

二重反転一人乗りヘリコプターGEN H - 4 開発と将来展望

Past, Present & Future of GEN H-4

The unique single seated Co-axial counter rotating Helicopter

柳沢 源内

Gennai Yanagisawa

President ,Engineering System Co.,Ltd , Matsumoto, Nagano, Japan

Abstract

Following the development of the high power miniature engine, GEN125, Engineering Systems Co. is currently in the process of developing the GEN-H4, a compact, versatile single seat co-axial counter rotating helicopter. With a multitude of possible applications in commercial and recreational uses, goals such as simplified controls, mechanical simplicity, and minimal maintenance has been accomplished in the process of its evolution.

本日はヘリコプター技術協会のヘリジャパン 2002 において発表の機会を与えていただき誠にありがとうございます。まずもって感謝申し上げます。

私は最初からの航空機・ヘリコプター技術者ではなくモーターサイクル、特にモーターサイクルエンジンの開発設計者としてスタートし、その後超小型のエンジンを数多く世に送り出した経験のある者です。超小型エンジンについていえば、ブッシュカッター、チェーンソーなどパワフルかつ軽量小型な、いわゆる最も日本的な製品において、私の設計したエンジンの流れを汲むものが世界中で数多く採用されています。

1970 年に現在のエンジニアリング・システム(株)を設立し、LSI、LCD、MPU、MCM 等の製造装置及び検査装置などの自動機械を数多く供給して日本の電子機器産業の裏方を支える仕事をして居ります。

1985 年、会社設立 15 年目に当り、21 世紀までに何か当社のライフワークになる機械を作りたい、自分の最も得意とする技術を使って、諸外国、殊に技術先進国でやっていないもの、日本の独自性を生かした技術開発でありたい、先端技術分野でありたい、しかも自社の経済的に手の届く範囲で、と考えた末に、超軽量小型高性能エンジンを作り、空へ挑戦

しよう決心をして、15 年間で空を散歩出来るようにしようと計画をしました。

十分に軽く、小型で、パワフル、信頼性の高いエンジンの開発から始めました。その諸元は

2 サイクル、2 シリンダ、水平対向型 125cc
出力 10 馬力 回転数 9,000rpm 常用
重量 4kg 以内 と設定しました。

特徴はクロームメッキ、ライナー付アルミシリンダ、マグネシウムクランクケース、ダイヤフラムキャブレター、細かいクランクシャフトのビルドアップ型(ねじれ防止のため電子ビーム溶接にて補強)、自動進角付 CDI 点火システム、強制冷却ファンとカウル付、遠心クラッチ付(セルモーター取付可能)です。結果、3.7kg、10HP、9,800rpm(補機なし)で完成。50 - 50 - 50 時間の耐久テストを繰り返し、TBO200 時間の保証できるものに 88 年年末近く仕上がりました。



fig.1 GEN125 エンジン



fig.2 125cc エンジンをつけて飛翔するハンググライダー

翌年春、この Unit を使い、ハンググライダーの平地よりの Take off に成功し、空の散歩を実証した(fig.2) . この時のプロペラ直径 1,000mm、スラスト 35kg であった .10 馬力で人を空に上げる事が出来ると確信を得ました .

その後パラグライダーの平地よりの Take off を試し、プロペラエンジンを背負い自転車にて時速 100km 超の走行を行うなど(fig.3)、あまり金を掛けずにエンジンの実力テストを進める一方、次なるヘリコプターの構想をまとめ始めました .



fig.3 自転車の動力としてエンジンユニットを使用

日本的な超小型ヘリコプターの使い方としては空撮用とか農業用がまず考えられています . その頃農水省もエアースプレシステムとして開発を助成して居りました . それ等は模型の域を出ないように総重量 100kg 以下の制限付で開発が計画され、その結果今日の農用ヘリとしてベルヒラー型でローター径 3,000mm、乾燥重量 40kg ペイロード 15kg 程度にまとまって居ります .

