

製品紹介

V X 500/600の開発

Development of VX500/600

袴田 朗道*

Akimiti Hakamata

1. はじめに

ヤマハ発動機がスノーモビルの開発生産を開始して以来、25年を迎えようとしている。この間幾多の荒波を越えて、業界トップシェアの座を得た良き時代もあったが、ここ数年間で急激なシェアダウンを味わう事となってしまった。

競合メーカーがアメリカ（P社、A社）とカナダ（B社）の3社であった為、円高によるコスト競争力の低下が、商品競争力に直接的な影響を与えた事も、この大きな要因の一つであった。

しかしながら、市場や競合メーカーが変化していく中で、商品自体にも多くの課題が芽生えていた。

この課題への対応が、V X 500/600の開発そのものであった。

2. 開発の狙い

2.1 市場の変化と商品

スノーモビルのマーケットは、北米（アメリカ・カナダ）が9割を占め、その中でも五大湖周辺のスノーベルト地帯が5割以上を占めている。

参考までに、図1にアメリカでのスノーモビル登録台数の地域別状況を示した。

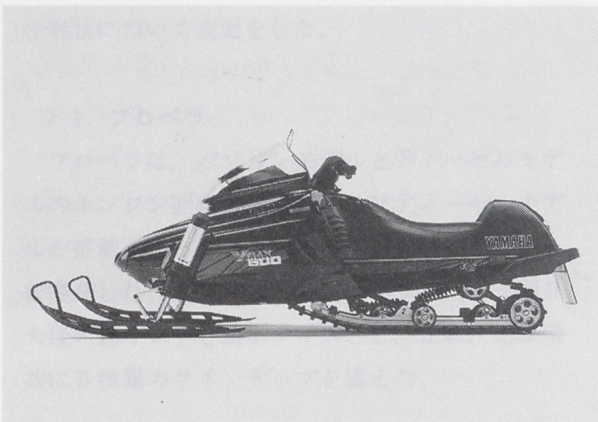


写真1

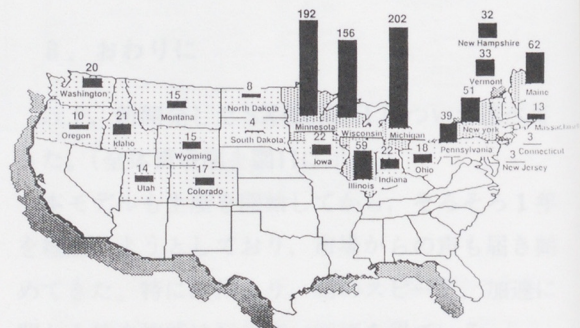


図1 スノーモビル登録台数(アメリカ)

* 特機事業部特機第1技術部

これらの地域では、20年以上も前から「トレールコース」と呼ばれる、地域自治体やスノーモビルクラブによって管理運営された「乗り場」が生まれ、発達してきた。ここ数年間で、この「トレールコース」の状況が大きく変化してきている。

毎年新しいコースが増設され、北米での総延長は50万kmとも言われる程になり、コースの整備状況も良く、周辺の宿泊設備等のインフラも改良されてきている。

「トレールコース」が延長し、かつ良く整備された事で、ロングツーリングを楽しむユーザーが増加し、1日で200~300kmを走る事が多くなった。

この為に商品への要求は、信頼性は当然の事ながら、走行安定性や快適性の優れた高性能モデルに移行してきた。この変化に対する競合メーカーの対応は非常に速く、当社の立ち後れは否めなかった。

図2に91~93年モデルの各社の排気量別生産台数を示した。競合他社が4~5の水冷高性能モデルを有するのに対し、当社は2モデルのみであり、この水冷モデルでのマーケットシェアが著しく低い事が分かる。この水冷モデルでの立ち後れが、

全体のマーケットシェアを大きく低下させたと言える。

表1には、1991年に実施した「お客様満足度調査」の結果を一部抜粋した。この調査では、いくつかの当社商品の課題が浮き彫りにされたが、最も顕著に現れたのが、走行安定性に関するこの2項目であった。重視度（何を期待して買ったか）は他社モデルと同レベルであるが、満足度（結果）が明らかに低い、これは、ユーザーのニーズと商品にギャップが生じている事に他ならない。

