

part
1

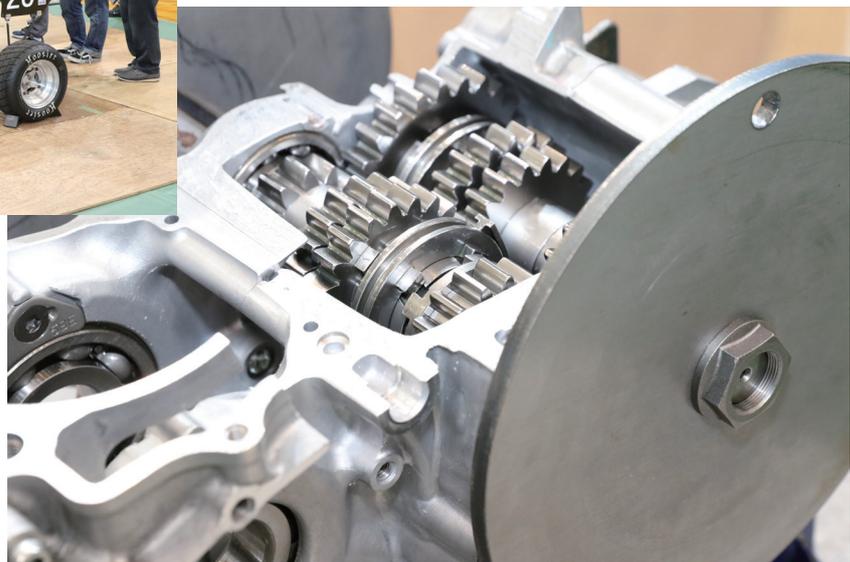
コンペティションの 概要と進行状況

市販オートバイ用トランスミッションが大半を占める現状から一歩前進すべく、
学生フォーミュラ車両に特化したトランスミッションの実現をめざして実施されたデザイン・コンペティション。
ここではその概要と進行、採用案の現況を紹介する。

寄稿/両角 岳彦



コンペティションに参加し、京都大学が開発したシームレストランスミッション



競技に向けた車両セットアップ その出発点は「ギヤレシオ」

きっかけは、2016年大会にオーストリアから参戦したU. A.S.Grazの走りだった。AMG社の支援で具現化した「F-FAEの車両規定に最適化した専用エンジン」の技術的内容と特性が、モーターサイクル用パワーユニットを流用した他チームのものとは一線を画すものだったことはもちろんだが、それだけではなく、日本大会のエンデュランスコースで最も長いとはいえ、F-FAEルールに則った約60mの直線の加速の中で2回シフトアップ、その先のコーナーへのアプローチで1回シフトダウンして駆け抜けていた。

ダイムラー傘下のスポーツ車両開発部門AMGが主催したFormula Student用パワーユニット・デザイン・コンペティションから生まれたFS133エンジンが、吸気リストリクターによ

る制約（これについても一度きちんと検討し、パワーユニットのあり方を考えてみていただきたいと思うのだが）を前提にした低中速域重視の特性であることは排気音からも明らかだったが、同時にその特性を引き出すためのトランスミッションも専用設計であり、変速段間のステップ比が小さい、いわゆるクロスレシオで組まれている。この事実を、彼らの走りの「音」が示していた。

F-FAEのダイナミック・イベントでの到達速度は最高でもエンデュランスのルールで規定された約105km/hであり、とくに内燃機関を使う場合は、発進からこの速度までの中を何ステップの変速でカバーするか、その中で鍵になるいくつかのコーナーの脱出速度に合わせた変速比を設定できるか…が、スポーツドライビングのための車両としてはきわめて重要。プロフェッショナル・モータースポーツにおいては、コースに合わせ

