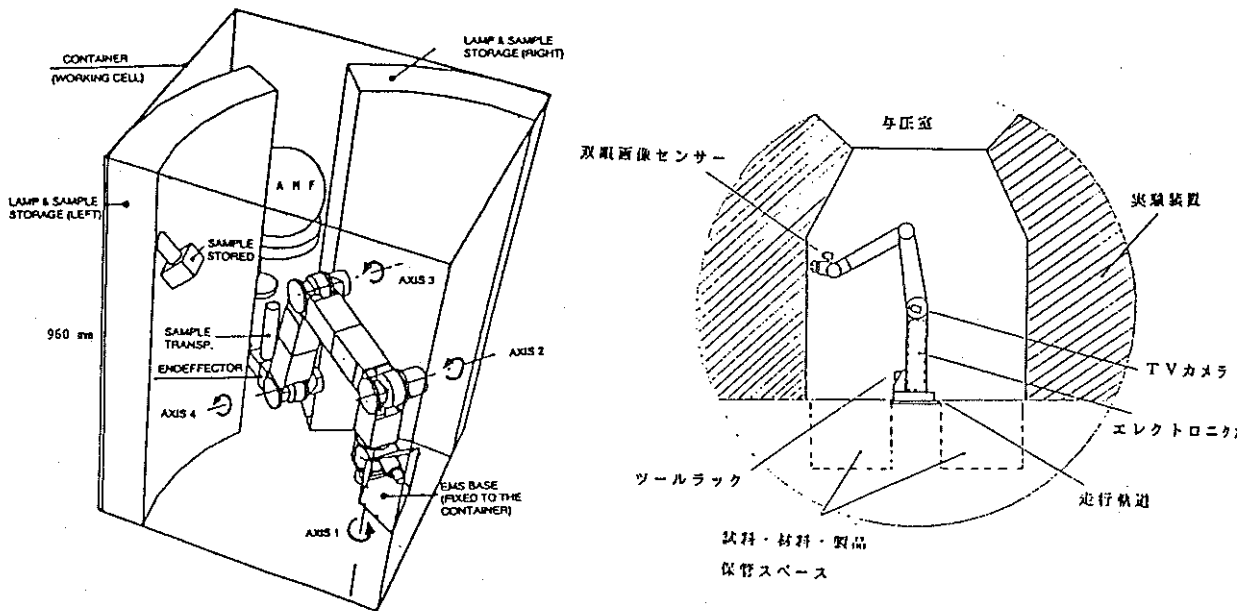


図-2. 固定ロボットのシステム例

(2) トラス移動ロボット

トラス移動とはある意味では象徴的な言い方であって、宇宙ステーションや無人のプラットフォーム等の構体上を移動でき、宇宙機の捕捉（バーシング）から機器の運搬や交換、宇宙機に対する組立、分解、点検・修理、燃料充填等のサービス作業を行うロボットを広く意味する。

このようなロボットでは、作業環境がある程度限定されるため、移動や作動位置・姿勢の設定に関しては基本的な命令を受けるだけで、ロボット本体が自動的に判断し、移動計画を生成して行動する。一方、ロボット本体は種々の対象物に対する作業が想定されるため、作業内容に応じた交換型のエンドイフェクタを複数個有し、それらを取り替えながら多様な作業に対応するようなシステム構成となる。作業はマスター・スレーブ方式の遠隔操作型マニピュレータにより行うことをベースとするが、オンボードでのローカルフィードバックによりコンプライアンス的な動作、及び複雑の場合には協調的な動作を行う。また、ルーチン的な作業は自動化される。システムのイメージとしては、JEMRMSやMSCの発展型のものが考えられる。その例（MSC）を図-3に示す。

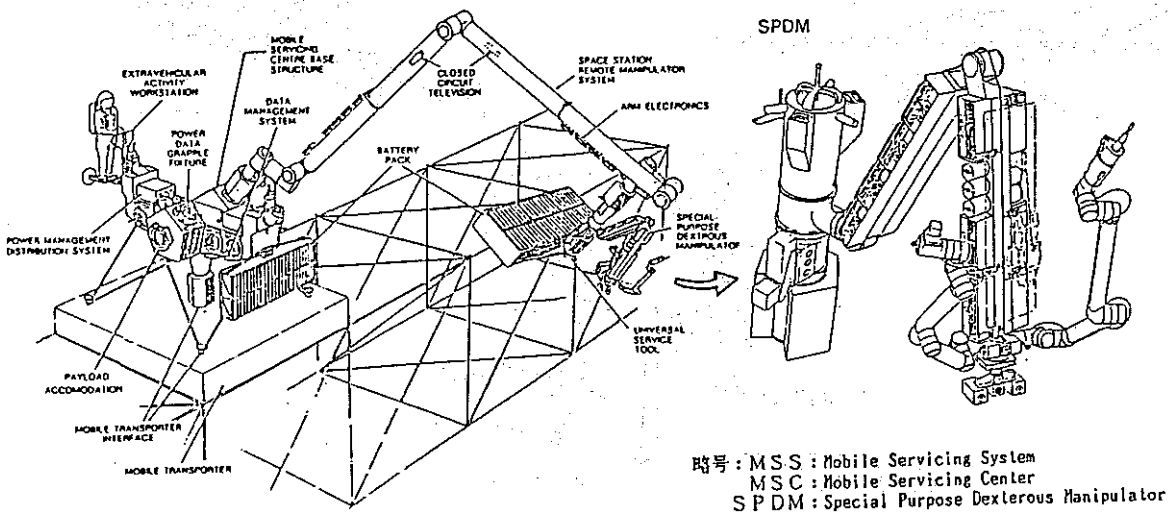


図-3. トラス移動ロボットのシステム例

(3) 空間移動ロボット

宇宙空間を飛行する機能を有し、プラットフォーム等の大型・柔軟構造物に対して、組立から補給等のメンテナンスまで総合的なサービスを提供したり、宇宙機間の物資の運搬や浮遊物体の捕獲等を行う多機能・多目的ロボット。イメージ的には、OMVの発展型と見なすことができ、高度な飛行、運動機能を有する宇宙機バスと多機能なロボットが合わさったシステム構成となる。マニピュレータアームの能力は、トラス移動ロボットとほぼ同等であるが、更に慣性空間において対象物との相対位置、姿勢を考慮した作業も行うことが可能である。また、広い作業範囲を実現するため、運用はデータ中継衛星を介した遠隔操作により行われるが、作業姿勢による回線途絶の影響を低減するため、かなりの自律化機能が必要とされる。図-4にシステム例を示す。