		8.0	8.5	9.0
EX570	コーナリング安定性	満足度 重視度		
	ギャップ安定性			
P社 INDY500	コーナリング安定性			
	ギャップ安定性			

表1 お客様満足度調査

2.2 開発コンセプト

上述の背景を元に、開発はスタートした。

開発のコンセプトは、次の4つの柱からなる。

(1) 水冷高性能モデルの拡充

市場規模の大きな、500cc/600ccクラスでマーケットシェアの回復を狙う。

(2) 信頼性の向上

スノーモビルの心臓部であるエンジンとVベルト変速機の見直し。

(3) 走行安定性の向上

「トレールコース」に的を絞った、業界トップクラスの走行安定性達成。

(4) ユーザーニーズの多様化への適合

高地向けのロングトラックモデル、リバース付き二人乗りモデルの同時開発と、オプションリバースキットの開発。

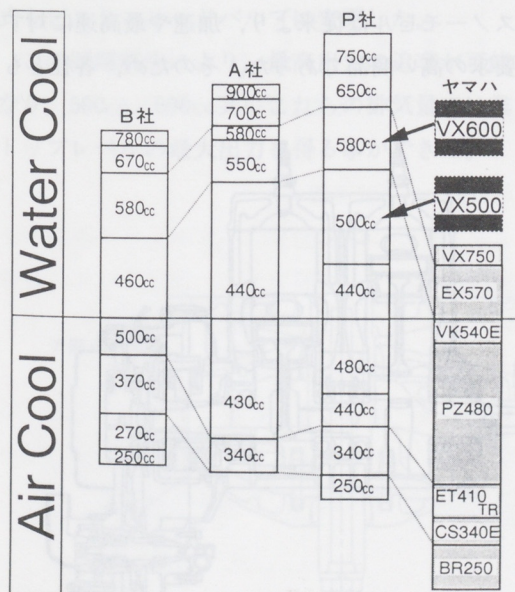


図2 各社排気量別生産台数

3. 開発手法の変革

このような多くの課題を達成する為には、開発の手法にもいくつかの課題があった。

3.1 現地テストの活用

その一つは、従来の走行テストだけでは市場の高速ロングツーリングの評価が難しい事であった。

この為、開発の各ステップで現地テストを実施し、現地スタッフの評価も交え商品改良を行った。

後述で、フロントサスペンションのロングストローク化を述べるが、この決定の背景には現地テストの結果が大きな比重を占めている。

3.2 台上テストの活用

高性能化と共に信頼性が確保されなければならない事は、商品開発の基本原則であるが、多くのモデルを同時開発する為には、従来にも増して台上評価が重要となった。

幸いにも、開発と同時に「FAシャーシ」と呼ばれる、後輪出力軸（フロントアクスル）を動力計に直結し、車載状態でエンジンから駆動系迄の性能評価と耐久評価のできるシャーシが完成し稼働した。この活用が、後述するVベルト変速機の改良に大きく寄与した。

4. 構造説明

4.1 エンジン

商品戦略上、500ccと600ccクラスの二つのエンジンを開発する事となった。基本要件は、次の2項目である。

- (1) 高性能化の市場要求を満足し、かつ信頼性と取扱い易さを確保している事。
- (2) 二つのエンジンは、最大限の部品の統合を図り、投資効率を高める。

4.1.1 基本構造

これらの要件を満たすために、図3で示す基本レイアウトを採用した。

基本パワーユニットは、2サイクル水冷2気筒で、クランス系は耐久性では実績のあるEX570を流用し、吸気方式をピストンバルブからピストンリードバルブ方式に変更した。

