JOURNAL of the
JAPAN CHAPTER of the
AMERICAN HELICOPTER SOCIETY

ヘリコプタ技術協会
会　報

1999年6月
第9号

NUMBER 9
JUNE 1999

ＡＨＳ日本支部認定書

CHARTER

OF THE

American Helicopter Society

The Board of Directors
of the
American Helicopter Society
hereby acknowledges the establishment of the

JAPAN CHAPTER

To meet the goals and objectives of the by-laws;
for the purpose of advancing the practice and
application of the science of helicopters and
other aircraft developed in the area of Vertical
Take-Off and Landing (VTOL) devices.

Signed this fifteenth day of December
nineteen hundred and eighty-nine

Stanley Morehouse
president

―― 目　次 ――

巻頭言（西川渉）……1
1998年度活動報告 ……2

サイズと運動メカニズム（河内啓二） ……3
航技研における回転翼機研究と可視化技術（齊藤茂） ……13
ヘリコプタ工学教育活性化運動について（義若基） ……20
パイロットに及ぼす視界環境の影響について（横倉修一） ……24
回転数差動方式同軸二重反転ヘリコプターの開発（荒木勝彦） ……31
ヘリコプターの役割について（田村祐茂） ……36
ヘリコプターによる患者搬送の実際（滝口雅博）……40
ヘリコプターＩＦＲの実用化（長尾牧）……48

シコルスキー社の先進技術（ジェームズ・ワン） ……56
ロシアにおけるヘリコプタ防災活動
（ミハエル・ロズデストベンスキー） ……62

仕様書とことわざ（宮田豊昭）……73

ティルトローター機の設計 ……77
ファイヤホーク実用段階へ ……82
21世紀へ向かうヘリコプター技術 ……85
垂直飛行専用のインフラが必要 ……88

ＡＨＳフォーラム５５で日本に三つの栄誉 ……89
ＸＯＨ-１技術チームへハワード・ヒューズ賞 ……90
1998年度ヘリコプタ研究一覧 ……91
ヘリコプタ技術協会規約 ……95
賛助会員名簿 ……99
役員名簿 ……101
会員募集 ……102

巻　頭　言

ヘリコプタ技術協会
会　長
西　川　　渉

1998年12月、年の瀬も押し詰まった26日からオーストラリアのシドニー～ホバート間でヨットレースがおこなわれた。スタート時の天候は晴、風は7m前後という絶好のコンディションである。ところが115隻の参加ヨットが、悪名高いバス海峡を西方に見る海域にさしかかる頃、にわかに気圧が下がり、不意に毎秒40mもの強風が吹きはじめた。海面は高さ30mの荒れ狂う波に変わり、レースもまた悲劇に変わった。

間もなく多数の救助信号が海難救助本部に入ってきた。それを受けて海軍航空基地からシーホークとシーキングが2機ずつ出動した。同時に豪州南東部の沿岸に拠点を置く民間ヘリコプタにも協力要請が出された。

シーホークの飛んだ海域では、ライフラフトの上で2人のヨット・クルーが手を振っていた。すでに辺りは暗くなり、雲高は150mしかなく、水平線も見えない。高度20mでホバリングをしたシーホークはホイストを降ろしたが、救助隊員が10mほど下がったところで、闇の中から襲ってきた波に叩かれ、危うくヘリコプタもろとも海中に引きずり込まれるところだった。そこで救助隊員は命綱をライフラフトに投げ、引っぱって貰うことにした。機長はヘリコプタの能力ぎりぎりのところで操縦桿を握りしめ、激しい風の中で海面すれすれのホバリングを続け、危険の余りホイストをカットしなければならないと感じた瞬間もあった。そんな中で、ようやく救助隊員がライフラフトに降り立ち、遭難者2人をを助け出したが、ほかにラフトの中では2人が死亡していた。

同じような危険な救助作業が、広大な海域の至るところでおこなわれた。救助に当たったヘリコプタは9機。海軍の大型ヘリコプタ4機に加えて、普段は救急救助に使われている民間のベル412が3機、BK117とドーファンが1機ずつ。また海軍のP3Cオライオンも長航続性能を生かして捜索を続け、オーストラリア放送局のAS355やアグスタA109も海域を飛びつづけた。これらの捜索機は遭難者を発見すると、その位置を本部に通報した。これで救難ヘリコプタは救助活動だけに専念することができた。

3日間の遭難救助の結果は、ほぼ半数のヨットが破損したり沈没したりして、死者6人、けが人多数となり、ヘリコプタに救助されたヨットマンは55人に及んだ。この大規模な救助活動に参加したヘリコプタ関係者は、去る5月下旬、モントリオールで開かれたAHS年次大会で表彰された。表彰式に列席した千人以上の人びとは、9人の受賞者代表が壇上に上がると、全員が立ち上がって歓声と拍手を送り、受賞の言葉に聞き入った。その瞬間、静まりかえった会場は大きな感動に包まれた。

表彰の理由は、もとよりヘリコプタ乗員の勇敢で命がけの人命救助ではあるが、もうひとつヘリコプタの持つ奇蹟の能力を充分に生かして、その存在理由を一般の人びとに知らしめたことである。私は、当ヘリコプタ技術協会も日本で自己犠牲を恐れぬ人命救助に功績のあったヘリコプタ乗員の表彰制度をつくるよう、ここに提案いたしたい。

1998 年度活動報告

ヘリコプター技術協会は 1998 年度、賛助会員各位のご支援により、会員各位が参加して次のような活動をしてきました。ここにご報告いたしますと共に、今後いっそうのご協力をお願いいたします。

1　総　会

1998 年 7 月 6 日、ソニー㈱第 2 ビルで約 70 人が出席、前年度の会計報告、役員の改選、規約の一部改正、その他の議案を可決した。引き続き講演会を開催、河内啓二氏、斉藤茂氏、義若基氏の講演がおこなわれた。講演内容は本会報掲載の通りである。講演会終了後、ソニー「メディア・ワールド」を見学、最新のマルチメディアの現状を体験した。

2　理事会・幹事会

98 年 7 月 6 日、10 月 2 日、99 年 2 月 19 日の 3 回開催し、所要の事項について検討、決議をした。

3　定例研究会

第 16 回定例研究会は 98 年 10 月 2 日、富士重工業㈱宇都宮製作所で開催、約 50 人が出席した。横倉修一氏と荒木勝彦氏が本会報に掲載する内容の研究発表をおこなった。さらに富士重工業宇都宮製作所副所長和仁喜三郎氏により、同製作所の近況について講演がおこなわれたのち、ヘリコプタ製造工場などの施設を見学した。

第 17 回定例研究会は 1999 年 2 月 19 日、東京ヘリポートの朝日航洋㈱オペレーション・センターで開催、約 110 人が出席した。田村祐茂氏、滝口雅博氏、長尾牧氏の講演と研究発表がおこなわれた。それぞれの内容は本会報掲載の通りである。その後、賛助会員各社の協力により最新のヘリコプターを展示、多数の実機を直接見学した。

（4）特別講演会

特別講演会は、2 回実施した。98 年 12 月 23 日はシコルスキー・エアクラフト社のジェームズ・ワン博士による「シコルスキー社の先進技術」と題する講演で、約 50 人が出席した。また 99 年 4 月 16 日は日本火災学会が主催し、当協会が協賛する形でミル・ヘリコプター製作所のミハエル・ロズデストベンスキー博士の「ロシアにおけるヘリコプタ防災活動」に関する講演がおこなわれた。会場は 2 回とも日本大学駿河台校舎の会議室をお借りした。両講演の要旨は、本会報掲載の通りである。

（5）リフォーム委員会

当協会活性化のために設置された委員会で、98 年 12 月 4 日と 99 年 1 月 5 日の 2 回開催された。改善すべき課題について、引き続き討議と検討を進めている。

サイズと運動メカニズム

東京大学先端科学技術研究センター
河内　啓二

１．はじめに

近年、微小サイズの機械が注目を集めている。半導体技術を応用して、マイクロメータサイズの加工がようやく現実的になってきたためと、遺伝子工学を応用して望みの微小メカニズムを細胞レベルから作ることが可能になりつつあるためである。しかし、物体の大きさが変わると多くの物理量が変化する。人間の大きさはメートルサイズであるため、我々の感覚も思考方法も知らず知らずのうちにメートルサイズの「常識」に立脚していることが多い。私達は自然界の微小生物の運動を観察することで、何がサイズにより変わるべきで、何が変わらないべきかを考えている。生物のシステムは長い自然淘汰の歴史を経て、その優越性・信頼性が確認されているところが魅力である。

２．航空機の翼と昆虫の翼

優れた航空機の翼型はよく知られているように、前縁が丸く後縁がとがり、翼弦長の１０～１５％程度の最大厚みを持った流線型をしている。このような翼型では揚抗比が１００倍にも達するために、図１[1]に示すように歴史上の優れた翼型は全てこの特徴を備えている。丸い前縁では流体が回り込めるが、とがった後縁では回り込めないため、迎え角をとると上面の速度が下面より早くなり、ベルヌーイの式から容易に計算できるように上面の圧力が下面より小さくなり、流れに直角方向の流体力、すなわち揚力が抗力よりはるかに大きくなるというのが、大きな揚抗比を説明するメカニズムである。この説明はとてもよくできていて、実際の翼回りの流れの観察ともよく一致している。・・・がしかし、翼のサイズが変わると、この常識はたちまち壁につきあたる。

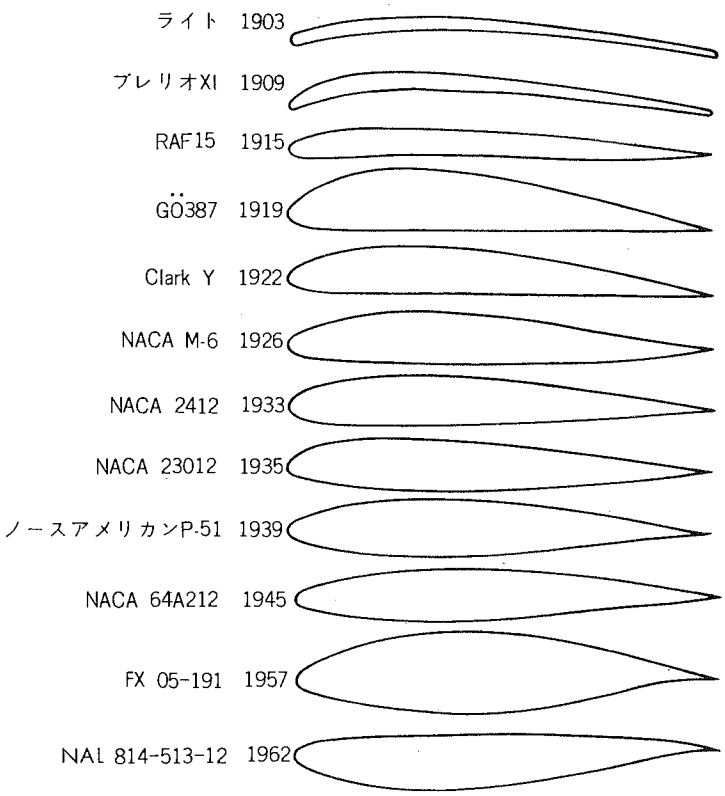


図１[1]　翼型の変遷

昆虫の翅は極めて薄い。図２にトンボの翅の平面形と断面形を示すが、薄い透明な膜の厚さ

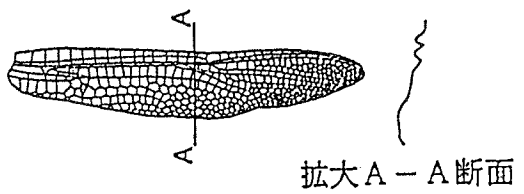


図２　トンボの翅

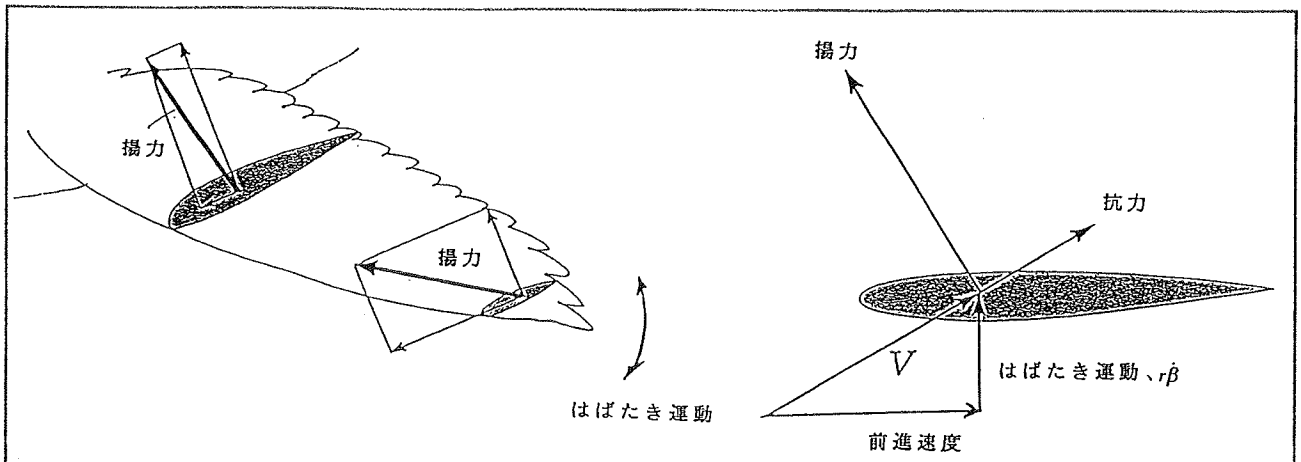


図３　はばたき飛行

は２μｍ，黒色の支脈はクチクラのパイプ状の構造をしていて、細いところで直径１０μｍ，太いところで１００μｍ程度である。もちろん1/4翼弦長線に沿って最も太い支脈が翼幅方向に走っている。翼幅は１０ｃｍ、翼弦長は１ｃｍ程度であるので、このように翅の組織としては約５０倍の凸凹の表面をしているにもかかわらず、最大厚みでも１％であり、断面図はほぼ一筆書きとなってしまう。しかし図２の断面図に示すように、翼弦長に比べて無視しえない１ｍｍ程度の折れ曲がりがついている。

このような薄い翼のどこが優れているのだろうか。もちろん、生物にとっても揚抗比は極めて大事である。図３に示すように、打ち下ろし中の翼断面に対する対気速度は、胴体の前進速度に加えてはばたき運動の打ち下ろし速度$r\dot{\beta}$が加わって、翼断面に対して斜め下方から吹き上げてくる。その結果、対気速度に直角方向の流体力である揚力が前方に倒れるので、その水平成分を抗力に打ち勝つ推進力として利用することができる。従って、揚抗比が悪化すると揚力をより大きく前方に傾ける必要が生じ、打ち下ろし速度を増加させ筋肉のより大きなパワーが必要となる。つまり、効率良く推進力を発生させるためには、生物にとっても揚抗比は極めて大事なのである。なお、このような翼断面による流体力発生のメカニズムを考えると、図３に示すように生物は翼端に近い翼断面ほど揚力を前方に傾けることができることがわかる。つまり生物は主に翼端に近い部分で推進力を発生させ、翼根に近い部分で重力に対抗する上向きの力を発

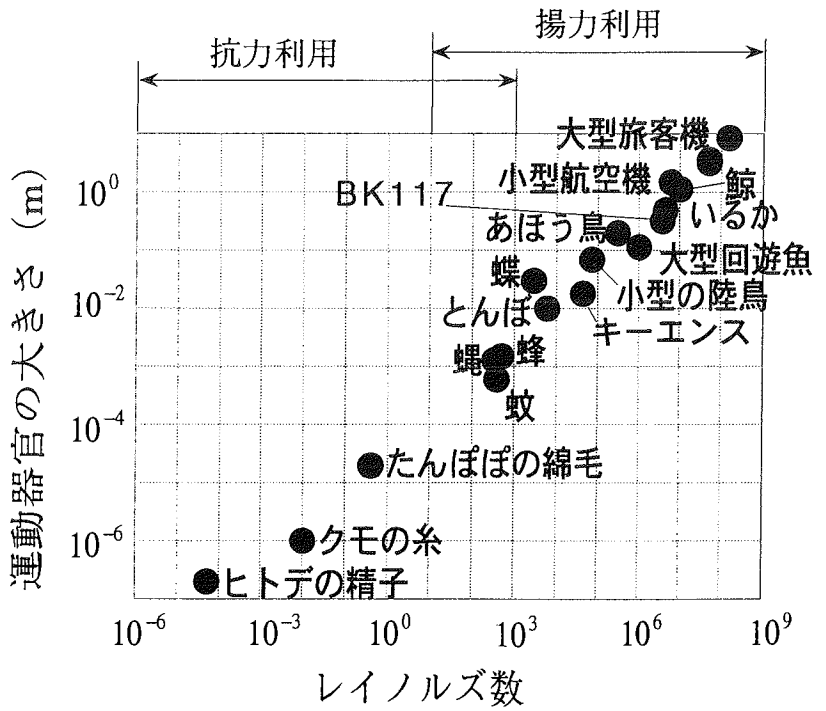


図４　運動器官の大きさとレイノルズ数

生させている[2)]。

翼の揚抗比は、主にレイノルズ数によって変化することが知られている。図４に運動器官の大きさとその作動レイノルズ数を示す。レイノルズ数は物体に働く慣性力（圧力）と粘性力の比で、物体の大きさと速度をかけた量を動粘性係数で割った値として計算される。運動器官の代表長さとして翼弦長をとり、またその対気速度として代表翼断面のものを用いているので、図３に示すようにはばたき速度も含まれる。レイノルズ数が大きくなると慣性力、すなわち圧力が卓越し、小さくなると粘性力が支配的になる。揚力は慣性力だけから発生し、抗力は慣性力と粘性力の両方から発生するので、結局、レイノルズ数が大きい（10^6）ところでは揚抗比が１００にも達するけれども、レイノルズ数が小さくなると揚抗比が減少し、レイノルズ数が１０の領域では揚抗比が１程度となってしまう。従って、レイノルズ数がこれ以下の世界では翼を使う飛行方法は効果的でなく、生物はパラシュートのように抗力を使って風の間に間に流されていく飛行方法を採用する。私達はレイノルズ数１０が、この世で１番小さな翼の領域だと考えている。水中では密度が空中より１０００倍も大きいため、動粘性係数は約1/10となり、多くの水中生物の運動器官が大型の陸鳥や航空機の翼に近いレイノルズ数（$Re \geqq 10^4$）で作動する。

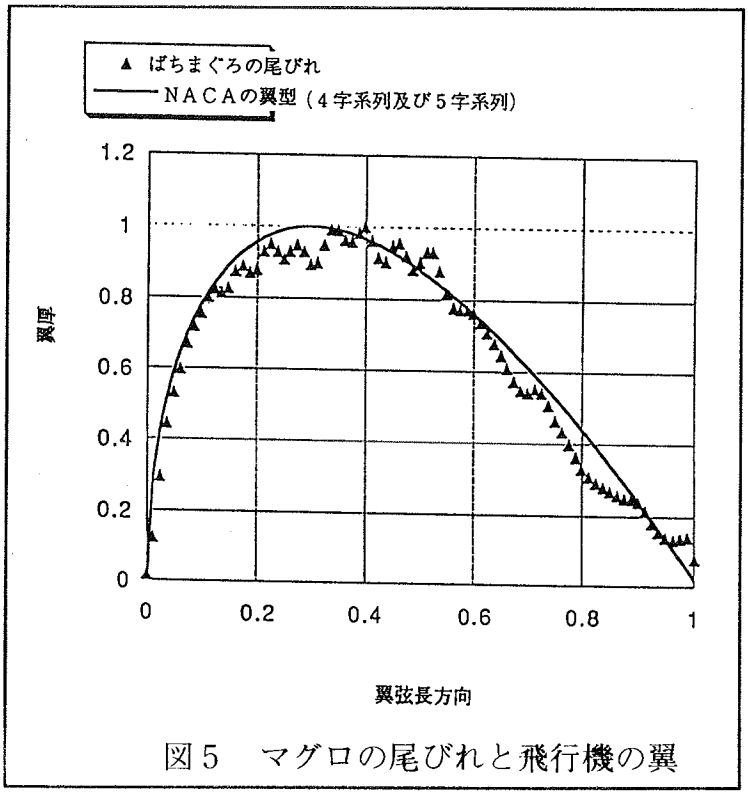


図５　マグロの尾びれと飛行機の翼

図５に回遊魚の代表としてばちまぐろの尾びれの断面形状（▲印）とNACAで風洞実験により開発された性能の良い航空機の翼型（実線、NACAの４字系列及び５字系列の翼型）とを、翼弦長方向の厚み分布をもって比較したものを示す。両者は極めてよく一致し、類似のレイノルズ数領域で優れている翼型は、よく似た形状をしていること、また優秀なものを残し不要なものを排除していく風洞実験による翼型の開発手順と、自然淘汰の歴史がよく対応していることを示している。ただし、この結果は最もよく一致した箇所のデータを示したものであり、同

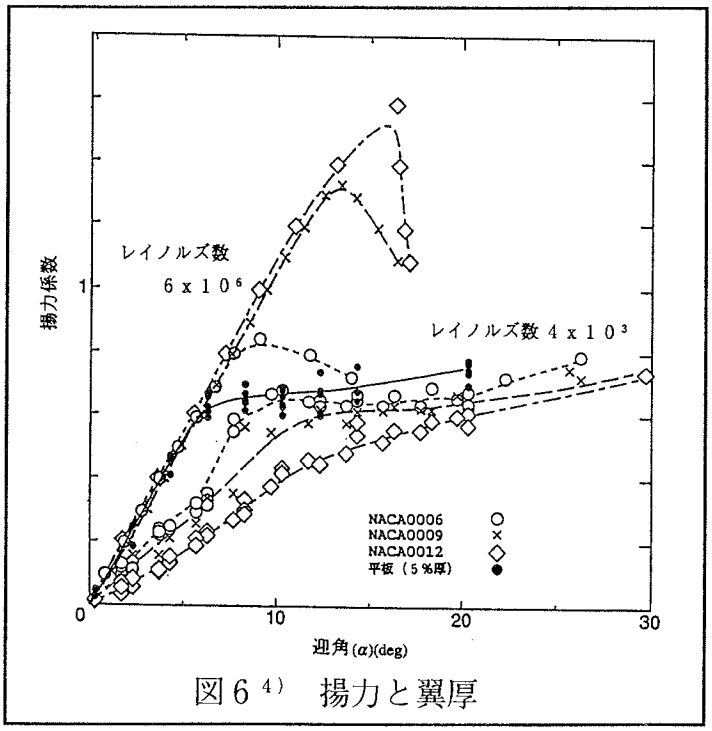


図６[4)]　揚力と翼厚

じ個体でも尾ひれの他の断面ではもう少し差異が大きい。さて、この流線型の翼について、翼の厚みと揚力の関係を迎角に対して示すと、レイノルズ数10^6の領域では図6のようになる[3]。図中の記号（NACA00**）はNACAで開発された翼型を示し、最後の2文字は最大翼厚と翼弦長の比をパーセントで示す。図からわかるようにこの領域では12%、9%、6%の順に厚い翼ほど大きな揚力を発生する。しかし翼のサイズが小さくなり、レイノルズ数が10^4のオーダーになると、厚みの差はほとんどなくなり、昆虫の飛行領域である10^3のオーダーになると、逆に6%、9%、12%の順に薄い翼ほど良好な性能を示すようになる[4]。また、同じ平均厚みを持つ翼では、流線型よりも単なる平板の方が大きな揚力を発生できる。ただし、翼のレイノルズ数が小さくなるにつれ、最大揚力は急激に低下する。

この低レイノルズ数の翼の流れを可視化して観察すると、図7に示すように迎角の大きな領域ではもちろん、小さな領域でも、常に間欠的に翼表面から渦が発生していて、翼に働く流体力は、一定速度の翼運動でも絶えず変動している。また、低迎角のうちから渦が発生するために、メートルサイズの翼に高迎角で生ずる剥離に対応する流れの急激な変化は、低レイノルズ数の翼では判然としないし、メートルサイズでの常識であるベルヌーイの式を用いて翼表面の圧力を推定することもできない。ところが翼に働く変動流体力を平均して、迎角に対する揚力係数の変化を調べてみると、図6の平板の例にみられるように、メートルサイズの流線型の翼ととてもよく似ている。すなわち、迎角の小さいうちは揚力係数が迎角変化1度当たり0.1程度に線形に変化し、迎角約7°で失速によく似た変曲点を生じている。このように低レイノルズ数の領域では、これまでに膨大な研究が行われ詳細なデータベースが得られているメートルサイズの翼（レイノルズ数10^5以上）とは、まるで異なる世界が開けている。我々は種々の翼型をレイノルズ数10^3の領域で実験的に調べ、①薄ければ薄いほど、そして②適度の反りのあるものが優れた特性を持っていることを見出した。また上下に折れ曲がりのついたものは、同じ厚みを持つ平板と比べるとやや揚抗比が悪化するが、折れ曲がりがあると翼幅方向の曲げ剛性と捻り剛性が共に増加するので[5]、同じ剛性を持つ平板と比べると折れ曲がり翼の方がはるかに薄くなり、その結果空力特性も優れてくる。

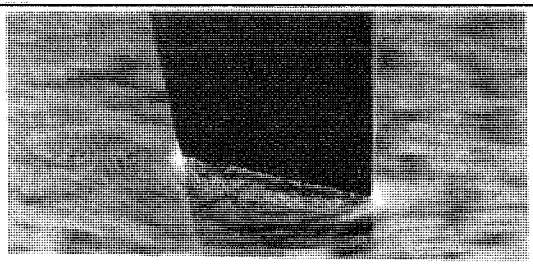


図7[4]　低レイノルズ数翼の流れ

図8に、飛行中のトンボの翅の1断面をレーザシートによって可視化し、その形状の変化を観察した結果を示す[6]。この図から、実際の昆虫も前述した優れた翼断面の形状を全て備えており、さらに打ち下ろしと打ち上げで翼断面の捻りを大きく変えるとともに、反りの向きを反

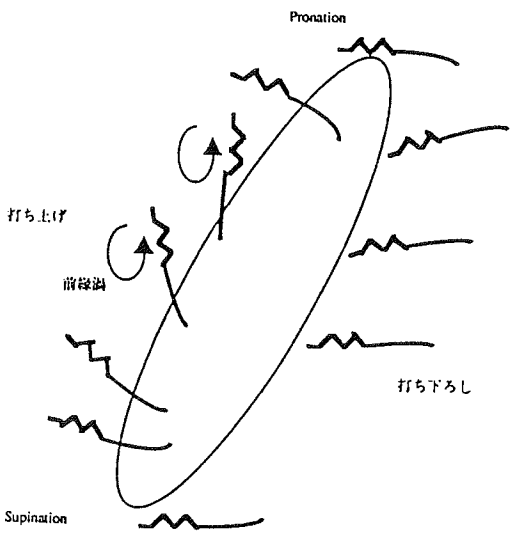


図8[6]　トンボの翅の断面形状

対向きに制御していることがわかる。このような翼型の制御により、打ち下ろし時には大きな上向きの力を発生でき、そして打ち上げ時には下向きの空気力を極力少なくするとともに前進方向の大きな空気力を発生できる。このように翼のサイズが変わると、そのサイズで最も優れた翼断面を、生物は自然淘汰により見事に獲得しているが、筆者にとって特に驚きだったのは、トンボがはばたきの打ち下ろしと打ち上げで翼型を変化させていることであった。これは我々ヘリコプタ研究者が長年、夢としていたことであって、すなわちロータの前進側（Advancing Side）で圧縮性の影響を避けるため薄翼で反りの少ない翼型を、ロータの後退側（Retreating Side）で失速を避け高揚力を得るため、厚翼で反りの大きな翼型を使用したかったのであるが、トンボは既に人類発生のはるか以前から、このように運動の１サイクルごとに翼型制御を行ってきたのである。

３．昆虫の翅の非定常空気力学

昆虫は翼の揚抗比が、サイズの制約により鳥や航空機に比べてはるかに小さいという宿命を持つ。昆虫が滑空飛行をほとんどせず、常にはばたき続けるのもこのためである。揚抗比が小さい翼では滑空飛行の降下率が大きくなり、滑空距離も滑空時間も小さいうちにどんどん高度が失われてしまうからである。また、昆虫のはばたき運動の周波数が極めて大きいのもこのためで、サイズの減少によるレイノルズ数の低下を、はばたき運動を速めることによって補っている。

昆虫のはばたき周波数は、トンボで約２０～３０Hz、ハチやハエでは１００～２００Hz、蚊になると３００～１０００Hzに達する。昆虫はこのように厳しい環境を逆に利用して、準定常の方法から得られる値の約２倍もの空気力を発生させている。準定常の方法とは一定の迎角と相対速度に対する翼の空気力（これを定常空気力と呼ぶ）を実験や理論により求めておき、はばたき運動のような非定常運動に対しては、その時々刻々の迎角と相対速度に対応する定常空気力の値を用いて、１サイクルの空気力を推定しようというものである。Weis-Fogh は１９７０年代に小蜂のホバリング飛行を調べ、この大きな非定常空気力を見出し、新しい非定常空気力発生のメカニズムを提案した[7]。これは、従来、航空機の分野で知られていた非定常運動に対する空気力（非定常空気力）の常識を覆すものとして大きな注目を浴びた。彼の計算は昆虫の重量、はばたき翼の運動面積、翼の半径とはばたき周波数という当時でも信頼性の高い計測データだけに基づいた優れたものであり、その後の研究の出発点となった。現在でもホバリング中の昆虫の発生する空気力は、準定常空気力の約２倍ということが多くの研究から確かめられ続けており、「マルハナバチは飛べない」という有名なジョークの源になっている。しかし、Weis-Fogh の提案した非定常空気力発生のメカニズム自体は、その後の研究により修正が必要になってきたように思える。

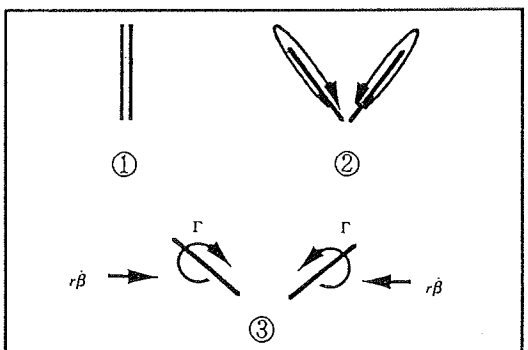


図９　従来の非定常空気力発生モデル

Weis-Fogh のメカニズムは図９に示すように、左右の翅を開いた瞬間に空気がその間に流れ込み、翅の回りに回転する流れ（循環Γ）を形成し、その後のはばたき運動による速度$r\dot{\beta}$が生じた時、上面の流れが下面より速くなり、上面の圧力が下面

より低下して付加的な空気力が発生するというものである。しかし単独の２次元翼を静止状態から加速度運動させても、図１０に示すように準定常の方法（破線）の約２倍の流体力が発生すること、またこの結果は航空機に適用される非定常理論（一点破線）では説明できないことが明らかになった[8]。さらに、チョウの翅のように低アスペクト比のはばたき翼の回りの流れは、図１１に示すようにWeis-Fogh メカニズムによるものとはまるで違っており、この流れを考慮した理論計算結果は、流体力の計測結果や実際のチョウの低速飛行とよく一致していることが確かめられた[9)10)]。また、２枚の２次元の翼を閉じ合わせておいてから急激に開いて加速度運動を行うと、運動の初期には Weis-Fogh モデルのように付加的な流体力が認められるが、その効果はすぐに消失してしまうことも明らかになった[11)]。そして、単独の翼にサイン波状の並進運動と回転運動を組み合わせて行わせても、準定常の方法の約２倍の流体力が発生する[12)]。従って昆虫が準定常理論値の約２倍の空気力を発生させて飛行している主原因は、はばたき運動の持つ激しい加減速運動と、はばたき運動中に発生する渦と翼との干渉であろうと思われる。そしてこの付加的な流体力は単独の翼でも発生するので、２枚の翼の干渉にその主因を求めた Weis-Fogh モデルの修正は避けられないものと思われる。

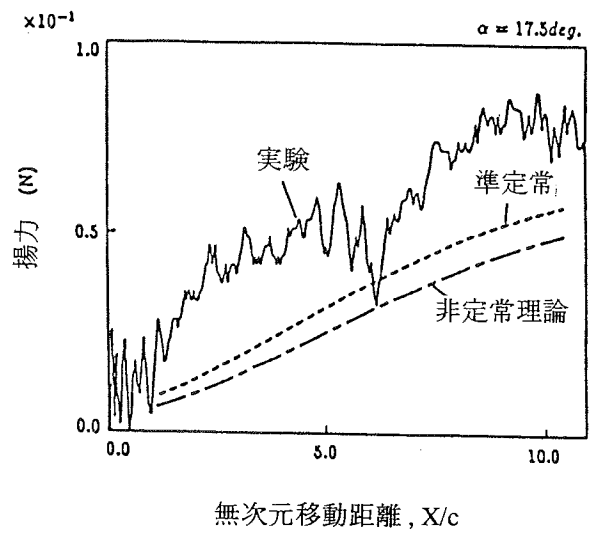


図１０[8] 加速度運動中の流体力

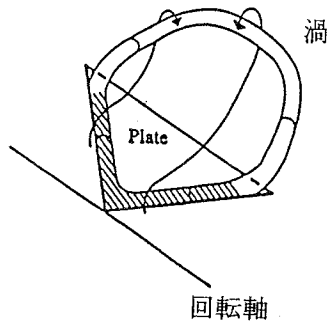


図１１[9] 低アスペクト比翼の渦

４．サイズとヘリコプタのメカニズム

これまで述べてきたような視点を持って、ヘリコプタを眺めるとどのように見えるだろうか。まず、ヘリコプタのサイズが変わるとどの物理量がどのように変化するか理論的に考えてみよう。比較する２つのヘリコプタが幾何学的に相似で、同じ材質（すなわち同じ密度）でできていると仮定する。ロータ半径をＲとすると、ロータ面積はR^2に、機体重量ＷはR^3に、慣性モーメントＩはR^5にそれぞれ比例する。飛行条件の代表としてホバリングを選ぶと、推力係数C_Tは翼素理論より次式で表される。[13)]

$$C_T = \frac{a\sigma}{2}\left(\frac{B^3}{3}\theta_0 - \frac{B^2}{2}\lambda\right) \qquad (1)$$

Bは翼端損失係数で一定値、コレクティブピッチθ_0とソリディティ$\sigma = bc/\pi R$（bはブレード枚数、cはブレード翼弦長）は幾何学的に相似なら同一、ブレードの２次元揚力傾斜aも図６に示すようにレイノルズ数１０^{3}以上ではほぼ同一とそれぞれ見なして良い。

無次元流入速度$\lambda = v/\Omega R$（vは誘導速度、Ωはブレード回転角速度）は、運動量理論より$\lambda = \sqrt{C_T/2}$で与えられるので、結局（1）式より、C_Tはサイズの変化を受けず一定と考えられる。さらに推力と重量は釣り合っているので次式が成立する。

$$C_T = W/\rho\pi R^2(\Omega R)^2 \qquad (2)$$

上式よりΩは$R^{-1/2}$に比例することが導かれる。また、半径rの位置にある代表翼素におけるレイノルズ数Reは、$\mathrm{Re} = (\Omega r)c/\nu$（$\nu$は動粘性係数）であるから、これよりReは$R^{3/2}$に比例することが導かれる。

次はトルクについて考えよう。トルク係数は次式で与えられる。

$$C_Q = \frac{\sigma C_{d0}}{8} + C_T\lambda \qquad (3)$$

C_{d0}は翼素の形状抗力係数であり、$\mathrm{Re}^{-1/2}$に比例すると考えてよいので、結局、$R^{-3/4}$に比例する。（3）式の第1項は形状トルク係数であり、第2項は誘導トルク係数であるが、基準ヘリコプタにおける第2項と第1項の比を$k_Q = C_T\lambda/\frac{\sigma C_{d0}}{8}$とすると、（3）式より、任意のサイズのヘリコプタのトルク係数は$\left(R^{-3/4} + k_Q\right)/(1+k_Q)$に比例することが導かれる。

ここまでがよく使われる物理量であるが、以下の議論のためにさらにロータ回転運動における時定数とヘリコプタのサイズの関係を考えることにする。全ブレードの回転方向の慣性モーメントをIとし、エンジンの供給トルクをQ_a、ブレードでの必要トルクをQ_rとすると、ブレードの回転方向の運動方程式は次式で与えられる。

$$I\dot{\Omega} = Q_a - Q_r \quad (4)$$

Q_rは$Q_r = \rho\pi R^2(\Omega R)^2 RC_{Qr}$であり、$C_{Qr}$は（3）式で与えられるので（4）式は次式のように書き直すことができる。

$$I\dot{\Omega} + A\Omega^2 = Q_a \qquad (5)$$

ここであるトリム値$A\Omega_0{}^2 = Q_{a0}$のまわりの微小変動$\Omega = \Omega_0 + \Omega_p$、$Q_a = Q_{a0} + Q_{ap}$、($\Omega_p$、$Q_{ap}$ 微小量) を考えると、（5）式はΩ_pについて次のような線形方程式となる。

$$I\dot{\Omega}_p + 2A\Omega_0\Omega_p = Q_{ap} \qquad (6)$$

上式はエンジンのトルク変動に追随するブレードの運動方程式である。この式より時定数T_sを求めると次式となる。

$$T_s = \frac{I}{2A\Omega_0} = \frac{I}{2\rho(\pi R^2)R^3C_{Qr}\Omega_0} \qquad (7)$$

この時定数が、サイズとともにどう変化するかを考えると（7）式より

$R^{5/4}(1+k_Q)/(1+k_Q R^{3/4})$

に比例することが導かれる。以上の結果をまとめると相似則によるサイズとヘリコプタの物理量の関係が表１のように定められる。

表１　相似則によるサイズと物理量の変化

物理量		相似則
推力係数	C_T	1
ロータ半径	R	R
重量	W	R^3
回転角速度	Ω	$R^{-1/2}$
レイノルズ数	Re	$R^{3/2}$
形状抗力係数	C_{d0}	$R^{-3/4}$
トルク係数	C_Q	$\left(R^{-3/4}+k_Q\right)/(1+k_Q)$
慣性モーメント	I	R^5
回転運動の時定数	T_s	$R^{5/4}(1+k_Q)/(1+k_Q R^{3/4})$

以上の理論的考察が実際のヘリコプタとどの程度一致しているか、またそのような考察が微小機械の設計にどのように役立つか、２つのヘリコプタを例にとって考えてみよう。メートルサイズの代表として、よく知られているＢＫ１１７を、そして微小サイズの代表として図１２に示す世界最小のおもちゃの電動ヘリコプタ（キーエンス・レボリューター）を選ぶ。両者を数値的に比較して表２に示す。ＢＫ１１７を基準として両者の実際の物理量（測定値）の比を作り、前述した相似則による値と比較すると、乱暴な相似則でもかなり良い精度を持っていることがわかる。

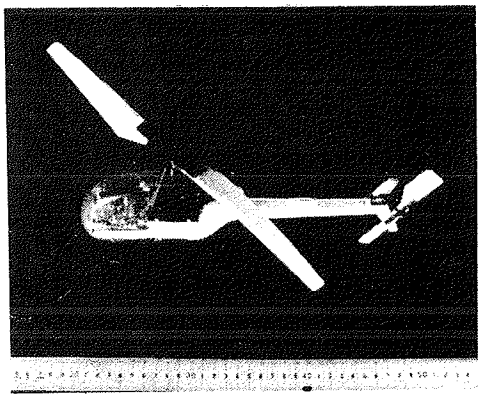


図１２　微小ヘリコプタ

この二つのヘリコプタのメインロータの翼弦長とレイノルズ数を他の運動器官と比較して図４に示す。キーエンスのブレードのレイノルズ数は小型の陸鳥より小さく、昆虫の飛行領域に近い。メインロータの翼断面を調べてみると、図１３（Ａ）に示すように薄翼で反りがついていて、見事にこのレイノルズ数

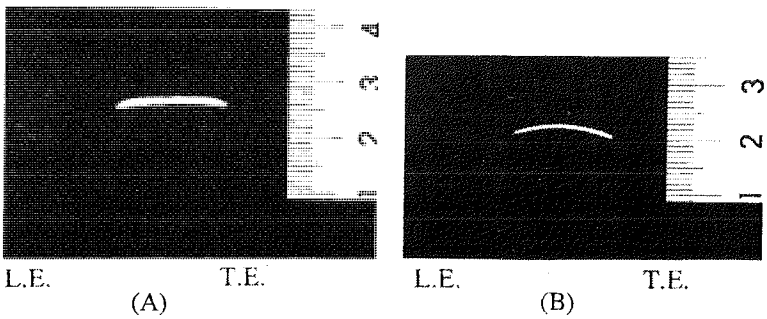


図１３(A)　微小ヘリコプタのメインロータ翼断面
図１３(B)　微小ヘリコプタのテイルロータ翼断面

表２　代表ヘリコプタの諸元

物理量	BK117	キーエンス	比	相似則
ロータ半径(m)	5.5	0.174	0.032	0.032
推力係数	0.0055	0.004	0.73	1
誘導トルク係数	0.00029	0.000179	0.62	1
形状トルク係数	0.000116	0.000825	7.1	13
トルク係数	0.00041	0.00100	2.4	4.5
回転角速度(rad/s)	40.1	264	6.6	5.6
慣性モーメント(kgm^2)	370	$3.4*10^{-5}$	$9.2*10^{-8}$	$3.4*10^{-8}$
回転運動の時定数(s)	0.58	0.10	0.17	0.040

領域で優れた翼型形状を示している。さらにこれよりレイノルズ数が小さなテイルロータの翼断面を見てみると、図１３（B）に示すようにさらに薄く反りが大きい。この微小ヘリコプタの設計者がどこまで意図的にこれらの形状を選んだのか定かではないが、近年の低レイノルズ数翼型の研究成果と極めてよく一致している。さらに機体の高度制御は、メートルサイズのヘリコプタがコレクティブピッチ制御で行うのに対し、微小ヘリコプタでは回転数制御で行っている。表２に示したように、微小ヘリコプタではブレード回転運動の時定数が、メートルサイズのヘリコプタの約１/６なので、高度制御のメカニズムの差異も、それぞれのサイズにふさわしいメカニズムを採用した結果と考えることができる。文献１４）では、メートルサイズのヘリコプタに対し、高度制御の時間遅れを０.２秒以内と定めているが、微小ヘリコプタは回転数制御で充分この値を満足している。

５.あとがき

以上、いろいろとサイズが異なってくると、それぞれの生物や機械がそれぞれ合理的に形状やメカニズムを変化させていることを説明した。しかし、小さな模型やおもちゃの設計者にとっては、このようなことは既によくわかっていたことであって、昔から模型飛行機のチャンピョンは、反りのついた薄翼を使っていたし、キーエンスのヘリコプタも、よく考えると前述のように感心させられることが多かった。昆虫も口がきければ何を今さら・・・と言うに違いない。本文は小生も含めた当技術協会のメンバーのように、メートルの世界の常識にどっぷりと浸かってしまった人々のために書かれたものである。

参考文献

１）日本航空広報室、航空実用辞典、朝日ソノラマ
２）Azuma, A. (1992), The Biokinetics of Flying and Swimming, Springer- Verlag, Tokyo.