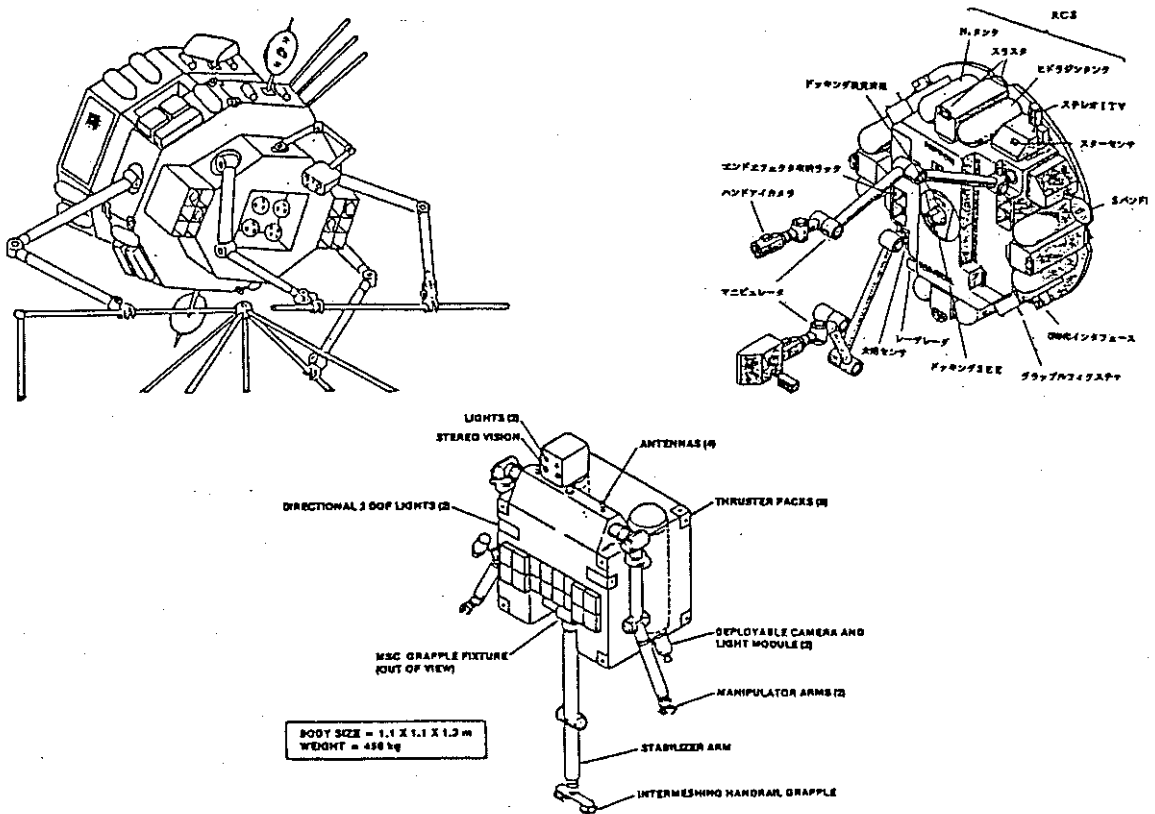


図-4. 空間移動ロボットのシステム例

このように現在考え得る宇宙用ロボットの概念は非常に広範多岐にわたる。この中からどの範囲のものを目標として選択するかは、研究開発を具体的に進めていく上で重要な問題となる。宇宙開発事業団の筑波宇宙センターでは当面、空間移動型ロボットを主なシステム概念として選択し、技術検討を行っている。我々は、第二世代の空間移動型ロボットをより具体的な概念として捉えるため、これを軌道上作業機（OSV: Orbital Servicing Vehicle）と呼んでいる。OSVを選んだ理由は、OSVが要素技術、作業内容、及び運用形態といった面で最も宇宙用ロボットらしいロボットであることによる。OSVは、まずひとつの完結したシステムとして、つまり一つの独立した宇宙機として存在する。そのためシステムとして、ロボット作業技術については固定、トラス移動ロボットの要素をかなり包含しており、また同時に宇宙用ロボットを成り立たせるために必要となる周辺要素技術（通信系、電源系、誘導・姿勢制御系、推進系といった宇宙機バス技術）も含んでいる。また、作業環境や対象物の種類も幅広く、多様な運用・応用形態が考えられる。更に、有人軌道上活動の実績を持たない我が国が、今後この分野で独自の特色を出し、技術的貢献を果たす上でもOSVは格好のシステムであると考えられる。従って、OSVは宇宙活動へのロボット技術の効果的な応用を考える上で最適のターゲットと見なすことができる。

最後に宇宙用ロボットの研究開発がもたらす、もう一つの効用について考えてみたい。宇宙用ロボットは、一種の技術力アップのイベントとし捕らえることができるのではないだろうか。一般にロボットという言葉の受けは良く、優秀なエンジニアが集まるものの、実際の業務の大半は産業用ロボットに関するもので、製造の合理化や効率向上のための地味な仕事が多く、それ自体重要な仕事ではあるものの何となく期待を裏切られた感があるらしい。一方、宇宙用ロボットは台数は必要としないものの、きわめて高度な未踏技術を多く必要とする一種のオリンピックみたいなものである。そこで、宇宙用ロボットの研究開発には一時的に、できるだけ多くの一般のロボット研究者や技術者に入ってもらう。そうすることによって、高度な知的目標を与え、もともと高いレベルにある我が国のロボット技術を有効に宇宙分野に導入すると同時に、得られた

技術成果と経験を今度は一般のロボット関連の開発に生かしてもらおうと言う、一石二鳥の効果が得られるのではなかろうか。また、宇宙関係の技術者にとってもこういった共同作業は、視野を広げる格好の機会ともなるのである。

かつて、アポロ計画の終了時に優秀なエンジニアを数多く引き付けたこの計画が無ければ、アメリカの他の産業技術はもっと発展していたであろうという批判が出たが、この計画が生み出したエネルギーからもたらされた数々のアイデアが後の技術社会の進展の基ともなっていることも事実であろう。技術の進展をもたらすアイデアは理屈からでは無く、知的エネルギーから出てくるのである。そういった意味で、宇宙用ロボットを知的目標としていかに捕らえて活用するかということに、もう一つの”知恵と概念”が必要とされるのであろう。

(注：著者は小学校の卒業文集で将来、宇宙船や月面基地とそこで活動するロボットの設計を行いたいと書いて、その通りの仕事をしているなかなか幸せな男であるが、それがたたって未だ独身でもある。)

有人宇宙システムの人間・機械系設計に考慮すべき人的特性

I. まえがき

聴覚は、視覚とともに人間にとって非常に重要な情報受容器である。受容できる情報量は視覚に比べると少ない。しかしながら、情報の伝達速度が速いこと、視線が他の方向に向いていたり、手足を動かしていても情報を受容できる等から、情報伝達手段として重要な役割を果たす。今回は聴覚について、人間工学的な観点から記述した。