又、ボアサイズの変更にて、494cc(ボア=68mm)と598cc(ボア=74.8mm)の2クラスのエンジンを開発した。

4.1.2 出力特性

スノーモビルは従来より、加速や最高速に対する要求の高い商品であった。そのため、各社とも

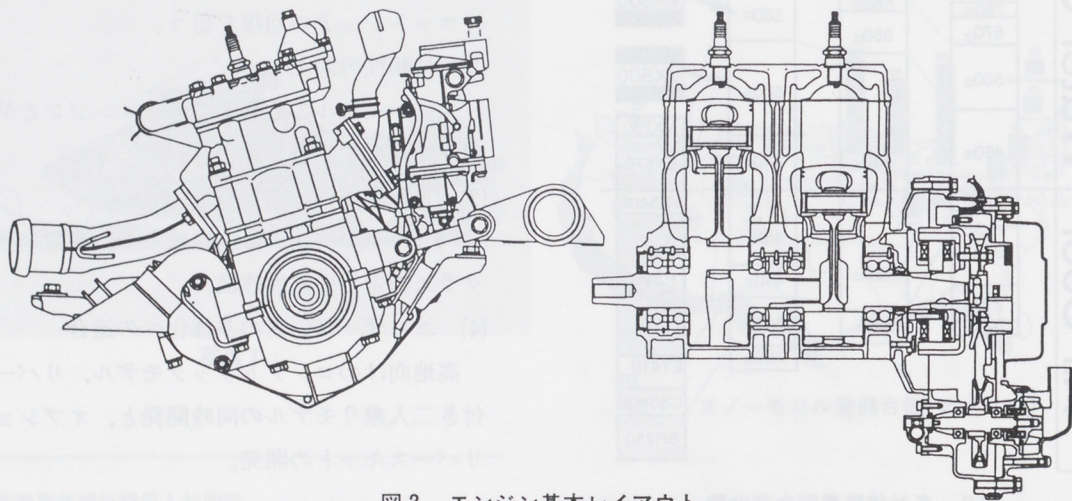


図3 エンジン基本レイアウト

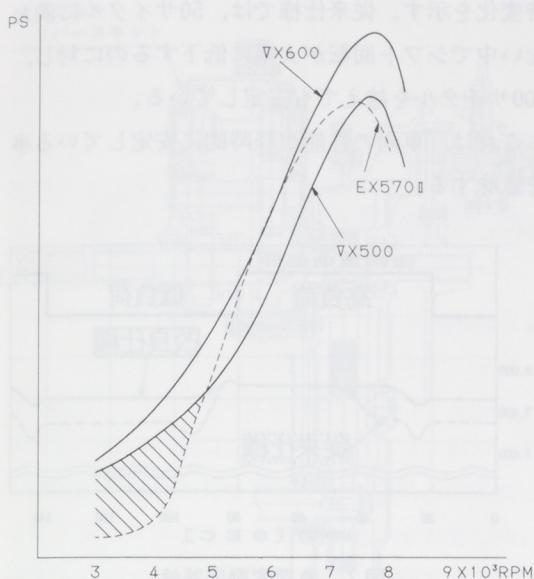


図4 出力特性

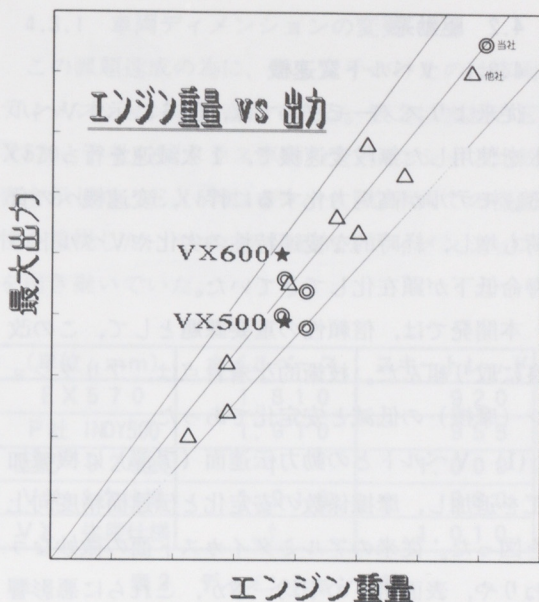


図5 パワーウェイトレシオ

年々出力向上を図っているが、当社のEX570は出力特性上に1つの欠点を持っていた。

5000回転以下での全開馬力が不足している為、急全開での発進加速に難点があった。路面負荷(雪質)や外気温等の環境変化に対する、出力に余裕が無く、発進不能な状態を招く事があった。