3） Abbott, I.H., and Doenhoff, A. (1958), Theory of Wing Sections, Dover, New York.
4） Sunada, S., Sakaguchi, A. and Kawachi, K. (1997) J. of Fluid Eng., ASME, 119, 129-135.
5） Sunada, S., Zeng, L. and Kawachi, K. (1998), J. of Teo. Biology, 193, 39-45.
6） Weygandt, J., Kawachi, K. and Ohnuki, T. (1995) Proc. of 48th Annual Meeting of the American Phisical Society, EK7.
7） Weis-Fogh, T.(1973) J. of Exp. Biology, 59, 169-230.
8） 砂田茂(1992) 東京大学大学院工学系研究科学位論文。
9） Sunada, S., Kawachi, K., et. al. (1993) J. of Exp. Biology, 183, 217-248.
１０） Sunada, S., Kawachi, K., et. al. (1993) J. of Exp. Biology, 183, 249-277.
１１） Dickinson, M.H. (1994) J. of Exp. Biology, 192, 179-206.
１２） 松本有史、砂田茂 他 (1996) 日本航空宇宙学会第３４回飛行機シンポジウム講演集、537-540。
１３） 東昭 (1989) 航空工学、裳華房。
１４） Handling Qualities Requirements for Military Rotorcraft (1994) ADS-33D.

会員ホームページの開設について

ヘリコプタ技術協会は昨年秋以来、インターネット上に専用ホームページを開設しております。ＵＲＬは次の通りです。是非アクセスして、皆さんのブックマークに加えてください。

http://www1.odn.ne.jp/ahsjapan

このウェブサイトは会員の皆さんのためのホームページです。ヘリコプタに関連する皆さんの研究、論文、報告、随想など、写真や図版を含めて何でも掲載いたします。原稿をお送り下さい。日本語でも英語でも構いません。

原稿は電子原稿にしてフロッピーを郵送していただくか、Ｅメールで下記へお送り下さい。

ahsjapan@pop07.odn.ne.jp

また当ヘリコプタ技術協会への要望なども、このＥメール宛にお送りください。

ヘリコプタ技術協会事務局
ホームページ編集部

航技研における回転翼機研究と可視化技術

航空宇宙技術研究所
流体科学総合研究グループ
回転翼空力研究グループ
齊藤　茂

1. はじめに

航技研では、平成１０年度より組織の全体的な見直しを行うと同時に研究室についても大幅な見直しを行い、グループ制の導入とプロジェクトの明確化が大きな特徴である。本講演では、航技研における新組織の内、ヘリコプタに関係する部分の説明と我々が昨年度に行った研究の成果の中で、日経サイエンス社主催第３回コンピューター・ビジュアリゼンション・コンテストにおいて、最優秀賞「AVS 大賞」を受賞したのでその概略を解説する。

2. 航技研の新組織における回転翼機研究の位置づけ

平成10年度（1998.4）より、航空宇宙技術研究所は従来の11部２グループの体制を２つのプロジェクトセンター、流体科学総合研究グループ（２つの研究部を含む)、構造材料総合研究グループ（１つの研究部を含む)、航空推進総合研究グループ（１つの研究部を含む)、飛行システム総合研究グループ（１つの研究部を含む）の４つの総合研究グループと角田における２部からなるグループ制の施行が特徴となっている。意味づけとしては、総合研究グループにはそれぞれの研究に特化されたグループが創設され将来のプロジェクトに向けた先進的な研究を行っており、各総合研究グループの中におかれた研究部はより基礎的な研究を推進する研究室として総合研究グループとの緊密な連携を保ちつつ活動を行うこととしている。

回転翼機関係のグループは、従来正式な名称としては存在せず今回の組織改編において初めて航技研の中で認知されたことになる。１つは、流体科学総合研究グループに位置する回転翼空力研究グループ(Rotary Wing Research Group)であり、もう一つは飛行システム総合研究グループに位置するヘリコプタ飛行安全研究グループ(Helicopter Flight Safety Research Group)である。前者は、現在航技研の中で「航空安全・環境適合技術研究組織(ASET)」が進めている特別研究「航空安全・環境適合技術研究」の中で、特別研究「回転翼機の騒音機構解明に関する研究」を推進している。その中で国内外の研究機関およびヘリコプタ製造メーカーとの共同研究を締結してヘリコプタの重要且つ緊急の課題で

ある騒音問題を中心としてＣＦＤ解析技術をフルに応用した空力研究全般の活動を行っている。他方後者は、平成10年度の第３次補正予算において４トンクラスの中型ヘリコプタ（三菱重工業 MH2000）の購入を実現し、実質的には平成11年度から実機を用いた研究体制がひかれ、精密進入方式の研究やGPSとINSとの複合航法の研究を進めている。

図１は、航技研の新組織を系統化したものである。従来の研究室の名称はすべて関連研究の新名称となっており、新しく生まれ変わった航技研の印象が鮮明になっているのがおわかりいただけるであろう。

３．航技研における回転翼騒音発生機構解明に関する研究の概要

航技研では、平成８年度より回転翼機の騒音に関する特別研究が予算化され、以来解析手法の確立と実験的手法の確立の相互的に図りつつ研究を進めてきた。本研究の目的は以下の通りである。

３．１ 研究の目的

（１） 回転翼機の空力騒音の発生機構を解明すること。このための手段として空力荷重推算法として、渦理論、局所循環法 (Local Circulation Method)、数値解析技術(CFD)等を用いる。また、騒音推算法として、Ffowcs Williams and Hawkings (FW-H)方程式、Kirchhoff方程式を用いる方法及びCFDによる直接推算法を用いる。

（２） 航技研の低速風洞において、高速回転翼試験装置を整備すること。これはCFD解析の検証データの取得及び各種ロータの性能試験および騒音計測試験さらには低騒音ブレードの実証試験のために整備する。本装置の概略は、直径２ｍ、２枚ブレード、回転数2600rpmであり、将来的にはブレード上の圧力計測、高調波制御、能動的デバイスの実証する機構を設けられるようにする計画である。

（３） 実機を用いた飛行実証試験を行うこと。解析及び風洞試験において確立された騒音低減化技術を実証するため、無人機および有人機を用いて飛行試験を行う。

３．２ 研究の経緯

本研究は、ヘリコプタの機外騒音を減らすための騒音解析コードの開発および検証、また風洞試験を通じた実証を中心として進めてきた。平成８年度からの航技研における特別研究の位置づけは本研究の重要性並びに日本における回転翼空力分野における研究レベルを国際的水準にまで高めることを目標としている。航技研の様に大型計算機設備環境(NWT)と大型風洞設備環境(LWT)さらに航空機を用いた飛行実証環境(Helicopter)を兼ね備えたところは日本の中で他には見あたらず、この環境をフルに使うことは、我が国における数少ない航空機メーカの要望にかなうものと確信している。このような状況において、航技研では、平成６年度よりコミュータヘリコプタ先進技術研究所 (ATIC) とヘリコプタ機外騒音低減化技術に関する共同研究を開始し、航技研側は騒音解析コードの開発を中心としATIC側は風洞試験等による技術実証を中心として作業を進めてきた。平成８年度には、航技研で開発の進められてきた高速衝撃騒音 (High Speed Impulsive Noise)の解析コードの国際相互評価を目指してフランスの航空宇宙研究機関 (ONERA) と国際共同研究

を実施した。また、平成８年度より大型低速風洞で試験するための高速回転翼試験装置の整備を開始した。平成９年度からは、科学技術庁の振興費を利用した計算科学技術共同研究推進制度のもとで、川崎重工業との間で胴体まわりの流場解析手法の確立と翼端渦捕捉精度の向上を目指した共同研究を始め、今日に至っている。

３．３ 研究の成果

（１） 高速衝撃騒音解析 (HSI Noise)

ブレードまわりに構築したＯ型格子を用いてオイラー方程式による流場解析コードを確立し、この解析結果と Kirchhoff 方程式を基礎とする騒音解析コードにより任意の観測点での騒音波形解析を組み合わせたシステムを開発した。空力コードでは、HSI ノイズの主な発生源であるブレード翼端付近で発生する衝撃波を精度良く捕らえ、Kirchhoff の方法を用いることで、４極子騒音をうまく捕らえることが可能となった。本解析コードは、公表されている試験データとの比較検討によって十分よい騒音レベルの推算ができるようになっている。これを基礎に ONERA との HSI 騒音解析コードの相互比較に関する国際共同研究を進め、双方の解析コードは十分精度良く HSI 騒音の推定が可能であることがわかった。図２は、航技研と ONERA 双方の HSI 騒音解析結果の比較例である。粗い、中間、細かい格子を用いて解析結果を比較したところ、双方の格子の違いなどがあるが、航技研の解析結果は HSI 騒音で最も重要であるネガティブピーク値をどの格子も精度良く捕らえていることが分かる。他方、ONERA の解析結果は細かい格子の時のみネガティブピーク値を精度良く捕らえている。このことは、航技研の所有する HSI 騒音解析コードは、格子に対するロバスト性に優れていることを示している。

（２）ブレード／渦騒音解析 (Blade-Vortex Interaction Noise)

ヘリポートなどへの緩降下中において、ブレードの翼端から吐出された翼端渦と自身及び後続のブレードとが空力的に干渉するとき衝撃的な騒音が発生する。この騒音はブレード／渦干渉騒音(BVI Noise)と呼ばれ、いったんこの騒音が発生すると他の騒音に卓越しヘリポート周辺の住民等への騒音の影響が非常に大きくなる。このため、BVI 騒音を軽減化することは、環境適合性技術の観点からも緊急且つ重要な課題でもある。航技研では、ATIC との共同研究においてこの騒音発生機構の解明を行うとともにその低減化技術の構築を目指している。BVI 騒音解析技術は次の様な２つの手法からの構築を目指している。１つは、空力コード、CFD コードおよび騒音解析コードの３つを組み合わせることによって解析する手法（組み合わせ解析システムと呼ぶ)、また CFD 技術を駆使することによって渦位置などの計算において用いられてモデルをできるだけ排除した解析コードと騒音解析コードとの結合によって解析する手法（直接解析システム）である。前者はいわゆる渦理論に基礎をおく CAMRAD を用いてトリム状態における渦位置を算出し、騒音解析用に補間などの作業を経た後、CFD コードを用いてブレード上の圧力分布を求め騒音解析コードにおける入力とする。騒音解析コードは、Ffowcs Williams and Hawkings(FW-H)方程式を基礎としている。図３は、組み合わせ解析手法を用いて解析した結果の一例である。他方、後者は移動重合格子を用いて、ブレードまわり、ロータまわりに別々に格子を作り翼端渦の精度を落とさずに翼端渦とブレードとの空力干渉現象を捕らえようとするものである。こ

の解析には、航技研の所有するスーパ・コンピュータ(NWT)は非常に大きな役割を果たしている。現在、格子に用いられる格子点数は約 1700 万点であり、収束に費やされる計算時間は 30PE (Processing Element)で約 12 日間である。本解析手法による解析の例として示したのが図４である。本解析結果は、CFD のみで BVI 騒音の波形を捕らえられた世界で初めての快挙である。

３．４ 回転翼試験設備の整備

航技研では、大型低速風洞で試験する高速風洞試験装置および実機のヘリコプタを整備が進んでおり、平成 11 年度には両設備とも基本的な整備が終了し平成 12 年度からは本格的な試験が開始される予定である。今後とも、航技研内外との協力を一層進め回転翼研究のレベルをさらに向上させることを目指して行くつもりである。

４．可視化・可聴化技術

CFD 解析の手順として、プリ、ポスト処理が重要である。CFD 解析の結果をより良く理解してもらう手段として、CG(Computer Graphics)を駆使した可視化技術である。幸い航技研においては、CG 専用の大型計算機を所有しておりまた付随する CG ソフトが完備している。回転翼の騒音解析においては、音の波形やコンターなどの可視化処理が普通であるが、音の解析をしても実際の音を耳にしなければ実感がないとの認識のもとに、騒音の音圧をデジタル処理し可聴化することとした。解析によって翼端形状の変化によって実際の音がどのように変化するのかをこの可視化・可聴化技術によって視覚・聴覚に訴えることで結果の評価がより容易になった。この結果をテープに録音し国際学会で発表したところ、聴衆の注目するところとなり絶賛された。さらに、解析結果の可視化とともにビデオに収録し、平成８年度に応募した日経サイエンス社主催の「第３回コンピューター・ビジュアリゼーション・コンテスト」において、最優秀賞「AVS 大賞」を獲得した。このコンテストは、科学から経済に至るまで多岐にわたり、既存分野にこだわらない新しい分野から作品を募集して行うコンテストであり、４３件の中から最優秀賞を獲得したことは、内容の重要性だけでなく画像と音という一見違う分野での作品を一緒にした功績に対して評価されたものと認識している。図５は、本作品に対して送られた賞状と作品の一例を示したものである。

５．最後に

航技研では、平成１０年度の組織改編により回転翼機の研究グループが初めて公式に認められた。このような背景には、長い間の下積み的な研究成果の蓄積があったからこそと現実の姿になったものと考えている。今後は、より強い責任感と確実な成果を持ってより一層我が国におけるヘリコプタ研究が発展するよう努力し、航技研内外の研究機関と緊密な連携を図り国民の正確に密着するヘリコプタの進歩の一翼を担うとともに、若者に魅力のある研究を提供できるよう努力するつもりですのでヘリコプタ技術協会の会員皆様のご指導・ご鞭撻をお願いする次第です。

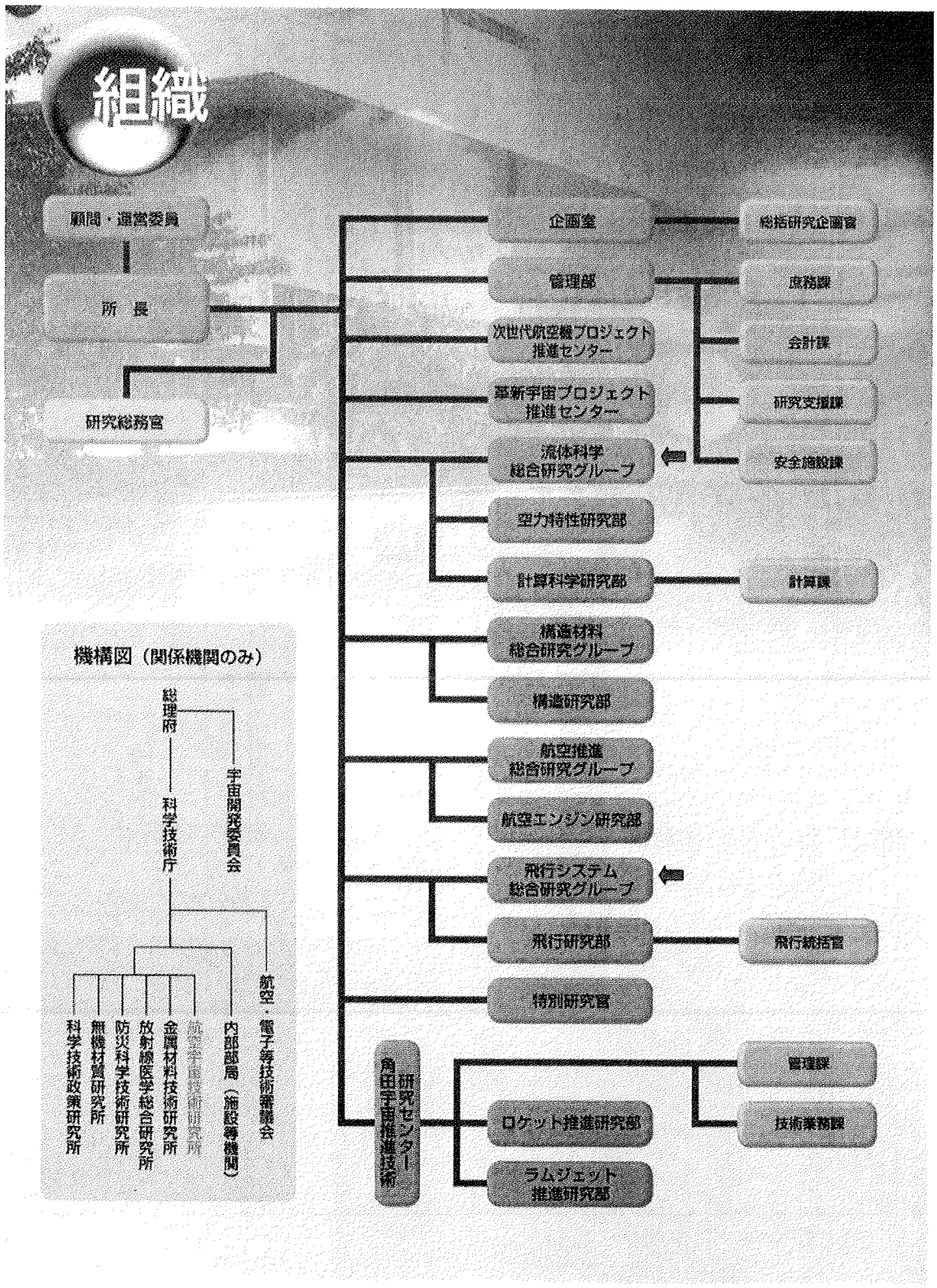


図１　航技研の新組織図（ ⬅ は、回転翼機関係研究グループ）

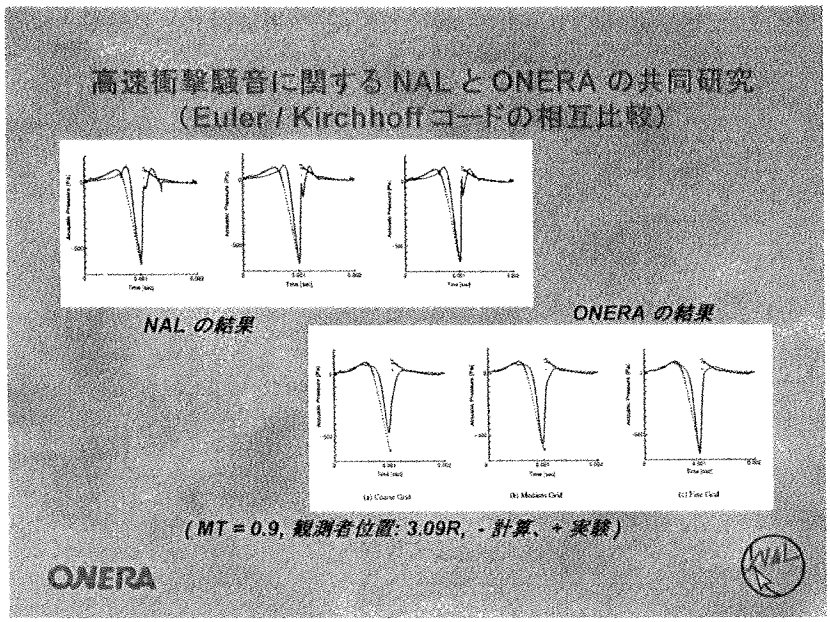


図２　高速衝撃騒音の解析結果の国際相互評価の例

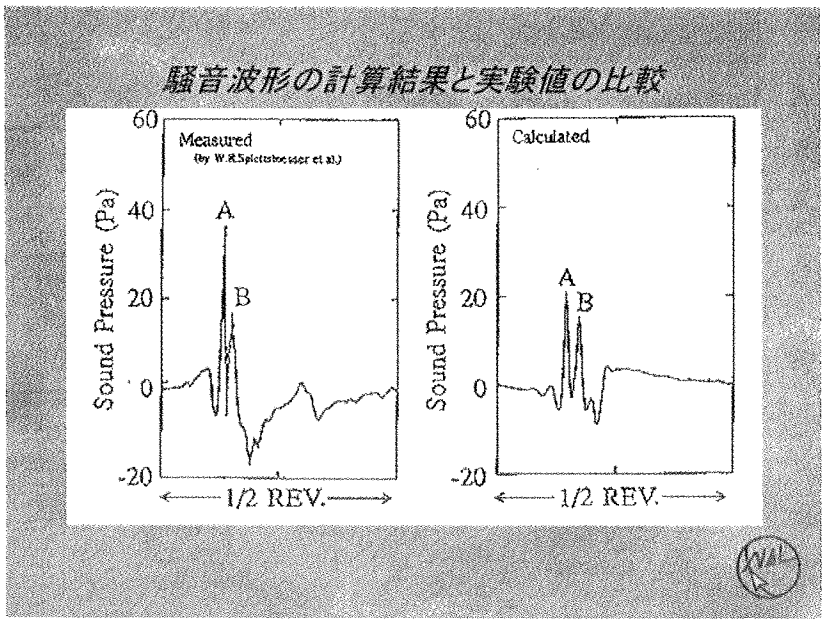


図３　組み合わせ解析手法による解析結果の例

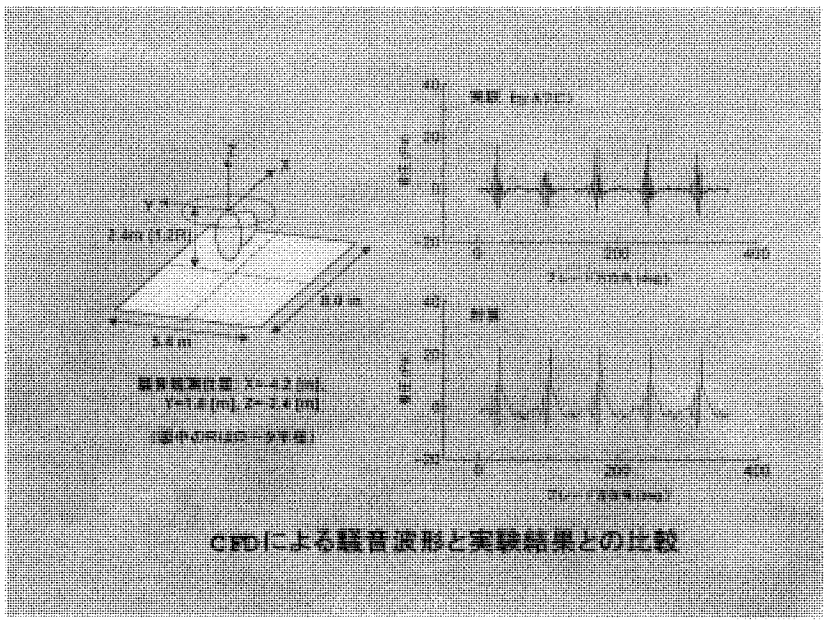


図４　直接解析手法による世界初のBVI騒音の解析例

表彰状

最優秀賞「AVS大賞」

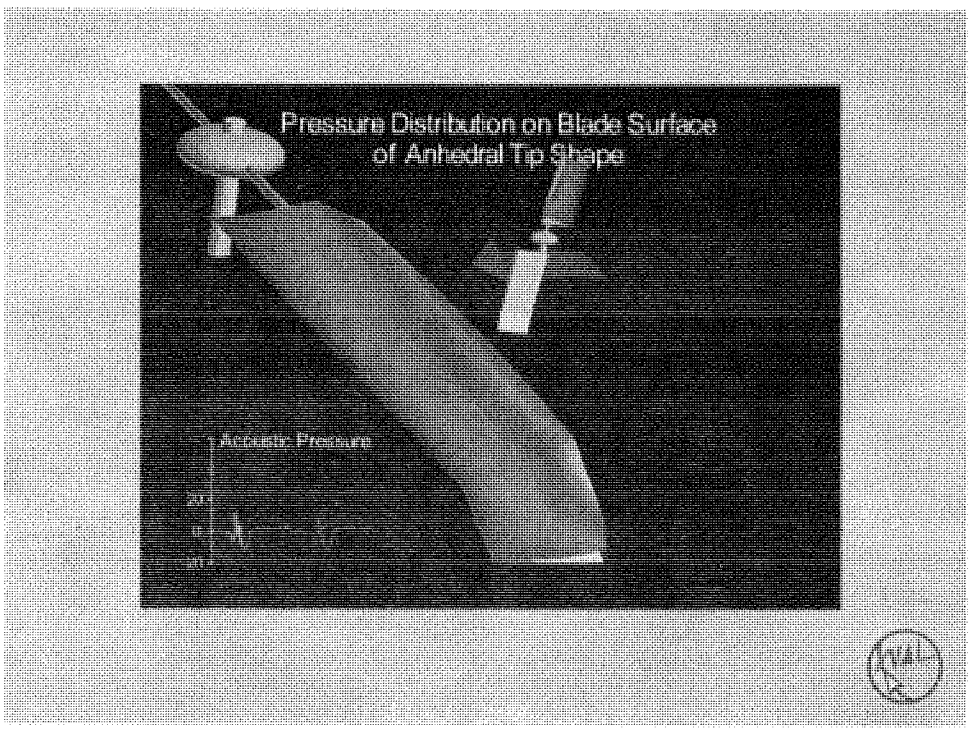
科学技術庁航空宇宙技術研究所　齊藤　茂殿
科学技術庁航空宇宙技術研究所　青山剛史殿
科学技術庁航空宇宙技術研究所　末松和代殿
科学技術庁航空宇宙技術研究所　藤野敦志殿
大塚電算研究所　宮川里子殿
川崎重工業株式会社　青木　誠殿

貴殿は第三回コンピューター・ビジュアリゼーション・コンテストに於いて頭書のとおりの成績をおさめましたよってこれを表彰します

一九九七年十一月二十七日

株式会社日経サイエンス
代表取締役社長　竹内正紀

（a）日経サイエンス主催コンピューター・ビジュアリゼーション・コンテンスでの最優秀賞「AVS 大賞」受賞



（b）コンテスト作品の例

図５　ビジュアリゼション・コンテスト作品（平成９年度）

ヘリコプタ工学教育活性化運動について

ヘリコプタ技術協会
義若　基

ヘリコプタ産業の活性化について

５月下旬カナダのモントリオールで開催される ＡＨＳ第５５回 Annual Forum で、 当ヘリコプタ技術協会会員の論文発表が実に７件にも達した。　日本のヘリコプタ技術も４５年かかって、やっとここまで来たかと感懐一入なものがある。

私は、当協会設立の狙いを、ヘリコプタ産業の発展と、ヘリコプタに関係する人々の幸福を図ることと捉え、ヘリコプタ技術は大きな手段であると考えている。
ヘリコプタ産業発展の為の最重要テーマはヘリコプタの用途開発であろう。　大きな市場を開発して、使い勝手の良い、丈夫なヘリコプタを造って飛ばす。一般市民や一般企業がヘリコプタは便利だ、ヘリコプタは役に立つと思う様になればヘリコプタは増える。マーケットは拡大する。今までヘリコプタ・メーカの技術者は用途開発の担当は運航者だと他人任せにしてきた。しかしプロでも難しいヘリコプタ、その用途開発が素人に出来る筈は無い。　用途開発はヘリコプタ市場の拡大に直結するもので、当然ヘリコプタを製造販売するヘリコプタ・メーカの仕事である。用途開発はヘリコプタ技術者が他の産業セクターの専門家、例えば消防なら消防庁、ＥＭＳなら救急医学会、と協力して開発する、異業種共同開発がより良い方法である。

有用なミッションと使い勝手の良いヘリコプタを開発して世界市場に進出する。　日本のヘリコプタが２１世紀に生き残る道はこれ以外に無い。善悪はさておいて、武器輸出が出来ない我が国のヘリコプタ産業には、最大のマーケットから締め出されていると言う大きなハンディがある。我々はこのハンディを逆手に取って、民需ヘリコプタで世界をリードしなければならない。
民需ヘリコプタは日本の航空機メーカが世界のリーダーシップを取ることが出来る唯一の航空機である。

昨年国際会議の前日、AHS Mr. M.R. Rhett Flater と ATIC 研究者との計器飛行に関する情報交換の場があった。　私は ATIC の計器飛行に関する研究動向ならびにその成果は世界をリードしていると判断した。　ATICの計器飛行関係の技術研究レベルが短期間に世界の技術レベルを抜く様に成った理由は、ATICの研究努力の成果であることは言う迄もない。　しかし、一面世界のヘリコプタメーカが、コミュータ市場に見切りを付けて、この方面の研究を等閑にしていることも原因の一つであろう。

阪神大震災以降、私は２５年前サウジ内務省向けに開発したＫＶ１０７ヘリコプタの防災システムを持ち出して度々寄稿講演をしてきた。この理由は、我々が開発しお手伝いしたサウジ内務省防災ヘリコプタ団ほど、完備され実績を有する、防災ヘリコプタ組織とその防災システムとを未だ世界に知らないからである。ロンドンのサポート・ヘリコプタ・コンファレンス、AERO INDIA 96、韓国各所において、多くの聴講者の興味を呼び、時間超過も無視しての質問、ヘリコプタ企業の開発担当副社長から詳細報告書の送付依頼を受けた事もあった。自国で開発したシステムを適正に評価しない日本の通弊と辛抱強くＰＲに努めているのが実情である。

世界のヘリコプタ・メーカは戦闘用ヘリコプタの研究以外には注力していない。
ヘリコプタに ｎｉｃｈｅ なセクターは多い。

ヘリコプタは軌道の無い走行クレーンである。　ヘリコプタの垂直離着陸、空中停止の飛行特性を活かし、コスト・パフォーマンスと用務達成時間とで、他を圧倒的に凌駕する用途を見付け、その用途に適合するヘリコプタを開発すれば、民需ヘリコプタの夢は世界に広がる。
現在のヘリコプタ研究のせめて１／５のエネルギでも用途開発と関連システムの研究に向ければ相当の成果が期待できると思うのだが。

ヘリコプタの広報活性化について

国内ヘリコプタ市場の開発にとって重要なことは、一般市民に対するヘリコプタの広報活動である。　市民がヘリコプタを身近なツールとして親しむ様に成らなければ、民需ヘリコプタの発展は期待できない。 ばたばたと低空で騒音と公害を撒き散らしながらの報道取材や農薬散布、ときたま派手にテレビで放映されるのは墜落事故。　この様なダサいヘリコプタでは市民に愛されるヘリコプタとはならない。

私は１０年程前に大分空港と佐伯ヘリポート間のヘリコミュタの実験運航を担当した。
定期航空の最終便を受けて、午後８時半大分空港を離陸し一路佐伯ヘリポートを目指して飛び立つ本格的なヘリコミュータ。　陸路所要３時間の所、ＢＫ１１７ヘリコプタで３０分、実験主体が大分県なので航空運賃も適正、これで駄目ならヘリコミュータは駄目と、賭ける気持ちで運航を受注した。大分空港に最終便で到着し、それからから佐伯へ帰るビジネス客には非常に好評であった。　しかし、如何せん絶対的な利用者数の不足。空便が３日も続くと、１０名の運航要員が、“社長、給料を貰えば社員は文句を言うなと言われても、これでは余りに勿体ない。コミュータ運航から手を引こうよ”と。

たまたま、宮崎県内で企業内ヘリコミュータの大事故が発生。ここで我々がコミュータ運航を打ち切ると、ヘリコミュータと言うよりはヘリコプタその物の安全性が疑われる。とにかく、ほとぼりが冷める迄夜間コミュータを続けねばならぬと頑張った。
奇麗な星空の下を飛んでいる。　今不具合が起きたら何処へ着陸すべきか。　月夜でも照明の無い所は地形が分からない、光りの方向によっては月夜でも海面と陸地との区別さえつかない。
１２月末の一夕、アノラックを着た整備員が雨に濡れて飛行前点検を実施している。　控え室の黒板には機体スコークが列記している。　実験運航と言うと、予備機、地上設備、夜間運航の支援設備等は最小限の準備、不具合は発生しないものとして運航される。したがって無理をする。こんな事をしていると何れは大事故を起こす。　事故を起こすと皆んなが不幸だ。
事故を起こさない内に早く撤退しようと決めた。

救急医療サービス、ＥＭＳの実験現場はどうか。
事故の第一報が病院の待機室に入る。医者、看護士、パイロットに緊張が走る。整備士は直ちにヘリコプタの出動準備。石切り場での落石事故、変電所での感電事故、あるいは交通事故で、若者や一家の大黒柱の、切断された手足が復元回復して謝礼に来られた時は本当にやり甲斐を感じた。　運航期間は長い時で６か月、１日の実出動回数が３回及ぶことも度々であった。一言の不平も言わずにやって呉れた運航関係者と共々、世の為、人の為にＥＭＳ運航はやり甲斐のある、またやりたい事業だと思った。
幸いに厚生省が平成１１年度ヘリコプタによる救急医療サービスを本格的に取り上げた。　私がＢＫ１１７のプログラム・マネジャとして、川重で BK117ＥＭＳ機を試作してから１５年の歳月が経った。　ＥＭＳヘリコプタの運用体制が整備される迄には未だ５年はかかると思われるが、将来１００機程度のＥＭＳヘリコプタが運航される様になることは間違いない。
日本におけるドクタ・ヘリコプタ展開の為に、長期間強力な指導性を発揮されて来られた、日本救急医学会特に川崎医大小浜教授のご熱意とご尽力に心から敬意を表するものである。

防災とか、救急医療サービスとか、環境問題とか、山岳地帯に立つ送電線工事もそうであるが、一般市民に直接役に立つヘリコプタの運用を取り上げて、ヘリコプタの有用性をＰＲし、システム開発に向けて市民のベクトルを揃えることが、ヘリコプタ発展のキーポイントであり、ヘリコプタ技術協会の重要な任務の一つと考える。