II. 聴覚のしくみ

聴覚、すなわち耳は、大別して外耳、中耳及び内耳からなる。他の感覚器官に比べると、人間の耳は非常に精密な構造をしている (Fig. 1参照)。

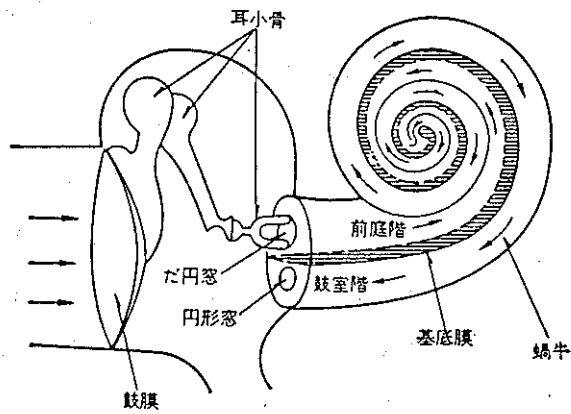
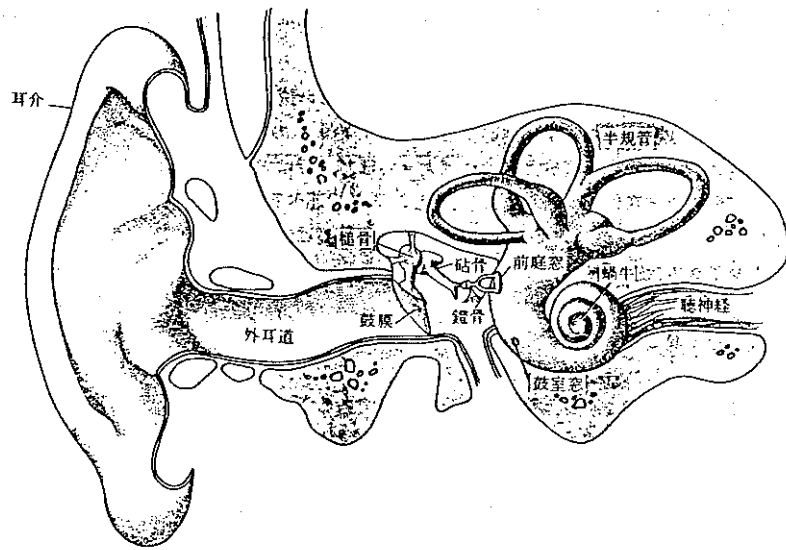
音が聞こえるのは、空気の振動、すなわち微小な周期的圧力変化が生じるからである。人間はこの圧力変化を音として知覚している。

外耳に到達した空気の圧力変化は、まず、外耳を通過して鼓膜を振動させる。次に、この振動が中耳の耳小骨を通過して、一種の膜である前庭窓を振動させる。そして、前庭窓の振動が渦巻状になっている蝸牛内のリンパ液を動かす。蝸牛内は、基底膜によって二つに分離されており、リンパ液の動きがこの基底膜を振動させる。この振動が基底膜に沿って生えている有毛細胞に伝わる。有毛細胞から神経インパルスが発せられ、それが脳に伝わり音として知覚される。

III. 音の特性

聴覚と人間工学について述べる前に、音について述べることにする。

音は空気の振動による圧力変化によって発生する。この空気振動そのものには意味がない。空気振動が聴覚器官を通り、機械的なしくみによってインパルスへと変換され、それが脳に伝達されて初めて音として聞こえる。



中耳及び内耳の構造 (模式図)

Fig.1 聴覚の構造

音の属性を大別すれば、次のように分類することができる。

物理的属性としては、1)音圧、2)周波数、3)波形の三つに分類することができる。

心理的属性に分類すれば、1)音の大きさ、2)音の高さ、3)音色の三つに分類することができる。

物理的属性と心理的属性は必ずしも対応しない。あえて対応づけるとすれば、次のようになる。

物理的属性		心理的属性
1)音圧	—————	音の大きさ
2)周波数	—————	音の高さ
3)波形	—————	音色

1. 音の大きさ

1.1 デシベル：dB

音の大きさは、通常、デシベルで表わされる。デシベルとは、二つの物理的エネルギーの大きさを比較するために尺度である。デシベル値は、二つの物理的エネルギーの比の対数を10倍した値で求められる。これらを式で表わすと、次のようになる。

いま、二つの音のエネルギーを、 W_1, W_0 、音圧を、 P_1, P_0 とする。音のエネルギーは音圧の自乗に比例することから、

$$\begin{aligned} \text{ndB} &= 10 \log_{10} (W_1 / W_0) \\ &= 10 \log_{10} (P_1^2 / P_0^2) \\ &= 20 \log_{10} (P_1 / P_0) \end{aligned}$$

となる。

例えば、60dBの音といえば、ある音は基準音よりも 10^6 倍大きいことを意味する。ここで注意すべきことは、デシベルは二つの音の強さを比較しているということである。音そのものの大きさを表わしているのではない。したがって、比較した音の大きさがわからなければ意味がない。一般に、音の大きさを表わすための基準音として、国際

標準値 0.0002 dyn/cm^2 が用いられている。この基準値を用いた場合の音圧レベルを、dB SPL (Sound Pressure Level) で表わす。

音の大きさを表わすデシベル尺度として、この他に、dB SL (Sensation Level) 及び dB A がある。dB SL は、人間が聞くことができるもっとも小さい音を基準としている。

音の大きさをどのように知覚するかは、音圧と周波数が相互に関連している。そこで Fig. 2 に示す等感度曲線を、音圧レベル測定器に内蔵し、実際の音圧をみかけ上の音圧に変換したものが dB A 尺度である。フォンについては次節で述べるが、dB A では 40フォンが補正に用いられている。1,000 Hz、50dB SPLの音は、人間は、それよりも 10dB SPL 低く聞こえる。したがって、測定された音圧レベルは、40dB A ということになる。dB SL 及び dB A は、物理的な大きさと人間が知覚する心理的な大きさが必ずしも対応しないことから、人間の感覚に合わせて補正された尺度といえる。

1.2 フォン：phon

音の大きさを表わす尺度として、フォンがある。

先に述べたデシベルは、音の刺激量を表わしている。同じデシベル値であっても、周波数が異なると、聞こえたり聞こえなかったりする。そこで、周波数ごとに同じ大きさに聞こえるレベルを求めた尺度がフォンである。

フォンは、1,000Hz の純音を基準として求められる。例えば、先に示した Fig. 2 を見ると、1,000Hz、60dB SPL と 50Hz、80dB SPL は、ほぼ同じ大きさに聞こえる。このことから、周波数が低いと、音圧レベルを大きくしなければ、周波数が高い音と同じ大きさに聞こえないことがわかる。

1.3 ソン：Sone

先に述べたフォンという尺度は、物理的尺度と心理的尺度が混在したようなものである。dB SPL に比べればより人間の感覚に近いといえる。それでも人間の感覚を十分に反映しているとはいえない。

例えば、30フォンは、60フォンの半分の大きさに聞こえるかというところではない。そこで、もっと人間の感覚に近い尺度として、ソン尺度が考え出された。

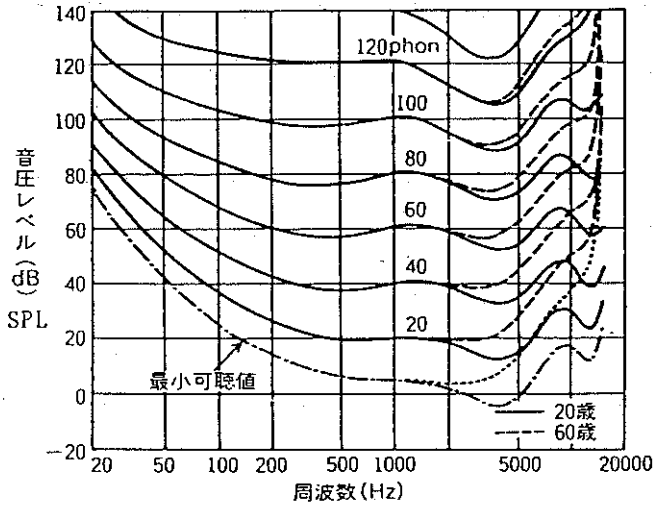


Fig. 2 音の大きさの等感曲線 (Robinson & Dadson, 1957)