私共も軽トラックにて移動できる大きさ、小さなガレージに格納出来るような小型でしかも 60kg のペイロードを目標に、その上他社で作っていない形式のものと考えを巡らせた結果、フライングソーサー型の荷物運搬型ヘリが最適と考えるに到り、同軸二重反転型を開発する事に決定しました(fig.4) .



fig.4 フライングソーサー型ヘリコプタ

二重反転型はシングルブレードに比較して翼面積を稼げるためにローター径を小さく出来る分小型に出来る事と、テールローターのない分見物人を危険にさらしません . しかもホバリングの安定性に優れていると聞いていました .

模型の二重反転ヘリ、ロシアのカモフなどの写真を見比べる時、何とも上下ローターの間隔の広い事が気に入らず、ローター間隔を狭くする努力をして姿をきれいにまとめたいと考えました . そのためにはローター回りの剛性を大きくする事、コーニング、サイクリックヒンジの無い、固定ピッチ方式を採用する事としました。

固定ピッチのローターヘリの操縦は出来るだろうか？操作性は、安定性は、どう保てるのか？一つの解はジャイロプレーンの操作方法と同様にローター全体を傾げる事にしてテストを始めました。



fig.5 6軸センサーによる各分力の検討

1994年：このころより試作品を製作し、日曜日毎にテストを始めた。最初はクレーンより吊り下げて浮力（推力）チェックより始める(fig.6)。



fig.6 クレーンで吊り下げてのテスト

浮上はしたが安定して浮いていない。水平も持続しない。

出力パワーを大きくして60kgの人間を吊り上げてみた。下が重いと少し良くなるが、まったく意のままならない時期が続く。

ある時クレーンによる吊りをやめて人間だけが吊下って見た所、まったく風船につかまって浮いたような感じでホップ、ステップと体重0で歩けた事がキッカケで、人間用一人乗りヘリ開発へと進む事になる。

1995年：一号機はインライン6気筒（自家製エンジン）出力30HP、ローター径3m

二重反転ローター傾斜操作型。背モタレとサドル及び地上着地時のスタンドを有する型に仕上げる。自社の敷地内で、ヘリ免許を有すスタントも好きな友人に頼んで試してもらう。



fig.7 初浮上

浮上に成功した(fig.7)。この時の彼の感想は YAW は思うようにならないが、水平バランスは良く出来る。左右は動けるようだ。そして曰く、本物のヘリより楽に飛べそうだ！

この一言が一人乗りヘリに深く入っていくキッカケになった。

まず YAW を意のままにしたい。前進速度も不十分な状態でラダーを取り付けて見た所、風見鶏効果しかなく横風に振り回される害の方が大きく困惑した。Down wash を有効に使えないかとか考えを巡らして沢山の試作をしたがこれはついにうまく行かず、後日放棄する事になる。

YAW のコントロールを自在にするには上下ローターの回転数を自由に変更出来る装置を組込むのが Best である事は良く判っていたが、この動力をどこから得ようかと思い悩みながら多くの時間をロスしてしまった。

1996年：この年の初めより2年間の間、YAW コントロールのため、差動トランスミッションの計画をし、同時にパワーアップのためにエンジンユニットを3から4ユニットにしてパワープラントのスタイルを整え、これを頭上に置く事にした(fig.8)。

結果はプロペラシャフト系、ユニバーサルジョイントよりの振動発生をなくすために非常によかった。



fig.8 GEN H-4 初期型

1997年:夏も終盤のオシコシに向かう成田空港で電動モーターを使う方法を決心し、技術マンガと共に設計を指示した。ついでにジャイロからの信号により、ヘッディングを一定に保つ方法も同時に採用する事にした。

差動トランスミッション周りの軽量化計画を実現する為に計算と部分テストを繰り返し行い、最終的にミッションの伝達能力 95HP 計画値、重量 15kg を実現し、耐久テスト 50 - 50 時間を完了した。因みにエンジンよりの出力は遠心クラッチを介して4ヶのスパイラルベベルピニオンギヤ $M=2.5$ により4方より導入され、上下に噛合っているスパイラルベベルギヤを CW、CCW に回転を与える。内部に組込まれた2組のプラネタリーギヤ群 $M=0.75$ 、18ヶのプラネットギヤのリテイナーをモータードライブする事で上下ローターの差動を行う事が出来るようになった。