この改良を行うために、前述したように吸気方式をピストンリードバルブに変更した。

この問題解決により、最高出力の追求が可能となり、500cc/600cc共にこれらの排気量では業界トップレベルの最大出力を得る事ができた。

図4に、各エンジンの出力特性を示した。

図5に、エンジン重量当たりの出力を示した。この指標で見れば、VX600のエンジンは上級モデルも含めた中で、最大のパワーウェイトレシオを達成したと言える。

この他に、TM2連装キャブレター、デジタル進角CDI、YEIS等のヤマハ独自のフィーチャーも採用し、エンジンレスポンスの良さと中低速での取扱い易さを両立させた。

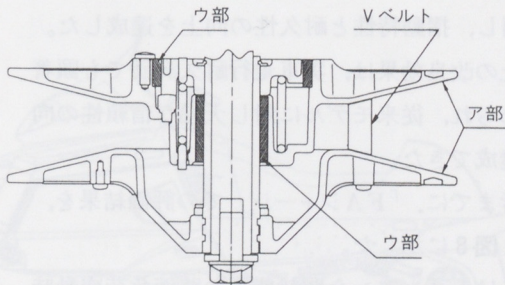
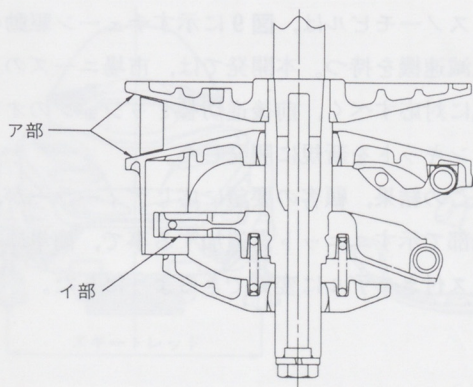


図6 Vベルト変速機

4.2 駆動系

4.2.1 Vベルト変速機

従来よりスノーモバイルでは、図6に示すVベルトを使用した無段変速機で、1次減速を行っている。モデルが高馬力化するに伴い、変速機への負荷も増し、経時的な変速特性の劣化やVベルトの寿命低下が顕在化してきていた。

本開発では、信頼性の重要課題として、この改良に取り組んだ。技術的な着目点は、フリクション（摩擦）の低減と安定化であった。

(1) Vベルトとの動力伝達面（ア部）に機械加工を追加し、摩擦係数の安定化と伝達面精度向上を図った。従来のアルミダイカスト面の微妙なうねりや、表面粗さの不均一さが、これらに悪影響を与える事にメスをいれた。

(2) 駆動側変速機の可動シーブトルク伝達部（イ部）の見直しを行った。従来は摺動部材として、6ナイロン樹脂を使用していたが、吸水膨潤や熱膨張による問題対策と摩擦低減を目的に、テフロン入りPEEK材を採用した。

又、従来の部品構造では、この摺動部材を成形後機械加工していたが、構造見直しにより加工を廃止し、大幅なコスト低減も達成できた。

(3) 従動側変速機の可動シーブ摺動部（ウ部）は、経時劣化の最も顕著な部品の一つであった。

ブッシュ材メーカーとの開発を繰り返し、前述した「FAシャーシ」での評価の結果、DFAと呼ばれるブッシュ材（特殊充填剤入りテフロン）を採用し、摺動特性と耐久性の向上を達成した。