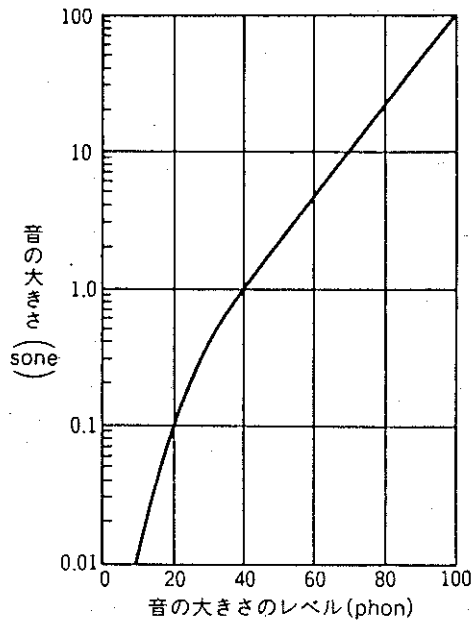


Fig. 3 音の大きさ：ソンとフォン (Beranek, et al. 1951)

ソン尺度を求める方法には、標準音と比較音を交互に提示して、比較音が標準音の2倍あるいは半分聞こえるように、被験者に音圧レベルを調整させる手続きがよく用いられる。

この尺度によれば、2倍の大きさの音は2倍として表わされ、半分の大きさの音は半分として表わされる。

Fig.3 にソンとフォンの関係を示した。この図を見ると、ソン尺度では、0.1ソンから1.0ソンへと音の大きさが100倍になっても、フォン尺度では、20フォンか40フォンへと、音の大きさは10倍にしかならない。このように、物理的な音の大きさと心理的な音の大きさはかなり異なる。

2. 音の高さと音色

2.1 周波数：Hz（ヘルツ）と波形

音の高さは周波数によって決まる。一般に、周波数が高いほど音は高く聞こえる。周波数を表わす尺度としてよく用いられるのが、Hz（ヘルツ）である。

音が生じると空気の圧力変化が起こり空気の波となる。全く混じりけの無い純音の波形を調べると、正弦波であることがわかる。しかしながら、日常生活で聞く音は、複雑で完全な正弦波の音はまれである。音の周波数を解析する場合、複雑な波形をそのまま取り扱うのは非常に難しい。Fourier(1768-1830)によれば、すべての波形はさまざまな正弦波が組合わさったものとして表わすことができる。このフーリエの定理にもとづけば、非常に複雑な波形を一つ一つの正弦波に分解して取り扱うことができる。この定理を応用した分析方法がフーリエ分析である。

複雑な波形をただ単に単純な正弦波に分解して分析しても、実際に人間の耳に聞こえる音と異なるのではないか、という疑問が起ってくる。実際、二つの異なる周波数の純音（例えば、400Hzと700Hz）を同時に聞かせても、人間はそれぞれの音を聞き分けることができる。これは、Ohm(1787-1954)（電気のオームの法則と同一人物）によって発見された事実であるが、これによれば、人間の耳は入力された音に対してある程度フーリエ分析をしている、ということが出来る。したがって、音の特性を表わすにあたり、フーリエ分析を用いてもそれほど人間の知覚と矛盾しないように思われる。

2.1 メル：mel

音の大きさの節で述べたように、物理的な音と実際に聞こえる心理的な音は異なる。このことは、音の高さについてもいえる。音の高さが2倍になれば2倍の高さに聞こえるかということそうではない。

Fig. 4 に音の周波数と実際に聞こえる音の高さとの関係を示した。この図において、音の高さは、melとして表わされている。mel尺度は、1,000Hz, 40dB(SPL)を基準音とに設定している。この高さを、1,000melとし、さまざまな音の高さを melで表わした。

図からわかるように、2,000melは、1,000melの2倍の音の高さに聞こえるが、1,000 Hzの音の2倍に聞こえるのは、2,000Hzではなく3,000Hzである。このように、物理的特性と心理的特性は必ずしも対応しない。

以上に述べたように、音の特性を表わす尺度はさまざまである。尺度によってその意味も異なる。設計者は、音の特性を考える場合、尺度の意味を十分理解して設計しなければならない。

IV. 人間が聞こえる音の限界

人間が聞くことのできる限界は、Fig. 5に示すように周波数や音圧によって異なる。したがって、それを理解した上で人間の可聴範囲を決定しなければならない。一般に、人間が聞くことができる周波数領域は、約20-20,000 Hzであるといわれる。音の大きさについては、図中の一番下の曲線が人間が聞くことができる最低レベルである。ただし、この音を聞くことができる人間は、非常に優れた聴覚の持ち主（全人口中の1%）である。一方、音の大きさには上限がないかということ、そうではない。あまりにも大きすぎると、音として聞こえるというよりは痛みを感じ、聞き取ることができない。したがって、そこには限界があり、120dB SPL といわれる。それ以上の音を聞いた場合、一時的あるいは恒久的な聴力損失を引き起こす。

V. 有人宇宙システムの騒音環境

宇宙船内でのコミュニケーション手段としては、視覚的なものと聴覚的なものに

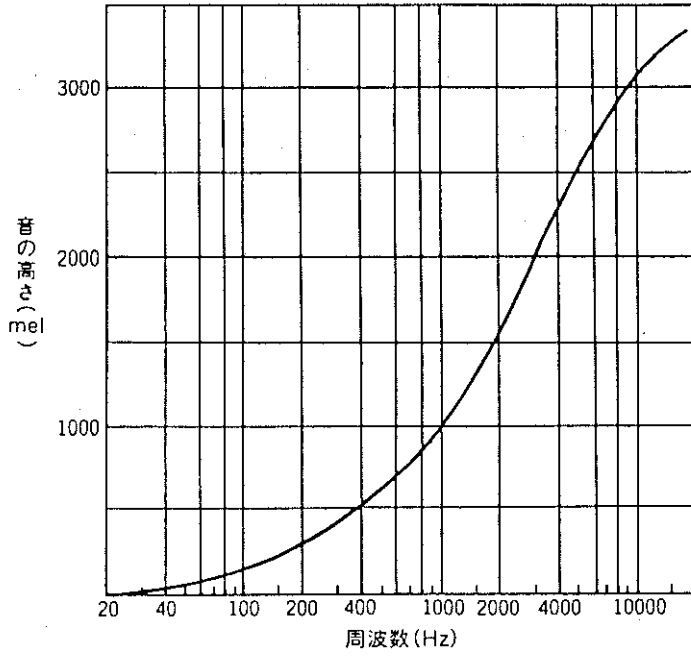


Fig. 4 音の周波数(Hz)と音の高さ(mel)(Stevens & Volkman, 1940)

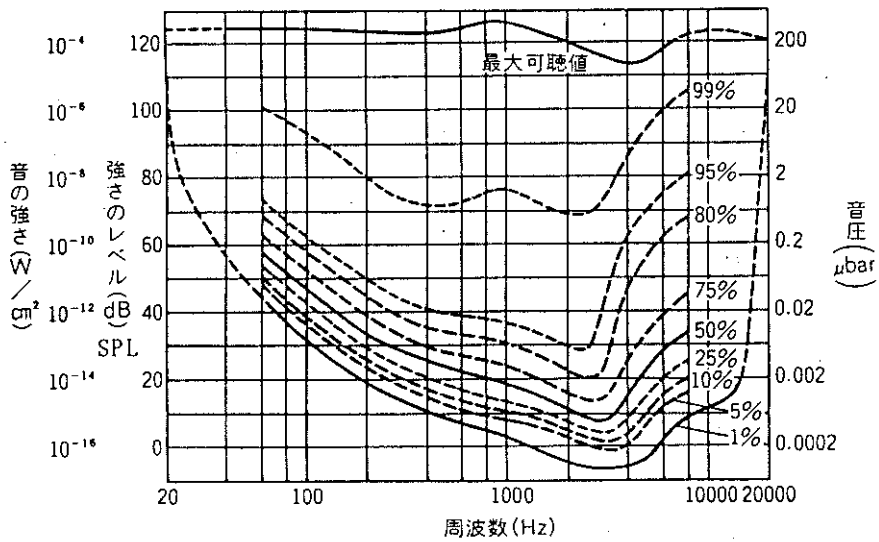


Fig. 5 人間の聴力的限界(Fletcher, 1940)