ミッションケースのギヤ、出力シャフト等は我々の近くに在住する精密外注工場郡で試作から量産まで容易く出来るのだが、ブレードの設計と生産には相当の困難があった。翼形の決定に際して模型用を入手して調査してみたところ迎え角 0° 条件で

	揚力係数	頭上げモーメント
模型 1	-0.133	0.046

揚力がもっと大きくより頭上げモーメントの絶対値の小さいものを求めてグライダー翼に使われる薄い翼に行きついた。エッラー E-184 の翼型をみつけた。

	揚力係数	頭上げモーメント
E-184	-0.069	0.033

E-184 のデータに従って石膏型を作り、スタイロフォームを熱線で切り抜きこれを芯に置いて CF クロスを張りつけてハンドレイアップでまず作ってみた。

前縁に真鍮線を入れ、桁部の上下はカーボンロービングで補強して直径 3m の翼が完成しテストする。

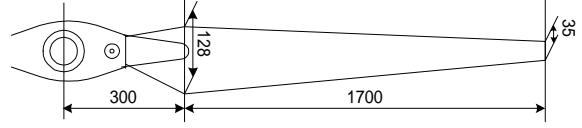
翼弦長	80mm 一定
翼取付角	10°
振り下げ	3°
回転	1,200rpm
推力	約 100kg
動力	16HP

ローター下の風速が先端部で 10m に及び馬力消費が大きい様だ。

この翼で最大のパフォーマンスを出す条件として振り下げを 4.5° にして出来るだけローター下の先端部の風速を抑える事にして 9m/s 以下出来れば 8.5m/s にしたい。実験の結果付け根の取り付け角を 12.5° が最も効率がよく消費馬力 13.6HP、推力は 100kg を得た。

より高性能のローターを作るために調査を進める。ブレードの形状を決めるパラメーターとして振り下げとテーパー比であることを知り、テーパー比 0.3 程度が性能が良くなる事が分り、これを採用する。

又安全に 75kg 程度の人間を浮かすには二重反転型として上下のローターを合わせて 180kg 程度の推力を欲しいと考えた．少なくとも一段で 120kg 以上の推力を出さないと二重にした場合 180kg の推力が確保できない事が判り、ブレードの延長を計画し、ローター径 4m とする．ブレード諸元は

	
翼弦長	128 ~ 35mm
翼取付角	12.5 °
捻り下げ	6.3 °
回転	900rpm
推力	185
動力	32HP

となっている．金型を作って手作りで生産している．この他ローターの静バランス、動バランス、空力的バランスなどの調整は全て自家製の機械で行っている．

フラッター防止などにはストロボ撮影で撮れ、曲げに弱い所に極部的にクロスをバイヤスに張りつけて撮れ剛性を付加している．

地上におけるローターの水平保持について、4 エンジン頭上型になった第一世代はユニバーサルジョイント式のジンバルを有していた．地上に係留している時にローターが傾き何とも無様であった．常にローターが水平になるように上下ローター間にピボット中心が来るように R 型のレールをロール、ピッチ方向に配置して改良した．これは後に Take off 時にハンドルレバーの握りの力を緩めて機体まかせで素直に上昇出来るし、又はランディング時も同様 4 本のスタンドは比較的平均に地面に接地出来て効果的であった．その上もう一つその上の特徴は空中でも無風に近いホバリングでは手離し操縦の出来る唯一のヘリコプターであると考えている．ホバリング、スク

ウェア操縦、8 字操縦が出来るようになった．次は速度前進である．



fig.9 車載テスト

高速に対するヘリの挙動を調べるためにトレーラーに機体を固定して車両を使って 30 ~ 80km の速度で走行してスティックの軽い角度を割り出し記録し、次にその角度に固定して同様に走行し、バネ秤でスティックの受ける力を指示させ、ある速度範囲ではどの位ローター傾きが素直かを調べた (fig.9)．その結果は前進速度とローター傾き角には釣り合う範囲がはっきりとあり、十分に 80km/h 程度まで高速前進が出来ると考えられる．人間が操作した角度、バネ秤、指示値等はすべてビデオ解析で後刻理屈づけを行う方法で判定を下している．