た車両仕様・セットアップを組み立てる中でまず最初に決める要素のひとつが、搭載するエンジンの特性とコースレイアウトに応じたギヤレシオなのである。

しかし、モーターサイクル用パワーユニットを変速機ごと流用する場合、F-SAEのダイナミックイベントで使う速度域に対してトランスミッションの変速比はワイドに過ぎる。つまり変速段間のステップ比が大きすぎる。そこで発進加速（アクセラレーション）と屈曲コース走行の妥協点となる変速比となるよう、変速機の低速段から2〜3段を選んで最終減速比で「つじつまを合わせる」仕様にする。これが日本の学生フォーミュラの現状なのは、皆さんご承知のとおり。

しかし、パワーユニット全体をF-SAE“専用設計・開発”としたAMG FS133は、モーターサイクル用と同様の全体配置ではあるものの、トランスミッションも、そこから小大の歯車を組み合わせた最終減速機構も専用品として、4ステップの変速段に、F-SAE規定コースに対応するステップ比を設定している。

「デザイン・コンペティション」始動

AMG FS133がエンジンの燃焼から出力特性までをF-SAEのルールによる技術規定と走行パターンに適合させようと考えられたものであることは言を待たないが、それは既存のエンジンを元にしたアプローチでも、かなりのレベルまでは到達できる、はず。もちろん前述の吸気リストラクター（流量上限制限）への対応、バルブタイミングなどまで含めた検討と開発がその条件となるけれども。しかし、変速機構についてはモーターサイクル用パワーユニット流用ではより高い次元に踏み出すことが難しい。それならば、タイムラー=AMGが試行したのと同様に、学生諸君の発想と思考を、研究機関や企業がサポートして「現

物」にするプロジェクト、すなわち「トランスミッション・デザイン・コンペティション」を立ち上げてみよう。

このアイデアが、2016年全日本大会終了直後に私の脳裏に浮かび、そこでまず日本の歯車工学の泰斗であり、現在は公益財団法人 応用科学研究所の常務理事として、同所に「機械基盤技術研究施設」を開設されてその研究を先導されている久保愛三・京都大学元名誉教授にご相談し、本コンペティションの審査委員長をお願いし、快諾いただいた。

合わせて、モータースポーツ用変速・駆動機構をずっと手がけ、とくに近年はシームレスシフト、つまり2軸式歯車変速機構の変速時に発生する非噛み合い状態を回避し、そこで生ずる駆動トルク切れをなくす（とくに加速中のアップシフト時にトルク切れが生じないことが肝心）ことを、簡潔な機構で実現した(株)イケヤフォーミュラ、そして工作機械の分野では世界屈指の存在であるDMG森精機(株)にも技術面、製造面の支援をお願いして、このコンペティションのアウトラインが固まった。

コンペティションへのアプローチは「変速の意味」を考えることから

2016年10月中旬には、「小型フォーミュラカー用トランスミッション・デザイン・コンペティション」の実施概要を、日本の学生フォーミュラチームに開示。11月6日に開催された関東学生フォーミュラ連盟主催・技術交流会では、久保先生に「歯車工学概説」、イケヤフォーミュラ社長・池谷信二氏に「モータースポーツ車両用トランスミッションおよびイケヤ・シームレス・トランスミッション」についての講演をいただき、コンペティションの募集要項についても紹介した。

以下、その要項の中核部分を再録する。

■ **テーマ** …………… モーターサイクル等のエンジンを搭載する小型フォーミュラカーに用いる変速・駆動機構を企画、設計する。その成果に基づいて、当該機構の製作、開発・解析を行なう。

■ **参加資格** …………… 全日本学生フォーミュラ大会もしくは世界各地のFormula SAE、Formula Studentの大会に参加、あるいは参加を計画している大学・専門校等のチーム