以上の改良効果は、実車走行耐久評価でも顕著に認められ、従来モデルに対し大幅な信頼性の向上が達成できた。

参考までに、「FAシャーシ」での評価結果を、図7と図8に示した。

図7は、エンジン全開状態での路面負荷変動時のクラッチの応答性能を示す。従来仕様に対して、応答性が大幅に改良された事が分かる。

図8は、上記の負荷変動を繰り返した時の、経

時変化を示す。従来仕様では、50サイクルに満たない中でシフト回転が大幅に低下するのに対し、100サイクルを越えても安定している。

これは、車両の性能が経時的に安定している事を意味する。

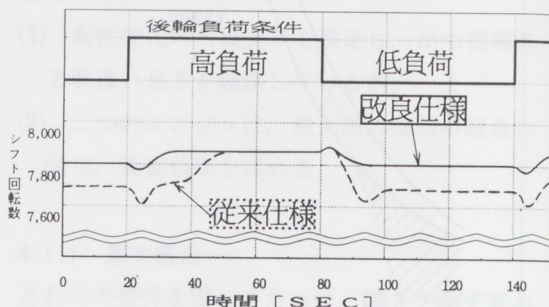


図7 負荷変動応答性

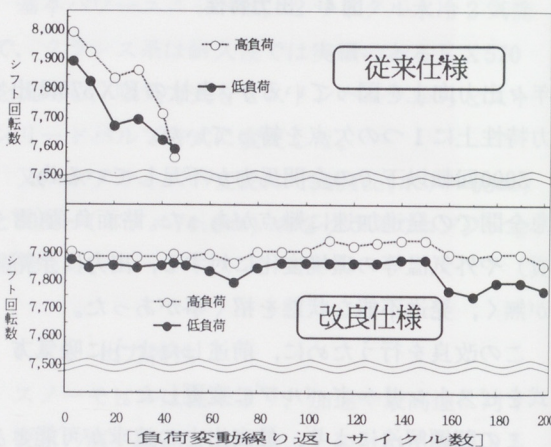


図8 負荷変動パターン耐久性

4.2.2 2次減速機

スノーモバイルは、図9に示すチェーン駆動の2次減速機を持つ。本開発では、市場ニーズの多様化に対応すべく、前後進切替ミッションのオプションキットを新規に開発した。

この結果、顧客の要望に応じディーラーが、斜線部で示すユニットを追加する事で、簡単にリベース付きモデルに変更できるようにした。

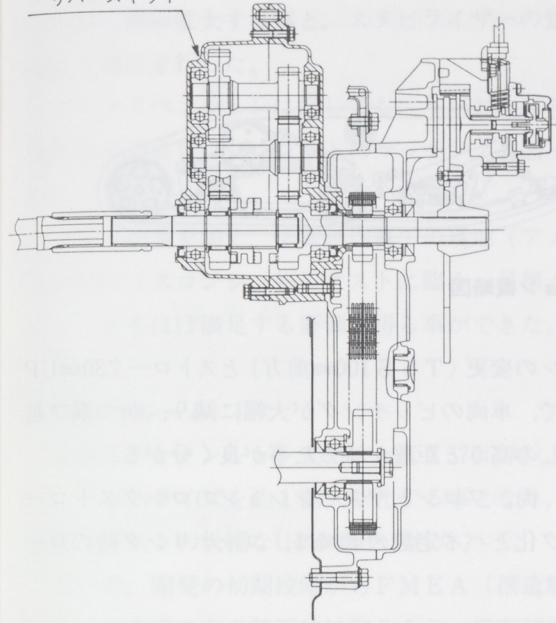
オプション
リバースキット

図9 2次減速機構

4.3 車体関係

前述したように、車両の走行安定性が以前にも増して重要な商品特性となってきた。特に、ギャップでの安定性とコーナリングでの安定性は、競合メーカーのP社が抜きん出た優位性を持ち高く評価されていた。(前述の、表1参照)

本モデルでは、使用条件を「トレールコース」に絞り、目標をP社と同等レベル以上に置いた。

4.3.1 車両ディメンションの変更

この課題達成の為に、第1に手がけたのは車両ディメンションの見直しである。表2に当社のEX570とP社の同クラス車両のディメンション比較表を示した。EX570はコンパクトな車両での機動性を重視した、ヤマハの伝統的なディメンションを引き継いでいた。

(単位: mm)	ホイールベース	スキートレッド
EX570	1,810	920
P社 INDY500	1,910	955
上記'92改良	↑	1,000
VX 1次仕様	1,910	980
VX 生産仕様	↑	1,010