ヘリコプタ工学教育活性化運動について

日本のヘリコプタが世界市場に進出する為、一番必要なことは後継者の育成である。
世界進出と言う大きな役割を担当するヘリコプタ技術者はひ弱な秀才では務まらない。　ヘリコプタが好きで、ヘリコプタに一生を賭ける、健康で逞しいエンジニアでなければ、これを成就することは出来ない。　さて現状はどうか。　航空宇宙工学科を卒業した新入社員の大方が、宇宙と飛行機の職場への配属を期待し、ヘリコプの職場に決まると失望する。

大学教育はどうか。 東京の大学から田舎の大学まで、深遠な学理の追求を建前として、学者・研究者を育成する様な、我々航空機械産業の受入側から見ると、解析手法、アナリシスの手法を主に教えている様である。 勿論アナリシスも不可欠、非常に大切なことである。

しかし、産業界、特に航空機、自動車等、機械関係の産業に従事する技術者の大半は、開発、設計、製造、整備、マーケティングの技術者である。
これらの技術者には Analysis よりも Synthesis、統合力が要求される。

統合力の養成は物から入って物に終わる。ヘリコプタの用途・運用について教え、次に構造と製造法について、製品の品質保証として飛行試験について教える。まとめとして設計並びに製図手法について教え、ヘリコプタの３面図位を描いて卒業する。 ヘリコプタ理論及び各種解析手法は、運用、用途、飛行試験、設計の手段として位置付けながら、それらと並行して教える。
初めからモーメンタム理論、ボルッテクス・リングでは Gessow 先生の名著に依っても今の学生は居眠りするのではなかろうか。 ある大学においてはハードは全然教えないとも聞く。
ハードを教えない位であるから製図も教えないのだろう。 これらは全て企業の On the Job Training に任されている。 この落差を旨く越えることが出来なかった有為の人材が、会社で何ら Productive な業務に就く機会も無く、定年で去って行くのを見ると残念でたまらない。

米国はどうか。 多くは無いが、学部または大学院でヘリコプタ工学を熱心に教えている著名大学があり、ＡＨＳの Annual Forum では毎年ヘリコプタのデザイン・コンペティションが行われ優勝校━ジョージア工科大学が優勝した時ティーム・メンバーに三菱重工の中山周一君が居た━を表彰する。 AHS Vertical Foundation と呼ばれる奨学金を毎年１０名位が貰って勉学の補助とする。 ２０歳代で業績を挙げた若者１名を AHS Annual Forum で表彰する Francois Xavier Bagnoud Vertical Flight Award 等、あの手この手でヘリコプ工学の早期教育が行われている。

韓国ではメーカの技術力不足を補う為であろうが産学の共同研究が非常に緊密である。メーカが実施するような試作研究を大学や研究所が実施している。ソール国立大学航空宇宙工学教室を見学ツアーしていた時、また余計な一言,“解析で博士は出来ても、ヘコプタの設計は出来ないよ。設計開発は Synthesis, Synthesize”だと言った所、案内の大学院生が“そうだ、うちの学部は全て物から入る。これを見てくれ”と案内された一室に、有るは有るは、車、エア・クッション・カー、ラム・ウイング、ヘリコプタもあったが、大小ガラクタ模型の山であった。

Simon Newman著 “The Foundations of Helicopter Flight”, Edward Arnold (1994) 発行の書籍が１冊突然英国から送られてきた。 折角東洋の果てに小生を見付けて送って呉れたのだからと購入し送金した。読むこともなく放置していたが、母校でヘリコプタについて話す機会あり、同書に分かり易い挿絵が多数有ったのでこれを借用した。 ついでに同書を一瞥した。 記載事項が新しく、且つ私が望んでいた設計技術者教育用に書かれたヘリコプタのテキストである。
今迄のテキストが大なり小なり、理論と解析が主体であるに比し、本書は統合力養成に付いて考慮され、テーマが上手く組み合わされている、ヘリコプタについての名著である。
著者はＵＫの Southamton大学航空宇宙工学教室教授、勿論ＡＨＳ会員である。

私は、現在日本のヘリコプタ開発をリードしている団塊世代近傍、５０歳代の技術者群が、良くもこれだけ優れた開発技術力を培養し把握したものだと、感心し高く評価している。
企業が、先輩が、これらの技術者を育成したか。 ＮＯである。 少し賑やかに成ると周りに人は集まった。 しかし全て彼等自身の努力で此処まで持って来たのが事実である。 時代が偉人を生むと言うが、３０年前ヘリコプタ技術に配属された新入社員達が、まだ少年期であったヘリコプタに夢を抱き、自らの手で灯火をつけ、自らの努力で今日まで燃やし続けてきたのである。

輝き始めたこの灯火をもっと大きく燃し続ける為に何をするか？ 辿り着いたのがヘリコタ工学教育活性化の運動であった。 若者に夢と希望を持たせる様なヘリコプタ工学の早期教育、少人数でも良い、一生の仕事として、ヘリコプタに夢を持って入社してくる、ヘリコプタ技術の核となる若者を育成しなければ、日本のヘリコプタ技術を継承し発展させることは出来ないと思い至った。

私は、国際会議 Heli Japan 98が企画された時、国際会議の成果を出来る限り、ヘリコプタの発展に役立つ、形有るものとして残したいと考えた。

その１つが“一般市民に対するヘリコプタの広報活動”であり、
そのまた１つが“ヘリコプタ工学教育の活性化運動”であった。

Heli Japan 98 の広報活動を通して、ある大学の主任教授と話した。　教授は予想通りの研究者であった。自分の研究を通しての教育については関心があったが、企業が求める学生教育については興味を示さなかった。　高専卒業者はどうか。　ＸＯＨ－１ヘリコプタは高専出が設計（開発とは言わないが）したと言われる程に素晴らしい実績を挙げている。これは本音半分、冗談半分と言う所であるが。

平成９年(1997)４月の役員会に高専を対象としたヘリコプタ工学教育活性化運動を提案した。
賛同は得られても実行は難しいと思いながらも、一方ではある程度の成算を期待していた。
理由は

・経営には利益の幾許かを社会に還元する意志がある、
・企業は特定大学に学術研究助成の為に献金している、
・企業は既に特定大学に非常勤講師を派遣している、
・本提案は企業にとっては学会で発表するのと同等以上の意義がある、
・求人活動は企業にとって重要な施策である、

からである。

結果として、ヘリコプタ工学教育活性化の意義を認めた企業の全面的な支援の下に、高専卒の技術担当課長数名が、夫々の母校を３０年ぶりに訪問して、教授・生徒とヘリコプタを通して交流し予期以上の成果が挙がった。　高専側も、派遣した企業も、勿論講演した課長も十分な意義と満足とを感ずるものとなった。

ヘリコプタ工学教育の活性化が一朝一夕に出来るとは考えてはない。　細くとも長く、少なくても熱心に実行して、初めて改革の火は燃え上がる。　１石１投の波紋が更に広がる事を期待して、参考となる事項を以下に列記する。

①対象学校は高専が最適。
②対象学年は卒業間近の高学年より、これから高専で勉強しようとする低学年を選ぶ。
　目標は出来上がった生徒よりこれからの生徒を導くことにある。
③１回の聴講者数は１クラス単位の４～５０名、１回の講演時間はせいぜい１時間半程度、
　講演形式より講義形式で、回数を多くした方が有効である。
④学校と事前に十分打ち合わせて完全な準備をする。
⑤講演は、ヘリコプタを、わかり易い表現で、面白く説明する。
　その中で、企業における講師の業績、これを踏まえて高専時代に為すべき事、注力すべき学科とその勉強法等を後輩に話す。
　留意すべき点は研究発表や業績発表では無いと言うことである。
　聴講する生徒に理解と共感が沸かなければ意味は無い。
⑤１回限りで終わらない様、継続した情報交換の場を作る様に学校と話をする。
⑥担当講師は、母校を訪問して後輩と交流することに興味を抱き、企業における自分の業績に誇りを持ち、かつヘリコプタ工学教育の活性化運動にも理解と意義を感ずる人を選ぶ。

結　　語

ビジネスの世界を離れ Non Profit な立場に立つと、少し客観的に物事が見えると自惚れている。私は評論家であろうとは思って居ない。一つしかない人生を共にしたヘリコプタである、愛着もある。　やっとここまで来た日本のヘリコプタ産業を、来世紀に向けて更に発展させたいとの思いに駆られ、“経験に基ずくは愚者”との誹りも恐れず、考える所を記述した。
人には持って生まれた器量がある。　幾ら努力しても所詮器量以上の水は入らない。　汲んだ水を何に使うか、火が消せるか、消せないかは、バケツの器量、汲んだ水の量、放水の仕方、さらに大きくは天運に左右される。

ヘリコプタにも、幾ら足掻いてもどうすることも出来ない、持って生まれた器量がある。
その器量の範囲内で、水を詰め込み、世の為、人の為に、ヘリコプタを運用することが、ヘリコプタ発展の近道であり最善の道である。
消火用に汲んだ水でも、乾燥した農場があれば撒けば良い。
ヘリコプタは、それでも尚２１世紀に、多くの日本の若者が、夢と希望を抱き、自分の人生を託するにたる事業であると信じている。

パイロットに及ぼす視界環境の影響について

富士重工業㈱航空宇宙事業本部
宇都宮製作所　技術計画室
横倉　修一

1．はじめに

低空を飛行するヘリコプタ・パイロットは、目視で得られる外界情報(Visual Cue)に多くを負っており視界が悪くなる程安定な飛行特性を望む傾向がある。(図1参照)米欧各国で検討中の新飛行性基準(Aeronautical Design Standard)ADS-33[1]では、視界環境の良悪をパイロットの主観評価でレベル分けし、レベルに応じて望ましい飛行特性を規定している。ここ数年、各国では評価方法の試行を兼ねて、視界環境と飛行特性との相関を確認する各種飛行試験に取組んでいる。

我国の将来のヘリコプタ開発においても視界環境に応じた望ましい飛行性の実現は重要な設計要件になると考えられる。富士重工業(株)では、ADS-33の主観評価の試行と併せて、アイ・カメラによる視点計測を実施し視界環境の定量化を試みたので結果を報告する。

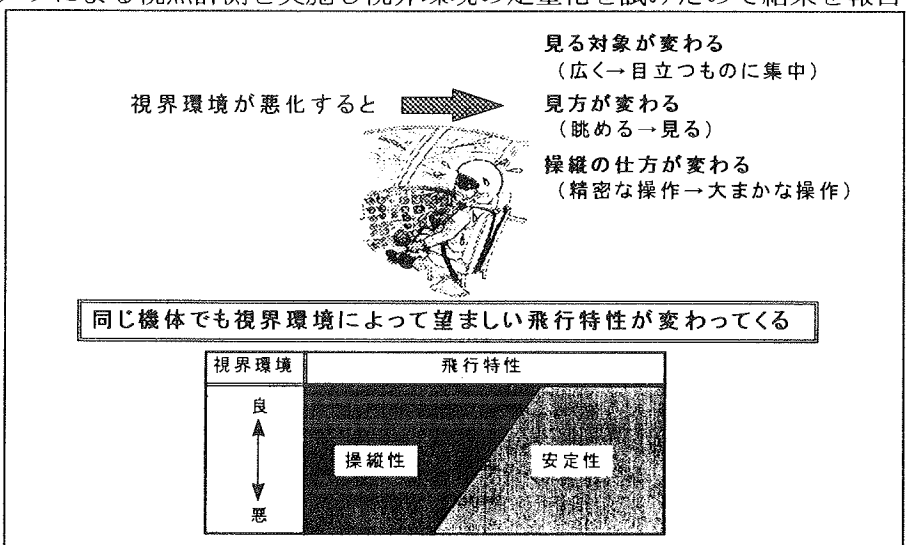


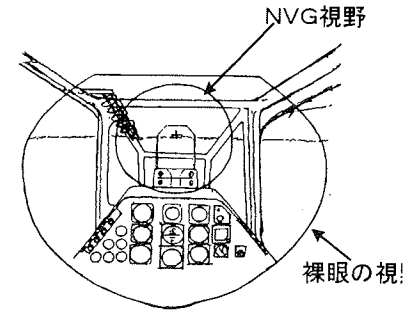
図1　視界環境の影響

2．ヘリコプタの視界環境について

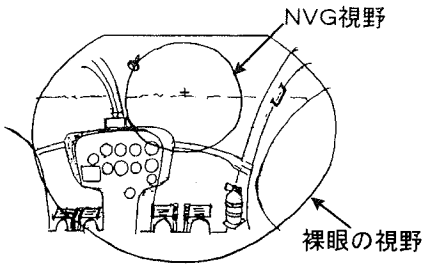
ヘリコプタの運用の基本は有視界飛行である。天候の変化によっては意図しない低視界状態に陥る危険性があり、その場合パイロットは機体姿勢・高度・位置の把握に必要なVisual Cueが得難くなる。

視界が悪くなると同じ機体であっても操縦に困難を覚えるようになる傾向があることは昔から知られている。Visual Cueが得難くなるに従って、操縦に欠かせない情報が不確かになり修正操作が遅れたり適正でなくなるためと考えられる。[2),3)]

最近の軍用ヘリでは、NVG(Night Vision Gogle)やFLIR(Forward Looking InfraRed)を使用してパイロットの視覚を増強することにより夜間・低視界環境下でも運用が可能になりつつある。但し、これらの視覚増強装置は視野角・解像度等の面で人間の眼に比べ劣っており改良の余地があると言える。(図2参照)

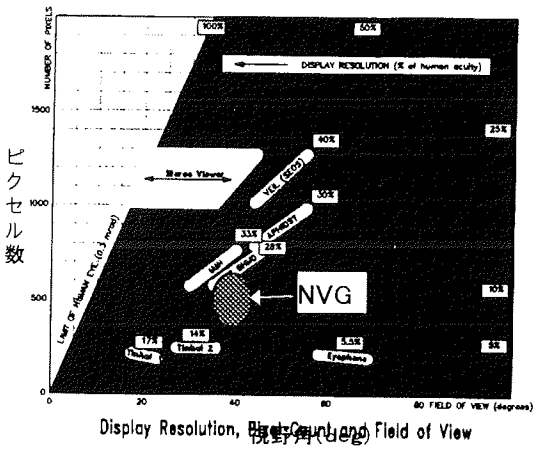


操縦士席からの見え方(AH−1S)



操縦士席からの見え方(OH−6)

出典:参考文献4)



視野角と解像度の関係

出典:参考文献5)

図2 NVGの視野角及び解像度

近年、飛行中に正しい機体姿勢・高度・位置が判らなくなるSpatial Disorientation(SD)と呼ばれる危険状態が話題に上がるようになってきた。米陸軍の統計によれば、1987〜1992年の5年間のヘリコプタの事故のうち1/3がSDに起因する対地クリアランスや地形障害物の見誤りによるものとされている。また、約300名のパイロットのうち8割がSDを経験しており、その40%はNVG装着時に起きているというアンケート結果の報告もある。[6)]

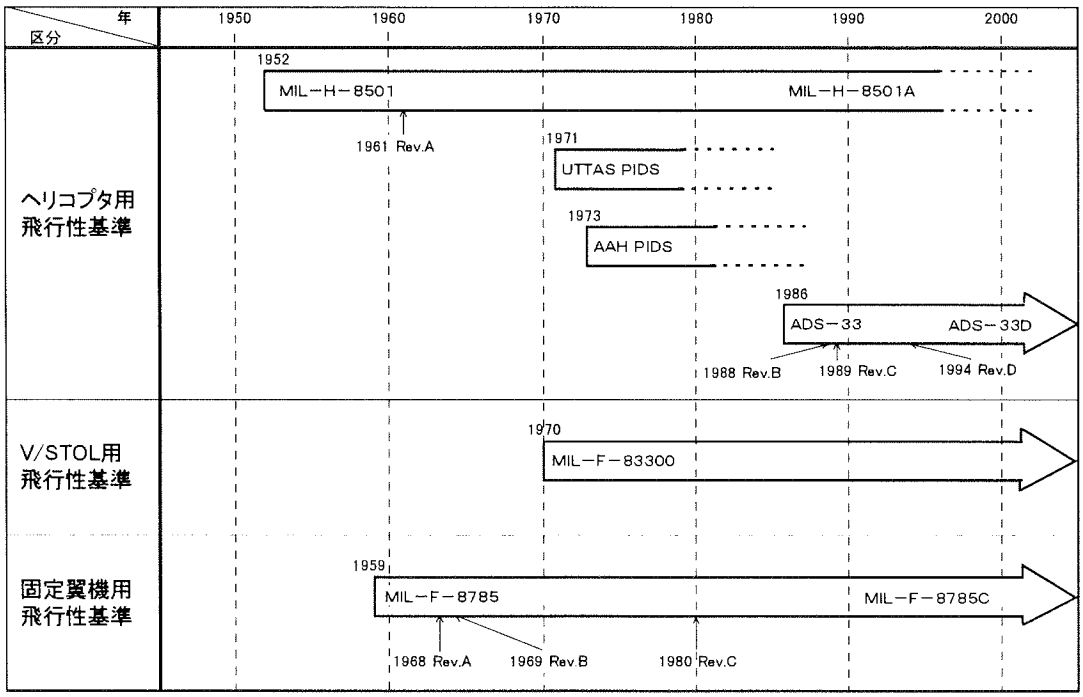
3．最近のヘリコプタ飛行性基準

ヘリコプタの飛行性基準はMIL-H-8501[7)]が1952年の制定以来1961年にA改訂されただけでずっと使われ続けてきた。1970年代初頭にV/STOLの飛行性基準として統一化が試みられMIL-F-83300[8)]が制定されたが、ヘリコプタをどう位置づけるかが不明瞭なため適用されたヘリコプタは無い。また、米陸軍のUTTAS(Utility Tactical Transport Aircract System)及びAAH(Advanced Attack Helicopter)開発に際してはMIL-H-8501をベースに汎用ヘリ及び攻撃ヘリ特有の条項を追加する形でPIDS(Prime Item Development Specification)が制定されたが、これらはUH-60、AH-64に適用された一過性の基準であった。これらの基準に共通することは、有視界飛行と計器飛行で動安定や静安定に異なる基準が設けられ計器飛行では有視界飛行に比べて安定が良いことが求められているが、有視界飛行を更に視界環境の良否で細かく規定するところまで踏み込んではいなかったことである。

従来の飛行性基準では視界環境に応じた望ましい飛行特性が定義されていない、多様化するヘリコプタの任務をカバーしきれない等の懸念から、1970年代後半から新飛行性基準策定の活動が米陸軍で始まった。その結果、1985年にLHXへの適用を前提としたADS-33が発行された。この13年の間に、米陸軍のみならず空海軍及びイギリス、ドイツ、カナダ等と共同研究が組まれ、広範囲の機体及びシミュレータを用いた試験を経て膨大なデータ・ベースの蓄積が図られてきており、既に4回の改訂が実施されRev.Dに至っている。

(表1参照)

表1 飛行性基準の変遷



ADS-33の主な特徴は、「視界環境の良否を判定するVCR(Visual Cue Rating)が定義されており、VCRに基づき視界環境をUCE(Usable Cue Environment)レベル1～3にランク分けできるようになっていること」「タスク(細分化した任務内容)及びUCEレベルに応じた望ましいレスポンス・タイプが規定されていること」である。

操縦の難易及び視界環境の良否はパイロットの主観によるところが大きいので、Handling Qualitiy Rating(HQR)と称する10段階評価と先述のVisual Cue Rating(VCR)と称する5段階評価で定量化される。(図3参照)

HQRはMIL-F-8785やMIL-F-83300で既に導入された尺度であり、テスト・パイロットの教育コース等で普及が図られ飛行試験やシミュレータ試験を通して運用の実績が積まれてきている。一方、VCRは新しい尺度であるため各国で以下に示すような飛行試験を通して運用実績の蓄積に取組んでいるところである。

アメリカ：NASA　NAH-1による視野角とVCRの相関確認試験[9)]

イギリス：DERA　W-Lynxによる視野角と主観評価の相関確認試験[10)]

カナダ　：NRC　Bell205による視野角とVCRの相関確認試験[11)]

　　NRC　Bell412によるNVG装着試験[12)]

地面近くでのホバー及び低速飛行で要求されるレスポンス・タイプ

タスク ＼ 視界環境	UCE＝1 レベル1	UCE＝1 レベル2	UCE＝2 レベル1	UCE＝2 レベル2	UCE＝3 レベル1	UCE＝3 レベル2
・垂直離陸及び前進飛行への移行－開けた地積	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate
・精密ホバー ・荷物の吊上げ吊下し ・吊り下げ荷物の運搬 ・RAST*回収を含む着艦 ・垂直離陸及び地面近くの飛行への移行 ・ホバー移動／NOE飛行 ・素早いｽﾗﾛｰﾑ			ACAH+RCDH +RCHH	Rate+RCDH	TRC+RCDH +RCHH +PH	TRC+RCDH +RCHH
・傾斜地着陸 ・精密垂直着陸 ・引起しﾌﾟｯｼｭｵｰﾊﾞ			ACAH+RCDH			ACAH+RCDH
・素早いﾎﾟｯﾌﾟｱｯﾌﾟ及びﾎﾟｯﾌﾟﾀﾞｳﾝ ・素早いﾎﾊﾞﾘﾝｸﾞ ﾀｰﾝ			ACAH+RCDH +RCHH +PH			Rate+RCDH +RCHH +PH
・注意力が分散される運用を含むﾀｽｸ ・ソナー懸垂 ・掃海	Rate+RCDH +RCHH +PH					
・精密ホバーへの素早い移行 ・素早い横進 ・素早い加減速 ・ﾀｰｹﾞｯﾄ捕捉及び追尾	Rate					

*:RAST Recovery Assist,Secure and Traverse

Rate　:レート・レスポンスまたはレート・コマンド姿勢保持(RCAH)レスポンス・タイプ

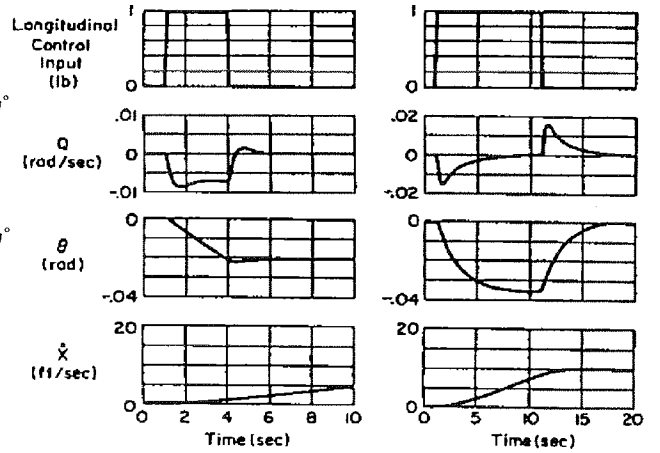
ACAH: 姿勢コマンド姿勢保持レスポンス・タイプ

RCHH: 上昇／降下率コマンド高度保持レスポンス・タイプ

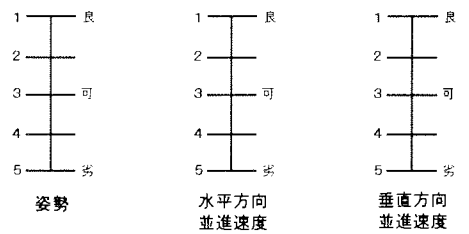
RCDH: レート・コマンド方位保持レスポンス・タイプ

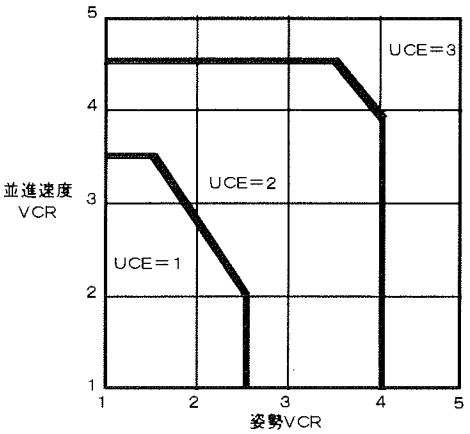
PH　:位置保持

TRC　:速度コマンド・レスポンス・タイプ



a) Rate Command/Attitude Hold (RCAH)　　b) Attitude Command/Attitude Hold (ACAH)





キューの定義

XX＝ピッチまたはロール姿勢、横・縦または垂直方向並進速度

良XXキュー：活発かつ精密なXXの修正操作が自信を持って実施できる。精度も良好。

可XXキュー：限られた範囲のXXの修正操作が自信を持って実施できる。精度はまあまあ。

劣XXキュー：微小かつ穏やかなXXの修正操作のみ可能である。終始変わらない精度は達成できない。

ＶＣＲの定義　　ＵＣＥの定義

図3　ADS-33 の概要

4.飛行試験

4.1 試験目的

今回紹介する飛行試験は、次の２点を目的に 1997 年 12 月に実施した。

①ADS-33 に定義されている VCR の主観評価を試行し、評価要領を習得する。

②アイ・カメラを使用して、視界環境による目視行動に関する客観データを取得する。

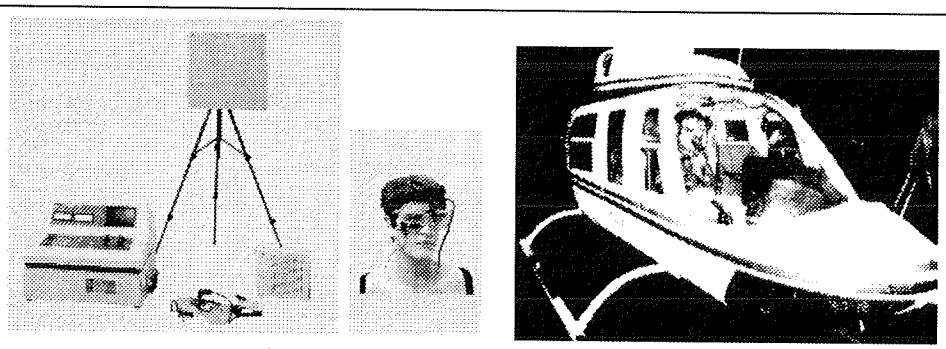
4.2 試験内容

主観評価ではレベル合わせが重要である。同じ機体を同じ条件で評価した場合、評価者によって結果が大きく異なるようでは評価尺度たり得ない。そこで、AH-1 の飛行経験を有する当社テスト・パイロットを評価者とし、AH-1 を改造した NASA の実験機 NAH-1 を用いた 10 名のテスト・パイロットによる米国の評価結果 [9]を参考に、レベル合わせと VCR 及び UCE の考え方を習得した。

試験は社有機 206L を用い、飛行場内で離陸からホバリング・旋転・加減速・横進・ボブアップ・ボブダウン・着陸までを、昼間と夜間の２通りの条件下で実施した。

評価のばらつき及び試験要領の差異を生じさせないため、同じ日に２フライト実施し、試験後所定のアンケート用紙を用いて VCR 及び HQR 評価を実施した。

飛行中の視線の動きをアイ・カメラでビデオ・テープに記録するとともに、何を見ているのか（計器の種類・外界の目標物）、視界環境についての気付き点（雨で光って良く見える等）を思い付くまま口述してもらい、計測員がアンサーバックしつつビデオ・テープの音声トラックに同時録音していった。試験装置及び飛行試験機を図４に示す。



アイ・カメラ　　飛行試験機

図4　試験装置及び飛行試験機

4.3 試験結果

①UCE レベル評価結果（図５参照）

昼間と夜間で以下のような有意差を得た。尚、206L は特に下方視界が広く VCR は AH-1 に比べ良い評価となっている。

・昼間　ＵＣＥレベル１

・夜間　ＵＣＥレベル２

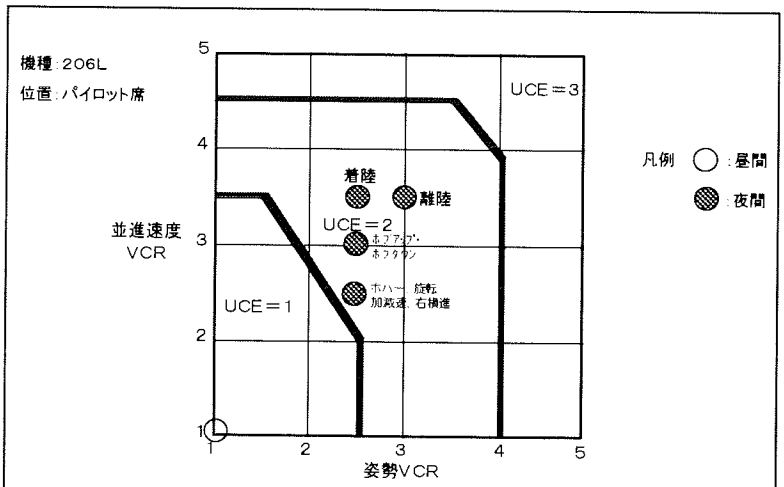


図5　UCE レベル評価結果

②アイ・カメラ解析結果（図６参照）

夜間は昼間に比べ急な視点移動が減る傾向にあり、視点移動の角速度分布形状に有意な差となって現れた。夜間になるとビジュアル・キューが減り、街灯等目立つポイントに視点が集中する（俗に言う瞳を凝らす状態）ようになるため、急な視点移動が減るものと考えられる。今後、VCR 評価を裏付ける定量データとして活用できる可能性がある。

・昼間 UCE レベル１では　０～38°/sec までほぼランダム（一様）に分布

・夜間 UCE レベル２では　０～16°/sec の範囲に集中

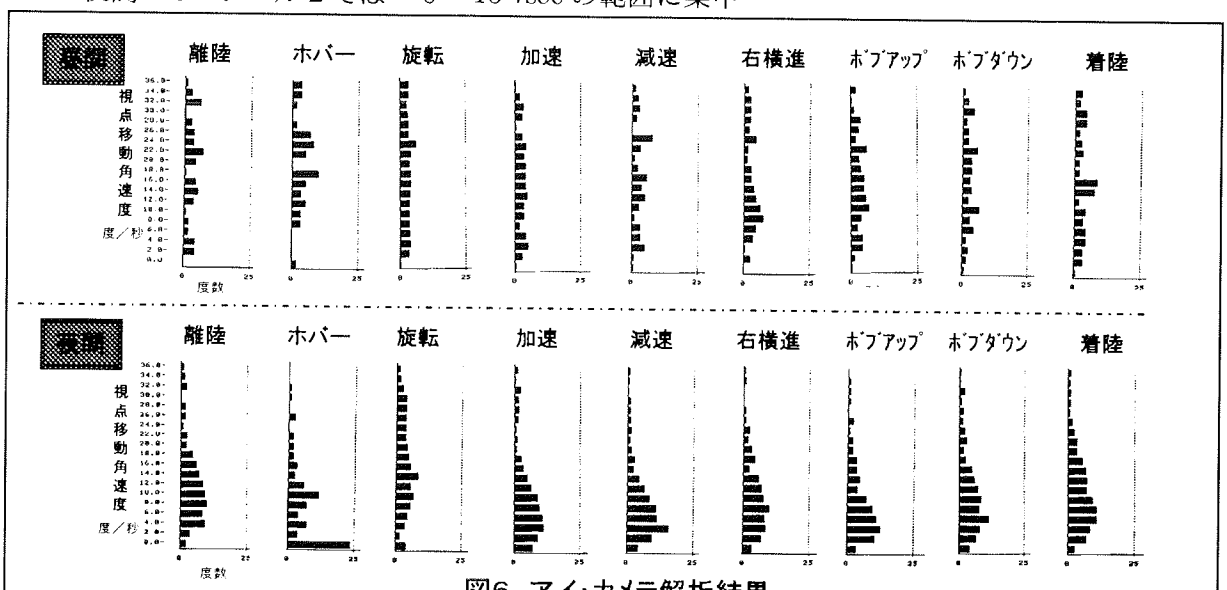


図6　アイ・カメラ解析結果

③HQR 評価結果（表２参照）

夜間では、同じ機体特性でも昼間に比べ操縦が若干難しくなることが確認された。操縦エラーが判りにくくなり、細かい修正操作が困難になるためとのコメントを得た。

・昼間 UCE レベル１では　HQR＝2.5～3.0

・夜間 UCE レベル２では　HQR＝3.0

表2　パイロット・コメント及びアイ・カメラ画像から得た目視対象

	昼間	夜間
離陸	誘導員を中心に見る	建物の明りを頼りに横のキューを得る
ホバー	同上	同上
旋転	地平線と中央窓枠を中心に外を見る	地平線の代りに飛行場境界付近の街灯を見る
加速	地平線を中心に速度計を間欠的にスキャン	同上
減速	ホバーに近づくと右前下方を見る	地面を見るが芝生は見難い
右横進	地平線と中央窓枠を中心に外を見る	高度把握のため右前下方を見る
ボブアップ	前方を中心にﾄﾙｸ計・高度計をｽｷｬﾝ	同左
ボブダウン	高度把握のため右前下方を見る	同左
着陸	降下中は誘導員、接地時は右前下方	同左（ｺﾝｸﾘｰﾄが雨で光って見やすかった）
HQR	２．５～３．０	３．０（操縦ｴﾗｰが判り難くなり修正操作困難）

5.おわりに

今回、手間をかけずに簡易な試験装置を用いて飛行試験を実施したが、ADS-33 の評価要領の習得だけでなく視界環境と視線移動速度分布形状との関連を示唆する興味深い結果が得られた。実機による飛行試験は実施を左右する要素が多く絡むので、フライト・シミュレータを活用しながらヘリコプタの全天候能力獲得に向けた包括的な研究を継続して進めていきたい。

参考文献

1).ADS-33 "Handling Qualities Requirements for Military Rotorcraft"

2).革新航空機技術開発に関する研究調査成果報告書 No.6211「ヘリコプタ情報制御システムの研究」,1988.3

3).M.T.Charlton,N.Talbot"Overview of a Programme to Review Civil Helicopter Handling Qualities Requirements",23rd ERF,Sept.1997

4).田中和章 "初めての AH-NVG 操縦集合教育を終了して",pp23～32,陸上航空,H9.7

5).G.Rood"Man/Machine Interface & Helmet Mounted Systems",Military Avionics Conference,April,1994

6).J.Murray"Environmental Factors for I2 Night Vision Device Currency Requirements",53rd AHS,May,1997

7).MIL-H-8501A"Helicopter Flying and Ground Handling Qualities;General Requirements for",April,1962

8).MIL-F-83300"Military Specification Flying Qualities of Piloted V/STOL Aircraft",Dec.1970

9)L.Haworth et.al."In-Flight Simulator of Visionic Field-of-View Restrictions on Rotorcraft Pilot's Workload、Performance and Visual Cueing",52nd AHS,May,1996

10).K.L.Edwards"An Operationally-Applicable Objective Method for the Analysis and Evaluation of the Flights of Helicopter Mission Elements during Field-of-View Trials",53rd AHS,May1997

11).S.Jennings et.al."An Investigation of Helmet-Mounted Display Field-of-View and Overlap Tradeoffs in Rotorcraft Handling Qualities",23rd ERF,1997

12).S.W.Baillie et.al."A Preliminary Investigation of the Handling Qualities of the Bell 412HP Helicopter during Flight using Night Vision Goggles",53rd AHS,May,1997

回転数差動方式同軸二重反転ヘリコプターの開発

(有) コアックス
技術部長
荒木　勝彦

1．はじめに

同軸二重反転（Coaxial）ヘリコプターのアイデアは古く、今日のようにテイルローターをもつシングルローター型式が定着する以前には数多くが試されては消えていきました。

今世紀に入ってからでもヒラー、ブラントリー、ジャイロダイン、シコルスキー、カモフ等がコアキシャルに取り組んだものの、量産されたのはカモフのみでした。

先人達が試みては放棄した経緯は定かではありませんが、短所として一般的には上下ローターの干渉とオートローテーション降下時の方向制御困難が知られています。

これらの特性改善を目指し開発中の題記システムで、方向制御については一応の成果が得られましたので報告させていただきます。ローター干渉については別途考案中です。

2．コアキシャル型式の長所

前記の短所を除けば長所の方が圧倒的に多く、列記すれば

①円板面荷重を同じにとればローター直径は約70%とコンパクトにまとまる。

②テイルブーム、テイルローターが省略でき、よりコンパクト化が可能。

③パワーアップが比較的容易。（テイル関係の容量アップが不要）

④テイルローターに関わる多くの問題から解放される。主なものでは、パワーロス、メンテナンス、運用時の危険性、ドリフト、ＬＴＥ等が無く操縦性も改善される。

⑤左右のアンバランスが少なく高速化に有利。

等々が主なもので、このような特性から小さくて力持ちのヘリコプターにうってつけの型式といえます。

現在も艦載用のカモフやいくつかのＲＰＶにはコアキシャル型式が採用されています。そのシステムや性能は知りませんが、特性上の短所は運用制限その他で避け、長所を最大限に有効利用しようとした結果だと推測されます。

3．方向制御

コアキシャルヘリコプターの方向制御に関しては上下ローターのピッチ差動方式がよく知られていますが、垂直尾翼と方向舵も併用し方向安定向上を図るのが常道のようです。

有人ヘリのカモフやシコルスキーＳ－69／ＸＨ－59でも双垂直尾翼と方向舵を備え、Ｋａ－27ではこの面積をかなり大きくしたうえ、トーインと前縁スラットまで設けています。強風下の洋上運用では必要なのでしょう。

一方、無人機のＲＰＶでは運用範囲が限定されているためか殆どがメインローターのみで方向制御され、尾翼を備えたものは知りません。ホバー状態または低速度での運用が主と考えられ必要ないのでしょう。また、単発エンジン機でありながらオートロ降下もしないのか動力トラブル時の対応策も聞きません。

４．検証

このようなコアキシャルヘリコプターに関しての情報不足から、この型式固有の特性がイメージできませんでした。多くの長所をもつコアキシャル型式が普及しない要因は自分達で検証し、これの特性改善と普及を目指した開発を十数年前から始めました。

我々のもつＲＣ（ラジオコントロール）ヘリコプターの経験とノウハウを使い、当初は固定ピッチ方式よりスタートしました。コレクティブピッチ機能はもたず、サイクリックピッチとヨー軸制御のための上下ローターのピッチ差動をもった機体で、出力約１PSのエンジンでベベルギアーによる反転機構をもつものでした。これは比較的簡単に出来上がりホバーテストでも１～２度のピッチ差動で良好なヨー軸制御が可能でした。しかし固定ピッチの上、ＲＣヘリでは不可欠といわれる安定棒を省略したため風には弱くホバーがやっとでした。しかしピッチ差動によるヨー軸制御が体感できたため、この機体でのテストは終了としました。