■ 企画・設計の要求概要

1	車両の基本構成、各部仕様等については、Formula SAEのルールに準拠する。
2	チームとして選択したエンジンとその性能(目標)、想定される走行環境に基づいて、必要な変速・減速の仕様・寸度を計算・案出し、車両レイアウトの中に組み込む変速・伝達機構の構成も案出の上、変速機構を(必要と判断した場合は、駆動機構全体も)図面化する。すなわち変速段数、変速比とそのバリエーションなどについては自由に考えるものとする。企画・設計の対象はトランスミッションのみでも、最終減速・差動歯車まで含めた駆動機構全体でもよい。仕様と図面は概念図レベル(基本寸法は必要)でも応募可とするが、審査のためには、できるだけ具体的なものであることが望ましい。
3	変速機構については2軸歯車方式を基本とし、競技車両用として変速の速さ、トルク切れ時間の短縮にも留意する。また競技用変速機として求められる各種の要素、例えば変速比の異なるギヤセットの交換容易性、潤滑などにも留意する。
4	できるだけ汎用性の高い構成、設計とする。
5	変速・駆動機構の外郭(トランスミッションケース)を今回の設計に含めるかは自由とする。

変速・駆動機構の構想は、車両と パワーユニットのレイアウトから始まる

このコンペティション提案の「1次締め切り」、すなわち応募意志表示の期限を2016年12月15日に設定（一応の目安として）したのだが、これに応じて「手を挙げて」くれたのは、京都大学、名古屋大学、大阪工業大学の3チーム。他にも関心を示してくれたチームが複数あったが、企画・設計に要する工数、そこに割ける人員などのチーム事情を勘案すると応募に踏み切れず、というケースも見受けられた。しかし京都大学チームなどはこの時点で実働メンバーが4名という状況であって、この後のプロセスを振り返ってみても、新規プロジェクトに取り組み「形にする」時の鍵は、工数や人材に余裕があるのではなく、むしろ「実現したい」というチームと個人の意志の力であり、モノを考え、形にしてゆく時の集中力にある。

それはどんな新規案件の実現においても同様なのだが、とくに学生フォーミュラ活動の現況の中で、エンジンやトランスミッションのような複雑かつ実務面の知見を必要とする部分の開発は複数年をかけて進めることを前提に計画する必要がある。そしてそのためには個別の機能要素をどうするかを考える前に、次世代で実現したい車両の基本構成について思考するところから始めて、パワーユニットを構想し、その中から生まれる駆動機構のコンセプトを持ってこのコンペティションに臨んでくれれば…というのが主催者としての思いではあったのだが。

「コンペティション」としての審査 採択案の選定、そして製作へ

年末年始をはさんで応募3チームそれぞれに基礎提案（実走データ等の解析に基づく変速比、基本レイアウトなどの構想）を取りまとめて提出していただいた。

一方、提案内容を審査し、そこから実機的设计・製作・実働に至る中で助言等をお願いするメンバーとしては、前述の久保先生、イケヤフォーミュラとDMG森精機の技術者各位に加えて、川崎重工業（株）モーターサイクル&エンジンカンパニーでパワーユニット全体の設計に携わり、全日本学生フォーミュラ大会のデザイン審査にも加わった経験をお持ちの松本孝史氏にも参加していただくことになった。

そして2017年2月11日、京都の応用科学研究所にて最初の審査検討会を開催。この時点までの書類審査で、ここで企画案のプレゼンテーションを行なうのは京都大学と名古屋大学の2チームに絞り込まれていたが、さまざまな技術検討の現場に立ち会ってその内容を見聞することの大切さを考え、応募3チームすべてにこの会に参集していただいた。

ほぼ丸1日にわたる（応用科学研究所、とりわけ機械基盤技術研究施設の見学も含めて、だが）それぞれの企画内容検討に

おいて、京都大学チームの提案はとりあえず既存ユニットの置換であり「汎用性」の面で限定されるが、複数年計画の中でまずはリスクを減らすためにそこから着手したい、という意図を理解して、本コンペティションで実機設計・製作へと進む対象とした。名古屋大学チームの提案は歯車と変速機構の基本検討については可としたものの、具体的な車両構成と変速機構配置の検討が不十分であり、この開発企画の出発点を「宿題」として今後の思考と設計の進行に期待することになった。