表2 ディメンション比較

本開発では、この機動性と安定性に関する見直しを第1に行う必要が有った。技術部ではディメンションのプリテストを進め、期せずしてP社とほぼ同じディメンション（ホイールベース100mm拡大、スキートレッド60mm拡大）で、ほぼ目標レベルを達成できる目処を付けていた。

この検証と販売サイドとの合意を得る目的で、1次試作車での現地（カナダのケベック州）テストに臨んだ。

結果は、EX570に比べ基本的なポテンシャルが大幅に向上した事で、ディメンションの変更に關しての確認がなされた。

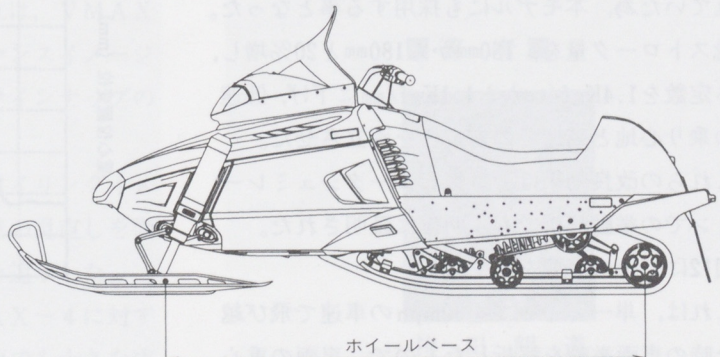
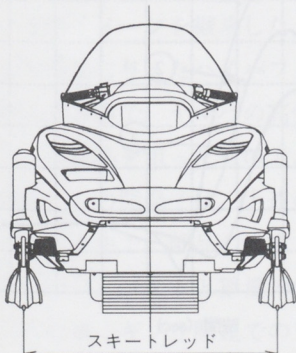


図10 (表2の補足図)

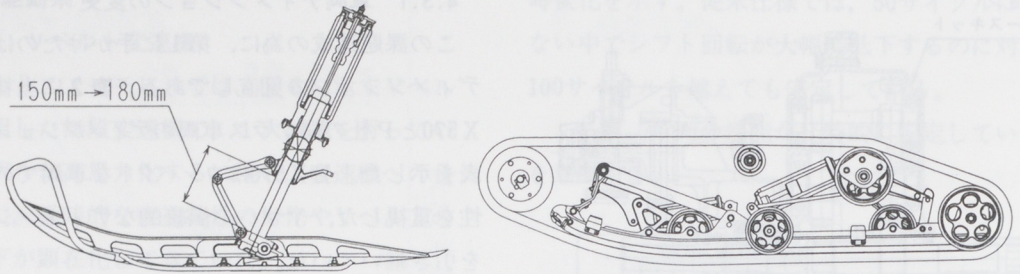


図11 サスペンション概略図

しかしながら、現地トレールでの走り方、他社最新モデルの改良等に依って、予想以上に高速側での要求レベルは高く、この範囲での安定性がまだ不足している事が明確になった。

4.3.2 サスペンションの改良

図11にサスペンションの概略図を示した。

車両ディメンションの変更だけでは、目標達成が困難な事が判明し、再度サスペンションの見直しを行う事となった。

これは、ディメンションを変更した事で基本的な車両のピッチング挙動が低減でき、ギャップをより速く走る事が可能となった為に、従来のサスペンションでは限界が生じた事を意味した。

