



エキスパート の知恵と経験

技術開発の経験を語る

第 5 回

ヘリコプタ用トランスミッションの開発経験

はじめに

川崎重工業(株)は多くのヘリコプタの国産化とともに独自の技術開発を進めており、1973年にKH7型双発ヘリコプタの開発を決定、トランスミッションの先行開発を始めた。トランスミッションとは、エンジンの出力をヘリコプタの回転翼に必要な回転数と方向に変換伝達するとともに発電機や油圧用ポンプを駆動する機能を持つ変速機である。筆者はちょうどこのタイミングで入社し、試作品の製造と開発試験を担当する部門に配属となった。その後いくつかのプログラムに参加する機会があり、その開発経験を紹介する。

KH7の開発試験での経験

KH7はその後開発されたBK117とほぼ同じクラス的双発ヘリコプタであり、そのトランスミッションの断面図を図1に示す。1段目スパイラルベベルギヤ、2段目はヘリカルギヤで減速と方向変換を行う方式で、従来多くのヘリコプタで採用されていた遊星ギヤを採用した形式より重量的には増加するが、部品点数削減による信頼性の向上や、また高さが低くできるため、天井部に搭載してもキャビン高さを確保できる構成であった。

トランスミッション開発において最も重要な作業は歯車の歯形開発である。歯車の曲げ応力や面圧はAGMA (American Gear Manufacturers Association) などの計算式によって算出できるが、実際の応力は歯車の噛み合い状態により変わってくるため負荷運転時に最適な噛み合いができる歯形を開発しなければ所定の性能を満たせない。ヘリコプタ用のトランスミッションは軽量であることが要求されているためシャフトおよびハウジングともに薄肉にする場合が多く地上で使われる機械よりも剛性が低く、荷重条件によって歯当たり(実際に噛合っている歯面)の位置が変化しやすい。そのため、実際に負荷を掛けながら運用する荷重条件において最適な歯当たりが得られる歯形修正を行う必要がある。当時は、解析的に歯当たりを評価する手段が無く加工と負荷試験を繰り返しながら目標の歯当たりが得られる加工条件を見つけ出すという地道な作業が行われた。KH7のスパイラルベベルギヤの歯形開発においては、負荷時に望ましい歯当たりを得るためには、軽負荷時の歯当たりを歯面の中におさめる

ことができなかった。その要因として考えられたことは、整備作業を容易にするために開口部を大きくしたケースやシャフト剛性の不足であった。このような問題もあったが、100時間の耐久運転を達成することができた。これらの教訓は次のBK117のトランスミッションに活かされることになる。

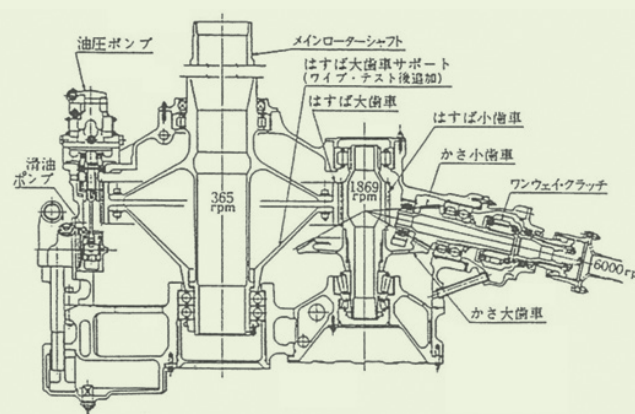


図1 KH7用トランスミッションの断面(川崎技報65号より)

初めて量産されたBK117のトランスミッション

KH7の開発はオイルショックなどの影響もあり、川崎重工単独での開発は断念せざるを得ない状態になったが、ドイツのMBB社(現在はエアバスヘリコプタ、ドイツ)との共同開発プログラムが立ち上がり、そのヘリコプタのトランスミッションとして、KH7方式のトランスミッションが採用されることになった。このトランスミッションには、KH7で経験した歯当り問題を解決すべく次のようなギヤシャフトや支持部材であるケースの剛性向上策が盛り込まれた。

- (1)ギヤの軸径を可能な範囲で大きくする
- (2)軸受部の剛性を向上できる内輪一体型のシャフト採用
- (3)2段目ギヤシャフト支持軸受の軸受用ハウジングを廃止し剛性の高いケースで支持する
- (3)は2段軸の交換作業はケースを分割しないとできない構造となったが、適切な歯当たりを得られたことで1200時間運用した歯面の状態が新品同様だった記憶がある。

図1と図2を比較すると変更内容がよくわかると思う。これらの変更は、重量を大きくする要因となったが、設計者が周辺を説得して実施したとの話を聞いている。

また、BK117は入力軸部のラジアル荷重を2個のころ軸

受で、軸方向荷重は3点接触玉軸受で負担する形態を採用し、その後の川崎重工のヘリコプタ用トランスミッションの入力部の基本形態となった。

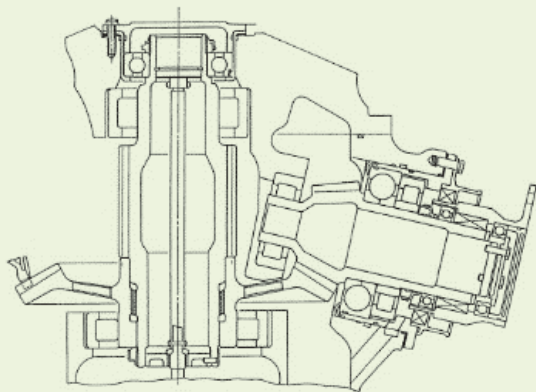


図2 BK117 用トランスミッションの入力部（川崎重工より）

歯面の粗度向上も強度や信頼性向上に有効であり、このときに設定した粗度要求が今も川崎重工が開発したギヤの表面粗度基準となっている。

二機種目の量産 MD900 用トランスミッション

マクダネルダグラスヘリコプターの MD900 ヘリコプタのトランスミッションを川崎重工が受注し、1989年より開発作業が開始された。このトランスミッションは、軽量設計で遊星ギヤを採用したが、この開発でも多くの知識を得ることになった。