この段階では、京都大学チームの採択案であっても、基本レイアウトとIST（イケヤ・シームレス・トランスミッション）のトルク切れがなくアップシフトする基本原理の理解については及点だったものの、そのまま実機を作れる設計内容ではない。これまで「変速機」の実態に踏み込んだ実地体験がないのだからそれは当然のことではある。そこで審査・助言に加わっていただいた専門家各位のアドバイスを受けて、京都大学チームには「実働する歯車機構」に必要な設計要件、勘どころ、表面処理を含めた加工の実際などについての勉強を進めてもらい、その内容を反映した本格的な設計にまとめあげていただいた。

このプロセスを2カ月ほどの短期間で一気に進め、4月20日にはDMG森精機の伊賀事業所に場所を替えて、同社の最新工作機械群の実働展示場と製造現場を間近に見つつ、京都大学チームの設計改定案を「実際に製作するには」の検討を、図面に描かれた部品ひとつずつ、その加工指定の内容まで含めた質疑応答、そして助言と、今回も午前中から夕刻まで「ぶっ通し」で進めていった。

その成果を織り込んで京都大学チーム内で再度すべての設計を見直し、製造図面の形に仕上げたのは4週間後。素材、そして加工機材の手配などさまざまな準備を経て、全部品が形になったのは8月中旬になった。

パワーユニット全体の構想から 変速機構まで、レベルアップに向けて 考える時のリファレンスとして

こうしてできあがった「小型フォーミュラカー用トランスミッション」の初回作の具体的な内容と、そこに至る技術的思考プロセスについては、この後に続く京都大学チームのレポートを読んでいただくとして、現時点におけるデザイン・コンペティション主催者としての思いを本稿の終わりにまとめておく。

まず、モータースポーツ車両として動力性能はもちろん減速～旋回～加速を繰り返す中で最適化が求められる技術要素のひ

とつであるトランスミッションについて、もともと速度域と走行パターンが異なるところで企画された既製品の限界を理解する学生諸君が増えたこと（まだ少数に留まるけれども）、そしてそこから新しいステップに踏み出す機会を提供できたこと。これが現状で得られている本コンペティションの成果である。

しかしこの段階で十分だと考えているわけではない。F-SAEの車両規定、とくにエンジン排気量の上限が拡大されたことで、ここからパワーユニットの選定とその配置、駆動システムのあり方などについて、幅広い思考と選択を求められる状況に、ICVクラスのすべてのチームが直面している。EVクラスに関しても、モーターの特性をより良く使いこなすためには、変速機構の必要性について検討することが求められる。

そうした状況において、自動車競技の世界ではすでに実現されているトランスミッションの選択自由度、まずは変速比（と変速段数）、そして原動機-変速機-最終減速というパワーユニット全体のレイアウト、この2点を自在に選べる、あるいは製作できるようになれば、F-SAE車両はその構想・開発、そして走行特性・挙動まで、大きく進歩する。

本格的な競技車両（4輪）の技術背景においては、すでに少なからぬ専門企業が専用トランスミッション+最終減速機構を製品化しており、まずはユニットとして、さらに個別の車両設計に応じて内部機構は既存品を使いつつ搭載場所・方向を選択可能とし、全体を車両に組み込むための外郭（ケース）まで製

造して供給する。F-SAE/学生フォーミュラ・サイズの車両に使えるユニットもないわけではないが、現状の車両規定、使用されるであろうエンジン、走行環境などに対応した「汎用性の高いトランスミッション」の実現は、競技車両の歴史を見ても技術の流れとして必然的な方向だろう。インターナル（内部機構）とその軸保持、潤滑などにひとつの事例がまとまり、公開されれば、それを参考に単一あるいは複数のチームが自作してもいいし、F-SAEだけでなく同程度のパフォーマンスを持つエンジンを搭載するモータースポーツ車両が世界には何種もあるので、それらも含めて使用可能な市販ユニットとしてある程度の量を“生産”することもけて夢物語ではない。したがってこの「トランスミッション・デザイン」のストーリーはこの段階では未完、楽しみにはまだ「先がある」と考えている。