大別できる。聴覚的な手段は、視覚的な手段に比べて伝達できる情報量は少ない。しかしながら、情報の伝達速度が速いこと、視線が他の方向に向いていたり、手足を動かしていても情報を受容できること等から、搭乗員同士のコミュニケーション、地上との交信及び警報の発生等、この聴覚的な手段に負うところが大きい。

有人宇宙システムを設計する際、特に問題となるのは、宇宙船内の音響環境、とりわけ騒音である。

適切な音響環境を設計できなければ、搭乗員が異常事態を知らせる警報音を聞き逃したり、搭乗員同士の会話がうまくいかなかったりする等、ミッション遂行上さまざまな弊害が生じる。

1. 打上げ時の騒音

打ち上げ時の騒音源として考えられるのは、打上げ直後のロケットブースタによる騒音である。打上げ後20-30秒を過ぎると、速度の増加とともにロケットブースタによる騒音も減少する。しかしながら、今度はロケットの胴体外側の境界層に空気の乱れが発生して、空気力学的な騒音が増加する。この空気力学的な騒音は、動圧が最大になると最高潮に達し、その後急激に減少する。空気力学的な騒音は、打上げ後2分を過ぎるとそれほど問題でなくなる。

Fig.6 に、打上げ時におけるスペースシャトルの騒音状態を示した。

この図から、打上げ時において、宇宙船内の騒音は110dBを超えることがわかる。したがって、この状態では、搭乗員同士の音声によるコミュニケーションはかなり難しい。また、搭乗員の聴覚器管への影響を防ぐため、ヘルメットや耳栓等で保護する必要がある。

2. 軌道上での騒音

軌道上では、打上げ時のように、搭乗員が非常に大きな騒音にさらされることはめったにない。軌道上での騒音源として考えられるのは、

- (1) 環境制御システム (モータ、ファン、ポンプ等)
- (2) アピオニクス機器 (変圧器、発振器等)
- (3) 汚物処理システム (ポンプ、ファン、バルブ等)

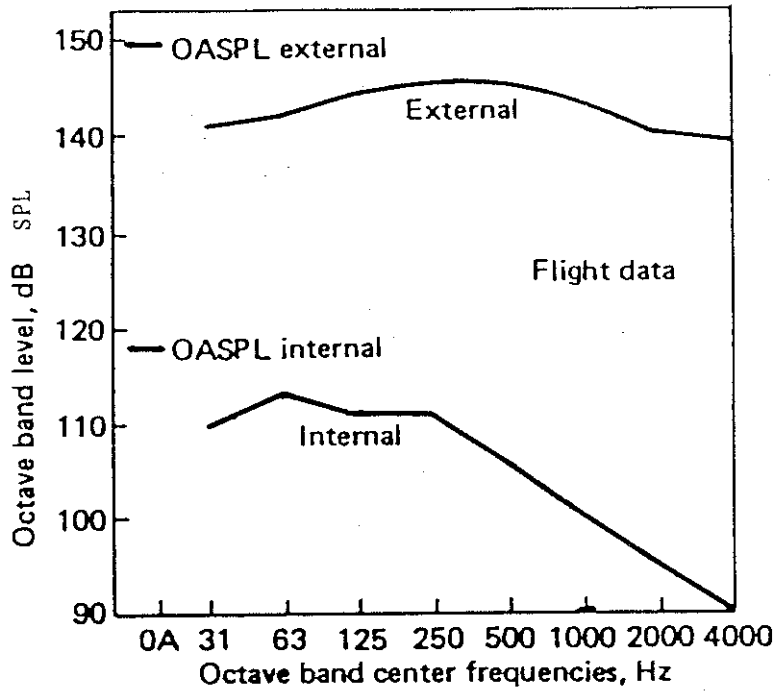


Fig. 6 *Space Shuttle Orbiter-Crew
Module Noise Survey Launch
Phase*

- (4)ギャレー（調理場）のファン等
 - (5)個人衛生システム（ポンプ、ファン、バルブ等）
 - (6)圧力調整器
 - (7)スラスターの点火
- 等である。

Fig.7にスペースシャトルにおける騒音状態を示した。

この図から、宇宙船内のファンが、かなりの騒音源になっていることがわかる。

3. 帰還時の騒音

帰還時の騒音源は、主に、宇宙船外側における空気の境界層の乱れによる空気力学的な騒音である。帰還時の騒音はレベルは、打上げ時の空気力学的な騒音とほぼ同じと考えてよい。

VII. 騒音が搭乗員に及ぼす影響

1. 騒音が身体に及ぼす影響

非常に大きな音にさらされると、一時的に聴力損失を起こす。ひどい場合には、鼓膜が破れる等、恒久的な聴力損失をもたらす。

騒音が身体に及ぼす要因には、音の物理特性（強さ、周波数、振幅）及び曝露条件（曝露時間、連続的か断続的か）が関連してくる。

長時間騒音にさらされると、血液中及び脳内の副腎皮質ホルモン濃度が増加し、また、副腎皮質の形にも影響を及ぼす。肝臓や腎臓にも影響がみられ、胃や腸の潰瘍等内臓疾患を引き起こすこともある。さらに、身体の電解質の不均衡（マグネシウム、カリウム、ナトリウム及びカリシウム）及び血糖値の変化を誘発するともいわれる。

血管の収縮性、血圧の変化及び甲状腺の活動にも影響を及ぼし、末梢血管の収縮性、それにとまなう血圧の変化は、70dB SPLの騒音レベルでも起ることが報告されている。騒音により不整脈が生じるとの報告があるように、心臓疾患を引き起こす場合もある。