つぎは前記の方式にコレクティブピッチ機能を追加した機体を作製しテストを続けました。当然昇降操作は格段と容易になりましたが、やはりロール、ピッチ方向の安定性が不足していました。不意の突風による転倒、高速飛行でのピッチング発生による墜落等により何機ものテスト機を失いました。この安定性改善にはローターブレード、ヘッド、制御方法等、全域におよび数年を費やしました。しかし1992年頃にはほぼ完成の域に達しホバー安定はもちろん、高速でのループ、ロール飛行も可能となりました。また長所として予測していた多くの特性もほぼ体感でき、意外だったのはズングリとした外観には似合わないほどの高速性能でした。同クラスのＳＲ型式と比較して約３割もパワーアップしたフィーリングで、パワー効率と低ディスクローディングの有利性を見せてくれました。

当然ながら一連のテストではアイドル降下やオートローテーションも行いましたが、やはりこの面がいちばんのネックでした。上空から降下のためにだんだんとコレクティブを下げていくと、これに比例した感じでラダーの効きが甘くなってきます。そしてあるポイントに達するとラダー操作に反応しなくなり、これ以下では舵が逆転してしまいました。もちろんオートロピッチでは逆ラダーです。この時点でいろいろ工夫を重ねましたが効果的な方法もみつからず、飛行制限で対処するしかありませんでした。

５．システム検討

以上の検証結果により、やはりピッチ差動によるコアキシャル型式ヘリはヨー軸制御に問題があることを確認し、コレクティブピッチに影響されにくいヨー軸制御システムの開発に取り掛かりました。

はじめに我々の知る限りのヨー軸制御方法を(**表１**)にまとめました。

上下ローターのピッチ差動式以外ではエアーブレーキ式と回転数差動式が考えられますが、ローターブレード内に構造物が必要なエアーブレーキ式はデメリットが多く除外しました。

回転数差動式でもいくつかの方法が可能ですが、リニアな制御と耐久性等を考慮し無段変速機構を利用した方式でテストすることにしました。

- ヨー軸制御方法
  - コレクティブピッチ
    - ピッチ差動式（カモフ、その他）
    - 翼端エアーブレーキ式（ジャイロダイン方式）
    - 回転数差動式
      - 双発出力差動
      - クラッチ使用
      - ブレーキ使用
      - 無段変速使用
  - 固定ピッチ

表１／同軸二重反転ヘリコプターのヨー軸制御

６．実証１号機

この方式の原理は（図１）で、これを簡単に説明しますと動力を差動機構で２分して、これを無段変速機構等で上下ローターの回転数を制御します。この操作により変速中はローターイナーシャで、変速後は空気抵抗差でヨーコントロールが可能になるとの考えかたです。そのためマスト周りのリンケージはコレクティブとサイクリックだけになり（図２）のようにピッチ差動やエアーブレーキ式と比べてかなりシンプルになります。

しかし理論面での裏付けができず、初動では効いてもそれ以後には効かないのではないか、また効いたとしてもニュートラル位置に戻せば逆舵になるのではないか等々の心配もありました。

６ヶ月後に完成した実証機ではアイドル降下とオートローテーションでのテストを徹底的に実施しました。勿論ホバーと上空飛行ではなんの問題もありません。事前にコレクティブピッチ

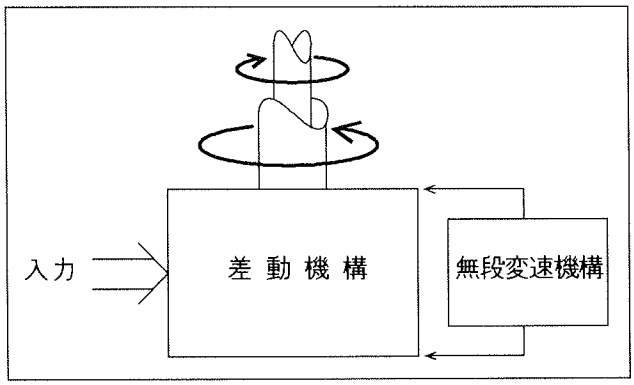


図１／ギヤーボックス概念図（実証１号機）

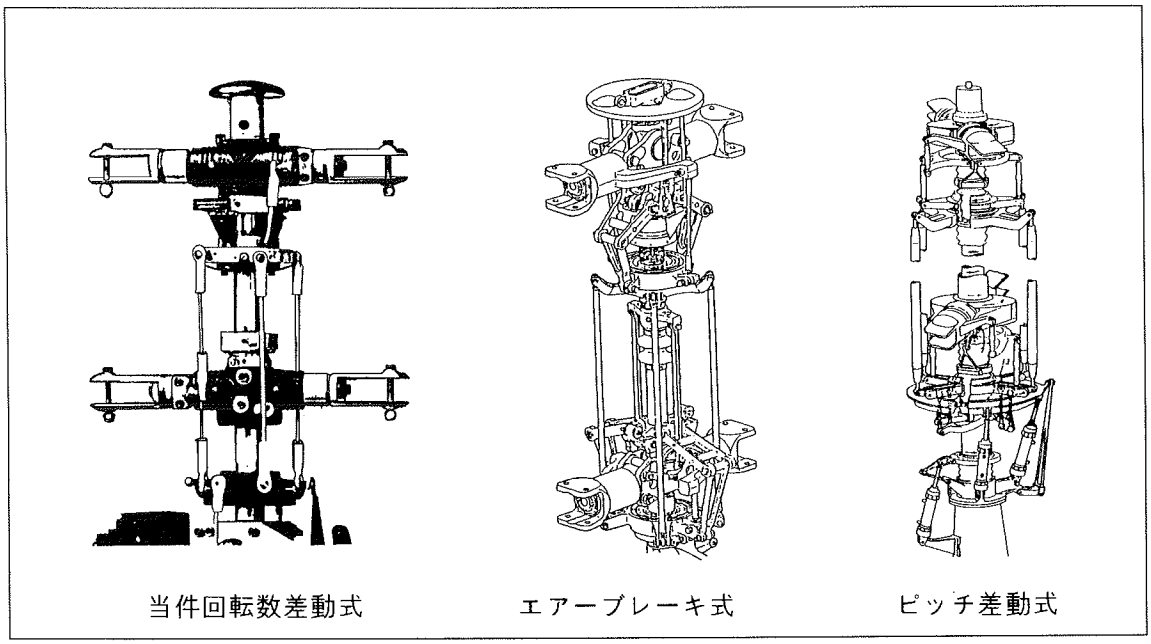


図２／型式別のリンケージ比較

比率を約２：３で下ローターピッチを大きく設定しておけばどのようなピッチにおいても殆どラダーへのリアクションはなくニュートラルが保持されます。急激なコレクティブ操作やオートローテーション中でもラダー位置は中立のままで、少しの操作で容易に方向制御ができました。また円板荷重が小さいためかオートロ降下のスピードはかなり落とせ垂直オートロも可能です。このへんは一般のシングルローターＲＣヘリと比べても降下速度を３～４割も落とせます。これはメリットとして大きな発見でした。

この方式の特許申請と平行して改良機の設計にかかりました。今度は耐久性の向上とパワーロスを減らす目的で、無段変速機構の代わりにモーター駆動のヨーコン装置を組み込みました。そのため全ての動力系統がギヤー構成となり、大きなパワーでも使用できるようになりました。しかし低馬力のものには簡単な無段変速方式で十分でしょう。

７．実証２号機

つぎに現在もテストと調整中の実証２号機について報告します。
この機体は減速とヨーコン機能をギヤー類の組み合わせでまとめ、制御には電気モーターを使いましたがこれは他の動力も使用できるでしょう。(図３)

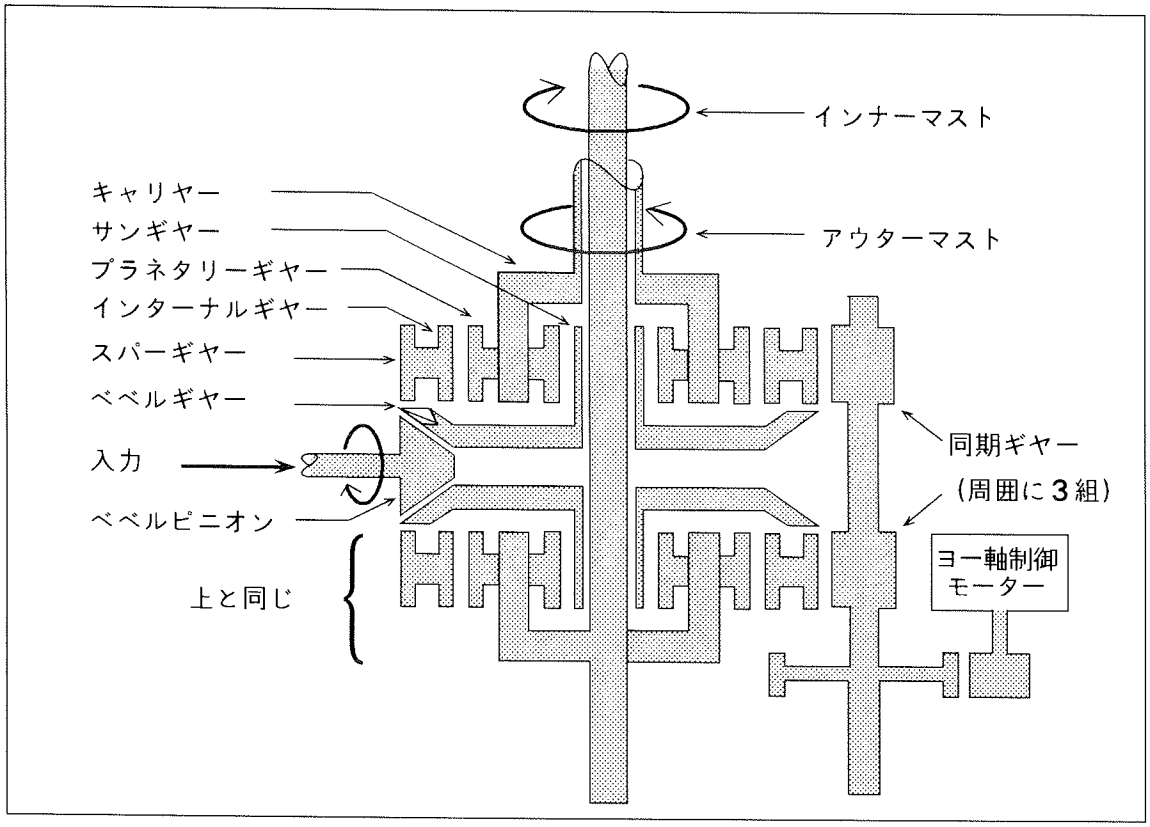


図３／ギヤーボックス構成図（実証２号機）

ギヤー構成としてはいろいろありますが、この例ではベベルギヤーで動力を上下に２分割し２組の遊星ギヤーに入力しています。ローターへの出力はキャリヤより取り出しインターナルギヤーはラダー中立では静止させます。このインターナルギヤーと一体にした上下の大径スパーギヤーどうしを同期ギヤーで連結しています。

ラダー操作により同期ギヤーを駆動すると片側のローター回転は上がりますがもう一方は下がります。このような作用から当方式を「回転数差動式」としましたが、これは機体

を固定した考えで、飛行状態では反対にインターナルギヤーの周りを同期ギヤーが回り、機体も回るといったほうが適当かもしれません。またギヤー類はスパーやベベル等一般的なものばかりです。この例での入力軸はひとつですが、水平ならばどの方向からでも入力でき多発化は容易です。

ヨーコンモーターはニッカド電池で駆動し、エンジンの動力は使っていません。ラダー中立時はモーター駆動も不要のため電池容量は十分とふんでいました。しかしモーター駆動によるローター回転数差をどの程度に設定すれば妥当か当初見当もつきませんでした。とりあえずローター回転数の３％に設定しましたが、エンジン停止でのテストではどうも少ないように感じました。しかしこれはホバーテストの結果により見直すということにしました。

ローターヘッドは従来の経験から比較的大きな操縦モーメントが得られ、ブレードの干渉防止の面からもフレックスビームにしたかったのですが、入手パーツの制限から上下ともフラッピングヒンジを持った全関節型になりました。ローターブレードは６度の捻り下げをつけた木製２枚ローターで、直径は1450mmです。

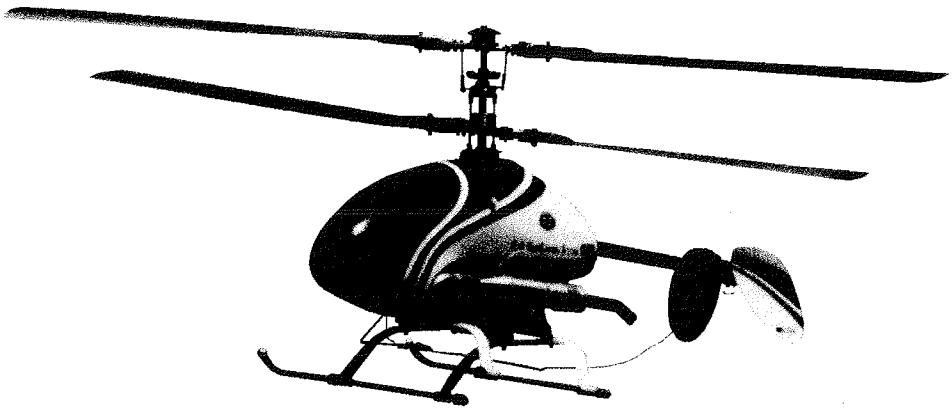
この機体でのテスト結果ですが、やはり最大３％のローター回転数差では不足でした。模型の場合は実機と比べてローターが圧倒的に小さく、当然イナーシャも空気抵抗も比較になりません。実機なら十分だったかもしれませんが模型では不足してしまいました。

数回のギヤー交換を経て最終的には約15％の回転数差に設定しました。その結果実証機は良好な方向制御が可能となり、またラダー操作による高度方向へのリアクションも、コレクティブ操作によるヨー軸廻りへの影響もみられません。ラダー操作とコレクティブは完全に独立できたわけです。

８．おわりに

コアキシャルヘリコプターのヨーコントロールに的を絞った開発経過を述べさせていただきましたが、この形式のヘリもまだまだ有効な使い道があると思います。コンパクトさを生かしてＲＰＶや小型ヘリに、また効率よく大きなパワーを吸収できるので大型ヘリにはより有利だとおもいます。

私達も一歩づつ大型化を目指して計画中です。



ヘリコプターの役割について

朝日航洋株式会社
代表取締役副社長
田村 祐茂

本日お集まりの皆様は、それぞれメーカー、商社、あるいは同業他社、その他航空関連の事業にかかわっておられる方々ばかりですが、ヘリコプター運航会社として平素よりお世話になっており、この席をお借りしてお礼を申し上げます。

さて、皆様にお越しいただいた東京ヘリポートは、ご承知の通り、わが国ヘリコプター基地のメッカともいえるのではないかと思います。数字を上げますと、発着回数は年間32,000回。1日にならして平均およそ90回になります。

そのくらい多くのヘリコプターがここで発着し、それぞれの事業や行政にかかわっておるわけです。現在は東京都の管理下にあるヘリポートで、民間会社13社、官庁は東京警視庁、東京消防庁、川崎市消防が本拠を置いております。

ヘリコプターは第3の産業革命

ところで技術開発が産業構造に大きな変革を及ぼすことはいうまでもありませんが、私は蒸気機関の発明による18世紀の産業革命の次に大きな変革をもたらしたものがコンピューターの出現ではないかと思っております。

一方、ヘリコプターの出現は、われわれの産業にどのような変革をもたらしたか。これは第3の産業革命といってもいいほどの変革を起こしたのではないか。ヘリコプターの出現は、民事のみならず軍事におきましても大きな変革をもたらしております。民事の世界では、概念として大まかにとらえるならば、ヘリコプターや航空機が単なる輸送手段としての機能から産業用の航空機というように変貌しております。

単に人や物を輸送するというだけではなしに、ヘリコプター固有の特性を使った作業の効率化、高機能、環境問題、自然への配慮、情報の収集伝達という面に大きな役割を果たしていると思います。具体的には建設、報道、水稲の航空防除であるとか、空中消火というようなことです。

その中でも建設工事に関する一例を申し上げますと、かつて北海道のニセコ山頂にスキーリフトを造り、駅舎を山頂に造りました。そのとき、そこに至る経路は、環境保護地域であって、資材運搬のための道路をつくるわけにはいかない。また従来の方法で運搬して

も、運んだ部材、骨格をどうやって組み立てるか。組み立てるためには当然ユンボやクレーンがないとできないのですが、それを運ぶための道路もつくれない。

そこで、建設資材をヘリコプターで運び、運んでいった部材をそのまま空中で組み立ててしまえばいいではないかということになりました。まさに一手作業です。つまり建設部材をヘリコプターで吊ってゆき、山頂でホバリングをしながら桁から何からすべて組み立ててしまいました。その結果、環境上憂慮されるような問題は全く発生しませんでしたし、むしろ工期が短縮され、経費も安く上がったということになりました。まさに、これはゼネコンにとっても初めてのことで、ヘリコプターの新しい活用形態の一例としてご紹介させていただきました。

そのようにヘリコプターの出現は産業面で大きな変革をもたらしており、効果を発揮していると思われます。

ヘリコプターの出現による変革

一方、お許しいただきたいのですが、私も現職当時は陸上航空にかかわっておりました関係上、今日は民事ヘリコプターの役割ばかりでなく、軍事面も含めてヘリコプターの出現がどのように戦術原則といわれるものに変革をもたらしたかということをご紹介したいと思います。皆様の中には、当然メーカーのお立場で民・軍にかかわわらず、新しいヘリコプターの技術開発にかかわっておられる方もおありだと思いますので、何らかのご参考になればと思います。

ヘリコプターの出現は軍事の世界におきましても、戦いのドクトリン、戦法といったものを変えつつあります。特に対戦車ヘリコプターの出現がどういうような戦術戦法に影響を及ぼしたかと申しますと、まず対戦車ヘリコプターというのは、飛行機か戦車かという基本的な役割について認識を変えさせるようなインパクトを与えたわけです。戦車の特性は火力、装甲防護力、機動力です。火力は大きな口径の火力で敵の戦車、あるいは部隊を制圧する。装甲防護力は敵の弾にあたってもある程度は大丈夫である。そして機動力がある。窪みなどの障害物を乗り越えていくことができる。

戦車はこういった特性がありますが、それに対する対戦車ヘリコプターは、戦車砲の射程よりもさらに離れたところから敵戦車を破壊できるミサイルを装備しています。そうすると火力においてはヘリコプターが勝っています。しからば機動力においてはどうかというと、キャタピラの無限軌道をもつ戦車は多少の障害物を克服していく野外機動性は優れておりますが、ヘリコプターは上空を飛越していくわけですから、もっと戦車よりも勝った機動力を持っています。

では、最後の装甲防護力はどうか。立派な殻を被って、敵にやられないということは消極的な生き残り策です。

このように役割が変わってまいりました結果、古今東西、昔から対戦車戦闘の要訣としては戦車には戦車をということが一つの軍事常識になっていましたが、これを見事に変える状況になってきました。しかし、対戦車ヘリコプターが戦車になりうるかというと、そうではありません。あくまでも戦車は地上を継続的に支配して、地上戦闘の骨幹としての地位にあるわけです。

ウェポンシステムの研究

しかし機能面では、それに取って代わる事態が出てきた。これは1972年ヨーロッパでＮＡＴＯ軍の対戦車ウエポン・システムの研究演習があり、レオパルド戦車と対戦車ヘリコプターと、果たしてどちらが交戦比率として効果的かということで実験をしたわけです。日本と違ってヨーロッパの土地、牧場、川、田畑というところを存分に動き回って、後から補償係がお金を沢山持って、問題が起きればそこで解決しながら演習をしたのが、有名な対戦車ウェポン・システムの研究演習でした。

その結果、交戦比率として、対戦車ヘリコプターが１機やられる間に戦車を何両やっつけることができたか。何と１対17でした。これはまさしく火力、機動力において勝っていたということです。余談になりますが、その時この演習に参加していた西ドイツの戦車出身の将校が、その場で直ちに戦車の兵科から航空の兵科に転科を申し入れたという話もございます。ちなみに私は、元が戦車でしたが、航空に変わったのは1971年でして、ヨーロッパのウェポン・システム研究の１年前に既にその辺を予見していたわけです。(笑)

というわけで、ヘリコプターの出現は大きく交戦比率を変え、さらに空中戦のパターンも変えるようになりました。かつて私が航空学校長のとき、新しく対戦ヘリコプターを導入して空中戦のパターンを研究してもらおうと思ったとき、東西の戦史を調べても過去の事例が全くない。飛行機の空戦パターンはありますが、時速百数十キロから一気にゼロ・スピードまで変換する。そういうエアワークの中での空中戦をどうするかということは、全く第一歩から開発をしなくてはいけないというようなことを迫られました。

また、例えば防御戦闘における準備と持久日数の問題ですが、戦術常識としては持久日数に応ずる３倍の準備日数を与えなければ持久できない。たとえば陣地を１日もたせるには３日の準備が必要である。何故かというと山の中を色々偵察して、どこを陣地線にするか、どこに壕を掘るか、どのように火器を置くか。壕には上にかぶせる掩材や鉄条網といったものを送り込まなくてはいけません。もちろん道路もないようなところで、予定された陣地地域の中を偵察して歩かなければならない。そのためにはどうしてもそのくらいの時間が必要なのです。

しかし、ヘリコプターを活用することにより、偵察、資材の輸送等の時間の画期的短縮により、戦術原則としては持久日数の３倍の準備日数を要するものを準備対持久１：１の比率で可能になり、大きく常識を変えました。

原則を変えるインパクト

このように、ヘリコプターは大きく戦術、戦法、ドクトリンを変えるようなインパクトを与えております。もう一つ例を上げますと、同じ防御戦闘の中で対空警戒というのがあります。従来の対空警戒戦闘の要領というのは、敵の飛行機を監視するわけですから、山の高いところ、高い木に登って 360° 上空を監視する。そのため、敵機がどっちの方向から襲撃してきても分るようなところに監視所を設けて警戒していた。

ところがヘリコプターが出てまいりますと、特に武装ヘリコプターが襲撃してくるときには、そんな高いところから飛んでくるわけではない。地面すれすれに接近してくる。したがって高い山の上や木の上にいても見えはしないのです。むしろ地上の低いところに降

りていかないと、ヘリコプターに対する警戒はできない。つまり、対空警戒のためのポジションの考え方も変わってしまいます。

ヘリコプターと闘う場合も上空ではなしに、谷間を這って来る敵に向かって射撃するような態勢を取らなくてはならない。またヘリコプターの侵入を妨害する手段としては、対ヘリ地雷とか、あるいは線を張ってそれに引っかけて妨害するというようなことをやらない限りは対空戦闘、防御戦闘は成り立たなくなっています。まさに、対空戦闘の戦術戦法としては画期的なことで、空を飛ぶ飛行機に対して地雷を仕掛ける。これはヘリコプターが地上すれすれに超低空を飛んで来るので、それに感応する手段としてはそういうことになるのです。

余計なことを申し上げましたのは、民・軍を問わず、ヘリコプターの出現というものが過去のドクトリン、考え方、戦術戦法を変換するような大きなインパクトがあるということです。よく言われる言葉に、お客様が何を求めているのか、そのニーズを掘り起こして、そのニーズに応えるようなサービスをするのだといわれる。これはもっともでして、お客様が何を欲しているのかよく承知していなければ、それに応えるようなサービスは提供できない。ここでいくつかご紹介しましたように発想を変えてみますと、いわば提案型の営業に対して、提案型の技術というようなことを考えていただきたいと思います。

先ほど紹介しました戦術戦法の中で、ヘリコプターに何ができるかということではなしに、ヘリコプターという技術、これが戦術戦法をどのように変えることができるか。すなわちヘリコプターの技術によってお客様にどういうサービスが提供できるか、ニーズを誘導してゆけるかということであって欲しいと思います。私は是非そういう技術であっていただきたい。

提供型の技術開発を希望

ユーザーの要求や需要に応える技術。いわゆる待ちの技術ではなくてユーザーのニーズを掘り起こし、ニーズを先導する提案型技術であることを希望したいと思います。そして、ヘリコプターがさらなる利用拡大をするために、以下４点ほどお願いをしたい。一つは価格の安い機体の開発をしていただきたい。二つ目は操作性が容易なもの。三つ目は今や環境問題というのは避けて通れませんので、低騒音機。私のささやかな知識で承知するところによりますと、ヘリコプターの主ローター・ブレードの騒音を減らす、あるいはなくすことはノーベル賞の対象になっているようですので、是非みなさんの中からノーベル賞受賞者が出ることを希望したいと思います。

最後に安全性。もちろんヒューマン・ファクターにかかわる部分が大きいのですが、ハードとソフトの両方を含めて、危険の回避装置など、より安全性の高いヘリコプターをユーザーのために開発し、提供していただきたい。そういうお願いを最後にしまして終わりたいと思います。ご清聴ありがとうございました。

ヘリコプターによる患者搬送の実際

弘前大学医学部付属病院救急部
助教授
滝　口　雅　博

はじめに

日本の救急体制の現状はどうなっているだろうか。平成８年度の「消防白書」によれば、救急車による患者搬送数は316万人余りだったが、20分以内に医療機関に到着できた患者は半数にも満たなかった。しかるに多発外傷などを含む重症患者の予後には、初期治療開始時間の短縮が大きな要因となる。初期治療の開始時間が15分以内であれば、多発外傷の生存率は80%以上になる。

全ドイツ自動車連盟（ＡＤＡＣ）によれば、救急車の速度は平均して毎分１ｋｍである。したがって15分でカバーできる範囲は15ｋｍになる。ところが、ヘリコプターを使うと毎分３ｋｍで飛べるから、50ｋｍ程度ならば15分で現場に到着できる。ドイツはそうした考えのもとに、各ヘリコプター救急基地からのサービス範囲を半径50ｋｍの円で区切って担当させることにした。

1　航空機による患者搬送の歴史

航空機による患者搬送の歴史は古く、1870年に普仏戦争中に市民軍が熱気球で負傷者を病院に運んだのが最初とされている。その後、いわゆる飛行機（固定翼機）を患者搬送に使用したのは1915年であった。第１次世界大戦中のことで、セルビア軍が負傷者を残して敗走したとき、フランス人の義勇軍飛行士が飛行機で後方に運んだのが Aeromedical Transport の始りとされている。

1920年には早くも、フランス軍が航空機による患者搬送組織をつくり上げ、多くの負傷者を飛行機で戦場から後方へ搬送した。同年イギリス空軍もデハビランドＤ．Ｈ．９複葉機に患者搬送用のカプセルを装着して、アフリカの砂漠から負傷兵をストレッチャー搬送していた。

1928年にはオーストラリアのブリスベーンで「フライング・ドクター」の組織が発足した。当時の使用機はＤ．Ｈ．60モスであった。また、この年はオーストラリアの飛行家、キングスフォード・スミスがフォッカーＦⅦ／３ｍサザンクロス号でアメリカ西海岸のオークランドからハワイとフィジー島に着陸しただけでブリスベーンに到着、初の南太平洋横断に成功した年でもある。

1936年ドイツ軍はスペイン戦争中に組織的な Aeromedical Evacuation をおこなった。使用機はユンカースＪｕ52輸送機である。

2　わが国戦前の歴史

わが国でも1925年（大正11年）、フランスに留学した寺師義信軍医正がフランス軍の航空機による患者搬送システムを見聞し、帰国後このことを軍上層部に上奏した。その結果、同年10月、陸軍航空本部技術部は「衛生飛行機」の改造を命じられたのを機会に、寺師軍医正が改造試作を指導し、わが国初の患者搬送専用機を実現した。使用機は「愛国２号」と名づけられたドルニエ・メルクール。機内は防音と保温暖房が可能で、救急医療箱、酸素吸入器、温湯飲料、薬品棚、消毒用清水タンク、消火器、手洗場、便所および汚物投下器を設け、軽傷患者４名、軍医１名、看護兵１名が乗るようになっていた。

1932年（昭和７年）満州事変が勃発すると、陸軍は早速愛国２号を関東軍に送った。また愛国40号と名づけられたフォッカー・ユニバーサル機も送りこまれ、最もよく使われた。同機は小型で、患者は臥位２名、座位２名が乗り、衛生部員１名の同乗が可能であった。

結局、満州事変中の1932年２月から34年４月までの２年余の間に７機の患者輸送機が満州に送られ、合わせて1,512名の傷病軍人が護送され、命が救われた。その内訳は戦傷780名、伝染病10名、凍傷150名、疾病572名である。

そして1940年（昭和15年）までに合計33機の「衛生飛行機」が製作されたが、戦局の逼迫でそれ以上には増えず、敗戦と共に消滅した。

3　アメリカ軍による救急搬送の歴史

アメリカ軍は1941年、840人の負傷兵を飛行機で後方へ運んだ。43年にはＤＣ－３を使用して長距離の患者搬送体制を確立した。この頃のアメリカ軍の実態は、受傷から治療までのいわゆる初期治療開始時間に６～12時間を要し、死亡率は5.8%であった。

1950年に朝鮮戦争がはじまると、アメリカ軍は1953年からＣ-124グローブマスターを病院機として使い、負傷兵を朝鮮から日本の病院へ搬送した。同機は１回の飛行で軽傷者なら127人、重傷者は59人を搭載し、14名の看護婦が同乗して飛行した。この輸送で３万人の兵士の命が救われたとされる。

Ｃ-124は1960年代後半まで使用されたが、現在は米空軍が患者搬送専用のＣ－９Ａナイチンゲールと Ｃ-141 スターリフターをとばしている。Ｃ－９Ａは患者搬送に際してフライト・ナースとフライト・サージャンが同乗する。また航続距離が比較的短いため、大陸間搬送にはＣ-141が用いられる。

4　ヘリコプターによる救急救護の歴史

ヘリコプターによる Aeromedical Evacuation は1943年、アメリカ軍がビルマ戦線に開発されたばかりのヘリコプターを投入し、患者搬送を行なったことにはじまる。

1950年に始まった朝鮮戦争では、当初、小型の観測機（固定翼）が使われたが、やがて

ヘリコプターが使用されるようになった。これで初期治療の開始時間は２～４時間に短縮され、死亡率は2.4%に低下した。

1961年ベトナム戦争がはじまると、アメリカ軍は大量のヘリコプターを戦場に投入し、負傷兵の搬送にも積極的に使用した。その結果、患者搬送数はそれまでの10倍に増加し、約26万人が搬送されて初期治療開始時間は35分に短縮され、死亡率は1.7%に減少した。

こうして、さまざまな戦争を通じて、ヘリコプターによる負傷兵の救命率の向上が実証され、世界の多くの国において、平時でもヘリコプターを救急救護搬送に利用し、救急患者の救命率を向上させる態勢を取らせるきっかけになったと言っても過言ではない。

５　世界各国のヘリコプター患者搬送

５－１　ドイツの体制

ドイツの救急ヘリコプターシステムは、現在ヘリコプターによる救護搬送の模範的な体制と見てよいが、この体制はドクターカー（Rettungswagen）運用の延長線上にある。このシステムは1970年、当時23,000人に達した交通事故の死亡者を減らす目的で全ドイツ自動車クラブ（ＡＤＡＣ）がミュンヘンで試行を行なった後、ミュンヘン市立ハラヒン病院でＡＤＡＣが整備した救急専用のＭＢＢ　ＢＯ-105ヘリコプターを使用して開始された。

その後、このシステムは連邦政府内務省のバックアップのもと、旧西ドイツ国内35ヶ所の基幹病院にヘリコプターを配備、運用することになった。現在、東西ドイツが統合されてからは、旧東ドイツ地域の基幹病院にも配備され、全ドイツ50か所の基幹病院にヘリコプターステーションが存在する。

これらのステーションにはパイロット、整備士が国境警備隊から派遣され、ドイツ赤十字から救急士が配備されている。医師は基幹病院の救急専従医が同乗して、患者発生場所で初期治療を行ない、必要に応じて治療を継続しながら患者を病院まで搬送する。このシステムの運用経費は州と保険で賄われており、患者が直接負担することはない。

救急ヘリコプターの運用は原則として日の出から日没まで。１機のヘリコプターの担当地域は病院を中心に50ｋｍを15分でカバーすることで始められたが、現在は平均８分でカバーしている。出動指令が出てから離陸までは、３分以内に設定されている。

５－２　スイスの体制

スイスは、航空機による救急救護については先進国である。スイスにおける最初の救急救護は1946年９月アルプスの氷河に不時着したＶＩＰ搭乗の米軍機の乗員をスキーを装着した飛行機で救助した事に始る。1952年には Swiss Air Rescue Organization が Swiss Lifesaving Association の一部門として組織され、1960年に独立機関としての Swiss Air Rescue（ＲＥＧＡ）ができた。以後、連邦議会承認の財団となり、スイス赤十字社のメンバーになっている。

現在、ＲＥＧＡはチューリッヒ空港内に本部があり、その運営費用は多数の国民が会費として納める寄付金でまかなわれ、会費を納めた会員は利用料が無料である。会費は大人が年間40スイス・フラン、家族が70スイス・フランである。

ＲＥＧＡの運航体制は国内15か所に飛行基地を有し、いかなる負傷者でも15分以内に

国内 167 か所の病院に患者を搬送している。これらの病院は、いずれも夜間着陸が可能なヘリポートを有する。

5－3　米国の体制

ベトナム戦争の結果、米本国でも 1960 年後半、運輸省がいくつかの州でハイウエイの交通事故現場からヘリコプターによる救急医療サービスに関する研究プロジェクトを実施した。しかし実用化については経済的な理由から否定された。

だが 1972 年 10 月になると、デンバーのアンソニー病院が民間ヘリコプターによる医療サービスを開始した。以来、米国ではカテゴリーＩの病院に搬送会社がヘリコプター基地を併設する場合が多い。

現在では全米 280 か所の救急ヘリコプター搬送組織があり、520 機の救急ヘリコプターが使用されている。搬送患者数は年々増加しており、年間 25 万件以上の搬送が行なわれている。

5－4　フランスの体制

フランスにおけるヘリコプター救急救護は、

①国家レベルで, 広域警察活動を行なうジャンダルマリー

②内務省の災害対策機関であるセキュリティーシヴィル

③ドクターカーを運用しているＳＡＭＵ

の３つの機関によって行われている。現在は①と②の２つの国家組織による搬送が中心だが、将来は災害出動以外、ＳＡＭＵによる搬送が主体になると見られる。

6　わが国のヘリコプター患者搬送の実績

わが国におけるヘリコプターによる救急患者搬送は、これまで主として離島、僻地で発生した重篤な患者を設備の整った病院に搬送する目的で行われてきた。

東京を中心とした関東地域では、昭和 34～35 年頃から自衛隊所属のベル 47G の機外に担架を固定し、そこに患者を乗せて搬送した。昭和 38 年からは自衛隊に特別救難隊が編成され、市ヶ谷駐屯地、霞ケ浦駐とん地、館山航空基地、入間基地の４か所を拠点として、半径 100ｋｍの円で囲まれた地域を航空自衛隊、陸上自衛隊のＨ-19Ｃ、海上自衛隊のＳ-55（航空自衛隊のＨ-19Ｃと同型）を使用して 24 時間体制で出動待機をしていた。

この体制による患者搬送の実績は、昭和 38 年７月５日から昭和 41 年６月 30 日までの３年間で 87 名である。しかし自衛隊の特別救難隊体制は、東京消防庁にアルウェットⅢヘリコプターが導入された頃に解散した。ただし現在でも、東京消防庁のヘリコプターの及ばない範囲では館山基地から海上自衛隊のヘリコプターが飛んでいる。

一方、長崎県では昭和 34 年４月、海上保安庁の協力による３胎未熟児搬送が行なわれた。そして昭和 37 年８月、長崎県大村市に海上自衛隊大村航空隊が常駐するようになると海上自衛隊による患者搬送が増加した。そこで国立長崎中央病院では長崎県や海上自衛隊と協議の上、災害救助法と自衛隊法に基づいて患者搬送体制を整えるに至り、現在の離島救急医療システムが形成された。

同様に北海道、沖縄県、鹿児島県、島根県等でも離島救急医療システムが多く利用されている。

なお、わが国初の民間ヘリコプターによる患者搬送組織として、昭和59年「日本救急医療ヘリコプター」が設立されて現在に至っている。

7　わが国の患者搬送実験

日本交通科学協議会では、交通事故における負傷者の救出、救護のためにヘリコプターを使用する必要性を認め、昭和56年協議会の中に「航空機による救護システム研究委員会」を発足させ、ヘリコプターによる交通事故患者の救急現場での救護とそれに続く救出、搬送の実現について実験と検討を重ねてきた。

他にも、国土庁や消防関係機関による調査研究が行われている。

8　ヘリコプターによる患者搬送の生理学的検討を行なう研究について

ヘリコプター搬送体制を検討する実験運航は繰り返し行なわれているが、航空機による搬送が生体の生理に及ぼす影響については、ほとんど検討されていない。筆者はこれまで、以下に述べるようなな検討をしてきた。

（1）川崎重工での患者搬送に関する血液凝固・線溶系に及ぼす影響についての検討

昭和62年1月26日、川崎重工の援助により「ヘリコプターによる飛行の人血液凝固・線溶系に及ぼす影響について」というテーマで、ＢＫ117を使用し、

①飛行が血液凝固・線溶系に及ぼす影響

②患者監視装置が正常に作動するかどうかの検討

③飛行が循環系に及ぼす影響

④飛行が循環系に及ぼす影響に、機種による差異があるか否かの検討

⑤飛行高度の変化が循環系に影響を与えるか否かについての検討

を行った。

具体的には、10名の男子健康成人から飛行中に採血を行ない、飛行が人の血液凝固・線溶系に及ぼす影響を検討した。その結果、ヘリコプターによる搬送中に人の血液の凝固能が軽度に亢進する傾向のあることが明らかになった。

ただし飛行高度1,000フィート以下では離着陸時に血圧がいくらか上昇する以外、循環系に大きな影響は生じなかった。

（2）野崎産業・三栄測器とのヘリコプター飛行中の患者監視装置での生体情報測定実験

これまでは、搬送中の患者の血圧、脈拍数、心電図、血中酸素飽和度（Sa02）を航空機内で測定する適切な機器が存在しなかったが、Propaq102 患者監視装置についてヘリコプター飛行中の仕様が可能か否かを検討するために以下の実験を行なった。