(1) 遊星ギヤの軸受の焼けと対策

運転試験の途中において遊星ギヤを支えるスフェリカル軸受を点検したところ焼けが観察され、潤滑オイル供給量を増加したが、改善は認められず、その後の調査でスフェリカル軸受の保持器の構造からオイルが転送面に十分に供給されていなかったことが判明、軸受を2列のくし型の保持器を持つタイプに変更することで潤滑が改善された。

(2) 遊星ギヤのキャリアが軸方向に動く不具合

MD900 の遊星ギヤは平歯車を採用しており、キャリアは軸方向に動かないと考えていたが、実際に運転試験を行うと軸方向に動くことが判明し、キャリアを支持する軸受を押さえる設計変更を実施した。

これらは遊星ギヤ採用時の教訓としてその後の設計に活かされている。

(3) サンギヤとベベルギヤの電子ビーム溶接による結合

MD900 の場合、加工上の制約からベベルギヤとサンギヤは個別に製造し、後で締結する必要があるが、図3に示す結合部に初めて電子ビーム溶接を採用した。これにより、締結用部品削減による重量軽減を図ることができた。

(4) 軸受のクリープ対策

軸受の締め代は従来の実績から決定していたが、サンギヤを支持する軸受にクリープ（軸受内輪と軸の間ですべり）が発生し、その対策として締め代を大きくするとフープ応力が大き

くなることによる軸受の割れという問題があり、あらためて最適締め代の評価方法が見直された。

また、このトランスミッションの開発時から歯面形状の3次元計測による評価方法を導入、従来のテスター上における歯当り検査より定量的な評価が可能となった。

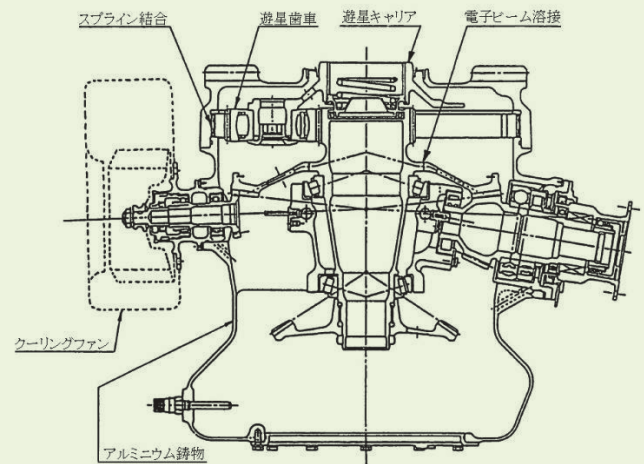


図3 MD900 用トランスミッション（川崎技報 126 号より）

OH-1 ヘリコプタ用トランスミッション

1992年9月に川崎重工業が OH-1 開発の主契約会社を選定され、トランスミッションの開発も担当することになった。OH-1 のトランスミッションは機体の構成からエンジンを機体軸に平行に2台搭載するという条件から、機体前面面積を小さくできるベベルギヤによる減速と遊星ギヤ方式の組み合わせを採用することになった。BK117 や MD900 における経験を活かして非常に信頼性の高いトランスミッションを完成することができたと考えている。

さいごに

川崎重工におけるヘリコプタ用トランスミッション開発作業に参加し、開発時に経験した問題とこれらの経験がどのように次のプロジェクトに反映されたかを述べた。川崎重工ではこれらのトランスミッション開発実績を活かして、航空エンジン用のアクセサリギアボックス開発にも参画している。その折々の経験を整理基準化しながらまた新しい解析および評価手法を積極的に導入しており、航空機ギアボックスの分野で世界のトップを目指している。

参考文献

- (1) 佐藤裕也ほか、ヘリコプタ用トランスミッションの開発、川崎重工技報 65 号、1977 年 12 月。
- (2) 増江達哉ほか、BK117 多発多用途ヘリコプタの国際共同開発、川崎重工技報 71 号、1979 年 7 月。
- (3) 山内信義ほか、MD エクスプローラヘリコプタ用駆動系等の開発、川崎重工技報 126 号、1995 年 7 月。

< 正員 >

田岡 鉄男

◎元川崎重工業(株)
ガスタービンビジネスセンター駆動システム技術部
基幹職
◎専門：機械工学

M47 田岡鉄男氏

・ 略歴

1967 年 3 月 香川県立高松高校を卒業
1968 年 4 月 名古屋工業大学機械工学科入学
1972 年 3 月 名古屋工業大学機械工学科卒業
1974 年 3 月 名古屋工業大学大学院機械工学修士修了
1974 年 4 月 川崎重工業入社（ジェットエンジン事業部に配属）
2013 年 7 月 川崎重工業退職（再雇用契約で 65 歳まで勤務）

・ 川崎重工業勤務中の 1984 年から 1990 年に、日本航空機エンジン協会に出向、旅客機用エンジンの開発に従事