騒音は、当然、聴覚器官にも直接的に影響を及ぼす。一時的な聴力損失をもたらしたり、ひどい場合には、鼓膜が破ける等、恒久的な聴力損失に至る。

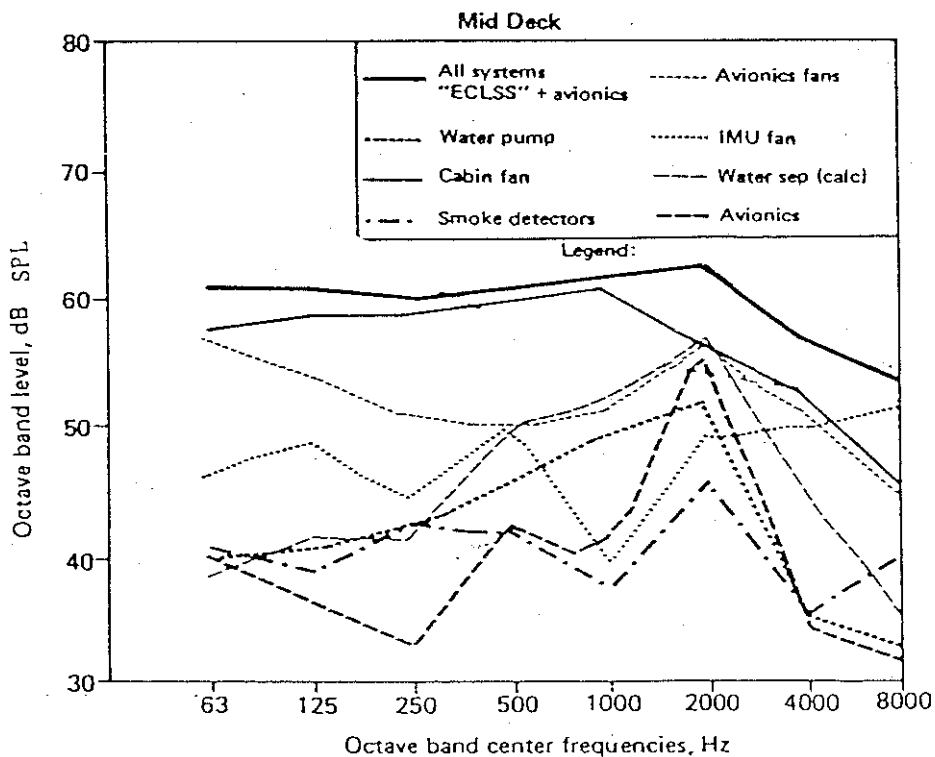
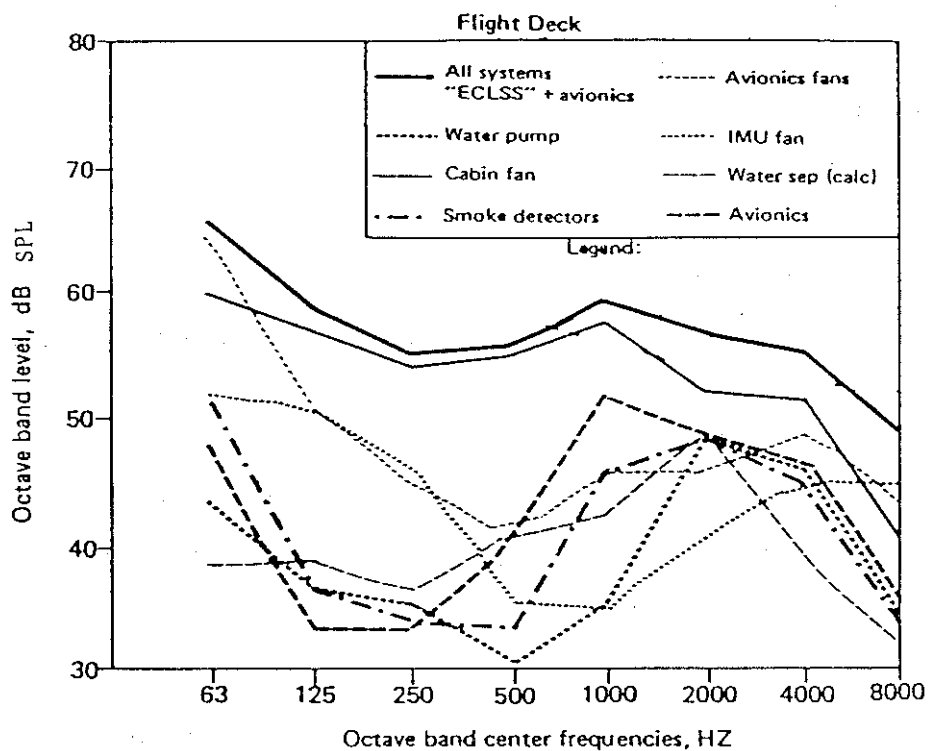


Fig. 7 Space Shuttle Orbiter On-Orbit Noise

大きな音から耳を保護するメカニズムとして次のような作用が働く。鼓膜の張力は鼓膜筋とあぶみ骨筋により調整され、大きな音に対し、これらの筋は反射的に収縮する特性を持っている。収縮すると、中耳に振動が伝わりにくくなり、大きな音による振動から耳を保護する。

Tab.1 に騒音とそれが人体に及ぼす影響をまとめた。

2. 騒音が心理に及ぼす影響

宇宙船内の騒音により、搭乗員が情動反応を引き起こすと、心理的ストレスの原因となる。情動とは、怒り、恐れ、喜び、悲しみといった、突然に起こる一過性の強い感情である。

騒音は物理的なものであるが、かなり心理的な側面も持っている。例えば、耳をつんざくようなロックのサウンドも好きな人にとっては楽しい音楽であるが、興味の無い人にとっては苦痛の何物でもない。

一般に、騒音レベルが大きくなるほどストレスになりやすい。打上げ時及び帰還時の宇宙船内の騒音は、110dB SPL を超え、かなりのストレスとなる。しかしながら、搭乗員がこのような大きな騒音にさらされる時間は、数分から数十分である。

騒音が心理面に及ぼす影響として、特に問題となるのは軌道上である。宇宙ステーションのような半恒久的な施設では、搭乗員の滞在は数カ月以上に及ぶ。たとえ低レベルの騒音であっても、長期間にわたり騒音にさらされれば心理的ストレスになる。

宇宙船内の騒音により、なかなか寝つけない、休憩しても気が休まらない、会話をする際に相手の言っていることを理解するのに努力を要する、といった状態が続けば、イライラが生じ、搭乗員の心理面に悪影響を及ぼす。その結果、ミスを起こしたり、さらには搭乗員同士の人間関係にも悪影響を及ぼす。

人間にとって、騒音として知覚されやすい音として、1)大きな音、2)周波数の高い音、3)断続的で不規則に発生する音、4)発生している場所がわからない音、5)自分に無関係な音、6)突然に発生する音等をあげることができる。

騒音をストレスとして自覚したときは、もうかなり心身ともに影響を受けている、と考えてよい。

Tab. 1 *Physiological Effects of Noise*

Reported disturbances	Condition of exposure		
	SPL (dB) re: 20 μ Pa	Spectrum	Duration
Reduced visual acuity; chest wall vibrations; gag sensations; respiratory rhythm changes.	150	1-100 Hz	2 min
Reflex response of tensing, grimacing, covering the ears, and urge to avoid or escape	100		Sudden onset
Pain in the ears	135	20-2,000 Hz	2 sec
Pain in the ears	160	3 Hz	
Discomfort in the ear	120	300-9,600 Hz	
Hearing TTS of 10 dB	94	4000 Hz	15 min
Hearing TTS of 10 dB	100	4000 Hz	7 min
Hearing TTS of 10 dB	106	4000 Hz	4 min
Tympanic membrane rupture	155	2,000 Hz	Cont. blast
Tympanic membrane rupture	175	low freq.	
Mechanical vibrations of body felt; disturbing sensations	120-150	OASPL	
Vertigo and, occasionally, disorientation, nausea and vomiting	120-150	1.6 To 4.4 Hz	Cont.
Irritability and fatigue	120	OASPL	
TTS occurs	65	Broadband	60 days
Human lethality	167	2000 Hz	5 min
Human lethality	161	2000 Hz	45 min
TTS occurs	75	8 to 16 kHz	
TTS occurs	110	20 to 31.5 kHz	

TTS — Temporary Threshold Shift
 SPL — Sound Pressure Level re: 20 μ Pa

3. 騒音が作業に及ぼす影響

騒音により音声コミュニケーションが阻害されると搭乗員の作業効率は低下する。

音声コミュニケーションが阻害されると、搭乗員の会話がスムーズにいかなくなる。相手の言っていることを理解するのにより多くの注意を必要となる。その結果、コミュニケーションに多くの時間を要するようになり、また、聞き違いによる人的エラーも増大する。