平成2年12月4日、野崎産業航空機部と本田航空、日本電気、三栄測器の援助を得て本田航空所属のアエロスパシアルＡＳ350 ヘリコプターを使用し、その飛行中に Propaq102 患者監視装置を用いて心電図監視、心拍数測定、非観血的血圧測定が可能か否かの実験を

行なった。

その結果、殆ど障害なく心電図監視、脈拍数、血圧測定、酸素飽和度（Sa02）の測定が可能であることが判明した。

そこで、以下の実験を行なった。

（３）川崎重工での生体情報測定実験

平成３年２月 25 日、川崎重工航空宇宙事業本部の援助を得て、同社所属のＢＫ117を用いて最高高度 3,000 フィートで約 30 分の飛行を行ない、20 名の健康成人（女性 14 名、男性６名）について飛行中に経時的に心電図監視、脈拍数、最高血圧、最低血圧、平均血圧の測定を行なった。

（４）東京消防庁での生体情報測定実験

同じように平成３年２月 27 日、東京消防庁装備部航空隊の援助を得て、同隊所属の SA365 ドーファンを用いて最高高度 3,000 フィートで約 30 分間の飛行を行ない、10 名の男性健康成人について飛行中に経時的に心電図監視、脈拍数、最高血圧、最低血圧、平均血圧の測定を行なった。

以上の２回の実験でヘリコプターによる患者搬送中には離陸時と着陸時に軽度の血圧上昇が認められることが判明した。

（５）「ヘリコプター搭載用衛生機材の改善に関する機上試験」

陸上自衛隊衛生学校との共同実験である。これまでの実験をもとにして、大規模災害時に出動が要請される自衛隊のヘリコプターを使用しての患者搬送の方法を確立する目的で、平成５～７年の３年間に合計６回、陸上自衛隊所属のＵＨ－１、ＣＨ-47ＪヘリコプターおよびＬＲ－１連絡機を用いて模擬患者による患者搬送実験を行ない、飛行中の生体情報測定に関する機器の運用、情報の電送、飛行の人体に及ぼす生理学的検討を行なった。

この結果は現在、陸上自衛隊のヘリコプターおよび航空機が災害出動する場合の装備の選定に利用されている。

なお、飛行高度の変化が循環系に及ぼす影響について検討したところでは、ＵＨ－１Ｈ、ＣＨ-47Ｊのいずれのヘリコプターによる飛行においても、飛行高度 6,000 フィート以下では、先に行った研究結果とほぼ同様にヘリコプターの離着陸時に血圧が軽度上昇した。また、Sa02 にはほとんど変化は認められなかった。しかし、飛行高度 9,000 フィートでは、Sa02 が 90％以下に低下し、血圧の上昇を認めた。

9　わが国の実状

災害時のヘリコプターによる救急救護搬送の目的は、

①医療スタッフ、医療資材の現場緊急派遣

②災害現場から後方への重症患者搬送

の２点である。

1993 年７月 12 日の北海道南西沖地震では、マグニチュード 7.8 の地震が発生し、震源

近くの奥尻島は大津波に襲われると共に火災も発生した。その結果、死者202名、行方不明28名、負傷者323名を出した。うち重傷者は83名であったが、北海道に後送された34名の患者は、災害発生後14時間以内に全員がヘリコプターで搬送され、救命された。重症患者のヘリコプターによる搬送が速やかに行われたのは、北海道においては、普段から救急患者のヘリコプターによる搬送が行われているからと考えられる。

しかし、この教訓は阪神・淡路大震災では必ずしも生かされなかった。1996年におこなわれた「阪神・淡路大震災におけるヘリコプター運用の実態調査委員会」は、震災後2か月間で震災地から後方にヘリコプターで搬送された214例の患者各々について詳細な調査をした結果、次のような問題点を指摘している。

①ヘリコプターの出動を決定する機関と出動基準がない
②ヘリコプターの出動依頼方法が煩雑
③患者搬送用ヘリポート設置場所の選定
④医療機関とヘリポート間の患者搬送手段の確保
⑤患者搬送先の選定

結果として、阪神・淡路大震災でヘリコプターを利用できたのはヘリポートに近い病院だけであった。

同じような問題は、筆者の地元青森県にも見られる。すなわち、青森県の防災ヘリポート（場外離着陸場）は67か所で、そのうち21か所は常時利用可能だが、500m以内の範囲で医療機関に隣接しているのは

①大間高校グランド
②十和田市陸上競技場
③八戸市民病院ヘリポート
④黒石市運動公園陸上競技場

の4か所のみである。他のヘリポートは大半が医療機関から1～2km以上も離れていて、問題が多い。

こうした問題を踏まえて、自治省消防庁では「ヘリコプターによる救急システム検討委員会」を設け、ヘリコプターによる救急搬送をもっと一般化させることを目的とし、消防・防災ヘリコプターの救急業務への活用およびそのシステム構築のために必要な課題等について検討を行った。

また厚生省も救急専用の「ドクターヘリコプター」を救命救急センターに配備して、患者発生の場所に医師を直接派遣するシステムを実現しようとしている。これを評価・検証するため、平成11年度に新しい予算が認められた。その成果に期待したい。

おわりに

航空機が誕生したときから、人は傷病者を「より早く、より遠く」運ぶことを試みてきた。そのことは幸か不幸か戦争によって進歩したが、欧米ではこの事実にもとづいて、航空機による患者搬送――特に「ヘリコプターによる救急患者搬送」を体系づけて来た。

わが国でも、満州事変に際して航空機による患者搬送の体制が存在したが、戦局の悪化

によって消滅した。また、戦後間もなくヘリコプターによる救急患者搬送が行われたこともあるが、やがて離島からの病院間搬送のみになってしまった。その結果が、阪神・淡路大震災の惨状ともいえよう。

なおヘリコプターは、速度が 200km/h 程度と遅く、航続距離が 500ｋｍ程度と短いことから、せいぜい 100ｋｍ程度の範囲で救急患者の救護搬送に使用されるに過ぎない。そこで将来は、もっと長距離をもっと速く、救急患者の救護搬送を行う手段として、ＶＴＯＬ機が患者搬送に使われるであろう。その利点は、

①速度がヘリコプターの２倍以上
②航続距離が長い
③搭載量がヘリコプターよりも大きい
④与圧されている
⑤運航費がヘリコプターよりも安い
⑥振動・騒音が少ない
⑦滑走路が不要

であり、現在開発中のＶ－22 オスプレイやベル・アグスタＢＡ609 などが、救急患者の救護搬送に有力な手段となるのではないだろうか。

以上、これまでに筆者が調査、計器飛行を行い、また関与してきた実験などの経験を主にして、救急患者のヘリコプター搬送、特にその歴史的考察、試行、現状と将来について報告した。

ヘリコプタIFRの実用化

朝日航洋株式会社
運航管理室
長尾　　牧

現在のエアラインにおける安全性と定時性は計器飛行方式（ＩＦＲ）によって確保されていることは明白だと思われます。ところで日本におけるヘリコプタの航空運送事業においてはＩＦＲの可能な機材および乗員は存在するものの、運航は皆無であり、２地点間ヘリ輸送の実施承認基準の通達においても飛行方式はＶＦＲに限られています。

ヘリコプターのＩＦＲがどう安全に寄与するのか、また進展しない環境要因はどこにあるのか考えてみようと思います。

○　何故ＩＦＲが必要か

・定時性の確保

地域によって異なりますが、気象状態の約２０％は計器飛行気象状態（ＩＭＣ）です。約２割が飛行不可能ということで、これでは一般交通手段としての役割をはたせません。

・安全性の確保

有視界飛行方式（ＶＦＲ）で飛行中の場合は、気象の急変等の場合は安全性の確保のために引返し又は代替地に向かうこと以外基本的に考えられません。ＩＦＲに飛行方式を変更する方法もありますが現実的で有りません。引返しまたは代替地に向かう何れにしろ有視界気象状態（ＶＭＣ）の維持はマージナルになる可能性が大です。

・夜間飛行

ヘリコプタはその飛行特性により障害物の回避および不時着場の確保が容易なため飛行機にくらべて悪天候にたいして安全です。ところが夜間飛行についてはその特性が発揮出来ません。またこれは飛行機についても同一ですがＶＭＣおよび最低安全高度の維持については雲や地上の視認が必要であり、夜間はそれが不可能な状況になる場合があります。

・騒音問題

航空法の最低安全高度以上で巡行中しても、騒音が住民の許容基準を越える場合があります。航空局の通達においても市街地上空では2000フィート以上を維持することになっています。継続性のある事業においては地域住民の反対をうけては成り立ちませんので、高い高度を飛行する必要があり、より就航率を下げることとなります。

○　計器飛行等に関連する環境等

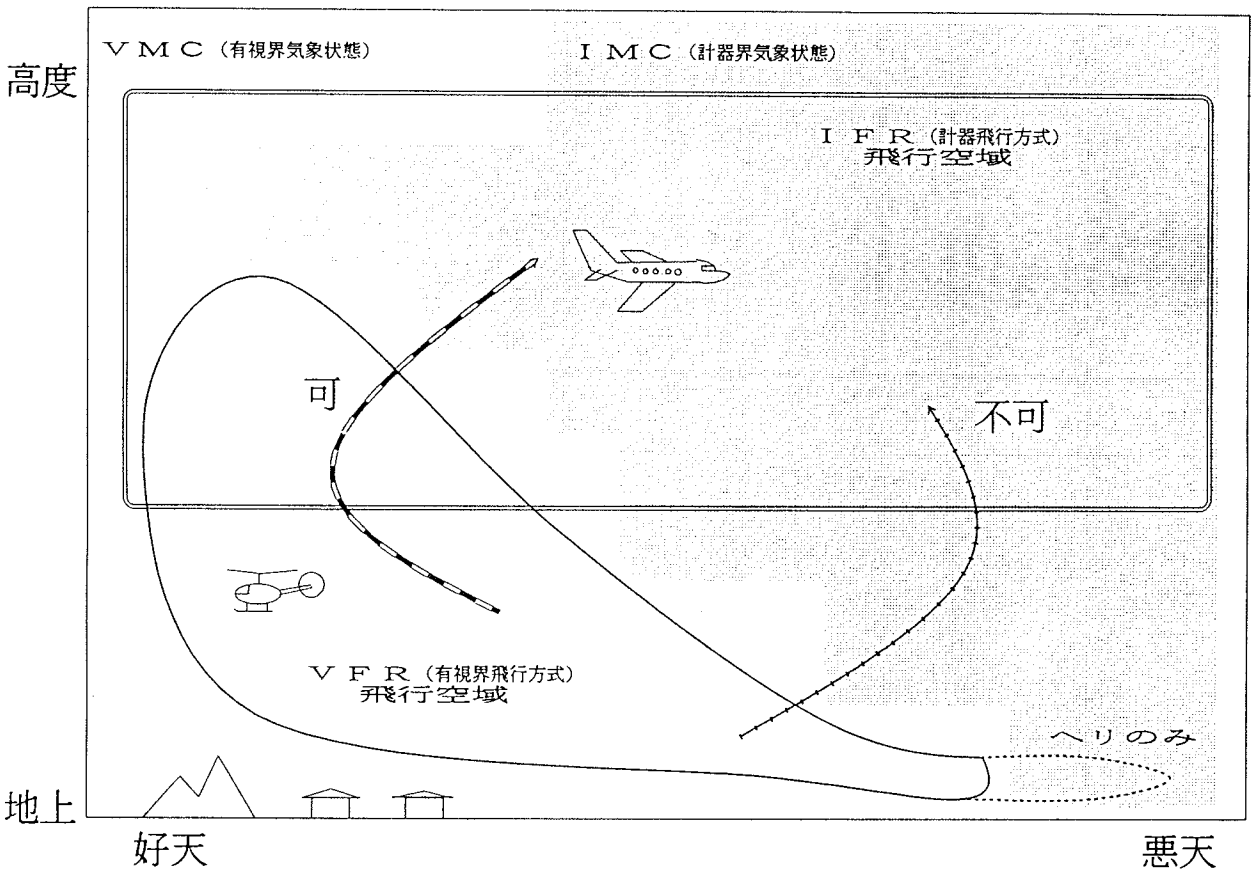
・ＩＦＲとＶＦＲのＩＭＣとＶＭＣにおける棲み分け

飛行中に天候が悪化した場合に飛行方式を変更すれば良いという考えかたがありますが、天候が良い空域を飛行中に目的地がＩＭＣになった場合は理論的に可能です。

ただし、常にＩＦＲが可能な機材およびクルーで飛行しているわけでは無く、地上のインフラもヘリコプター用では有りませんので天候悪化に対する安全策はＶＭＣの維持です。

図１において実線がＶＦＲの飛行可能空域です。右に行くほど天気が悪い状況であり、点線の部分はヘリコプタのみ飛行出来る領域です（ヘリコプタは視程が1500m以下でも地上が視認出来れば飛行して良い）。二重線がＩＦＲによる飛行が可能な領域であり、ＶＦＲからＩＦＲへの切替えは好天の場合は可能（ＪＲ線路模様）ですが、既に天候不良領域を飛行している場合は不可能です（私鉄線路模様）。

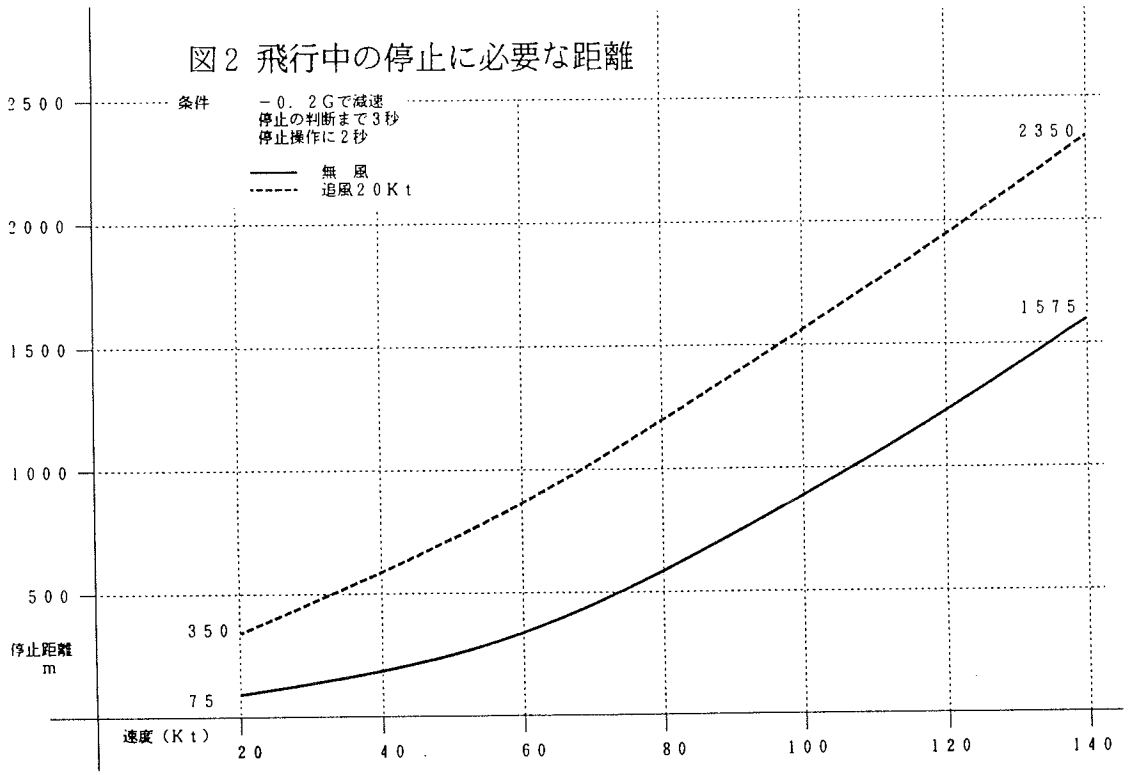
図１　空域の棲み分け



・激突する高性能ヘリコプタ

ＣＦＩＴによるヘリコプタの山岳等への激突がここ１０年ぐらい前から増えてきています。ヘリコプタは飛行機とＶＭＣの基準が異なるとおりに空中で停止出来る飛行特性によりＶＭＣを維持すれば激突しません。激突は装備の行き届いた高速、高性能ヘリコプターに多く見られ、航法装置の進歩等が何かの勘違いを起こしているのかもしれません。

高速から停止するのには図２のようにかなりの距離を必要としますので、障害物を発見したときにその手前で停止することが出来る速度で飛行するべきです。



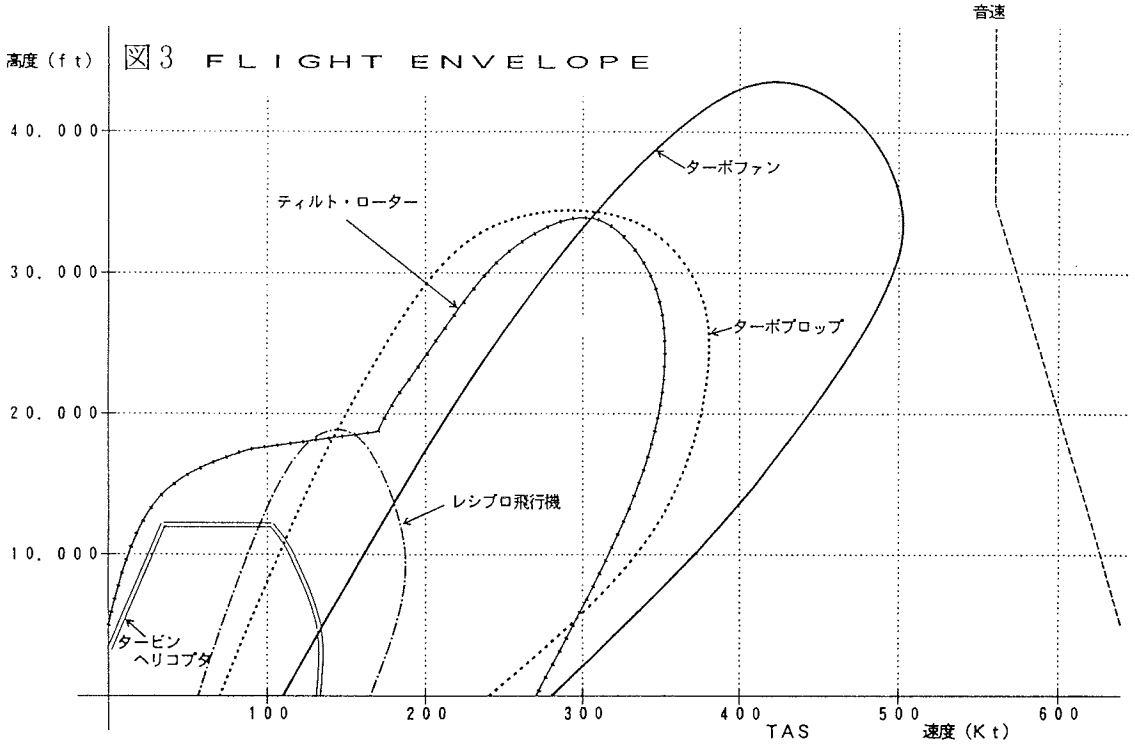
・夜間飛行および計器飛行方式に関する法令、運航基準等

現在法令上はヘリコプタのＩＦＲによる商業旅客輸送は可能です。（２地点間ヘリ輸送を除く）しかし、それは最近のことで夜間飛行については昭和６３年、ＩＦＲについては平成６年にそれぞれ事実上可能となりました。

○ ヘリコプタＩＦＲの進展しない理由

・ＭＥＡ（フライト・エンベロープ）

ヘリコプターは飛行機と比較して速度および高度域がＩＦＲについて不利な状況にあります。図３に各機種のフライト・エンベロープの概略をあらわしますが、特徴的なのはヘリコプタが高空を飛べないということと、他の機種は低空より高空の方が速度が早いのに対し、ヘリコプタにはその傾向がないことです。



・アイシング

ごく一部のヘリコプタをのぞいて凍結気象状態での飛行は不可能です。よって外気温度がマイナスの状態では雲中飛行は出来ません。

・予　圧

現在日本には予圧装置のついたヘリコプタはありません。世界でもまれです。よって酸素吸入なしに高空を飛行出来ません。

・進入、出発経路等がなじまない

現在ヘリコプタ用の進入出発方式は日本で設定されていませんのし、計器飛行が可能なヘリポート整備の予定もありません。

飛行機の速度と飛行特性にあわせて設定された計器飛行基準を使用しまと、近距離を目的地とするヘリコプタには効率の悪いものです。

・航続時間

表１は弊社の運航規程の最小携行燃料の量ですが、ＩＦＲについては飛行機とヘリコプタは同一です。法令でヘリコプタについても飛行機と同様の予備燃料を必要なためです。一般にヘリコプタの燃料消費は多く、航続時間は飛行機は飛行機と比較して短いため同一の予備燃料を必要とすると航続距離およびペイロードが制限されます。

ヘリコプタ独自の基準を設定すべきと考えます。

表１　最小携行燃料の量

	有視界飛行方式	計器飛行方式	
		代替飛行場を選定する場合	代替飛行場を選定しない場合
飛行機	昼間においては巡航30分間に要する燃料 夜間においては巡航45分間に要する燃料	代替飛行場までの飛行に要する燃料に加えて巡航45分間に要する燃料	巡航２時間に要する燃料
回転翼航空機	旅客を輸送する場合は巡航20分間に要する燃料 旅客を輸送しない場合は巡航10分間に要する燃料	代替飛行場までの飛行に要する燃料に加えて巡航45分間に要する燃料	巡航２時間に要する燃料

・機材が高価

ヘリコプタは基本的に飛行機と比較して安定性に欠け、操縦安定装置無しでは計器飛行が不可能な機種が殆どです。そのため航法機器の装備以外に費用がかさみ、ただでさえ高い運航コストを引き上げます。製造者の努力を期待します。

・単発機の不時着リスク

ヘリコプタの滑空比は悪く、巡航高度も低いので発動機停止によるオートローテーションは可能なもののＩＭＣ条件下では大変リスクがあります。そのため単発機による雲中飛行はおすすめ出来ません。

・２人乗務の基準

法令上ＩＦＲによる旅客輸送は機種にかかわらず操縦士２名が必要となります。また飛行規程上操縦士２名が必要な機材については、機長は定期運送用操縦士の資格が必要です。飛行機も同様ですが、ヘリコプタの場合小型機でも操縦士２名が必要な機種あります。

シングルパイロットＩＦＲが認められた操縦士を含め５人乗りのヘリコプタに２名の操縦士を乗務させるのは現実的でありません。

○　ヘリコプターが有利な点

・遅い速度で飛行可能

速度の調整で進入および待機方式等による利用空域が狭くてすみます。速度に二乗に反比例して旋回半径も小さくなります。

・上昇および降下角が急

速度が遅いことと合わせてヘリコプタの特性により上昇および降下こう配を急にすることが可能なので、障害物件等を避けての進入、離陸経路の設定に自由度が広がります。

・非精密進入においてサークリングの必要がない

ＩＣＡＯの設定基準にある通りヘリコプタは着陸地点が視認出来れば直接進入出来るのでサークリングのための空域を確保する必要がありません。

・不時着が容易

着陸のための最低気象条件以下となった場合等で、最悪の場合に代替空港にいきつかなくても地上が視認出来れば滑走路がなくとも不時着が可能です。

○　日本および米国における現状

・ＧＰＳおよびＤＧＰＳについて

米国によるＧＰＳの配備は完了し、実用上問題のない運用がなされています。またＤＧＰＳも各所で開発され、航空関連でも実用間近です。今後のＩＦＲを考えるにあたってＧＰＳの利用は是非とも必要です。

・米国における現状

ＧＰＳによる飛行場への進入方式はめずらしくなくなり、ヘリポートにおいてもヘリコプタ用の設定基準による方式が急速に進展しつつあります。

またＤＧＰＳを利用したヘリコプタ用の精密減速進入方式も開発されつつあります。

・日本における現状

昨年ＩＦＲおよびＶＦＲにおけるＧＰＳの利用方式が決まりました、ＩＦＲについては現行の航法機器を装備したうえの参考として利用可能となりました。航空路および進入出発方式の設定された飛行場で利用可能ですが、飛行場についてはまだ方式が設定されていないようです。

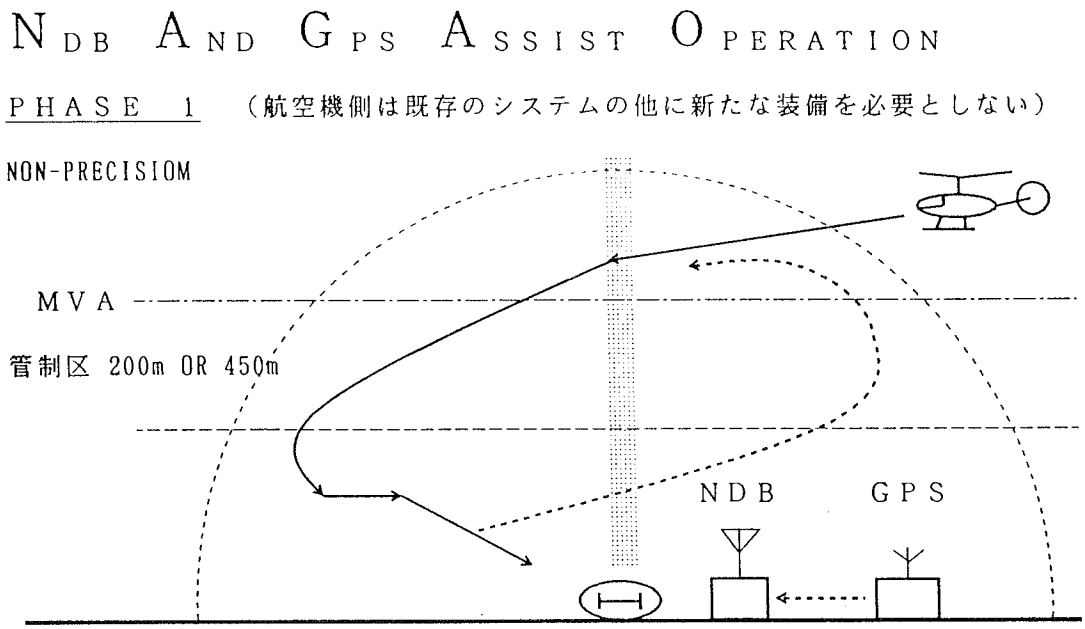
しかし、航空保安無線施設としての認知をされていませんのであくまで参考であり、単独での使用はＭＴＳＡＴ（運輸多目的衛星）の配備終了後となります。また衛星は高高度の静止衛星ですので、通信機器等の機上装備を考えるとヘリコプター等の小型機に向くかどうかは疑問です。

◎　ＧＰＳを利用したヘリコプター用計器進入・出発方式の提案

ヘリコプターを含む小型機にはＧＰＳの装備が当然のようになされると予想します。機体への装備を待ちきれず、ハンドヘルドのＧＰＳを個人で持ち込んで使用しているパイロットが沢山います。

それでは、その小型機のＧＰＳのＩＦＲへの利用可能性を図４のとおり個人的に考えてみました。私の名前を勝手につけてあります。

図４　ＧＰＳを利用した計器進入



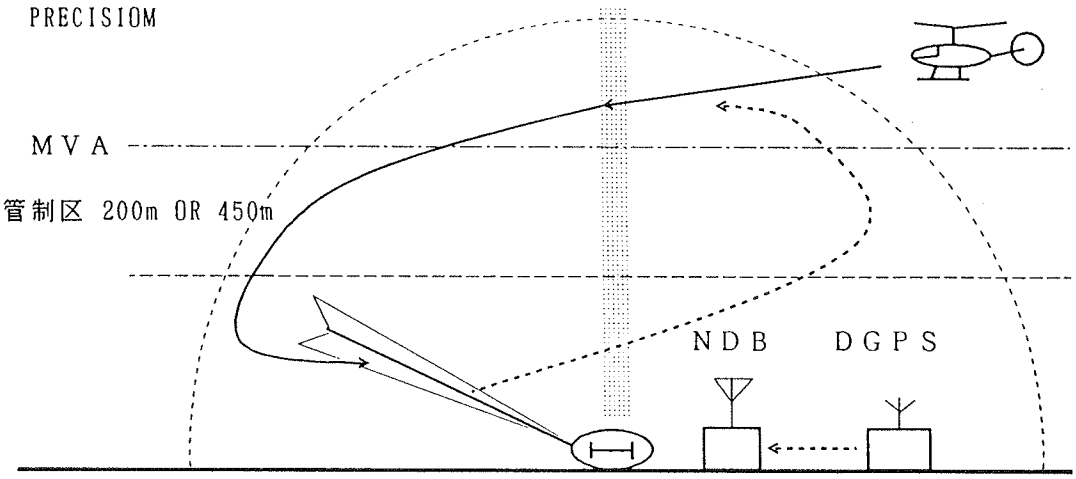
・地上のＧＰＳ機器によりＧＰＳ電波が許容誤差範囲内にあるかモニターする。

・ＧＰＳ電波に異常がある場合はＮＤＢに警告シグナルを送る。

・ＮＤＢは無線標識の役目のほかＧＰＳの作動状況をトーンで知らせる。

・航空機は警告トーンが鳴った場合ＡＤＦミストアプローチをする。

PHASE 2 （航空機側にＤＧＰＳ誘導システムが必要）



・地上のＤＧＰＳ機器はＮＤＢに変位情報を警告シグナルをおくる。

・ＮＤＢは無線標識の役目のほかＧＰＳの変位情報もしくは警告シグナルを送る。

・航空機は警告シグナルを受信した場合ＡＤＦミストアプローチをする。

◎ ティルト・ローターへの期待

数年後にはティルト・ローターが実用化されているはずですが。ティルト・ローターこそＩＦＲが是非必要です。

先の図３に示したようにティルト・ローターは巡行飛行について、ターボプロップと同様の特性をもっています。そのため巡行は高空を高速で飛行してその特性が生かせます。そのためには計器出発および進入が可能なヘリポート（ティルトポート）がないと意味がありません。飛行場間を飛ぶのでしたら飛行機でよいのですから。

以　上

シコルスキー社の先進技術

シコルスキー・エアクラフト社
シニア・ヘリコプター・ダイナミシスト・アンド・デザイナー
工学博士
ジェームズ・M. ワン（王 明）

ヘリコプタ技術協会では1998年12月22日、日本大学理工学部航空宇宙工学科のご協力により、シコルスキー社のジェームズ・ワン博士の特別講演会を催した。

ワン博士は、マサチュセッツ工科大学（ＭＩＴ）で航空宇宙工学と電気工学を学んだのち、メリーランド大学ロータークラフト・センターでヘリコプター設計の博士号を取得した。テーマは The Effect of Blade-to-Blade Dissimilarity on Helicopter Dynamics である。またワン博士はメリーランド大学のアドバンスド・ローターコード（ＵＭＡＲＣ）の開発に参加したが、このＵＭＡＲＣコードは現在、米国の全ヘリコプター・メーカーおよび政府の研究センターで使われている。

シコルスキー社に入社した後、ワン博士は大統領専用機、コマンチ偵察攻撃機、H-60ブラックホーク、Ｓ-92、直径可変式のローターを持つティルトローター機などの開発研究にたずさわった。現在はシコルスキー・エアクラフト社のダイナミック・グループとアドバンスド・デザイン・アンド・ビジネス・ディベロップメント・グループの両部門でヘリコプターの技術および生産に関する最先端の仕事をしている。

以下、ワン博士の講演要旨である。

シコルスキー社の生産機材

ユナイテッド･テクノロジー社は日本を含む世界中に18万人の従業員を持つ企業です。その傘下にはエンジン・メーカーのプラット・アンド・ホイットニー社、プロペラで有名なハミルトン・スタンダード社、エレベーターとエスカレーターのオーティス社などが存在します。中国にも事務所をもち、8,000 人の従業員をかかえ、積極的な事業を展開しております。

この中で、わがシコルスキー・エアクラフト社はコネチカット州ストラットフォードに本社を置き、20万平方メートルの工場に8,200人の従業員を擁しております。またフロリダ州ウェスト・パームビーチには開発飛行テスト・センターがあり、2,100mの滑走路が設置されています。

シコルスキー社が現在生産中のヘリコプターは、ひとつがＣＨ-53Ｅスーパースタリオンです。総重量35トン余で、今日まで230機以上が生産されました。

もうひとつはＵＨ-60ブラックホークで、これまでの生産数が2,000機を越え、1984～85年には中国へ20機が輸出されました。ほかに３機が香港で飛んでいます。ブラックホ

試験飛行を続けるＳ－92

ークの海軍向け派生型シーホークは 400 機生産されました。これらＨ-60 ホーク・シリーズはアメリカ大統領専用機から捜索救難、対潜水艦作戦、その他さまざまな任務についており、最近はロサンゼルス・カウンティ消防局が空中消火のために試用しました。同機はファイヤホークと呼びます。

Ｓ-76 は主として民間向けの中型ヘリコプターです。今も量産が続き、石油開発、救急救助、要人輸送、捜索救難などさまざまな用途に使われています。中国では多数が石油開発に従事し、香港では６機が捜索救難機として飛んでおります。

Ｓ-92 が初飛行

シコルスキー社の 21 世紀に向けた将来計画は、一つがブラックホーク派生型の開発で、この中には上述の民間向け消防機も含まれます。また大型旅客機および貨物輸送機、ロータークラフト技術を応用した無人機、Ｓ-92 の実用化、コマンチ偵察攻撃機の実用化、そして高速ティルトローター機の開発などがあります。　このうちＲＡＨ-66 コマンチは現在、原型２機がテスト飛行を続けており、21 世紀初めから量産に入ります。同機は 170ｋｔ（310km/h）以上の高速飛行が可能で、すぐれたステルス性を有し、最新のセンサー、プロセッサー、火器、ディスプレイが装着されています。

Ｓ-92 ヘリバスは旅客輸送および多用途機として開発中の中型機です。同機はこれまで地上試運転をしてきましたが、米国の 12 月 21 日が初飛行の予定日になっておりました。ということは日本の今日（12 月 22 日）ですから、今頃は飛んでいるかもしれません。（編集部注：シコルスキーＳ-92 は 12 月 23 日、ウェスト・パームビーチで初飛行した。開発試験のための原型機は全部で５機製作される。この開発には日本からも三菱重工が参加、主キャビンを製造している）

コンピューター開発

ヘリコプターの開発手法に関して、これまでの経過を振り返って見ますと、1980年以前は飛行性能と構造の基本的な部分が主な対象でした。80年代に入ると、より高度な利用が可能となり、90年代にはコンピューター技術が採り入れられて、用途や任務にいっそう有効に適合し、経済的な運用ができるような機材の開発が可能になりました。2000年以降は、ますます洗練された「スマート・システム」の開発が進む見こみです。

また新機種の開発も既存機材の改造も、時間が短縮され費用が節約できる点が重要な課題となってくるはずで、そのためのさまざまな手法が開発されております。たとえばディジタル・モックアップです。これは実際の機体模型をつくる代わりにコンピューターの中に機体をつくり、装備品、配線、油圧系統、整備作業用アクセス・ドアなどの取りつけ具合を調べるものです。現にシコルスキー社ではS-92 のディジタル・モックアップをつくり、アビオニクスの装着や配線などをチェックしております。また油圧系統の取りつけ、チューブの大きさ、クリアランス、応力などの状態を調べております。

複合材の多用

シコルスキー社は過去長年にわたって複合材を使ってきました。1970年代は2次構造でしたが、やがて主構造部分にも使うようになりました。そして1983年には最初の全複合材ヘリコプターを製作しました。この実験機は金属製の機体にくらべて重量もコストも2割以上少なくなりました。製作工程も、たとえば大きな基本構造を一体（ワンピース）としてつくることが可能です。

H-60 シリーズの中間ギアボックスのハウジングも、複合材の鋳造によってつくられ、すぐれた耐用性を有しております。複雑な部品も複合材によって安くつくることが可能になりました。金属であれば多数のこまかい部品をつくって組立てなければならないところです。

コンピューターによるＦＥＡ（Finite Element Analysis：限界要素解析）も構造強度の解析などに使われます。構造部材やトランスミッション・ギアにかかる応力、荷重、ひずみなどを、これによって予測します。

トランスミッション技術は軽くて、小さくて、信頼性の高いものをめざしています。最近の成果は軽くてコンパクトなギア・トレーン、複合材ハウジング、寿命の長いベアリングやギアの材料などです。ＲＡＨ-66 のギア・トレーンもそうした特徴をそなえております。

次に空力面での技術の進歩はローターブレードの形状を変える結果となりました。すなわち翼型、ねじれ、翼端形状、ブレード面積などが変わりました。これでローターの効率が良くなり、ホバリングの効率が上がったために、ホバリングに必要な出力が少なくてすむようになりました。

このようなローター性能は、ホバリング効率（hover figure of merit）と揚抗比によってはかられますが、シコルスキーH-60 とＳ-92 の複合材ブレードは、こうした特性を取り入れたもので、今のヘリコプター界では最高のホバリング効率を持っております。

騒音と振動

機内の騒音を減らすことは、旅客輸送や要人輸送のためのヘリコプターにとってはきわめて重要な要件です。1960年代から30年間で、ヘリコプターの機内騒音は30デシベルほど下がりました。これは主としてキャビン内装とトランスミッションの騒音軽減による成果です。

最近はさらにアクティブ・ノイズ・コントロールよって機内騒音を下げる努力が続いております。これはキャビン内部の騒音をセンサーで検知し、コンピューターを介して騒音を打ち消すような音波を出すシステムです。シコルスキー社では機内に54個のマイクロフォンをつけてアクティブ・ノイズ・コントロールの実験をおこない、騒音を10～15デシベル下げることに成功しました。

騒音に関して最大の問題は主ローターの音です。これはローター・ブレードのそれぞれが別のブレードから発生した渦の中に入るためで、この干渉作用はブレードの先端形状を変えたり、先端速度を下げたりしてやわらげるわけですが、1960年代にくらべると半分ほどになりました。将来はアクティブ・ローター・コントロールによって、さらに騒音が小さくなると思われます。

主ローターに次いで、尾部ローターも大きな騒音源です。シコルスキー社ではS-76の尾部ローター・ブレードの設計を最適化することによって、1デシベル以上の騒音軽減に成功しました。