特にフロントサスペンションでは、このポテンシャル不足が顕著で、低速での乗り心地と高速での安定性の両立ができなかった。

この問題に関しては、既に国内レースでサスペンションのストローク拡大が有効である事が実証されていた為、本モデルにも採用する事となった。

総ストローク量を、150mmから180mmと20%増し、バネ定数を1.4Kgf/mmから1.1Kgf/mmに下げ、低速での乗り心地と高速での安定性を両立させた。

これらの改良効果は、コンピュータシミュレーションでの挙動解析でも、明確に証明された。

図12に、その概要を示す。

これは、単一ギャップを30mphの車速で飛び越した時の車両挙動を解析したもので、車両の重心位置の変位をグラフで示している。ディメンシ

ンの変更(TSS100mm前方)とストローク30mmUPで、車両のピッチングが大幅に減り、かつ飛び越しの高さと距離が減った事が良く分かる。

尚、フロントサスペンションのロングストローク化とバネ定数の低減は、コーナリング時のロー

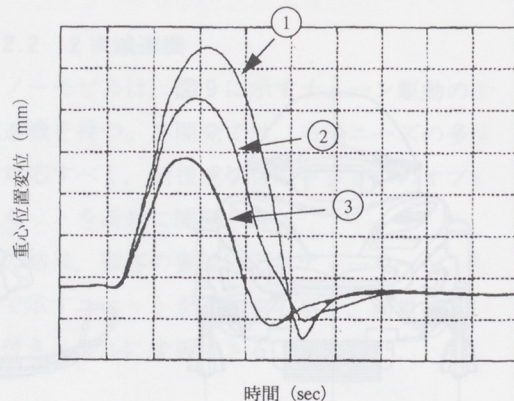
【1】 TSSオリジナル : EX570ディメンジョン



【2】 TSS100mm前方



【3】 TSS100mm前方, 30mmストロークUP
: VX500/600生産仕様



挙動シミュレーション (30mph)

図12 挙動解析

ルに関しては不利な方向となる為、スキートレッドを更に30mm拡大する事と、スタビライザーの強化にて補正を行った。

リヤサスペンションに関しても、リンケージの特性を小改良し、フロントとのマッチングを図った。

以上の改良を加え、2次試作車で現地（アメリカのウイスコンシン州）テストに臨み、目標ターゲットをほぼ満足する評価を得る事ができた。

4.4 フレーム

前述のディメンション変更は、EX570に対し、フレームのサイズを約1割大型化する事となり、重量とコストの大幅なUPが懸念された。

そこで、開発の初期段階からFMEA（構造解析）と台上テストを積極的に取り入れ、過剰強度部の見直しと、部品点数の削減に取り組んだ。その結果、重量コスト共にほぼ従来（EX570）並みのレベルを達成する事ができた。

又、前述した二人乗りモデルやロングトラックモデルを同時開発するに当たり、基本フレームを1種類に統一した。フレーム以外でも、部品統廃を積極的に取り組んだ事で、生産性向上に少しでも貢献できるものと期待している。

4.5 ギソウ関係

外観スタイリングは、巻頭の写真-1で示した様に、当社のフラッグシップモデルであるVMAX-4のイメージを継承した。これは、VMAX-4が市場に与えたハイパフォーマンスイメージを継承する事で、ヤマハの高性能ラインナップのイメージ構築を狙ったものである。

本モデルの開発では、上述のスタイリングイメージを守る中で、部品の構成と構造の見直しを徹底的に行い、コストと重量の低減を追求した。

その結果、ギソウ関連でのVMAX-4に対する重量は約25%低減でき、コスト面でも大きな成果を上げた。

5. おわりに

このモデルは、マーケットシェア回復への大きな役割を担っている事を述べてきました。

海外拠点でもこの期待は大きく、スノーモビルとしては初めて、ディーラーショーでの試乗会を実施してオーダーを取る方法が導入されました。

幸いにも、全米8ヶ所で行われた試乗会では、非常に高い評価を得る事ができ、予想を上回るショーオーダーを獲得する事ができました。

この結果、当初の企画台数を大幅に上回る生産をする事となりました。

これは、開発担当者にとってはこのうえない喜びではありますが、この全台数がユーザーの手に届き、その期待を100%満足してくれる事を、祈らずにはいられない心境でもあります。

開発をふり返ると、企画と計画設計段階では、コストを含めて何回かの見直しを行い、たいへんな難産でした。しかし、この段階でそれぞれの課題と目標およびその手段が煮詰められ、明確にできた事が、この開発の鍵であったと思います。

今後の商品開発では、益々企画と計画段階の重要性が増していくように思われます。

最後になりましたが、このモデルの開発に当たり御協力頂きました、社内外の関連部署の方々に、紙面をお借りして深く御礼申し上げます。

■ 著 者 ■



袴田 朗 道