騒音が、搭乗員の作業に及ぼす一例をFig.8示す。この実験は、騒音環境において、被験者に不規則に運動する対象を追従させるという、いわゆるトラッキングタスクを課し、その際の作業を調べたものである。騒音条件として、70dB A, 80dBA 及び90dB Aを設定した。単純に考えれば、騒音が大きくなればそれだけ作業が低下する。しかしながら、最も作業が良かったのは、80dB Aの条件であった。このことは、ある程度の騒音は、人間の意識水準、すなわち覚醒レベルを高め作業を向上させるのに役立つことを示唆している。あまりにも周囲が静かすぎるとかえって覚醒レベルが下がり、良好な作業が得られない。

宇宙船内の音響環境は静かであればよい、といった単純なものではない。

Tab.2 及びTab.3 に騒音環境条件が搭乗員の作業に及ぼす影響を示した。

VI. マスキング

ここでいうマスキングとは、ある音が他の音の干渉により聞こえなくなることを意味している。地下鉄の電車に乗ったときなど、あまりにも周囲の音がうるさすぎて会話ができないことがよくある。この場合、電車の音によって会話がマスキングされたという。

Fig.9 にマスキング曲線を示した。この図は、マスクする音とマスクされる音を同時に提示した場合、マスクされる音が聞こえるためにはどれぐらいの音圧レベルが必要であるかを示している。

例えば、マスク音として、1,200Hz, 90dBの音と4,000Hzの音を同時に提示した場合、4,000Hzの音は、40dB以上でないと聞くことができない。

マスキングについてその特性をまとめると、次のようになる。

(1) 低周波数の音で高周波数の音をマスクする方が、その逆の場合よりも効果が大きい。

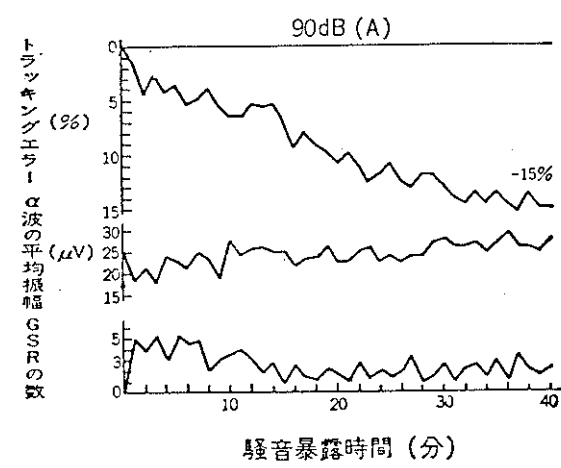
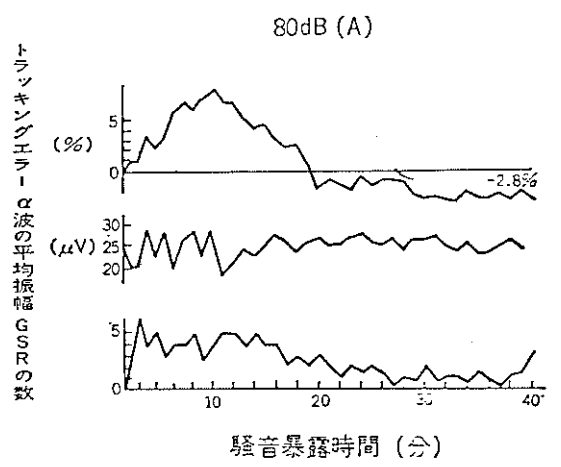
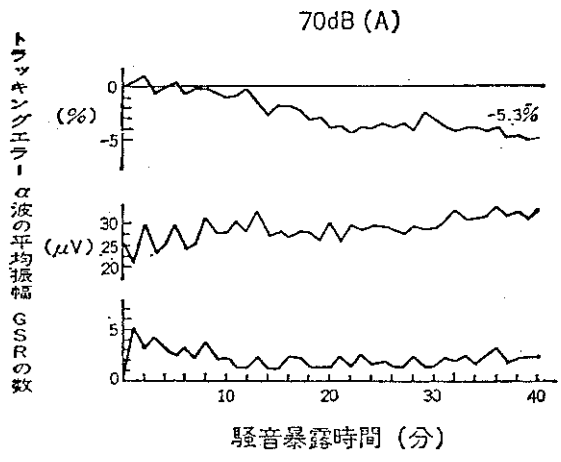


Fig. 8 騒音レベルの増大と精神作業への影響 (長沢他、1968)

Tab. 2 Performance Effects of Noise on Humans

Performance effects	Conditions of exposure		
	SPL (dB) re: 20 μPa	Spectrum	Duration
Reduced ability to balance on a thin rail	120	Broadband	
Chronic fatigue	110	Machinery noise	8 hr
Reduced visual acuity, stereoscopic acuity, near-point accomodation	105	Aircraft engine noise	
Vigilance decrement; altered thought processes; interference with mental work	90	Broadband	Continuous
Fatigue, nausea, headache	85	1/3-OCTAVE @ 16 kHz	Continuous
Degraded astronauts' performance	75	Background noise in spacecraft	10-30 days
Performance degradation of multiple-choice, serial-reaction tasks	90	Broadband	
Overloading of hearing due to loud speech	100	Speech	
Affects person-to-person voice communication	See Tab. 3		
Hearing TTS at 2 minutes	70	4000 Hz	
Hearing TTS at 2 minutes after exposure	155		8 hr 100 impulses

TTS at 2 minutes (**TTS₂ **)

TTS — Temporary Threshold Shift

SPL — Sound Pressure Level re: 20 μPa

Tab. 3 *Speech Interference Level (Noise) Criteria for Voice Communications*

Speech interference level (dB)	Person-to-person communication
30 - 40	Communication in normal voice satisfactory
40 - 50	Communication satisfactory in normal voice 3 to 6 ft; and raised voice 6 to 12 ft; telephone use satisfactory to slightly difficult.
50 - 60	Communication satisfactory in normal voice 1 to 2 ft; raised voice 3 to 6 ft; telephone use slightly difficult.
60 - 70	Communication with raised voice satisfactory 1 to 2 ft; slightly difficult 3 to 6 ft. Telephone use difficult. Ear plugs and/or ear muffs can be worn with no adverse effects on communications.
70 - 80	Communication slightly difficult with raised voice 1 to 2 ft; slightly difficult with shouting 3 to 6 ft. Telephone use very difficult. Ear plugs and/or ear muffs can be worn with no adverse effects on communications.
80 - 85	Communication slightly difficult with shouting 1 to 2 ft. Telephone use unsatisfactory. Ear plugs and/or ear muffs can be worn with no adverse effects on communications.
Overall speech level (dB) minus SIL (dB) *	Communications via earphones or loudspeaker.
+ 10 dB or greater	Communication satisfactory over range of **SIL**. 30 to maximum SIL permitted by exposure time.
+ 5 dB	Communication slightly difficult. About 90 percent of sentences are correctly heard over range of SIL 30 to maximum SIL permitted by exposure time.
0 dB to -10 dB	Special vocabularies (i.e., radio-telephone voice procedures) required. Communication difficult to completely unsatisfactory over range of SIL 30 to maximum SIL permitted by exposure time.
<p>* The overall long-time RMS sound pressure level of speech and the SIL for the noise must be measured at or estimated for a position in the ear canal of the listener. The long-time RMS value of speech can be approximated by subtracting 4 dB from the peak VU meter readings on monosyllabic words.</p> <p>** Ear plugs and/or muffs worn in noise having SIL's above 60 dB will not adversely affect communication and will extend maximum permissible SIL in accordance with protection provided.</p>	