乗客の快適性を保持する上では、振動も問題です。その対策は騒音対策と似ています。ローター、胴体、構造部などは一般に重量を最小限に抑えるように設計しますが、振動については必ずしも最小限に抑え切れていません。

かつての振動制御は受動的な方法でした。それは可動式のおもりを付加するもので、もちろん機体の自重が増加します。その結果、総重量に対する自重が1％増えれば、ペイロードは4～5％減少することになります。

それに対してアクティブ・コントロールは振動源近くに制御力を加えるもので、より効果的であり、今の技術で可能な方法です。振動源はほとんどがローターです。そこでS-92の場合は、主ローター・ヘッドに防振装置をつけました。これは重量の増加がおもり式の防振装置よりも少ないもので、ハウジング内部に直径約0.8mの複合材製の螺旋状のスプリングを取りつけ、ローターの振動に合わせて調節しながら防振機能をもたせようというものです。

もうひとつ、S-92の場合はトランスミッションの取りつけ部分にアクチュエーターをつけて、防振効果を上げております。取りつけ場所が振動源に近いため、所要の力や動きも小さくてすみ、したがってコストや重量も比較的少なくすることができます。このアクティブ防振装置は主体となるアクティブ・コントローラーが振動をキャンセルするのに必要なアクチュエーターの力を連続的に計算し、動かしつづけます。

シミュレーション技術

航空機の設計にあたっては、飛行性能や荷重を予測するため、実機の製作に先だって正確な空力モデルをつくり、不具合があれば設計段階で修正してゆくことが重要です。たと

えば前進速度の高い部分の遷音速流、ブレード・ボルテックスの相互干渉、層流と乱流などの流体力学をコンピューターによって条件を変えながら検証してゆくことです。このコンピューター・モデルは主ローターなどの航跡を目で見えるように可視化することもできます。

ローターと胴体との干渉は重大な空気荷重源であり、水平および垂直抗力の原因にもなります。これらの空力上の問題を、風洞実験をおこなう前に、コンピューターの中で確かめることができます。今後はますますコンピューター空力学の重要性が高まり、風洞実験は不要、もしくはできるだけ少なくする方向へ進むものと思われます。

機体の空力特性と飛行環境の正確なシミュレーションが可能になれば、時間と費用のかかる飛行試験を減らすことができます。シコルスキー社では自由度６の可動シミュレーターを使って、飛行状態のシミュレーションをしております。その心臓部に当たるのはシコルスキーGENHEL（Generalized Helicopter）システムで,機体と諸系統、空力的な影響、構造上の効果などを、環境、地形、他の航空機、地上車両などと共に数学的に模擬しております。

ほかにも、簡単なものから複雑なものまで、課題に合わせてさまざまなシミュレーション装置があります。たとえば機体の諸系統を簡単な実験台に取りつけたものや、パイロット、計器表示、操縦装置の間の相互作用を調べるためのシミュレーション装置、またフルモーションの本格的シミュレーター、さらにはシコルスキー社がかつて飛ばした SHADOW 飛行シミュレーターなどです。

SHADOW はＳ-76 ヘリコプターの機首に、別の実験用のコクピットを取りつけたもので、本来の操縦席に安全パイロットがいて、実験用コクピットの中のパイロットはさまざまなヘリコプターを模した操縦ができるようになっております。

さらに、種々の飛行任務に応じて外界を模擬したシミュレーションをおこなうことで、シミュレーション作業を完成させます。しかし時には、パイロット訓練のように、経済的なシミュレーターが望ましいこともあります。シコルスキー社では、トレーラーに搭載して、どこへでも運べるよう訓練用シミュレーターも開発しました。

これからのヘリコプターはパイロットの作業負担（ワークロード）が少なく、多様な任務に対応できて、コストが安くなければなりません。そのためコクピットは今後ますます最新のアビオニクスを採り入れていくでしょう。たとえばフラットパネルの多機能ディスプレイはパイロットのワークロドを減らします。しかもディスプレイが多機能化すれば、数を減らすことができますから、費用も重量もコクピット内部の空間も節約できます。

ＨＵＭＳ

次の話題は航空機の健康診断装置ですが、これをＨＵＭＳ（Health and Usage Monitering System：健康状態モニタリング・システム）といい、飛行中に受けた荷重や飛行条件を細大漏らさず記録します。そして地上に降りた後は、どんな整備や修理をすればいいのかまで教えてくれます。

Ｓ-92 用のＨＵＭＳは、まだ開発途上ですが、構造部分、トランスミッション系統、エンジン、主ローターなどの状態を監視します。

ティルトローター機

シコルスキー社はまた将来に向かって高速ロータークラフトの開発研究を進めております。垂直離着陸機の場合、ホバリング効率を高めるためにはディスク・ローディング（円板面荷重）が小さい方が有利です。けれども速度を上げるためにはディスク・ローディングの高い方がいい。といって、そのままホバリングをしようとすると大きな出力が必要になる。

そこでシコルスキー社はローター直径を可変式にするティルトローター機を研究しております。離着陸時とホバリング時はローター直径を大きくし、巡航飛行時は直径を３分の１にするものです。この詳細は、99年５月のＡＨＳ「フォーラム５５」で発表いたします。

このような直径可変式ローターの可能性については1992年、シコルスキー社とＮＡＳＡの共同研究として、６分の１の縮尺模型による風洞実験をおこないました。そのときのブレードの伸縮についてはジャックスクリュウ機構を使いました。その後もシコルスキー社では開発研究をつづけ、最近はさらに洗練されたものができつつあります。

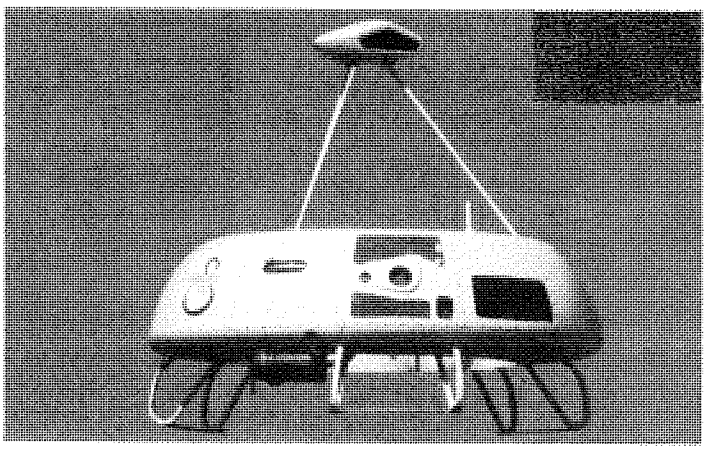
サイファー無人機

シコルスキー社は「サイファー」（Cypher）無人機の開発にも取り組んでおります。直径２ｍのドーナツ状の機体に50馬力のエンジンをつけたもので、重量は110ｋｇです。

内部では、かつてシコルスキー社がＡＢＣローターとして開発した２重反転式のリジッド・ローターが回っており、すぐれた安定性と操縦性をもっております。サイファーは完全な自動飛行が可能で、離陸から着陸まで外部から全くコントロールすることなく、巡航速度80ｋｔ、航続時間３時間の飛行で所定の任務を達成することができます。

用途は通信電波の中継、空中監視、ミサイルの誘導などですが、警察活動や捜索救難など民間用途にも利用できます。試作機はすでに400時間の試験飛行を重ねておりますが、最近は市街地を道路沿いに飛び、建物の屋上に着陸し、そこに荷物を降ろしてくるというデモンストレーションに成功しました。

かくて、シコルスキー社は創設者イゴール・シコルスキーの遺志を受け継ぎ、今後ますます革新的な技術開発をつづけてゆきます。



内部に同軸反転式のローター機構をもつ無人飛翔体「サイファー」

ロシアにおけるヘリコプタ防災活動
チェルノブイリ原子炉事故の教訓と技術的課題

ミル・ヘリコプタ製作所技術部長
工学博士
ミハエル・G・ロズデストベンスキー

1986年4月26日、旧ソ連のキエフに近いチェルノブイリ原子力発電所で重大事故が発生した。この事故は、われわれの記憶にも新しく、大量の放射性物質が放出され、発電所周辺はもとよりヨーロッパからアジア地域を汚染して多数の犠牲者を出した。

そうした状況の中でヘリコプタはどのように使われたのだろうか。日本火災学会は1999年4月16日、ミル設計局のミハエル・G・ロズデストベンスキー博士（Dr. Mikhail G. Rozhdestvensky）を招いて「ロシアにおけるヘリコプタ防災活動」と題する講演会を開催した。当ヘリコプタ技術協会も、ヘリコプタと危機管理の観点から、この講演会に協賛し、特別講演会として多数の会員が出席した。博士の講演から得られた教訓は、原子力発電所の少なくない日本でも、決して無縁ではないはずである。

なおロズデストベンスキー博士は1944年モスクワ生まれ。1968年にモスクワ航空大学航空学科を卒業と同時にミル設計局に入り、長年にわたってミル・ヘリコプタの設計にたずさわってきた技術者で、工学博士の学位をもつ。

講演は当協会、星野亮理事の通訳により、3時間にわたって行われた。その要旨は以下の通り。

Ｍｉ－６の消防装備

最初にミル・ヘリコプタの消防向け開発の歴史についてお話しします。モスクワ・ヘリコプタ工場の創始者であり、ジェネラル・デザイナーであったミハエル・ミルは、消防用ヘリコプタに注目し、今から30年以上前、当時世界最大のヘリコプタ、Ｍｉ－６について２種類の消防装備を設計しました。

一つは柔らかいフレキシブル・ウォータータンクを機内に装着して、床面に開いたハッチから水を投下するという設計でした。このウォータータンクは約６トンの水の搭載が可能でした。

この装置の試験をしていたとき、偶然にも工場近くの物置小屋で火事がありました。すぐにＭｉ－６が飛んで、消防隊が来る前に水を投下しました。その結果、火は消えたのですが、小屋も粉々に崩れてしまいました。これがＭｉ－６の最初の消火実績となりました。

もう一つの消火装備は機首に放水銃を取りつけ、乗員のコントロールによって、機内タンクに搭載した水を高圧で発射する仕組みでした。

つまり、機内に搭載した大量の水は床面のハッチを通じて直接投下するか、放水銃で発射するか、２種類の方法があったわけです。したがって消火作業に際して、ヘリコプタが高熱で危険な地帯、あるいは煙の多いところに入ってゆけない場合は、放水銃を使って遠くから消火作業をすることになります。当然、このことは飛行作業の安全性向上にも役立つわけです。

こうした消防装備をしたＭｉ－６は1967年、パリ航空ショーに参加し、展示されました。航空ショーの後、同機はフランス政府の要請により、南フランスで発生した森林火災の消火支援のために飛んでゆきました。そして消火活動には成功したのですが、作業飛行中にたいへん強い高温の上昇気流の中に入ってしまい、煙に巻かれて、恐らくエンジンにサージングを起こしたものと思われます。その結果エンジンが故障してヘリコプタは墜落、乗員は全員死亡しました。

ヘリコプタは、事故を知った救援隊が現場に駆けつけたときは、完全に燃え尽きていました。そのため眞の事故原因は分かっていませんが、爆弾の爆発という噂もありました。目撃者によると、ヘリコプタが森の上を厚く覆っている煙の中に入る直前、エンジン部分から閃光が見えたというのです。しかし我々は、エンジンのサージングが最もあり得る原因ではないかと考えています。

吊り下げバケットの長所と短所

消防用Ｍｉ－６の次の大きな仕事は1972年夏、暑く乾燥したモスクワ地域で発生した森林と泥炭地の火災出動でした。この火災は、遠く離れたモスクワ市内でも焼け焦げる匂いを感じるほどで、そのとき消防装備をしたＭｉ－６は１機しかなかったのですが、モスクワの町並みにまで火勢が迫り、危険な状態になってきたため、もっと多くの消防ヘリコプタが必要ということになりました。そこでわれわれは機外吊り下げ式の鉄製のタンクを急遽製作しました。

このタンクは吊り上げるための水平軸が、重心よりもやや低い位置にくるようにしてあり、６トンの水を入れて火災現場の上空にくると、パイロットの操作でロックを外します。すると重心位置が高いためにタンクがひっくり返り、水が投下される仕組みでした。これによりＭｉ－６、Ｍｉ－８ヘリコプタの特別消防チームが編成されました。

いうまでもないことですが、プラスティック製の容器の方が軽くて、水の搭載量も多くなります。しかし、あのときのような緊急時には金属製のタンクの方が簡単に製作できて、効果的だったわけです。

現在では、カナダのＳＥＩインダストリー社が製造しているバンビ・バケットのような、柔軟なプラスティック容器がロシアでも製造され、使われています。この容器はＭｉ-17およびＭｉ-26のために開発されたもので、それぞれ５立方メートルと15立方メートルの水が入ります。その15トンの水を、Ｍｉ-26は15秒で投下することができます。

しかし、機外吊り下げ式の消火システムは、簡潔ではありますが、いくつかの欠点もあります。第１に、吊り下げた容器を飛行中に安定させることが困難であり、火災現場に正確に水を投下することもむずかしい。第２に大きな容器に水を入れるには、深い貯水槽のようなものが必要になる。たとえばＭｉ-26の15立方メートルのフレキシブル・コンテナ

に一杯の水を入れるには、深さ５ｍ以上の貯水槽が必要です。けれども、このような大きな貯水槽を火災現場の近くにいつでも見出すことは、なかなかできません。

第３に、深い貯水槽の上で長々とホバリングするのは危険なオペレーションです。特にエンジンの片発停止を考えると、決して望ましいことではありません。この片発停止にそなえるには、原則としてヘリコプタの離陸重量やペイロードを減らさなければなりませんが、そうすると水や燃料の搭載量を減らさなくてはならず、消火作業の効率が悪くなります。

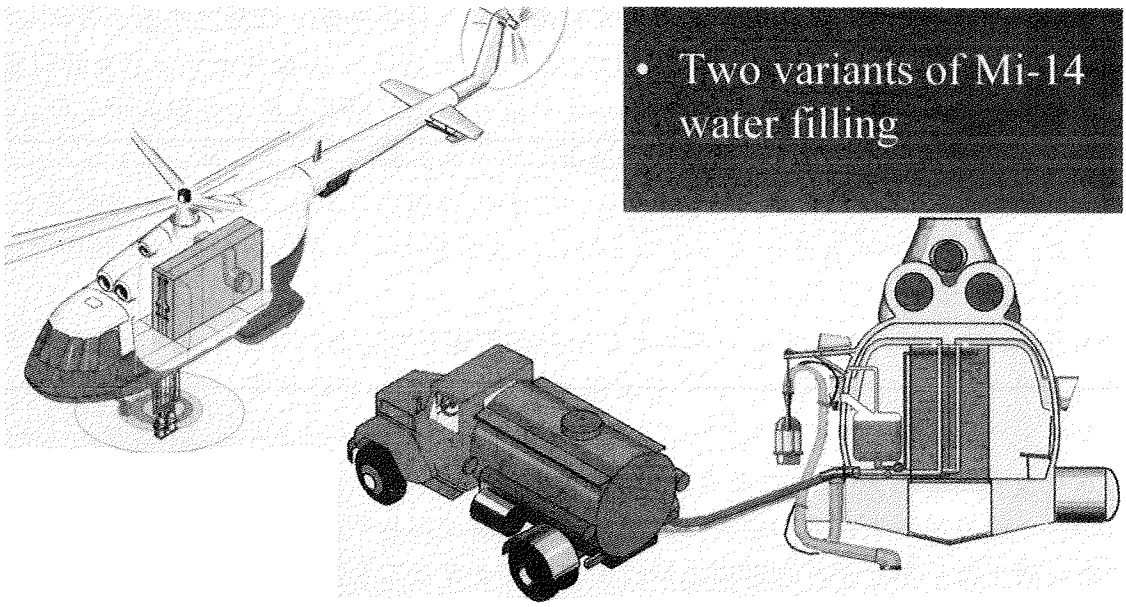
Ｍｉ－14とＭｉ－17

ミル・ヘリコプタの多くは、こうした欠点が生じないように設計されています。その一例がＭｉ-14です。

Ｍｉ-14は、Ｍｉ-８を基本に、対潜ヘリコプタとして設計されたもので、海の上を長い時間飛びつづけ、敵潜水艦の探索と攻撃や、味方の捜索と救助を行います。その胴体底部は防水になっており、レベル３までの波高ならば着水も可能です。

このＭｉ-14は、ロシアと旧東ドイツ軍で使われていましたが、対潜機としてのほかに、消防機としても使われました。機内に大きな金属製のタンクを取りつけ、タンクの底と機体の床面にあけたハッチから水を投下できる仕組みになっています。このハッチのドアを全開にすると、機内の４トンの水が３秒間で投下されます。

Ｍｉ-14消防ヘリコプタはロシアでもヨーロッパでも、高い能力を実証してきましたが、ミル・ヘリコプタ工場では、引き続き改良を重ねております。たとえば石油タンクの火災など、水が使えない消火活動のために、泡消火装置を装備したものも計画されています。



Ｍｉ－14への２種類の給水システム

そして消火活動から得た教訓として、一度に全ての水を投下するのではなく、状況に応じて水を半分だけ投下するなど、パイロットのコントロールができるようになりました。

ヘリコプタへの給水能力も拡大しており、通常の屋外貯水槽から給水するという従来の方法のほかに、水を積んだタンク車から給水できるようにもなりました。またＭｉ-14 は機内にタンクをつけたまま、９人の消防士を搭載したり、消火器具を吊り下げて火災現場に向かうことも可能です。

ときにはＭｉ-14 に加えて、Ｍｉ-17 ヘリコプタもバケットを吊り下げて消火活動に参加し、森林火災などでは大いに効果を発揮しております。吊り下げ式の装置は元来、先に述べたような欠陥がありますが、ミル・ヘリコプタ工場はそれを克服するために、さまざまな開発をしてきました。

この消火装置は最初からＭｉ-17 ヘリコプタに完全に適合するように設計され、機体の改修は全く必要ありません。したがって機体の形状や構造には変化がなく、Ｍｉ-17 本来の飛行性能や輸送能力もそのままで、消火装置の着脱も短時間に行うことが可能です。ですからＭｉ-17 輸送用ヘリコプタが消防ヘリコプタに変わるのも、またその逆も、きわめて迅速におこなうことができます。ヘリコプタのペイロードも、実質的には減りません。

最近は川や湖水から水を吸い上げるのではなく、特殊な貯水槽を現場近くに持って行き、そこに水を溜めて給水する例が多くなりました。シコルスキーＳ-64 の場合もその一つで、こうするとエンジンの片発停止にそなえて緊急用フロートを取りつける必要がなくなります。世界最大の輸送用ヘリコプタ、Ｍｉ-26 にも同様なシステムが設計されております。同機はまた、バンビ・バケットの吊り下げ消火も可能であり、どちらの方法でも取れるようになっています。

３日間で開発の指示

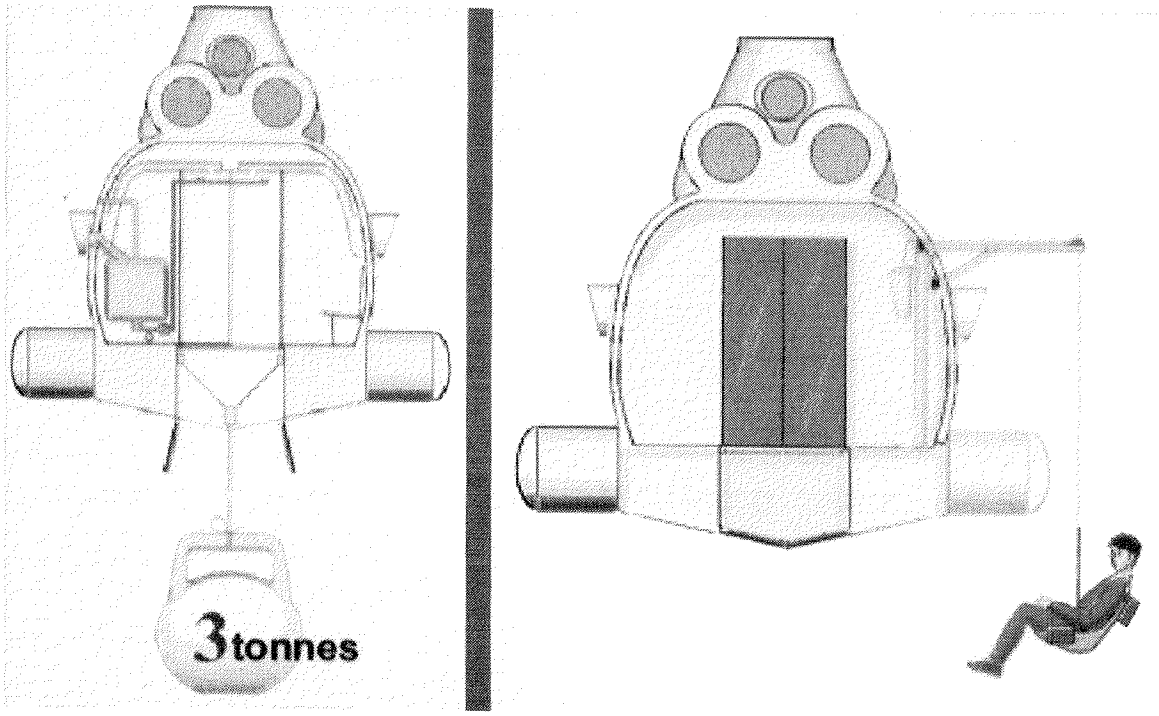
さて、いよいよチェルノブイリ原発事故におけるヘリコプタの話に入りたいと思います。

この原子炉爆発の事故が起こった 1986 年４月 26 日は、20 世紀の暗黒の日となりました。しかし初めのうち、事故を伝える報道はむしろ人びとを安心させるような内容で、大多数の人は何が起こったのか全体像を把握することができない状態でした。

５月１日は旧ソビエト連邦の祝日だったため、ウクライナの首都キエフでは民族の祭りやスポーツ・イベントが開催され、多くの人が放射能に汚染された風が吹く中、穏やかな休日を過ごしていました。そして５月９日頃になってようやく、この事故が大変なことであることが明らかになってきたのです。

まさしく、この日、巨大な原子力災害の最初の被害除去の任務が、われわれの工場にもたらされました。その日は金曜日で、多くの人は週末を楽しむ計画でいました。しかし、当時のゼネラル・デザイナーであったマラト・ティシュチェンコ氏が主要なスペシャリストを集め、全員がことの重大さを知ることになりました。

ミル・ヘリコプタ製作所に特別チームが編成され、ヘリコプタに特殊な粘性の高い液剤を投下する装置を開発することになりました。これには農業用の液剤散布装置を利用し、Ｍｉ-８ヘリコプタで吊り下げることにしました。タンクの容量は２立方メートルですが、後に散布量から見て小さすぎることが判明しました。しかも装置が複雑なために、短期間



Ｍｉ－14消防機は、放水のほかに３トンの重量物運搬、
捜索救助、ホイスト救助が可能

で同じものをいくつもつくるのは困難でした。
そこで、もっと簡単で効率的な解決法を考えることになりましたが、実は最初のうち、われわれはその液剤の物理的、化学的な性質や流れ方に関する知識がありませんでした。また、この液剤を散布する目的、すなわち土壌の放射能を弱めるために撒くのか、それとも全く違う理由があるのかも分かってなく、手探りで装置の設計をはじめました。

しかし、よく調べてみると、この液剤は粘性があるため、埃や砂など何でもくっつけてしまい、風雨によって運び去られるのを防ぐ働きのあることが分りました。ただし物理的、化学的組成については、ほとんど不明でした。また、この液剤で地面を厚くおおうならば放射能の影響も少なくなるわけですが、高価であるため量に限りがありました。

その当時たまたま、ミル設計局ではＭｉ-26 大型ヘリコプタに増加燃料タンクを装着して、航続距離を延ばす作業をしておりました。これは機内に 3.7 立方メートルの燃料タンクを取りつけるものですが、これが随分と問題の解決に役立ちました。

そこで、われわれ技術陣の課題は二つに絞られました。一つは当然のことですが、液剤の搭載量が多いほど、１回の飛行で処理できる面積が広くなるということ。第２は液剤の化学的な組成が不明であるにもかかわらず、その散布装置をつくらなければならないということです。

そのため、われわれはＭｉ-26 を使うことを想定して２種類の装置をつくりました。一つは、スプレーノズルをつけた管を胴体下面に取りつけるもの。もうひとつは、Ｍｉ-８の除草剤散布装置と同じように、スプレー装置を 10～15m 下に吊り下げるものです。

この２種類の装置のどちらが実用的であるかは、なにしろ金曜日の開発指示が出てから

月曜日までに仕上げなければならなかったため、３日間のうちに飛行試験も完了させるという過酷なものでした。

液剤散布装置の製作

もとより、われわれの工場は液剤散布装置の開発について経験があります。したがって全く白紙の状態から作業をはじめたわけではありません。しかし、ご存知のようにロシアの天候は過酷です。したがってヘリコプタは夏と冬の季節的な変化に加えて、氷結気象状態など全く異なった状況の中で運用しなくてはなりません。

特に氷結気象状態での飛行テストをおこなうには、そのような天候を待たなければなりません。さもなくば、はるか北方へ飛んで行く必要があります。しかし、それには時間と費用がかかります。

そこで、われわれは人工的な氷結気象状態をつくり出すことにしました。Ｍｉ-26 の１機に水タンクを積みこみ、気温の低い上空で放水して氷結状態をつくり出し、その後方から問題の液剤散布装置を取りつけたヘリコプタを飛ばして試験をおこないました。

液剤タンクは、それぞれ 3.7 立方メートルでした。これをＭｉ-26 に４個搭載したので、全搭載量は約 15 立方メートルになります。右側２つのタンクは右側のスプレーパイプにつなぎ、左側２つのタンクは左側のパイプにつないで、各タンクには２つずつのポンプを取りつけました。

パイプは床面のハッチを通して降着装置に固定しました。また散布装置には逆流防止装置もつけました。このような状態で、もし故障が起っても他のタンクから引き続き散布することができるようにしました。

ノズルは所要の流量を確保し、また試験の結果改めてつくり直す必要がないように、初めから３種類のものをつくりしました。その結果、中間の大きさが流量も散布幅も最適ということになりました。

次に、吊り下げ式の散布装置もつくりました。これはノズルのついたスプレーパイプをカーゴスリングで 10～15mほど地面に近づけ、より正確な散布ができるようにするという考えでした。

タンク内の液剤量をモニターし、タンクが空になったときは自動的にスイッチを切る機能としては、通常の燃料ゲージでも使用できますが、粘性の強い液剤の中では作動しないおそれがありました。そこで単純な解決方法として、各タンクの中に大きなフロートを入れ、簡単なロッドとベルクランク・システムでポンプのリミット・スイッチを押し上げるようにしました。これで電気系統全体が単純になり、結果として信頼度を上げ、特に製作時間の短縮に有効でした。

このとき、こんな簡単なシステムが本当に作動するのかという疑問も多くあったのですが、後に非常に効率的に働いたことが証明されました。

ただし、時間がなかったので精密な設計図を描く暇もなく、手描きのスケッチで設計をしました。そしてヘリコプタの機内スペースに合わせて寸法を決め、必要に応じてスケッチに変更を加えたりしました。

Ｍｉ－26 超大型消防用ヘリコプタ

チェルノブイリへ飛ぶ

さて、これらの散布装置は、直前までチェルノブイリで偵察飛行などをしていたＭｉ-26に取りつけることになりました。この機体にはまだ残留放射能があり、放射能を非活性化する処置が取られたのですが、取りつけ作業は相当に危険でした。しかし清浄なヘリコプタなどは１機もありません。

設計者は機体の下にもぐって取りつけ作業をしたわけですが、機体下面にはまだまだ高レベルの残留放射能があったため、責任者からは作業時間をできるだけ短縮するよう警告されました。しかし、ほかに方法はありません。こうしてスプレーノズルのついたパイプが機体に装着されました。

金曜日は深夜まで仕事をし、土曜日、日曜日も作業は24時間体制で行われ、多くの人が工場の中や設計局の室内で寝ました。作業は月曜の朝終了し、午前11時にヘリコプタが組立工場から引き出されました。まず地上で流量試験をおこないました。散布装置の電気スイッチを入れ、タンクに約１トンの水を入れ、ポンプのスイッチをオンにしたのですが、規定圧力を越えているにもかかわらず、泡が出るだけで水は全く出ませんでした。

驚いて調べると、作業を急がせたために作業員の１人がポンプの電気配線を間違え、半分の電力しか供給されていなかったのです。

散水装置の装着と同時に、ヘリコプタ自体にも多少の改修が行われました。ひとつは汚染された外気が機内に入ってくるのを防ぐために、カーゴスリングとホースを外にたらすハッチをの隙間を塞ぎ、機体後部のカーゴドアにある２つの穴にも厚い鉛のガラス・パネルを装着しました。

飛行試験は 100m四方の大きさにパレットを敷き、その上にヘリコプタから液剤を散布しました。しかし液剤の粘着性が非常に高かったため、うまく測定できず、最終テストは現場でやることにしました。こうしてヘリコプタは、わずか３日間の作業でチェルノブイリへ飛んだわけです。

このときＭｉ-26 と一緒に、Ｍｉ－６もＭｉ－８用の農薬散布装置を積んで現場へ向かいました。Ｍｉ-26 とＭｉ－８が共同作業をするためです。

この２機のヘリコプタは無着陸でチェルノブイリへ飛び、原子力発電所に近づくと、上空から原子炉の破損状況がよく見えました。そのためヘリコプタに同乗してきた技術者たちの中には、好奇心から破壊された第４原子炉の上を飛ぶようパイロットに頼んだ者もいました。

ヘリコプタは着陸するとすぐに作業準備にかかりました。Ｍｉ－８は運ばれてきた散布装置を取りつける作業が必要でしたが、Ｍｉ-26 はタンクに液剤を入れるだけで、すぐ散布作業にかかれる状態でした。そこで液剤を積んだタンク・ローリーから最初の補給を受けると、まず試験散布をおこない、最も有効な散布をするには、どのような飛行をすればいいかが確認されました。

２～３回の試験飛行で分かったことは、最適飛行条件は速度が約 120km/h、高度が 50～60m。ただし速度を 80～90km/h に落とせば、高度は 80～90mまで上げてもよいということになり、放射能の影響を考えて後者の飛行条件で作業をすることになりました。

この作業をしながら、チェルノブイリ周辺を飛行した乗員たちが最も驚いたのは木の葉が枯れて黒みがかった黄色に変色していることでした。とても５月とは思えない色をしていたわけです。これが目に見える放射能汚染の最初の現象でした。

システムは正常に作動

ところでＭｉ-26 とＭｉ－８の散布作業には大きな違いがありました。両方が同じ飛行高度で飛んでいるのに、Ｍｉ－８は吊り下げ式のため、散布装置が 10mほど地面に近いということです。したがって散布結果も、Ｍｉ－８の方が正確であるように思われました。

ところが、Ｍｉ－８は、散布作業をつづけていると、同じ搭載量であるにもかかわらず、１回当たりの散布時間がだんだん延びていくのです。これはＭｉ－８の散布装置が、もっと粘性の低い液剤を散布するため設計されていたので、パイプの断面がやや小さく、内部に液剤が詰まるためでした。そのため繰り返しパイプの内部を洗浄する必要がありましたが、そのために時間と人手を取られるので、結局われわれはＭｉ－８の散布作業を中止しました。

一方、Ｍｉ-26 のシステムについては全く問題がありませんでした。１日中散布飛行をつづけ、最後に散水装置を水洗いするだけで充分でした。もっとも、この水洗いは必ずやっておかないと、液剤の粘性が高く、時間と共に固まってしまうので、翌日の作業ができなくなります。

スプレーノズルも水洗いをしておけば問題はありませんでした。ただし、ときどきノンリターン・バルブが、水洗いをしているにもかかわらず詰まったりしました。

15 立方メートルのタンクにいれた液剤は、15 分で散布されます。したがってヘリコプタは 20 分ごとに着陸し、液剤を積み込んで離陸します。これを繰り返しながら、パイロット

は1日10時間以上働きました。その苦労は想像以上のものがあると思いますが、現地の原子力関係者はＭｉ-26 の働きぶりに満足し、初日の作業が終わると6機の追加派遣を要請してきました。こうして最終的には7機のＭｉ-26 がチェルノブイリで放射能を抑えるために働きました。

ミル・ヘリコプタ工場から派遣された技術者は1週間現地にとどまり、散布装置の作動状況を確認し、問題点を解決しました。その結果、Ｍｉ-26 の吊り下げ式の散布装置は使わないことになりました。

ドーム・シャッターの取りつけ準備

それではチェルノブイリ、もしくは将来どこかで起こるかもしれない原子力発電所の事故におけるヘリコプタの作業効果を確認するために、時間的な順序を追ってヘリコプタの活動を見てみたいと思います。

まず事故の翌日、4月27日にヘリコプタ1機が現地に派遣され、原子炉の状況を空から調査しました。これは事故の規模を確認し、放射能の影響を推定するためでした。

次にモスクワ・ヘリコプタ製作所のテスト・パイロット数名が現地に派遣され、軍のパイロットと一緒に原子炉の上にドーム・シャッターをかぶせる作業をすることになりました。このドームはスチール板を溶接したものですが、余りに重すぎてヘリコプタ1機で吊り上げるのは無理かと思われました。直径は19m、重さ15トン余りで、ホースのついた特殊装置が取りつけられ、内部に湿気を送りながら原子炉から出る放射能を遮蔽するためのものです。

しかし、こまかく計算した結果、1機分のペイロード範囲にあることがわかり、Ｍｉ-26 ヘリコプタ1機でこのドームを原子炉の上にかぶせることになりました。しかし原子炉の周辺には破壊した構造物があってドーム取りつけの邪魔になり、現場上空には放射能があるため長時間とどまることもできず、全体をぴったり覆うのは非常に困難と思われました。

そのため30回に及ぶ訓練がおこなわれ、最後の10回はチェルノブイリ原子炉の破損状況を模した構造物をつくり、そこに向かってドームを降ろすといったこともやりました。このとき補佐役として、Ｍｉ-24 ヘリコプタを飛ばし、吊り降ろしの状況を側面から見ていて、位置的な助言をすることになりました。

現場上空では、ヘリコプタの飛行高度で毎時200レントゲンの放射能が観測されました。それに対応するために、乗員は腹部に内臓保護のための鉛のベルトを巻き、コクピットの床面には厚さ20ミリの鉛の板を敷きました。また機内に汚染された塵が入ってこないよう機体は密封されました。

それでも乗員は偵察飛行で8レントゲンの放射能を浴びました。それを知った作業責任者は、原子炉上空の偵察飛行を禁止する指示を出しました。しかし、完璧な仕事をするには現場の様子をしっかり把握しておく必要があります。

そこでヘリコプタに倍率13倍の望遠鏡を取りつけ、遠くから状況を把握することになりました。Ｍｉ-24 は1ｋｍ離れたところから助言をすることになりましたが、これは同機の乗員が鉛の防護服など、対策を取れなかったからです。というのは乗員やコクピットに重い防護板を取りつけると、機体の重心位置が限界を超えるからでした。

Ｍｉ-24 の任務は作業状況の監視と同時に、周囲の放射線量を測定することでした。機内には最新の換気装置が取りつけられ、乗員２人のほかに化学者２人が同乗するための補助席も設けられました。さらに短固定翼下面のパイロンにはリモート・コントロール方式の集塵器や分析装置、データ送信装置などが取りつけられました。

猛訓練は終了したが

Ｍｉ-26 ヘリコプタの乗員に与えられたドーム取りつけの作業時間は、安全のために３分間に限定されました。この時間内で作業を終えるために、繰り返し訓練がおこなわれました。訓練にあたって、最初はドーム吊り下げのスリングを長さを 250mにしました。しかし安定させるのが難かしく、正確に原子炉の上に降ろすことは不可能でした。

次に、スリングの長さを 100mに縮めて訓練を重ねた結果、Ｍｉ-24 からの助言があれば、ほぼ正確にドームを降ろし、原子炉の上にかぶせることができるという確信が得られました。

こうした基礎研究に強い印象を受けた政府委員会は、激しい訓練の疲れを癒やすために、ヘリコプタの乗員に短期間の休暇を認めることにしました。ところが、乗員が休んでいる間に突然、政府委員会は軍の乗員を使ってドームの取りつけをおこなうという決定を下したのです。軍のパイロットも訓練には参加していましたが、ミル・ヘリコプタ製作所のテスト・パイロットよりは経験が浅く、補助的な立場にありました。

それが主役になって作業に当たったため、むずかしい長吊り作業が技倆の範囲を越え、ドームを原子炉の上に落としてしまいました。ドームは完全に壊れ、苦心を重ねてきた計画は全て放棄せざるを得なくなりました。

さらに、もうひとつ新しい課題が出されました。Ｍｉ-６消防ヘリコプタをチェルノブイリの現場に呼び寄せる命令が出たのです。このヘリコプタは機首に放水銃がついていて、火の中心部に向かって高圧で水をかけることができます。乗員は飛行研究所のテスト・パイロットでした。

彼らの任務は原子炉の換気パイプにできるだけ接近して、パイプの残骸から放射能を帯びた黒鉛の破片を洗い流すことでした。これら黒鉛のかけらは原子炉爆発のときに吹き飛ばされ、高いところにひっかかっていたものです。

Ｍｉ-６は、破壊された原子炉を模した構造物を使って、換気パイプのそばでホバリングしながら黒鉛を洗い流すという訓練を８月なかばまでかかって終了しました。ところが、その頃になると現場の放射能が毎時 0.2～0.4 レントゲンに下がったため、ヘリコプタで黒鉛を洗ったりすると、却って１か所にたまって新たな汚染がはじまる恐れがでてきたため、作業は結局、中止することになりました。

２次災害に注意を

最後に、事故を起こした第４原子炉の残留放射能除去に続いて、同じチェルノブイリ発電所の中にあった第１および第２原子炉についても作業をすることになりました。それは換気装置の取りつけで、重さ 14 トン、長さ６ｍの重量物でした。通常ならば、これをＭｉ

-26で吊り下げ輸送をするのに問題はありません。同機は20トンの吊り上げ能力があるからです。

しかし放射能のことを考えて長吊り輸送をすることになり、飛行研究所の乗員がＭｉ-26を操縦することになりました。作業は長吊りである上に、建物の真上から真っ直ぐ降ろさなくてはなりません。というのは、建物の周囲に発電所の高い塀があったからです。