1996 年：オシコシ出展の顔みせ、1997 年には来年は飛ぶよと予告をする．1998 年オシコシエアベンチャーの UL フィールドにて初飛行を行い 8 分程度のホバリング、YAW コントロールの効き等を披露し大いに注目を集めた．新しいものに喝采を惜しまない米国の人達の姿勢に大いに感激した．もう一つ UL フィールドの責任者の一存で、UL の飛行をすべて止めて我々の飛行を許可し、飛ばしてくれた．権限と責任の取り方についても大いに感じ入ったものだ．以後 1999 年のオシコシエアベンチャー出展、飛行、2000 年カップーステートエアショー出展、飛行、2001 年と 2002 年にはサンファンエアショーに出展、飛行を行った．



fig.10 1999年オシコシでのフライト

こうして米国での実績を積みながら操縦性の改良に力を入れている。Power plant、Trans mission 及びローター部の重量とその下に吊下がっている乗員を含む機体の重量が比較的近似しているためか操作スティックの操作に伴い機体も引張られる現象があり、体重移動の操作のような操舵の利きのにぶい感じがあった。R-ed Rail(曲面レール) gimbalの曲率を変更して上部重量の重心移動の無い位置に合わせる事により、操縦性は非常に改善されて機体及び乗員の揺れを減ずることが出来た。同時に空中で手離し運転が出来る程になった。

一方エンジンも2サイクル特有の排ガス中のHC、COの排出を極力抑えるべく排気カデナシー効果を利用し掃気の始まる前に新気による掃気期間を作り混合気の吹き抜けを極力小さくして、カルフォルニア規制をクリア出来るレベルに到達している。現在はこのエンジンの耐久試験を始めたところである。

我社では自動化機械の製造中に修得したPico Literの油量噴射とか、Micro Literの燃料の噴射技術を有している。これらを組み合わせで新しいクリーンな2サイクルエンジンを近い間に手にすることが出来る。もちろん燃費は4サイクルエンジンに非常に近いものになるはずである。

また、トランスミッションはオイルセルフ

サーキュレーション、クーリングとフィルタリングを組み込みオイルの劣化を防ぐ方法を取り入れている。

この間パワープラント、ミッション共にTBO200時間を保証できる状況に到達している。ブレードも100時間の耐久をクリアする所まで来ているのが現状である。

現在まだまだ越えなければならないハードルもある。まずこのヘリの実力の範囲の見定めが出来ていない。いわゆる運用限界の設定をする為のテストをする必要がある。どうしても無人飛行により飛び方の限界を見定めなければならない。現在はこの無人(リモート運用)の操縦に力を入れている(fig.11)。



fig.11 ラジコンテスト

このヘリの持つ可能性は無限にあります。特に現在の日本のように、都市部において慢性的な交通渋滞問題をかかえており、また大きな滑走路やヘリポートを確保することができない状況では都市交通としてこのヘリは十分に機能できるものになっていくでしょう。また非常に小型のため運用がしやすく、一台のトラックで多数の機体を運ぶことも可能です。大地震など、都市機能がマヒするような災害時には車が入れるところまでヘリを輸送し、それを現地で人力で組み立て、車はいりこめない災害の中心部に空中から入っていくといった、コミューター的な役割を果たす事も出来ます。通常のヘリコプターに比べて安価なため、小さな自治体でも運用が可能です。また、現在機体の性能試

験用として開発が進められているunmanned vehicleですが、これをさらに改良し、農用に使用出来るように、畠の畝に沿って、ずれる事なく往復出来る散布ヘリを作ろうとしています。次にGPS信号を取り入れて、ある程度のピンポイントの往復又は撮影が出来るように、林野の農水の用に供するように、山岳調査の用に供するように、高高度飛翔 寒冷飛翔の用に供せるように、各界の専門家の要請もあり、夢は次から次へと広がっているのが現状であります。