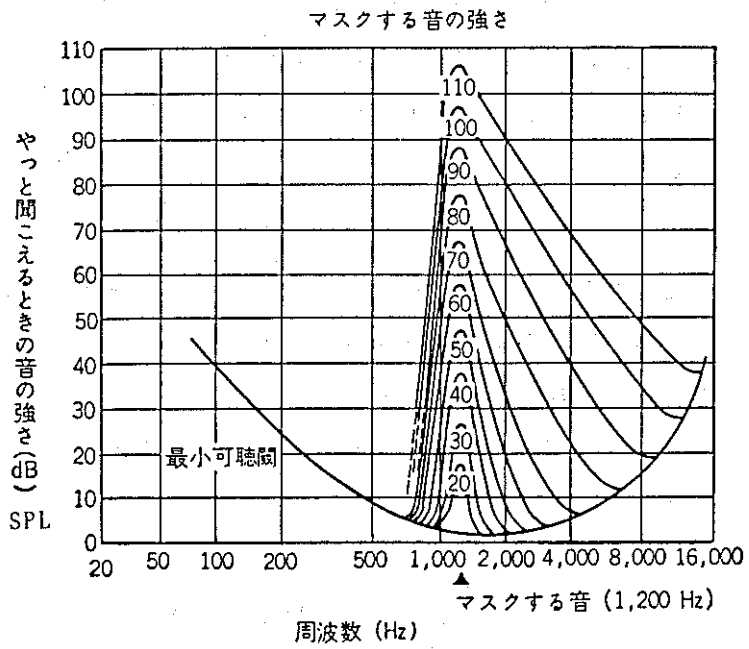


Fig.9 マスキング曲線 (Zwicken & Scharf, 1965)

- (2)二つの周波数が近いほど、マス킹効果が大きい。
- (3)マスク音の音圧が大きければ、それだけマス킹効果が大きい。
- (4)マスク音とマスクされる音を両耳に同時に提示した場合と、左右別々の耳に提示した場合とでは、両耳に二つの音を同時に提示した条件の方が、マス킹効果が大きいことがわかる。

マス킹現象は、音声のコミュニケーションの妨げとなるので、できるかぎり避けなければならない。しかしながら、逆に、このマス킹現象を利用する場合もある。例えば、音は小さいが絶えず不快な騒音が発生する場合、音楽等でこの不快な音をマスクしてしまうのも有効な手段といえる。

時と場合によっては、積極的にマス킹現象を活用すべきである。

VII. あとがき

前回と今回の2回にわたり、人間の視覚と聴覚について、人間工学的な観点から記述した。次回は、受容した視覚及び聴覚情報を、人間がどのように処理し解釈や意味づけを行っているかについて述べることにする。

宇宙開発事業団 宇宙ステーショングループ 山口孝夫

参 考 文 献

- 1) MAN-SYSTEM INTEGRATION STANDARDS. NASA-STD-3000 VOLUME I. 1987.
- 2) 人間工学：林喜男 編、日本規格協会、1981.
- 3) 飛行とところ：航空心理学入門、黒田勲 監修、鳳文書林、1978.
- 4) 人間・機械系システムの設計：林喜男 大川雅司、井口雅一 編、人間と技術社、1971.
- 5) 情報処理心理学入門 I - 感覚と知覚 -：中溝幸夫、箱田裕司、近藤倫明 共約、サイエンス社、1983.
- 6) 飛行とからだ - 航空医学入門 -：池上晴夫 編、鳳文書林、1973.
- 7) 生理心理学：岩原信九郎、星和書店、1981.
- 8) 実験心理学：大山正 編、東京大学出版会、1984.

- 9) スピードと運転の科学—マン・マシン・システムの心理学—：井坂清、啓学出版、1981.
- 10) 心理学の理解：木村禎司、宇留野藤雄、岡村浩志、清水敦彦、福村出版、1969

***** I A S A ニュース*****

宇宙先端活動研究会年次総会及び第3回宇宙先端講演会のお知らせ

昭和63年7月11日(月) 6時より東京都港区芝大門の中退金ビル8Fにおいて、標記年次総会及び講演会を行いますので、御出席下さい
議事次第として

6時～6時30分 年次総会／活動・会計報告

6時30分～8時 記念講演会

8時～9時 懇親会

を予定しており、記念講演は

アリアンスペース社東京事務所在日代表のJean - Louis Claudon 氏に『宇宙開発における商業活動とその展望』というテーマでお願いしてあります。なお、氏は日本語が非常に堪能ですので日本語で講演をお願いしました

入会案内

本会に入会を希望する方は、申し込み葉書にご記入の上送付し、年会費をお振込下さい。

年会費：3000円(1988年6月～1989年5月)

会誌 無料(1988年7月号～1989年5月号)

なお、会費は主に会誌発行にあてる。

振込先： 振込口座(郵便) No. 2-21144

宇宙先端活動研究会 宛

会誌編集方針

- 1 『宇宙先端』は宇宙先端活動研究会の会誌で、年6回発行される。
- 2 論文の内容は、全て著者の責任とする。
- 3 投稿資格：原則として本会会員に限る。
- 4 原稿送付：投稿する会員は、A4版横書き（38×29）で、そのまま版下となるような原稿およびコピー1部を、東京都港区浜松町2丁目4番1号、世界貿易センタービル内郵便局私書箱第165号、宇宙先端活動研究会世話人兼編集人 岩田勉宛送付する。原稿は返却しない。
- 5 論文は未発表の原著論文に限る。ただし、他に発表したものの要約、解説等は歓迎する。掲載論文に対する質疑、意見、提案等、誌上討論は大いに歓迎する。
- 6 A4で20ページを超えるものは掲載しないことがある。宣伝、中傷、その他本会の趣旨から極端に外れる投稿は掲載できない。編集人は会誌の整合のため、著者に改稿を求めることがある。

*** 編集後記 ***

最近『宇宙先端』の発行が遅れ気味で会員諸兄に大変ご迷惑をかけていることを先ずお詫びします。言い訳めきますが、編集局に人手が無いのと、2カ月に一度の発行にたいして、会員数の割には投稿が少ないためです。どしどし投稿して頂きたい。宜しくお願いいたします。

米国の議会での最近の宇宙に関する予算審議を見る限りの話ではあるが、残念ながら、宇宙に関する状況はかつて米ソで月を目指して華々しく覇を競っていた時期に比べて政治にとって（つまり庶民にとって）魅力がなくなっているように思える。我々宇宙に関係するものはこの限りない可能性を秘めた対象に対してロマンをもち続けているが、昨今の技術の進歩がもたらした宇宙技術の実生活への貢献がかえって庶民感覚として、宇宙を夢とロマンの対象からもっと現実的な選択の問題に変えてしまったのかも知れない。科学技術の目的はあくまでも人類の福利の向上であるが、そういう現実を見据えつつも、限りなく人々を引きつける魅力を保持し続けたいものである。（長）

宇宙先端	第4巻 第3号	頒価 1000円
昭和63年5月15日発行		編集人 岩田勉
発行 宇宙先端活動研究会		
東京都港区浜松町	世界貿易センタービル内郵便局私書箱165号	

無断複写、転載を禁ずる。