スリングの長さはおよそ250mに達していました。いうまでもなく極めて困難な作業でした。パイロットはスリング・オペレーターの誘導にしたがい、小さなモニターテレビを見ながら操縦しました。これはうまく成功しました。

次の例は失敗に終わったものですが、1986年10月初め、上のＭｉ-26による換気装置取りつけ作業の数日前のことでした。軍のパイロットが操縦していたＭｉ-８が第４原子炉のそばに墜落したのです。Ｍｉ-８は背の高い換気パイプに近づき、かなり強い放射能の中で飛行作業をしておりました。パイロットは連日の飛行で疲労しておりました。そのためか、注意が散漫になった瞬間、主ローター・ブレードが頭上高い位置に延びていたクレーンのアームに当たったのです。

墜落したのは、正常な第３原子炉のそばでしたが、テールブームが触れただけでした。もしこれが原子炉を壊していれば、いっそう恐ろしい事態になったと思われます。

以上、ここで申し上げたかったことは、大災害の対応はきわめてむずかしく、しかも急を要するため、対応に追われてへまをやると、いっそう大きな２次災害を招きかねないという教訓であります。

ご清聴有難うございました。

仕様書とことわざ

地域航空総合研究所
顧　問
宮田　豊昭

昨年の３月、操縦士協会の大阪支部に呼ばれて講演をした。タイトルをどうするかと聞かれ、「産みの親より育ての親」にしたいと言ったら、事務局がしばらく絶句した。まさか身の上相談とは思わなかったろうが、何を言い出すのか測りかねたようである。ようするにオペレーター特にパイロットの話をしたいのだと補足して、やっと安堵してもらった。もっとも説得は方便で、パイロットの話はあまりしなかった。

学生の時、主任教授から「使う者としての航空工学」を教わった。他の人は知らないが、そのつもりで聴いていたから、機種がどういう運命を辿るのか気になっていた。特に使う者が機種にどう係わるのかに興味がある。

30年を操縦士として過ごしたが、得た結論が「産みの親より育ての親」である。もちろん比較して優劣を言う気はない。けれどもオペレーターには機種を育てるという一面があり、それなりの力量が無くてはならない。機種を育てる者として、自身と周囲がそれを認識することが必要と思っている。それをやや誇張して言うとタイトルになった。

そうなるとメーカーよりオペレーターの方が優れていると聴かれても仕方がないわけで、聴衆にはメーカーのテストパイロットがいるかも知れないと気が付いたとき、誤解されないようへどもどと言い訳をして、はじめから汗まみれになってしまった。

零戦の仕様書

零戦は太平洋戦争の全期を主力戦闘機として戦い、緒戦には「太平洋の驚異」と謳われながらついには矢尽き刀折れた。その日本を代表する戦闘機の生産者三菱重工と、運用者帝国海軍の関わりは、産みの親と育ての親を考えさせてくれる。

軍用機は育ての親が発注者である。その限りでは海軍は産みの親なのかも知れない。だから設計仕様書が産みの親と育ての親の接点だろう。抜粋すると次のようなものであった。

１．用途：掩護戦闘機として敵の軽戦闘機より優秀なる空戦性能を備え、邀撃戦闘機として敵の攻撃機を把捉撃滅しうるもの

２．最大速度：高度4,000mで270kt(500km/h)以上

３．上昇力：高度3,000mまで３分30秒以内

４．航続力：正規状態：高度3,000m、公称馬力で1.2時間ないし1.5時間

過荷重状態（増槽燃料タンク装備）：高度3,000m、公称馬力で1.5時間ないし2.0時間、巡航で６時間

５．空戦性能：96式２号艦上戦闘機に劣らぬこと

６．機銃：20mm機銃２挺　7.7mm2挺　　（以下略）

用途にある援護戦闘機が念頭にしたのは96式陸上攻撃機なはずである。日本海軍独特の機種で、劣勢な連合艦隊を補うためアメリカ艦隊を外洋で迎え撃ち、互角に持ち込む期待の機種だった。しかし日華事変では中国戦闘機に手痛い反撃を受け、強力な護衛戦闘機が痛感されて仕様に反映された。それが航続力の根拠であり、類を見ない長距離戦闘機を産むことに繋がっている。このように見ると、仕様のベースには主力艦同士の艦隊決戦があり、有利に導くための攻撃機とそれを援護する戦闘機なのである。零戦は緒戦フィリッピン攻撃では1,000kmを往復して世界を驚倒させたが、もくろみの艦隊決戦はなかった。

仕様で対戦する相手を軽戦闘機と想定している。日華事変で96陸攻に損害を強いた中国の戦闘機はカーチス・ホークⅢであり、旧式な複葉の引込脚機であった。時はすでに高速重戦闘機の時代を迎えつつあったから、想定は後ろ向きの誹りを免れない。何よりも空戦性能に対する条件に96艦戦を上げている。もっとも仮想敵アメリカが使用していた艦上戦闘機はグラマンのF3Fで、やはり複葉引込脚機であった。

戦闘機の本義は防御である。したがって艦上戦闘機の主要目的は艦隊の防御にあり、陸上機より更に防御の性格は強い。負ければ沈没が運命だから当然である。しかるに零戦の用途にある邀撃任務は、用途の最後に付け足したように加えられ、仕様条件は最大速度と上昇力に見られるだけである。それも4,000mと3,000mだ。果たして「明日」をどう想定したのだろう。はたしてミッドウエー海戦では任務を全うできてない。

艦上戦闘機の系譜は90艦戦、95艦戦、96艦戦そして零戦である。皇紀2590年から2600年の10年間に４機種、平均すれば寿命は2.5年である。95艦戦は90艦戦のスケール・アップだから、実質は３機種で3.3年だ。96艦戦からみれば零戦までは４年になる。量産機が戦力化するのに３年とすれば、6～７年先が想定未来になろう。その期間、アメリカ艦上戦闘機が複葉のままとは考えられない。

これは勘ぐりだが、アメリカ艦上戦闘機を仮想敵とは考えていなかったのではないだろうか。対戦相手は補給もきかない旧式な中国戦闘機であり、それに勝つことを仕様にしたのではないか。もしアメリカと対戦しても、艦隊決戦とすれば随伴してくるのは水上偵察機か観測機である。だからアメリカ戦闘機など考えてもなかったのではないか。

しかし珊瑚海海戦以降は機動部隊決戦になっている。それなのに帝国海軍は、最後まで艦隊決戦の想定から逃れられなかった。零戦の仕様書を見ていてつくづく思うのは「明日への想定」がおろそかなこと、そして「昨日への対処」に猛烈な拘りを感じる。だから昨日の状況では圧倒的に勝ったが、明日が動き始めるともう対処ができない。これは使用者すなわち「育ての親」の能力を示すものではないかと思う。

ひとくちに海軍といっても巨大な組織だ。仕様が決まるのプロセスは、まず作戦を担当する海軍軍令第一部が起案する。たてまえでは仮想敵国と想定戦場、戦うべき艦船と航空機の性能、戦法などを考慮し、世界の趨勢を分析するとある。ただし独断とせず、連合艦隊の意見も採り上げて案を作り、海軍省に案を提出する。

海軍省は予算や国力を勘案して検討したのち、その案を航空本部に渡す。航空本部は技

術廠、実験航空隊、実施部隊の意見を参考にして計画素案を作る。その上試作担当会社を交えて練り上げ、仕様計画案にする。

零戦仕様書の作成にあたっては三菱が参加して研究会が開かれたが、日華事変の最中であり前線の意見が席を圧倒した。おそらく国家戦略よりも、現場の戦術・戦技が優先したのであろう。ここにも未来より過去と現在が大きい存在となっている。

決定の仕組みは現在とあまりにも似通っていて、果たしてこれが過去の決定システムとは思えない。海軍省を大蔵省、厚生省、あるいは通産省と読み替えても、十分通用するのではないだろうか。

カーチスP-40ウォーホーク

カーチスP-40は隠れも無き駄作であった。細かいことは分からないが、中・低高度用戦闘機として1938年１月に、仕様X609としてアメリカ陸軍から要求が出ている。零戦の仕様書が1937年５月だから、遅れること僅か半年である。同時と見ても良いだろう。

仕様X609の最大速度は、高度15,000ft(4,600m)で370mph(600km/h)。上昇力が15,000ftまで６分以内である。中・低高度戦闘機ではあるが想定高度は零戦より600m高く、速度は100km/hも速い。艦上戦闘機ではないが、日華事変で対戦したカーチス・ホークの延長にある戦闘機の仕様は高速重戦闘機であった。未来予測は困難であるとはいえ、あまりに想定の乖離が甚だしい。ただ上昇力は要求が緩かった。

試作機XP-40は早くも1938年10月に飛んでいる。零戦の1939年４月より半年早い。制式戦闘機P-36の改造だったからだが、そのためか最大速度は480km/hしかでない。日本ならボツになるだろうが、改修して550km/hにすることができた。しかし計画速度には遠いので、アメリカ陸軍はせめて580km/h（360mph）を出せと要求し、カーチスは小改造でそれをクリアーしている。まるでバナナのたたき売りのようだが、アメリカ陸軍は鷹揚にも採用を決めている。

太平洋戦争の緒戦にハワイとフィリッピンで零戦と対戦し、完膚無きまでに破れた。旧来の戦法に依る限り、「産みの親」の力量がまるで違うことが証明されたのである。

ところが中国戦線では、雇われ将軍シェンノートに率いられたフライング・タイガースAVG(American Volunteer Group)が戦法を工夫し、高速一撃離脱に徹して互角以上に戦った。諺に「ナントカとハサミは使いよう」と言うのがあるが、「産みの親」が劣っていても「育ての親」がそれをカバーしたのである。

AVGの戦法は直ちにアメリカ軍全体の戦法にはならなかったが、太平洋戦争の天王山ガダルカナル戦以降は正統戦法になり、ついに零戦を圧倒した。もし言うのであれば、物量云々の前に、日本とアメリカの「育ての親」の力量の差を言うべきであろう。

P-40は駄作と言われながらも13,737機が作られた。日本最大の傑作機零戦は10,430機である。ただ「産みの親」を口実にして、駄作と言うだけでは説明がつかない。

ある機種選定

1970年前後、ヘリコプター業界はベル47に次ぐ小型機の後継機の選択に迫られていた。既にアメリカ陸軍は機種を選定し、陸上自衛隊も同機種を使う決定をしていたから、国産化が決まり生産も始まっていた。業界は選定と言いながら、事実は国産機から国産機への

移行と誰もが思っていた。いずれ新しい国産機の単一群落になるであろう。

ところが業界一位のＡ社はそうは考えなかった。社内に機種選定委員会を設け、機種が担当するであろう10年後の業種を検討し、業種毎の作業分析をしてシミュレーションを行った。その結果は違う選択になった。

選定結果はアメリカ機であったので、サプライの問題で反論もあったが、委員会が論拠にしたのは「遠くの親戚より近くの他人」であった。遠近が物理的な距離ではなく、サポート全体に係わる距離と考えたからであろう。現在のヘリコプター業界では既に、メーカーの物理的な距離を問題にする会社はない。

その後の機種の消長を見ると、Ａ社の選定はそれほどの間違いでは無かったと信じられている。その証拠というか、1980年代の後半にマクダネル・ダグラスのヘリコプター・デビジョンは、世界の９社を選んで開発するヘリコプターの仕様を検討させた。後に名前を付けてブルー・チームと呼んでいる。Ａ社はその中の１社で、もちろん日本ではＡ社だけである。「育ての親」として評価されたからであろう。ただ９社は多過ぎた。オペレーターはメーカーの運命までは考えないから、出来たヘリコプターは焦点がぼけて人気がない。「船頭多くして舟は山に登って」しまった。

千里の馬

中国の諺に「世に伯楽ありて然るのち千里の馬あり」と言う。たぶん「産みの親より育ての親」を中国風に言えば、こうなるのだと思う。

風景として伯楽と馬の群がいて、その中から伯楽は、将来千里を駈ける素質の馬を見抜き、名馬に育て上げていく。そう言うことだろう。もし伯楽に見付けられないならば、馬はただの馬として一生を終わる。雄大な大陸があって、「産みの親より育ての親」なぞ露骨なことを言わないのがいい。

伯楽の能力は、名馬の素質を見抜くということだろうけれども、将来を予測することに重点を置いて捉えたい。「育ての親」の能力は将来を予測する能力である。

仕様は未来予測である。誰がするのか問うまでもなく、書く者すなわち「育ての親」がしなければならない。伯楽になる努力が必要だ。伯楽の立場にいて、伯楽になる努力をしないとしたら、名馬は名馬になれない。

しかし将来を予測することは容易なことではない。神様と言われた松下幸之助氏も、予測は３割しか当たらなかったと述懐されている。

そこで思うのがアメリカの予測システムである。アメリカはオペレーターも行うがメーカーはもっと真剣に行う。なぜならそれがメーカーの浮沈に係わるからだ。そしてと言うか、だからと言うか、オペレーターは自分の予測に拘らない。事態が動いて、メーカーの誰かの予測の方が優れていると思えば、すぐそれを採る。結果を見れば無策にも見えるが、伯楽の位置にいて、伯楽を間違えないようにしようと覚悟すれば、実に感動に値する態度である。もし間違えて駄馬を選んでも、駄馬なりに活用する手段を懸命に考え、P-40ウオーホークの13,737機がある。

零戦は名馬である。しかし日本の伯楽はいささかお寒い限りだし、たぶんそれは民族の習性で、今でも同じなのではないかと思っている。昭和の軍人を軍人として切り離すことに賛成ではない。彼らは優秀なはずの偏差値軍事官僚だった。最後の諺は「温故知新」。

ティルトローター機の設計
——テスト・パイロットの見方——

ベル・ヘリコプター社
テスト・パイロット
ダニエル・デュガン

米国のティルトローター研究は過去45年間にわたって続けられてきた。その結果ついに世界最初の軍用ティルトローター機、オスプレイを完成させ、さらに民間向けベル609の開発へ進むことになった。

その始まりは1950年代なかばのベルＸＶ－３である。ティルトローターのコンセプトは、この初期の素朴な実験機によって確認され、ヘリコプターと固定翼機への空中での転換の可能性が実証された。

ＸＶ－３に続いてＸＶ-15が製作され、1970年代から90年代にかけて試験飛行がおこなわれた。同機はＸＶ－３のピストン・エンジンに対して、タービン・エンジンを装備、ＸＶ－３の実証したコンセプトを進歩させ、洗練させた。たとえばターボプロップ・モードにおける高速飛行性能を発揮したり、遷移飛行における安全な操縦操作要領を確立した。

ティルトローター機としてのＸＶ-15の成功は1981年、パリ航空ショーで世界中に公開された。そこからＶ-22 オスプレイの開発が具体化したのである。このティルトローター軍用機は2001年、21世紀の最初の年に実用化される。これで米海兵隊の進攻輸送能力は一挙に向上するであろう。同時に民間型ベル609も実用化される予定である。

ティルトローターの可能性を実証

さてＸＶ－３は1950年代から60年代にかけて試験飛行をした実験機で、ランプ重量は最大4,890ポンド。燃料搭載量は最大600ポンドであった。また設計総重量は4,700ポンド。パイロット１人乗りで、エンジンはＰ＆Ｗ R-985ユニオール・ワスプ（450ｈｐ）が１基。ローターは当初ブレードが３枚だったが、安定が悪かったため、後に２枚ブレードに変わった。

特徴のひとつは、下向きの射出座席がついていたこと。同じような座席は初期のＦ-104やＡＨ-56 シャイアン試験機にも見られる。あるいは爆撃機は何人かの乗員が、それぞればらばらの方向へ飛び出す仕掛けになっている。

ＸＶ－３のもうひとつの特徴は金属製の小さな車輪４個がローラースケートのようにスキッド・チューブの内側に取りつけられていたこと。これは同機の試験飛行がおこなわれ

たエドワード空軍基地のように、標高と気温の高いところでホバリングができない場合、ゴム製の車輪をつけて滑走離着陸をするためであった。

ターボプロップ・モードのときの最大速度は水平飛行で 115ｋｔ TAS。このときの回転数は 324ｒｐｍである。またダイブ速度は最大 155ｋｔであった。興味深いのは、この回転数がかのベルＵＨ－１ヘリコプターの回転数と正確に同じだったことである。なお、ヘリコプター・モードでの回転数は 532ｒｐｍだった。

固定翼機としての失速速度は、高度 4,000ｆｔで 100ｋｔ。一方、ヘリコプターとしての最大速度は 102ｋｔだったから、双方をつなぐ速度幅は２ｋｔの余裕しかなかった。

もうひとつの問題はパイロン、ローター、固定翼の安定の悪さで、そのためにＸＶ－３の試験飛行はしばしば中断された。けれども同機はティルトローターのコンセプトが実行可能であることを実証し、欠陥とされた問題点はその後のティルトローター機の設計に貢献することとなったのである。

ＸＶ-15 の実験開始

1972 年、ＮＡＳＡと米陸軍はタービン・エンジン装備の新しいティルトローター機の実験をはじめることになった。予算は 4,000 万ドルで、２機の試作機をつくるというもの。この計画にはボーイングとベルの２社が競争して設計案を出し、徹底的な審査の結果、1973 年にベル 301 と呼ぶ設計案が採用された。

同機は、のちに米国防省によってＸＶ-15 と名付けられ、1977 年５月に初飛行した。そして、わずか３時間の試験飛行をしただけでＣ－５Ａ大型輸送機に積みこまれてエームズ研究センターへ送られ、1978 年、風洞試験がはじまった。

なお、最初の３時間の試験飛行はヘリコプター・モードだけで、速度は 40ｋｔ以下に抑えられ、飛行範囲もテキサス州アーリントン空港のトラフィック・パターンの中だけに限られた。このとき筆者はテスト・パイロットとして、３時間の飛行のうち 35 分間の飛行を担当した。

エームズでの 40×80 フィート風洞による試験は、主として空力的な不安定を探り出し、遷移飛行の要領を調べることであった。その結果は２号機に反映され、1979 年４月に同機の飛行がはじまり、７月には最初の遷移飛行がおこなわれた。遷移飛行の範囲は大きく、余裕があって、安全でもあった。したがってパイロットは余り神経を使うことなく、容易にヘリコプターから固定翼機へ、固定翼機からヘリコプターへ移ることができた。

ターボプロップ機では追随不可

ＸＶ-15 は飛行性能が良く、本格的な試験飛行がはじまると、ターボプロップ機では満足に追えないことがはっきりした。試験飛行の随伴機として最初に使われたＴ-34Ｃはすぐに駄目ということになり、スーパーキングエアもＸＶ-15 の高速上昇時や加速時には追いつけなかった。そこでＴ-37 双発ジェット練習機が採用されたが、ＮＡＳＡの虎の子だっ

た同機は間もなく事故を起こし、再びキングエアが使われることになった。

これらのターボプロップ機を凌駕するＸＶ-15の飛行性能は設計総重量13,000ポンドのとき水平飛行速度が最大300ｋｔ TAS、気圧高度10,000フィートでの上昇率4,000ｆｔ／minというものだった。また速度30ｋｔで後進飛行も可能だし、無論ホバリングもできる。

さらに最大総重量15,000ポンドで滑走離陸をするときは、速度25ｋｔで200フィートを走るだけで浮揚することができた。この離陸性能は片発停止の場合も可能だった。

1981年、パリ航空ショーでＸＶ-15が公開されたときのこと、ショーの会期中休むことなく、連続11日間を飛び続けた。しかも、そのうち２日間は悪天候で滑走路が閉鎖され、固定翼機のデモ飛行が全て中止になったときも、ＸＶ-15だけは飛んだのである。このことが米政府の注目をひき、やがてＶ-22の開発に踏み切るきっかけとなった。

つまり国防省が長年にわたって求めてきた進攻輸送機は、離陸や着陸のための滑走路が準備されていないときでも飛行可能であり、しかも大量高速の輸送ができる機材であった。

こうしたＸＶ-15は試験飛行が終わると２機ともメーカーのベル社へ返還され、1990年代に入ってからも同社独自の試験飛行やデモ飛行に使われている。ただし１号機は1992年８月、事故のために失われた。この事故はホバリング中の出来事で、機体は大破したが、２人のパイロットは怪我もなく、現場から歩いて戻ってきた。原因はナットにコッターピンをかけ忘れたという初歩的な整備エラーである。

Ｖ-22の開発へ向かう

こうしてティルトローター機の開発はＶ-22に向かうことになった。同機は当初、３軍統合の垂直離着陸機という意味でＪＶＸと呼ばれた。というのは陸軍がＶＩＰ輸送、海兵隊が海からの進攻輸送、空軍が特殊任務、海軍が戦闘中の捜索救難任務に使う計画だったからである。しかし、のちに陸軍が計画から離れ、海軍が開発の主体となった。

そこで先ず６機の原型機がベル、ボーイングの両社によって製作され、１号機は1988年５月にロールアウトした。初飛行は89年３月である。

ところが時を同じくして国防省が量産契約をキャンセルしてきた。この航空機の設計には多数の欠陥があるにもかかわらず、それを放置したま機体が製作されたという理由であった。たとえばグラス・コクピットは緊急事態の情報表示が遅いといった問題で、再設計の必要があるとされていた。

また出力調節のためのコントロール・レバーはコレクティブ・タイプからハリアーのようなスロットル・タイプへ設計変更になっていたが、作動範囲はわずか４インチで、その動き方もパワーゼロからフルパワーまでやや弓なりに下方へ向かうようになっていた。私見だが、この設計変更は何百万ドルもの費用がかかっていた。しかも1991年６月、Ｖ-22原型５号機が初飛行に際して、離陸後わずか３分で墜落した事故原因にも関係があったのではないかと思われる。

もとより、この設計変更が直接の原因というわけではない。しかし、過去の実状を振り返るならば、初飛行に際して操縦系統が正しく取りつけられてなかったり、ソフトウェアにバグがあったりして、多数のパイロットが危険にさらされ、多くの航空機が失われたこ

とも事実である。

この原型５号機の場合は、３つのロール・ジャイロのうち、２つの配線が間違っていた。そのため正しいはずの３つ目の作動が打ち消され、誤作動を起こした。パイロットは勇敢にも誤作動を正そうとしたが、それには余りに多くの操作を瞬時のうちにしなくてはならない。

もとよりできるはずもなく、下がった機首を起こそうとしてコントロール・レバーを手前に引いたのであった。むろん、やるべき操作の逆であり、機体は地面に突っ込んだのである。

こうした配線の過ちはジャイロ装着の際にチェックできるはずだし、飛行前点検でも可能だったかもしれない。さらに、この初飛行がおこなわれたのは日没がせまっている時間て、そのことも関係者の全員にプレッシャーとなっていたことが感じられる。

1992年７月には２度目の事故が起こった。これはエグリン空軍基地からフェリーフライトをしてきた原型４号機がヴァージニア州クォンティコでポトマック川に墜落し、搭乗者全員が死亡した事故である。

原因はターボプロップ・モードで長距離を飛んできた同機が着陸のために右エンジンのナセルを立てたとき、その中に溜まっていた大量のオイルがエンジンの中に吸いこまれ、火を発したものである。その結果、ナセルの中を通っていた複合材製のクロス・シャフトを溶かしてしまったのだ。

この事故原因はティルトローターの本質とはかかわりない。というので、どんな姿勢でもオイルがエンジンの中に流れこまないような構造に再設計された。

騒音の少ないV-22

V-22 の特筆すべき特徴のひとつは、150～250ｋｔで飛んでいるときの騒音が極端に少ないということである。大直径のプロップローターの回転数が通常のターボプロップ機にくらべて非常に小さいためである。たとえばV-22 のプロップローターは 333ｒｐｍで回転しているが、これは巡航飛行中のターボプロップ機の２割程度の回転数にすぎない。

そのうえ原型機のテスト飛行の結果、V-22 は多くの点が改善された。たとえば計器パネルの再設計、ハリアー型のスラストレバーの作動距離を増やし、単純に前後方向に動くようにしたこと、主翼前方の胴体上面に大きなストレーキを取りつけたこと、主脚をやや後方へずらして地上作業中に尻もちをつかぬようにしたこと、コクピットの枠をアルミ材で強化したことなどである。

なおV-22 は主翼と胴体の取りつけ部分が大きく瘤のように膨らんでいるが、これは内部に主翼を折りたたむリング機構を納めたためである。また射出座席は全く取りついてないが、これは技術的に成熟したためである。

こうしたV-22 オスプレイは、米海兵隊が 425 機、空軍が 50 機、海軍が 48 機を調達することになっている。陸軍は今のところ調達の意思がないが、他の３軍が使い始めたならば、きっと欲しくなるというのが大方の見方である。また外国の軍隊も、いずれオスプレイを発注してくるであろう。

民間向けベル６０９

最後に、民間型ティルトローター、ベル 609 だが、同機は 1999 年に初飛行し、2001 年から実用化される見こみである。機体の大きさはＸＶ-15 と同じくらいだが、技術的な中身は全く異なる。つまりＶ-22 の開発経験によって、ＸＶ-15 の当時よりもはるかに進んだ技術が採り入れられているのである。

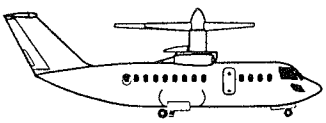
ベル 609 の総重量は、ＸＶ-15 の 15,000 ポンドに対して 16,000 ポンド。ローター直径は 25ｆｔから 26ｆｔへ大きくなる。エンジンはＰＴ-６（1,850shp）が２基。社用ビジネス機としては乗員１～２人で、６～９人の乗客を乗せることができる。将来は軍用機として、Ｖ-22 の護衛に使われるかもしれない。

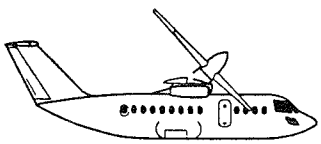
過去半世紀近くを費やして開発されたティルトローター機は、今いよいよ実用段階を迎えた。折から 21 世紀の幕開けである。10 年後には軍民合わせて何百機ものティルトローターが飛ぶのを見ることができるであろう。

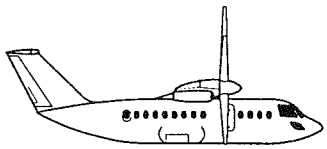
（VERTIFLITE、1998 年夏号より要約：東山尚一）

ティルトローター各機の比較緒元

		Ｖ-22	ＸＶ-３	ＸＶ-15	ＢＡ６０９
総重量（ＬＢ）		47,500	4,700	13,000	16,000
		60,500	4,890	15,000	—
ローター直径（ＦＴ）		38	23	25	26
円板面荷重（ＬＢ／ＦＴ２）		20.9	＜６	13	15
ローター回転数					
	固定翼機	333	324	517	479
	ヘリコプター	394	532	589	570
全長（ＦＴ）		57.3	30.4	42.1	44.0
スパン		84.6	52.5	57.2	60.0
乗員＋乗客		３＋24（兵員）	１	２	２＋６～９







ファイヤホーク実用段階へ

ブラックホークが基本

シコルスキー社はこれまで、中型輸送機として成功したブラックホーク・ヘリコプターを基本に、さまざまな派生型を開発し、そのすぐれた機能を多方面に広げてきた。その最も新しいのがUH-60Lを基本とするS-70Aファイヤホークである。

このファイヤホークを、ロサンゼルス・カウンティ消防局（LACFD）は90日間、陸軍州兵から借用して実地に試してみた。真価を発揮したのはピル湖で 400 エーカー（160ヘクタール）の林野火災が生じたとき、3時間で大火を消してしまったことである。

この3時間のあいだにファイヤホークが投下した水の量は37,500ガロン——140トン以上で、どうかするともっと燃え広がったかもしれない何千エーカーの山林とベンチュラ・カウンティの多数の民家を類焼から守ったのであった。そのためにファイヤホークが火災現場と水源との間を往復した回数は35回である。

ファイヤホークはLACFD航空隊のカリフォルニア州パコイマのバートン・ヘリポートを本拠として、1998年9～11月の間、試験運用に供された。ここには、ほかにLACFD所有のベル412が4機、ベル205が3機、ベル206が1機あるが、ファイヤホークもこれらと同様、白と黄色と黒の塗装がほどこされ、LACFDの機体として飛行した。

ほかにLACFDは、CL-415消防飛行艇を2機とエリクソンS-64クレーン・ヘリコプターを1機リースしている。

LACFDのチーフ・パイロット、リー・ベンソン機長は「ファイヤホークは完璧に任務をこなした。操縦特性も非常に安定していて、特に尾部ローターの利きが良い」と語っている。

消火活動は戦闘と同じ

これまでH-60 ホーク・ヘリコプターの派生型は、当然のことながら全て軍用機として開発されてきた。しかしファイヤホークは空中消火や災害対策のために開発されたもので、陸軍州兵が採用して消火作業などの協力要請を受けたときに使う予定。特にカリフォルニア州では1998年の消防条例により、「災害時において民間契約機が不足する場合は、補助的な手段として州兵の航空機を使用する」ことになっている。

「消火活動は軍事的な戦闘行為と余り変わらない」と、ベンソン機長はいう。「作戦計画は注意深く立てる必要があり、パイロットは熱、煙、もやなど過酷な飛行条件の中で飛ばな

火災現場で一挙に
3.7 トンの水を投下する

ければならない。しかも、他の航空機や地上消防隊との間で無線通信を欠かすことができず、最後は火災現場の上から水と消火剤を正確に投下しなければならない」

設計の基本は柔軟性

幸いにして、ファイヤホークの設計の基本には柔軟な多用性が置かれていた。つまり、このヘリコプターは消火活動だけでなく、さまざまな救急や救助にも使えるように設計されているのである。たとえば不意に襲ってきた急流に流される人をホイストで吊り上げ救助するといった任務である。

これらの救助作業についても、ファイヤホークはＬＡＣＦＤの 90 日間に、すべて実際に経験した。

ベンソン機長は「ＬＡＣＦＤの任務は消防だけではない」と説明する。

消火活動の場合は、機体下面のタンクに 1,000 ガロンの水をシュノーケル・ポンプ装置で 1 分以内に吸い上げる。しかも飛行速度が速いから、きわめて迅速に火災現場と水源との間を往復することができる。

また「ファイヤホークは単に水を投下するだけではない。機内に 15 人の消防隊員をのせると共に、500 ガロンの水と消火剤を積んで現場へ向かう。そして先ず現場上空で水を投下して安全な区域をつくり、そこに着陸して消防隊員や消火機器を降ろす。それからヘリコプターは水源と現場の間を往復して水を投下し、消防隊員は地上で消火活動を進める」とベンソン機長は説明する。

またファイヤホークの機内には消火剤のタンクがあって、パイロットの操作で水タンクの中に送りこむことができる。これで火の勢いや広がり具合を見ながら、消火剤の混入量を調節することができる。

さらにヘリコプターの速度に合わせて、水タンクの投下ドアの開き具合をコンピューターで自動的に調節する仕組みもある。

３機の導入を決定

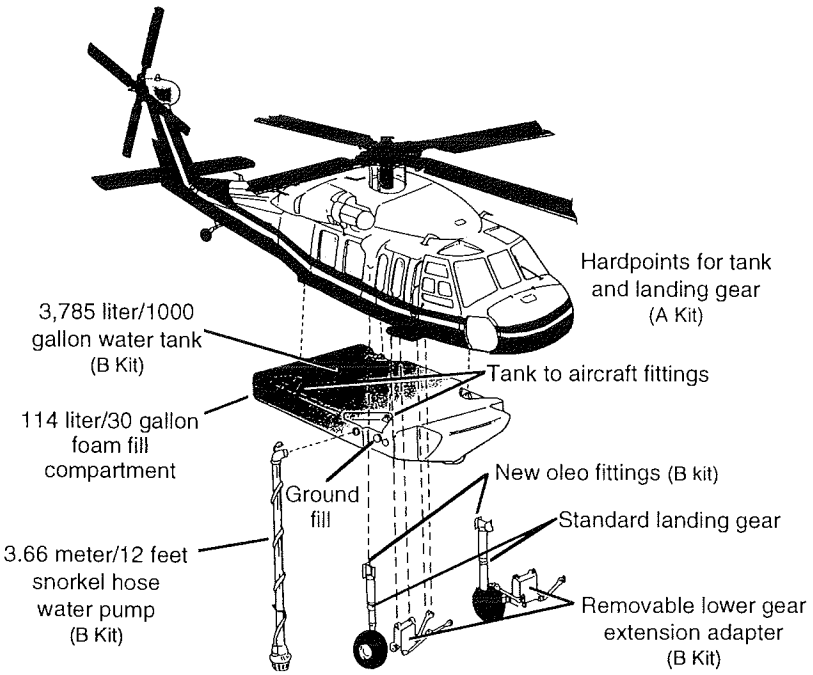
ファイヤホークは、米陸軍と陸軍州兵とシコルスキー社との協力態勢によって開発された。シコルスキー社はＵＨ-60Ｌの降着装置の脚を延ばして機体下面にタンクが取りつけるための設計と開発を担当した。カリフォルニア州チコのエアロユニオン社はタンク、ウォーターポンプ、コントロール装置などの設計と製作を担当した。

こうしたファイヤホークを、ＬＡＣＦＤは３か月間試用した結果、３機の購入を決定した。ベンソン機長によれば「南カリフォルニアは１年を通じて火災シーズンが続く。また、この１年間にＬＡＣＦＤのヘリコプターが出動した救急任務は 2,000 回、ホイスト救助は 140 回、急流からの救出は 35～40 回に及ぶ。さらに、この地域は地震、山火事その他の自然災害が多い。これらの危機に対応するために、ファイヤホークの導入は決して無駄にはならないだろう」

ファイヤホークは今後、ロサンゼルスや米国内で使われるだけではない。国際的にも販路が広がって行くであろう。その対象は各国の軍隊はもとより、警察、消防などの公的機関、さらには民間ヘリコプター会社もあり得る。

現在すでに、シコルスキー社はブルネイ、香港、韓国、台湾、ポルトガルなどの政府と売買交渉をしている。いずれもファイヤホークに強い関心を示している国ばかりである。いずれ将来、世界各地で軍用型Ｈ-60 や民間型Ｓ-70Ａファイヤホークが防災の第一線で、自然災害や大火災に立ち向かう光景が見られるようになるであろう。

(AHS VERTIFLITE 誌、1998 年秋／冬号より要約：東山尚一)



Ｓ－70Ａファイヤーフォークの消火設備

21 世紀へ向かうヘリコプター技術

ユーロコプター社
技術担当ディレクター
アラン・カシエ

われわれはヘリコプター技術の進歩発展はもとより、業界の経済的な成長にも大きな関心をいだいている。これは、いうまでもなく、われわれ個人が民間企業に従事していようと、政府の大学や研究所で仕事をしていようと、また軍隊であっても、生活の糧をそこから得ているからである。

しかしながらヘリコプター業界は、不幸にして他の産業界ほど大きな成長をしていないのが現状である。主な理由は湾岸戦争以来、経済成長がスローダウンし、各国政府も軍縮を続けているためである。にもかかわらず、固定翼機の市場はヘリコプター市場以上の成長を続けている。なぜヘリコプター市場は固定翼機なみの成長ができないのだろうか。

思うに、ヘリコプターの運航費が高いためであろう。固定翼機の２～３倍に当たるのである。というのも推力と揚力を得る手段が複雑だからであり、ヘリコプター固有の垂直飛行能力に金がかかるからである。結果として、ヘリコプターは他の選択手段がないとき、すなわち垂直離着陸が不可欠で、しかもそれを使うだけの経済的余裕のあるときにしか使われないのである。

このことは民間機でも軍用機でも同様である。今や世界的な軍事予算縮小の折から、軍用機といえども経済効果を考えずにはいられないし、ヘリコプター関係者としては先ず運航費の問題を考えなければならないことになったのである。

製造コストの削減方策

もとより運航費削減については過去 30 年来、関係者が努力してきた。問題のひとつは機体取得費、すなわちヘリコプターの価格だが、これは製造コストに関連する。そのうち約半分はエンジン、アビオニクス、その他の装備品など外部メーカーの製品である。とういうことは、ヘリコプターの製造費を下げるには下請けメーカーの納入コストを含めて、業界全体の経費削減にかかわってくる問題となる。

ローター・システムとトランスミッションは製造コストの中でも大きな割合を占めるが、ヘリコプター・メーカーの管理可能経費でもある。これらの製造にかかる費用の中には研究開発費も大きな割合を占める。たとえばベアリングレス・メインローター（BMR）は今後も研究開発を続ける必要があり、もっと効率が良く、かつ製造費の安い設計をする必要がある。また材料費、とりわけ複合材の開発についてもまだ完璧ではない。

機体の製造費も無視することはできない。このコストを減らすには製造工程を自動化し、部品点数を減らすようにすべきである。特に複合材の利用によって、胴体を単体にするといった方法が有効であろう。金属材料の場合は高速工作機械、レーザー溶接、スーパープラスティック成形などの新技術を使うように考えるべきであろう。

整備費の問題

運航コストについてメーカーのかかわる問題は、整備費である。コストの中ではダイナミック・コンポーネントの割合が大きい。が、アビオニクスその他の装備品についても留意すべきであろう。またローター系統の整備費は、耐用年数に制限のない複合材ブレードや整備不要に近いベアリングレス・メインローター・ハブの導入、金属製品の表面処理の改善による信頼性の向上などによって大きく下がったことは周知の通りである。

もうひとつＨＵＭＳの導入も整備費の削減に役立つものと期待される。しかしＨＵＭＳは今後なお改良の余地が大きく、それによってさらに費用は下がるであろう。

開発費はヘリコプター価格の中では比率が低いが、新製品の開発にあたっては最初に出てくる費用である。しかも、比率は低いが絶対額は馬鹿にならないから、ヘリコプター業界としては充分な開発研究ができず、すぐれた製品の実現を阻むような結果となっている。固定翼機同様の効率の高い研究開発ができるような改善が必要と思われる。

新しい推進機構の開発

一定のペイロードを一定の距離で輸送する場合のキロキロ・コストは、速度に反比例する。したがってコスト削減には速度が重要な要件となる。

1950 年代から 80 年代にかけて、ヘリコプターの速度は 200km/h から 300km/h に伸びた。けれども今や、速度性能は限界に近い。実験機ではもっと速度を上げることもできるが、ふつうの量産機の巡航速度が 300km/h 以上になることはないであろう。ヘリコプターの速度が 300km/h を超えると、ローター効率が極端に低下するからである。