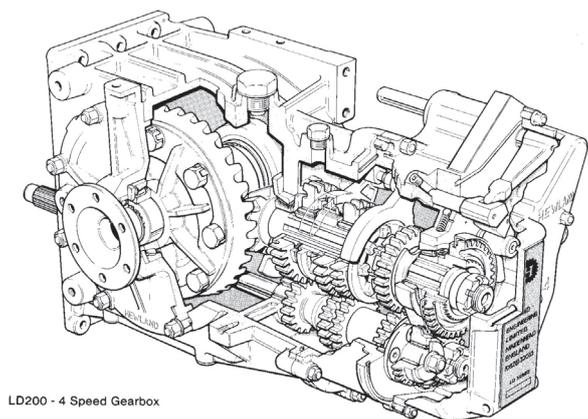
最後に、本デザイン・コンペティションに多大なるご協力とご支援をいただいた（公財）応用科学研究所、（株）イケヤフォーミュラ、DMG森精機（株）の各所社、そして審査・助言、実機製作・組立などにさまざまなご助力をいただいたすべての方々に、深甚なる感謝を申し述べて、この報告を“中締め”したいと思う。

part
1

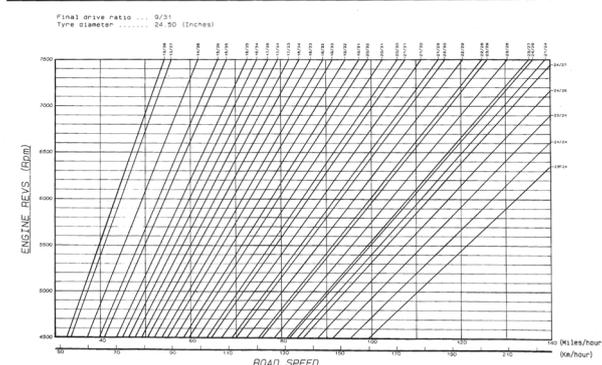
小型フォーミュラカー用トランスミッション・デザイン・コンペティション

コンペティションの概要と進行状況

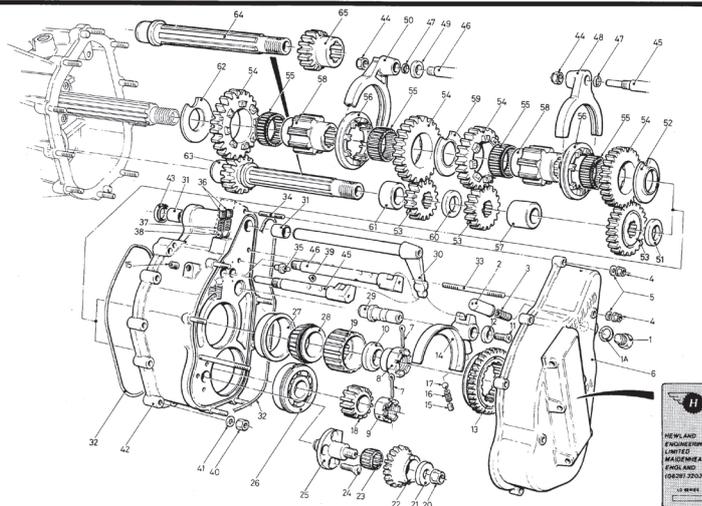
■ 現用競技車両用トランスミッションの一例



GEAR RATIO CHART - FF1600 - 4 SPEED



GEAR TRAIN ASSEMBLY - 4 SPEED



ドグクラッチ選択嵌合によるシンプルな変速機構。ギアセット(2枚1組)は歯数が異なるものを多数品そろえてあり、そこから選んで組み込むことで、各変速段の変速比を細かく設定できる(左図参照)。エンジン特性とコースレイアウトに応じて組み替えることが定石となっている。