こうした物理的な限界を超えることは当面むずかしい。期待できるのは、最大速度をわずかに上げる程度である。そこで、巡航速度を上げるには新しい推進機構が必要になる。そのひとつは固定翼と補助推進機関をつけたコンパウンド・ヘリコプターである。これは技術的には容易で、実験機でも 400km/h という高速が達成された。しかし経済性に問題がある。またローターの抵抗も問題である。

もうひとつの解決策はティルトローターであろう。ティルトローター機は運航コストがさほど増加せずに、巡航速度を 600km/h くらいまで上げることができる。しかしローターのティルト機構が複雑で、そこに問題が残る。

ティルトローターは、余り経済性を損なわずに航続距離を伸ばすこともできる。したがってティルトローター技術はロータークラフトの航続性能を上げるには好適であり、ロータークラフトの実用性を高め、市場の拡大をもたらすであろう。ヨーロッパのヘリコプター業界がティルトローター技術の開発を計画しているのもそのためである。

全天候性の実現が必要

ヘリコプターの運航が制限されている理由のひとつは、全天候性が欠けているためである。無論これまでもヘリコプターは計器飛行をしてきた。けれども、二つの分野で進歩が必要である。ひとつは氷結気象状態の中でも飛行できなければならない。しかし現在、ヘリコプターの氷結防止装置は余りに高価で、市場の要求に耐えられない。今後もっと安くて軽い防氷装置の開発が必要である。

もう一つの問題は、超低空の自律的な計器飛行を可能にすること。ヘリコプターがいつでも、どこでも飛べるためには、航空交通管制システムから独立して飛行できなければならない。特に救難救助、警備監視、警察活動、軍事行動などのためには、そうした能力が要求される。

全天候性を、経済性を損なわずに実現するには、アビオニクス装置、ビジョン・センサー、衝突防止装置、誘導システムなどの改良が必要である。ユーロコプター社では今、この目標に向かって研究プログラムを進めている。

社会的容認の問題

ヘリコプターの商用市場が拡大するには、一般社会に受け入れて貰わなければならない。単にヘリコプターの利用者に受け入れられるだけでなく、ヘリコプターを使わない人にも容認されなくてはならない。それには環境問題、すなわち機外騒音の軽減が必要である。

この問題を解消するために、これまでおこなわれてきたことはローターブレードの先端速度を制限し、先端の形状を変えることであった。この方法によって、ユーロコプター社の最近の製品（ＥＣ135 およびＥＣ120）はＩＣＡＯの騒音基準に対して６～７デシベルほど静かになった。

だが将来、ヘリコプターが市街地で自由に発着するためには、いっそうの騒音軽減が必要である。それには、もっと巧妙な対策が必要で、ブレード先端形状のいっそうの改善と、個々のブレードのアクティブ・ピッチ・コントロールといった手段が実用化されなければならない。

乗客はヘリコプターに対してもジェット機なみの快適な乗り心地を要求する。そのためには機内騒音を引き下げる必要がある。その対策としては現在、厚くて重い防音壁をつけているが、将来はアクティブ・ノイズ・コントロールが用いられることになろう。

快適性を上げるためには振動防止も必要である。それには現在、おもりやスプリングを使った装置が使われているが、将来は高速飛行時の振動やローター速度の変化に応じられるような防振装置が必要であろう。

さらに、ヘリコプターが一般社会に受け入れられるためには、安全性の向上も忘れてはならない。ヘリコプターの事故率が固定翼機よりも高いのは、地面に近いところを飛ぶためである。また事故の８割はパイロット・エラーが原因とされる。

けれども、だからといってヘリコプターの設計を改善する必要がないとはいえない。むしろパイロットの作業負担を軽減させるような分かりやすいディスプレイをそなえた操縦系統や衝突警報装置などの開発が必要で、これによって安全性の向上をはかる必要がある。またＨＵＭＳの改良によって機材故障に起因する事故を防ぐといった対策も必要であろう。

結　論

ロータークラフトの運航を改善すること、すなわち運航コストを引き下げ、飛行能力――速度と航続性能と全天候性――を高め、機外騒音を減らし、機内の快適性を高め、安全性を向上させるには今後なお大きな努力が必要である。

これらの目標達成のためには、研究開発の努力を、費用効果の高いローターハブ、新しい材料、製造工程の自動化、ティルトローター技術、ブレードチップの空力特性、ローターのアクティブ・コントロール、全天候性、ＨＵＭＳなどに向けなければならない。

これが、われわれヘリコプター技術者の新たな挑戦対象である。

（VERTIFLITE、1999年春号より要約：東山尚一）

垂直飛行専用のインフラが必要

米飛行安全基金（ＦＳＦ）の分析によると、米国の双発タービン・ヘリコプターの事故率は10万時間あたり2.93件であった。

これは米運輸安全委員会（ＮＴＳＢ）の1993～97年のヘリコプター事故の集計をまとめたものだが、この事故率は固定翼機を含むジェネラル・アビエーション全体の事故率よりも低く、単発タービン・ヘリコプターやＦＡＲパート135にもとづくエアタクシー機よりも低い。

また、双発タービン・ヘリコプターの事故のほぼ半分、10万時間あたり1.4件は死亡事故であった。

事故原因は、ほぼ7割がパイロット・エラーとされている。またパイロット・エラーによる事故の半分近くが悪天候または夜間に発生したものである。注目すべきは、エラーを犯したパイロットは必ずしも初心者とか飛行経験の浅いものばかりではないということ。むしろ、その逆で、エラー・パイロットの平均飛行経験は、機長として8,190時間にも達していた。この数字からすれば、ベテラン・パイロットの方が却ってエラーを犯しやすいといえるかもしれない。

そこでＦＳＦは、ロータークラフト専用の航法施設または飛行管制方式を設け、安全で効率的な運航ができるようにすべきであると結論づけている。

ＡＨＳフォーラム５５で日本に三つの栄誉

去る５月 25～27 日の３日間、カナダのモントリオールで開催されたＡＨＳ年次大会「フォーラム５５」で、ヘリコプタ関係者の中から 1998 年中に功績のあった個人または団体に対し、14 種類の表彰がおこなわれた。その中で日本も３種類の栄誉に輝いた。

その一つは、東昭東京大学名誉教授に「ＡＨＳ特別会員」の称号が贈られたこと。航空界における東教授の長年の功績はよく知られている通りだが、ＡＨＳとしての表彰理由は次のように述べている。

「東昭博士は日本のヘリコプタ研究および技術の中心的な指導者である。博士のシングルおよびタンデム・ローター・ヘリコプタのボルテックス・リングに関する初期の研究論文は今日なお最も重要な成果のひとつである。東博士は、現在日本のヘリコプタ・メーカーや大学で仕事をしている多くの優れた技術者を育成してこられた。わがＡＨＳには 1961 年に加入し、ＡＨＳ日本支部の発展にも主要な役割を果たしておられる」

次の栄誉は義若基氏が「ＡＨＳ名誉会員」に推挙されたこと。義若氏が当ヘリコプタ技術協会の初代会長として、その創設に大きな功績のあったことはここにいうまでもないが、ＡＨＳの表彰理由は次のように述べている。

「義若基氏は 22 年余り前にＡＨＳ入会以来、日本におけるＡＨＳへの関心を高めることにたゆまぬ努力を続けてこられた。氏はＡＨＳ日本支部を創設し、最初の会長に就任した。氏の努力によって、今や日本のヘリコプタ技術協会は世界で最も活発な活動を続ける支部の一つとなった。またＡＨＳ国際担当副会長としてアジア太平洋地域を回り、垂直飛行技術の発展をめざすＡＨＳの活動促進に貢献された。1989 年にはＡＨＳ特別会員の称号を贈られた。1994 年ＡＨＳ50 周年記念に当たっては「日本の垂直飛行」と題する特別セッションを主宰した。さらに 1998 年４月の『ヘリコプタの先進技術と防災』を主題とする国際会議でも主導的な役割を果たした。この会議は３日間にわたって岐阜でおこなわれ、全国から 650 人以上の出席者を得て、ヘリコプタの最新技術を日本中に知らしめた」

３つ目の栄誉は「ロバート・Ｌ．ピックニー賞」で、ロータークラフトの製造に関する研究開発に貢献した個人または団体に贈られるもの。今年は「Ｓ-92 開発チーム」が受賞し、チームには三菱重工が入っている。受賞に当たっては同社を代表して佐藤晃氏が登壇した。ＡＨＳは表彰の理由を次のように述べている。

「Ｓ-92 の開発は、航空機の精密な構成部分が国際的な分業体制によって製造できることを実証した。チームの参加企業は設計、製造はもとより機体完成の最終段階まで責任を持つことになっている。その考え方が成功であったことは最初の機体で実証された。遠隔の地で別々に製作された構成部品が最終的にぴったりと整合したことにより、その後の互換性と再現性が保証され、人件費も削減できることとなった。この開発プログラムは今後の設計と製造における国際間の協力体制のあり方を進歩させたものである」

Ｓ-92 開発チームにはシコルスキー社と三菱重工のほか、台湾、スペイン、中国、ブラジルのメーカーが含まれる。

ＸＯＨ－１技術チームへハワードヒューズ賞

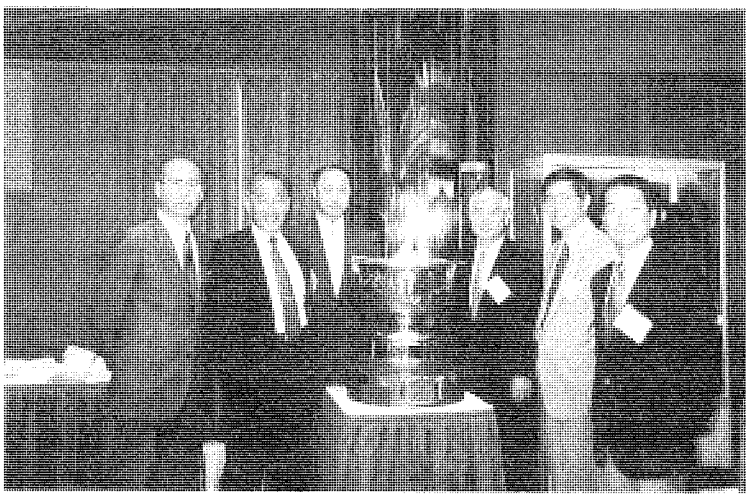
防衛庁技術研究本部が陸上自衛隊向けに開発中の新小型機観測ヘリコプタＸＯＨ－１が1998年５月、ワシントンで開催されたＡＨＳ総会でハワードヒューズ賞を受賞した。今回の受賞は技術研究本部と主契約会社の川崎重工業㈱の官民合同開発チームが対象で、授賞式には技本から第１開発室長平野均一等陸佐、第３研究所第１部長安江正宏技官、川崎重工から斎藤光平理事ほか２人が出席した。受賞カップには1998年の受賞者として「ＯＨＸエンジニアリング・チーム」の名前が刻まれ、栄誉がたたえられた。

ハワードヒューズ賞はＡＨＳの11賞のうちの一つで、ヘリコプタ技術の発展に貢献した個人または団体に与えられるるもので、1977年ヒューズ・ヘリコプター社によって制定された。以来20年間の受賞者はすべて米国内のみで、米国外の受賞はこのＸＯＨ－１チームが初めてであった。

授賞式に参加した平野室長は「これは、わが国のヘリコプタ技術が世界に認められたもので、現在この事業にたずさわっているもののみならず、古くは部研の頃から関係者の努力が実ったものと認識しています。たまたま成果のあらわれたこの時期に担当室長として勤務しておりましたことは、大変名誉なことであり、かつ幸運だったと感謝しております。この受賞を励みとして、ＸＯＨ－１の開発成功をめざし、さらに努力したいと思います」

また安江部長は「ＸＯＨ－１の開発成果が認められたことにより、技本の研究開発もやっと世界的なレベルのものが出てくるようになったと感慨もひとしおです。これも所研の時代から先輩たちが世界の技術レベルを凌駕する目標を定め、技術課題を着実に解決し、それを開発に結びつけたことにより、今もＸＯＨ－１の技術が陳腐化していないためと考えておちます」と受賞の感想を語った。

川崎重工の斎藤理事は「この賞は、開発中に生じた数々の難関を官民一体となって切り抜けてきた関係者全員に与えられたものと嬉しく思っています。これをバネにＯＨ－１の玉成と次の新しいプロジェクトの進展に向けていっそう頑張りたいものです。（カップを日本に持ち帰れなくて残念）」と、それぞれ受賞の感想を語った。



表彰カップを囲むＸＯＨ－１技術チーム

1998年度ヘリコプタ研究一覧

(1) 青木 誠、小曳 昇、山川 榮一、齊藤 茂、重見 仁、佐藤 衛、神田 守：高性能／低騒音ヘリコプタ・ブレード用翼型の研究、航空研資料、NAL－TM728、1998年。

(2) 青山 印史、齊藤 茂、岩宮 敏幸、J.Zibi、 C.Polacsek、 O.Rouzaud、 J.Sides : NALとONERAによるEuler/Kirchhoff法を用いた遷音速ロータ騒音の予測、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム、1998年6月

(3) 青山 剛史、齊藤 茂：ヘリコプタのブレード／渦干渉騒音に関する研究、非線形解析プログラム研究会、1998年6月

(4) 青山 剛史、齊藤 茂：Euler/Kirchhoff法を用いた高速衝撃騒音の非定常計算、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(5) 青山 剛史、牧野 好和、齊藤 茂、岩宮 敏幸：ＣＦＤと音響解析を組み合わせた空力音響の研究、第36回航技研 研究発表会、1998年11月

(6) 麻生 充浩、他：ヘリコプタの振動調整自動化の研究、日本航空宇宙工業会委託研究成果発表会、1998年6月

(7) 麻生 充浩、板東 舜一、井出 秀明、横山 雄二、森本 宏：自動調整ピッチリンク・システムの研究、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(8) 麻生 充浩、板東 舜一、井出 秀明、横山 雄二、森本 宏：ヘリコプタ自動調整ピッチリンク・システムの飛行試験、第35回日本航空宇宙学会中部・関西支部大会、1998年11月

(9) 天野 浩二、平 孝明、柳瀬 昭二、須藤 郁夫、尾関 修一郎：Study to Improve Flying Qualities in IMC for Civil Helicopters、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(10) 伊藤 健、長島 知有：加速度計によるティルトロータブレードのフラッピング運動の計測と推定、第36回飛行機シンポジウム、平成10年10月

(11) 伊藤 真、片岡 利幸、三宅 司朗、景山 正美、佐々木 秀一、千葉 浩、板東 舜一、柿沼朝雄：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―ロータ構造設計、第36回飛行機シンポジウム、平成10年10月

(12) 伊藤 弘道、林 裕司、滝 正人：MH2000ロータシステムの開発、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(13) 伊藤 弘道、林 裕司、滝 正人：MH2000ロータシステムの概要、日本航空宇宙学会関西中部支部講演会、1998年11月

(14) 大林 秀彦、山川 栄一、冨尾 武：ヘリコプタによる人員人員輸送への技術的挑戦、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(15) 小生方 正裕、他：パネルディスカッション「日本における回転翼騒音研究の現状と将来」、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム’98、1998年6月

(16) 越智 彰生、嶋 英志、山川 栄一：Aerodynamics and Aeroacoustic Analysis of BVI by Moving Overlapped Grid Method、第24回ヨーロッパ・ロータクラフト・フォーラム、1998年9月

(17) 越智 章生、嶋 英志、青山 剛史、斉藤 茂：A Numerical analysis of Blade-Vortex Interaction Noise Using Euler CFD code、第36回飛行機シンポジュウム、1998年10月

(18) 片岡 利幸、市橋 孝浩、佐藤　孝、菊地 穂高、村山　滋、世良 直己：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―空力設計、第36回飛行機シンポジウム、平成10年10月
(19) 片岡 利幸、饗庭 昌行、中川 洋行、菊池 穂高、飛永 佳成、永山 慶一：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―飛行制御系統設計、第36回飛行機シンポジウム、平成10年10月
(20) 加藤 悟、藤原 明、倉谷 直彦、久芳 義治、天野 隆樹、中村 弘：ヘリコプタ飛行安全技術研究機のシステム総合試験、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(21) 川上 浩司、五井 龍彦、山川 栄一、田中 裕久：トラクションドライブ基礎試験（第２報）、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(22) 隈本 雄一、藤本 肇、高崎 雅敏、小林 啓二：民間ヘリコプタの飛行誘導技術について、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(23) 越岡 康弘、中舘 正顕：航空機設計における流体力学の役割、ながれ17号、1998年
(24) 古賀 寛哉、戸田 信雄、田中　玄、小林　孝：民間ヘリコプタMH2000の開発について、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(25) 小林 啓二：民間ヘリコプタの誘導制御、航空宇宙学会中部支部定例懇話会、1999年２月
(26) 小林 貞雄、櫻井 靖夫：防衛庁技術研究本部に於ける航空機の開発、第36回飛行機シンポジウム 1998年10月
(27) 近藤 夏樹：種々の降下条件においてヘリコプタ・ブレードの翼端形状がＢＶＩ音に与える影響、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム、1998年６月
(28) 近藤夏樹、中村英明、山川榮一、青山剛史、齊藤茂：ヘリコプタ・ブレードの翼端形状がＢＶＩ騒音の指向性に与える影響、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム、、1998年６月
(29) 近藤 夏樹、西村 宏貴、中村 英明、辻内 智郁、山川 栄一、青山 剛史、斉藤　茂：低騒音モデルロータのＢＶＩ騒音解析およびＤＮＷ試験結果との比較、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(30) 小曳　昇、西村 宏貴、山川 栄一：空弾性特性を考慮したアクティブ・フラップ付ロータ・ブレードの解析、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(31) 佐倉　潔：MH2000型式証明飛行試験の概要、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(32) 佐藤　晃：RP1実験ﾍﾘｺﾌﾟﾀの短期開発、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(33) 佐藤　晃：ヘリコプタの常識と開発の実際、日本機械学会東海支部学生会　特別講演会、1998年11月
(34) 齊藤　茂、青山 剛史、末永 尚史：航技研におけるヘリコプタ機外騒音研究について、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム、1998年６月
(35) 齊藤　茂、青山 剛史、末永 尚史：回転翼機の空力騒音発生機構解明に関する研究（そのⅢ）、平成10年度　次世代超音速機技術及び航空安全・環境適合技術に関する研究報告会、1998年７月
(36) 佐藤 光政：先進アクチュエータ駆動アクティブ・フラップの制御と計測、SPASE USER Conference 1998、1998年11月
(37) 白井 雄二郎、種子田 裕司：MH2000機外騒音試験、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(38) 進藤 章二郎、原　幸久、譚安　忠、金平 徳之、東 昭：翼端吹き出しによるBVI騒音低減効果の研究、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(39) 辻内 智郁、近藤 夏樹、山川 栄一：高性能ロータ翼端形状の設計、日本航空宇宙学会　第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(40) 土橋 昭彦、西村 宏貴、青木 誠、山川 栄一：高性能／低騒音ヘリコプタ・ブレード用翼型の研究（第３報）、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月
(41) 冨尾　武：ヘリコプタの飛行制御と自動操縦、自動車技術協会1998春期大会、1998年５月
(42) 冨尾　武：ヘリコプタの計器飛行能力の向上と飛行安全、日本航空技術協会　第11回航空安全シンポジウム、1999年３月

(43) 中尾 雅弘、内山 直樹、藤井 孝蔵、大村　稔：ロータＣＦＤと空力騒音解析、98 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム、1998 年 6 月
(44) 長友 尚博、若森 弘二、猿渡 敬治、安田 正治 ：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―動力系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム講演集、平成 10 年 10 月
(45) 長友 尚博、新井　裕、浅原 昭夫、戸田 大介、河内山　覚、加納 照之、中川 正信：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―駆動系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム講演集、平成 10 年 10 月
(46) 長友 尚博、若森 弘二、猿渡 敬治、安田 正治：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―動力系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 11 月
(47) 長友 尚博、新井　裕、浅原 昭夫、戸田 大介、河内山　覚、加納 照之、中川 正信：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―駆動系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 11 月
(48) 中澤　裕、新井　裕、片岡 利幸、小牧 博一、小林 日出彦：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―艤装系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム講演集、1998 年 10 月
(49) 中澤　裕、新井　裕、片岡 利幸、小牧 博一、小林日 出彦：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―艤装系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 11 月
(50) 西川　渉：近距離航空輸送の将来、日本機械学会、1999 年２月
(51) 西川　渉：世界のヘリコプター救急と日本、消防研修（消防大学校）、1999 年３月
(52) 西村 宏貴、近藤 夏樹、中村 英明、辻内 智郁、山川 栄一、青山 剛史、斉藤 茂:Comparison Between CalculationRotor Noise and Experimental Dataobtained by DNW Test 、第 24 回　EUROPEANROTORCRAFT FORUM、1998 年 9 月
(53) 丹羽 良之、板東 舜一：A Study of Bearingless Rotor-Hub System for XOH-1＠the 54th AHS National Forum、第 54 回米国ＡＨＳ、1998 年 5 月
(54) 丹羽 良之、平野　均、岡本 貢一、五十幡 茂、板東 舜一、柿沼 朝雄：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―メイン・ロータ・ハブについて、第 36 回飛行機シンポジウム、平成 10 年 10 月
(55) 丹羽 良之、饗庭 昌行、平野　均、河野　実、佐藤　孝、柿沼 朝雄、片山 範明：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―振動低減設計、第 36 回飛行機シンポジウム、平成 10 年 10 月
(56) 林　哲史、白井 雄二郎、山本 博久：MH2000 トランスミシッョンシステムの開発、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 10 月
(57) 平野　均、安江 正宏、加藤 哲司、河野　実、斎藤 光平：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―開発概要、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 10 月
(58) 平野　均、伏見 臣一、築地　正、下村　豊、吉田　茂、三上 健次：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―全機確認試験、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 10 月
(59) 伏見 臣一、札本 道博、酒田 威志、秋山 丈治、板東 舜一、若月　正、柿沼 朝雄：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―テール・ロータ設計、第 36 回飛行機シンポジウム、平成 10 年 10 月
(60) 札本 道博、檜原 久仁夫、伊藤 純夫、片岡　勤、岩嶋　淳：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―電子・電気系統設計、第 36 回飛行機シンポジウム、平成 10 年 10 月
(61) 前田 孝一、井星 正氣：ハブが運動するロータの変動荷重の測定、第 36 回飛行機シンポジウム講演集、平成 10 年 10 月
(62) 三宅 司朗、片岡 利幸、伊藤　真、久保　朗、成澤　誠、浅原 昭夫、下村　豊、柿沼 朝雄、重松 省一郎、福井 謙二郎：新小型観測ヘリコプタ(XOH-1)の試作―機体構造設計、第 36 回飛行機シンポジウム、平成 10 年 10 月
(63) 宮森 剛、譚安 忠、趙 群飛、鈴木 利明：大型産業用無人ヘリコプタの自律飛行についての研究、第 36 回飛行機シンポジウム、1998 年 10 月
(64) 村重 敦、小曳 昇、土橋 昭彦、稲垣 健次郎、山川 栄一：ATIC Aeroacoustic Model Rotor Test at DMN、第 24 回ヨーロッパ・ロータクラフト・フォーラム、1998 年９月

(65) 村重 敦、小曳 昇、土橋 昭彦、稲垣 健次郎、中村 英明、山川 栄一：低騒音モデルロータＤＮＷ風洞試験結果――試験結果の紹介および解析結果との比較、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(66) 本宮 達郎、佐藤 光政、山川 栄一：アクティブ・フラップ用スマート・マテリアル基礎試験（第2報）第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(67) 柳瀬 昭二、冨尾 武、西田 回、須藤 郁夫：Evaluation of Flight Control Law for Civil Helicopters、第24回ヨーロッパ・ロータクラフト・フォーラム、1998年9月

(68) 矢野 歩、古賀 一雄、福家 立：Direct Drive Valve (DDV) Hydraulic Actuator for Helicopter FBW、第24回ヨーロッパ・ロータクラフト・フォーラム、1998年9月

(69) 矢部 龍太郎：ヘリコプタ用対地衝突警報装置の開発、社団法人自動車技術会 1988 春季学術講演会、1998年5月

(70) 山田里奈、柳沢三憲、齊藤茂、青山剛史：翼端噴射によるＢＶＩ騒音低減化の計算、第36回飛行機シンポジウム、1998年10月

(71) 横倉 修一：パイロットに及ぼす視界環境の影響について、ヘリコプタ技術協会 第16回研究会、1998年１０月

(72) 航空機への人工現実感適用化研究　フライトデッキシステムへの適用、革新航空機技術開発に関する調査研究成果報告書

(73) Akira Sato、 Toshio Harada、 Nobuo Toda : Rapid Prototype Development of the Mitsubishi RP1 Helicopter、Amirican Helicopter Society 55th Annual Forum @ Montreal Canada、May-1999

(74) A. Ochi、 E. Shima、 E. Yamakawa、 T. Aoyama、 and S. Saito : Aerodynamic and Aeroacoustic and Analysis of BVI by Moving Overlapped Grid Method、 24th Europeqan Rotorcraft Forum Frnace、 September 15-18、 1998.

(75) A. Ochi、 E. Shima、 T. Aoyama、 and S. Saito : A Numerical Analysis of Blade-Vortex Interaction Noise using Euler CFD Code、 36th Aircraft Symposium International Session、October、1998.

(76) E. Shima、 A. Och、 T. Nakamura、 T. Iwamiya、 and S. Saito :Unstructured Grid CFD on Numerical Wind Tunnel、 Parallel CFD '98、May、 1998.

(77) H. Nishimura、 N. Kondo、 H. Nakamura、 T. Tsujiuchi、 E. Yamakawa、 T. Aoyama、and S. Saito : Comparison between Calculated Rotor Noise and Experimental Data Obtained by DNW Test、 24th European Rotorcraft Forum、 France、 September 1998.

(78) H. Xin、J. V. R. Prasad、N. Itoga、D. A. Peter、T. Nagashima、N. Iboshi、: A Finite State Inflow Model for Simulation of Helicopter Hovering in Ground Effect、 Proc. of the American Helicopter Society 54th Annual Forum、May 1998

(79) H. Xin、J. V. R. Prasad、N. Itoga、N. Iboshi、T. Nagashima: Analysis of Ground-Effect on a Hovering Rotor、The 36th JSASS Aircraft Symposium、1998. 10

(80) T. Nagashima、N. Iboshi、D. P. Schrage、J. V. R. Prasad、M. Sugimoto、H. Suzuki、: Experimental Study on Ground Effect of a Lifting Rotor Hovering at Close Proximity to Finite Inclined Flat Surface (Part1)、 The 36th JSASS Aircraft Symposium、1998. 10

国際会議 Heli Japan 98 での発表論文は「９８年版会報」を参照してください。

ヘリコプタ技術協会規約

施行　平成元年 12 月 15 日
改正　平成 10 年 7 月 6 日

第１章　総　　則

（名　称）

第１条　本組織は『ヘリコプタ技術協会（Japan Chapter of The American Helicopter Society, AHS 日本支部)』(以下「本会」という)と呼称する。

（目　的）

第２条　本会は、広くヘリコプタ及び垂直離着陸飛行の発展に寄与するため、AHS の日本支部（Japan Chapter of The American Helicopter Society)として、ヘリコプタ並びに垂直離着陸飛行に関する基礎研究、試験、開発、製造、維持、運搬等、全ての分野にわたる技術研究活動の活性化、情報収集の効率化、会員相互の親睦、国際交流の実を上げることを目的とする。

（管理機構）

第３条　本会の管理運営機構は理事会及び幹事会とする。

理事会は AHS の基本目的、本規約、並びに本会全体の運営方針に関わる事項を統括する。

幹事会は理事会で決定された方針に基づき、本会の年間事業計画を計画し遂行する。

本会の事務局は、会長に係る出身機関内におく。

第２章　会　　員

（会員の資格）

第４条　本会は、日本在住の AHS の正会員、学生会員、法人会員、教育法人会員、並びに本会の賛助会員をもって構成する。

（会員の分類）

第５条　本会の個人会員は、正会員、学生会員、賛助会員、及び名誉会員、法人会員は一般法人会員、教育法人会員、及び賛助会員からなる。

①　正会員は、前条の資格を有するもので、本会に入会申込書を提出し理事会で承認をえたもの。

②　学生会員は、前条の資格を有するもので、本会に入会申込書を提出し理事会で学生会員として認められたもの。

③　賛助会員並びに賛助法人会員は、本会の目的に賛同し本会の活動を賛助する

為に、年額１口 10,000 円以上の賛助会費を納入する個人並びに法人。

④　名誉会員は、所定の審査の結果、本会の目的達成及び推進に特に顕著な功績があって、名誉会員として遇するに相応しいと認められたもの。

⑤　一般及び教育法人会員は、前条の資格を有するもので、本会に入会申込書を提出し理事会で夫々一般及び教育法人会員として認められた法人。

（加入及び脱会）

第６条　前条の各号に該当し、入会を希望するものは所定の申込書を、また脱会を希望するものは所定の脱会届を、会長に提出し、理事会の承認を得なければならない。

（除名）

第７条　本会は、会員が次の各号のいずれかに該当したときは、理事会で審議のうえこれを除名することができる。

①　本会の目的に反するような行為があったとき。

②　社会的にその信用を失うような行為があったとき。

③　その他、上の各号に相当するような行為があったとき。

（会員の権利）

第８条　会員は、会員のすべての事項に参画する権利及び均等の取扱いをうける権利を持つ。

（会員の義務）

第９条　会員は、次の義務を負う。

①　当規約及び総会、理事会で定められた事項に従うこと。

第３章　役　　員

（役員）

第 10 条　本会には、次の役員をおく。

会長	(PRESIDENT)	１名
副会長	(VICE PRESIDENT)	２名
常任理事	(MANAGING DIRECTOR)	若干名
理事	(DIRECTOR)	若干名
監査役	(AUDITOR)	１名
幹事	(MANAGER)	若干名
総務担当	(SECRETARY/TREASURER)	１名
メンバーシップ担当	(MENBERSHIP CHAIRMAN)	１名
幹事長	(PROGRAM CHAIRMAN)	１名

尚、名誉顧問（ADVISER EMERITUS)を置くことができる。

（選任）

第 11 条　常任理事および監査役は、前期役員が候補者を推薦し、会員の選挙又は総会の承認を得てこ　　れを決定する。

会長、副会長は、常任理事の互選による。

理事の任命並びに総務担当、メンバーシップ担当、幹事長の委嘱は会長が行う。

幹事は理事会が推薦し会長が任命する。

本会の役員全員は、２年毎４月末日迄に選任されていなければならない。
但し、任期中に欠員が生じた場合の後任者の選任は、その都度、理事会の合議によって決定する。

（任期）

第 12 条　役員の任期は、２カ年とする。
但し、前条、後任役員の任期は前任者の残りの期間とする。

（職務）

第 13 条　役員の職務は次のとおりとする。

①会長は、本会を代表して、会務を統括し、会の運営に対する一切の責任を負う。会長は総会、理事会の議長となる。

②副会長は、会長を補佐し、会長事故あるときは、その職務を代行する。

③常任理事及び理事は、理事会を構成し、本会の運営に関わる基本的事項を決定する。

④監査役は本会の会計が適正に行われていることを監査する。

⑤総務担当常任理事／理事は、本会の運営にあたり、次の事項を担当し、会長並びに理事会を補佐する。

・総会及び理事会開催の事前通知をなし、これらの会議についての議事録を作成し保存する。

・本会の会計記録を保存し、資産の安全保管の責任を負う。

・本規約が、明示又は暗示に規定するその他の職務、或は会長又は理事会から付託された業務を遂行する。

⑥メンバーシップ担当常任理事／理事は、会員の増加に関する基本施策を立案遂行すると共に、会員名簿を維持管理する。
又は新規入会希望者の資格、及び除名の可否を審査し理事会に報告する。

⑦幹事長は、幹事会を主催し、本会の運営に関する会長及び理事会の決定した基本事項を具体化し遂行する。

⑧幹事は、幹事会を構成し、本会の運営に関して、会長及び理事会を補佐し、本会の事業計画の策定と実施に当たると共に、会長及び理事会より支持された業務を行う。

（理事会）

第 14 条　理事会は、必要に応じ、会長がこれを招集する。

（幹事会）

第 15 条　幹事会は、必要に応じ、幹事長がこれを招集する。

（内規）

第 16 条　本会の運営に内規を必要とする場合は理事会の決議によりこれを定める。

第４章　総会及び行事

（総会）

第 17 条　総会は、本会の最高決議機関であり、会員全員をもって構成し、原則として毎年４月に会長が招集し、次の事項を協議するものである。

ただし、理事会が必要と認めたとき、または会員の総数３分の１以上のものが、議題を明示して請求したときは、会長は臨時に総会を招集しなければならない。

① 役員の選出並びに解任

② 規約の改廃

③ 予算及び決算

④ その他役員が必要と認めた事項

⑤ 会員からの提案事項

総会は、会員の過半数の出席又は委任状がなければ成立しない。

総会の決議は多数決による。議長は、賛否同数の場合のみ決議に加わることができる。

（行事）

第18条　本会は、理事会の承認を得て、研究会を開催するほか、本会の目的に沿った各種の行事を行うことができる。

第５章　会　　計

（会の経費）

第19条　本会の経費は、賛助会費、臨時会費及び寄付金他をもってあてる。

（会費）

第20条　会費の徴収は、次により行う。

① 賛助会費は、毎年４月にこれを徴収する。

② 臨時会費は、理事会の決議により、必要に応じ適宜徴収する。

（会計年度）

第21条　本会の会計年度は毎年４月１日から翌３月３１日までの１カ年とする。

（会計）

第22条　本会の会計は、総務担当常任理事／理事が担当して行う。

会計は監査役の監査を経た上で、定期総会に会計報告を行い、承認を得るものとする。

第６章　附　　則

（効力）

第23条　当規約の効力は、平成元年１２月１５日から発するものとする。

以上

ヘリコプター技術協会役員名簿

会　長	西川　　渉	㈱地域航空総合研究所 代表取締役所長
副会長	河内　啓二	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
副会長	宮崎　崇夫	富士重工業㈱宇都宮製作所研究部長
兼メンバーシップ・チェアマン		
常任理事	上村　　誠	川崎重工㈱ 航空宇宙事業部 技術部 制御技術グループ グループ長
常任理事	大林　秀彦	㈱コミュータヘリコプタ先進技術研究所 代表取締役専務 研究所長 (AHS International VP－Pacific Rim)
常任理事	川田　忠裕	川田工業㈱ 取締役 航空事業部長
常任理事	齊藤　　茂	航空宇宙技術研究所 流体科学総合研究グループ 回転翼空力研究グループ リーダー
常任理事	佐藤　　晃	佐藤技術士事務所 技術士（航空・宇宙）
常任理事	戸田　信雄	三菱重工業㈱ 名古屋航空宇宙システム製作所 ヘリコプタ技術部　部長
常任理事	長島　知有	防衛大学校 航空宇宙工学教室 教授
常任理事	牧野　　健	輸送機工業㈱ 顧問
常任理事	三宅　司朗	防衛庁 技術研究本部 技術部 技術第２課 制式規格調整官
常任理事	安田　邦男	日本大学 理工学部 航空宇宙工学科 専任講師
常任理事	葭田　雄二郎	㈱エースヘリコプタ 常務取締役 運航本部長
常任理事	義若　　基	ＡＨＳ日本支部
理事・幹事長	星野　　亮	ソニートレーディングインターナショナル㈱ 航空機部門 顧問
理事・総務担当	山野　　豊	ＡＨＳ日本支部
監 査 役	守屋　一政	防衛大学校 航空宇宙工学教室 教授
幹　事	井星　正氣	防衛大学校 航空宇宙工学教室 助教授
幹　事	川上　和夫	朝日航洋㈱ サービス事業部長
幹　事	小曳　　昇	川崎重工業㈱ 技術部空力技術グループ
幹　事	佐倉　　潔	三菱重工業㈱ 名古屋航空宇宙システム製作所 ＭＨ2000 設計チーム　主任
幹　事	嶋田　浩三	新東亜交易㈱ 機械本部 顧問
幹　事	立澤　孝治	㈱地域航空総合研究所　研究開発課長
幹　事	平本　　隆	富士重工業㈱ 宇都宮製作所 第１技術部 ヘリコプタ第２課 課長
幹　事	廣瀬　義和	海上自衛隊第51航空隊 訓練指導隊課程教育班長
幹　事	又吉　直樹	航空宇宙技術研究所飛行システム総合研究グループ　ヘリコプタ飛行安全研究グループ
幹　事	渡邊　一彦	三菱プレシジョン㈱ 社長室 顧問

個人情報に付き【３　賛助会員名簿（法人賛助会員、個人賛助会員)】（９９頁～１００頁）は削除いたしました。

ヘリコプタ技術協会会員募集

当協会の会員として入会を希望される方は次の手続きによってAHSの会員になっていただきます。
日本在住のAHS個人会員の年会費は、次のとおりです。

正会員	: 75 ドル	(International Member)
６０歳以上	: 35 ドル	
学生	: 22 ドル	
Journal of AHS (option)	: 15 ドル	

【申込み方法】

（1）所定の申込み用紙に必要事項を記入し、AHS米国支部へ送付する。

（2）次のいずれかの方法でAHS米国本部へ会費を払い込む。

① クレジットカード　申込み用紙にカード番号を記入すると自動的に引き落とされる。

② 外国送金小切手　郵便局或いは銀行で購入して、郵送する。

③ 現金（米国ドル）　現金書留で送金する。

・ AHS会員の申込み用紙は、お近くのヘリコプタ技術協会幹事或いは下記のヘリコプタ技術協会事務局にご請求下さい。

・ 入会及び会費の支払い手続きは、原則的には各個人で行って頂きます。手続きが完了すると、自動的にヘリコプタ技術協会（AHS日本支部）の会員として登録されます。（入会者の氏名等は本部より本協会へ通知されるので、入会者から本協会への連絡は不要です。）

・ ご不明の点等がありましたら、事務局までお問い合わせ下さい。

ヘリコプタ技術協会 会報　第９号

1999年6月16日発行

ヘリコプタ技術協会（AHS日本支部）事務局
〒170-6043　東京都東池袋３－３－１
サンシャイン60　43F
㈱地域航空総合研究所内

Tel　: 03-3980-4870　Fax : 03-3980-5876
Eメール　: ahsjapan@pop07.odn.ne.jp
ホームページ : http://www1.odn.ne.jp/ahsjapan