

# レバーシンクローの開発

佐藤 健一 平岩 一美  
(協和合金)

## Development of Lever Synchronizer for Manual Transmission

Kenichi Satoh Kazuyoshi Hiraiwa  
( Kyowa Metal Works )

Key words: Transmission, Manual Transmission, Synchronizer System /  
Lever Mechanism, High Performance Type, Inverted Type,

### 1. はじめに

マニュアルトランスミッション(以下、MT)のシンクロナイザーは、長い間ワーナシンクローが用いられており、近年普及しているマルチコーンシンクローも基本は同じである。

今回、スリーブとシンクローリングおよびハブとの間にレバーを組み込んだレバーシンクローを開発した。

レバーシンクローは『高性能型』と『反転型』とに大別できるが、反転型と呼ぶタイプが99年11月より、高性能型と呼ぶタイプが02年5月より量産車に採用されたので、開発の概要を報告する。

### 2. レバーシンクローの構造と効果

#### 2.1. 高性能型

##### 2.1.1. シングルコーンへの適用

ワーナシンクローは、スリーブに入力された力が、そのままシンクローリングに伝達されるのに対して、レバーシンクローではスリーブから入力された力がレバーによって倍力されてシンクローリングに伝達される。

レバーは、正面から見ると円弧形であるが、真横(図1)から見ると頂部が力点で下端(両端部)が支点、それらの中間が作用点のレバー(てこ)と見なすことができる。

シンクローリングがレバーに対してインデックスしている状態を図2に示す。

スリーブとシンクローリングの間では、レバーを介した軸方向の押し力の伝達とともに同期中のボーク作用が必須である。

このために、スリーブがレバーを押す部位には図1に示す斜面が設けてある。

つまり、ワーナシンクローにおけるスプラインチャンファ部と同様の機能を、スリーブ斜面とレバー頂部とが果たしている。

スリーブはこの斜面でレバーを軸方向に押すとともに、シンクローリングで発生する摩擦トルクがレバーに作用してスリーブの進行をボークするように構成してある。

すなわち、シンクローリングには周上2カ所に軸方向の突起が形成され、この突起が2個のレバーの両端間に挟まれるようになっている。(図2)

このため、シンクローリングに摩擦トルクが生じると、この突起が2個のレバーを径方向外側へ押し広げる。

その結果、レバー頂部はスリーブの斜面を押し返すようにして、スリーブの進行をボークする作用を行う。

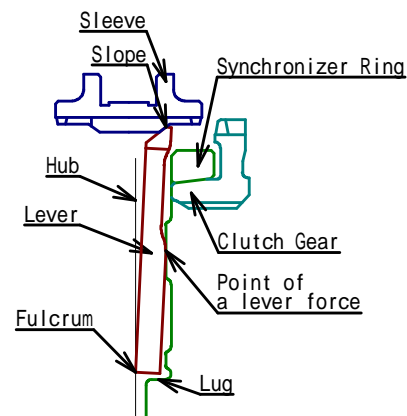


Fig.1 Proposed Synchronizer with The Lever Mechanism

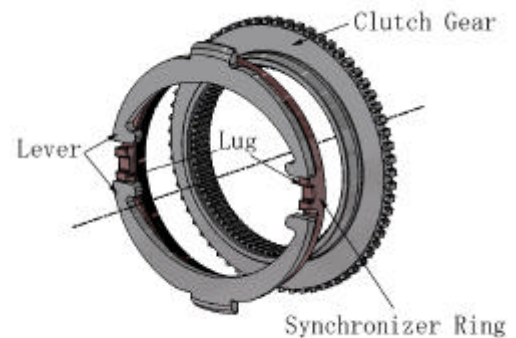


Fig.2 Schematic Drawing of The Lever Activity

同期が完了すると摩擦トルクによるボーク作用がなくなるので、スリーブが斜面でレバーを内側へ押し込みながら進行し、クラッチギヤと噛み合う。

この際、レバーが内側へ押し込まれると、ワーナシンクロと同様にシンクロリングが相手ギヤとともに若干回転する。

したがって、レバーが介在する分だけ力の伝達がやや複雑になるが、基本的な機能および作用はワーナシンクロと同じであり、後述する計算式も同様である。

このように、シンクロリングを押しす力を倍力して高性能化するのを狙うタイプを高性能型と呼んでいる。

高性能型においては、シングルコーンでありながらワーナシンクロのマルチコーンと同等の性能を狙うことが可能である。当然ながらMTのコストパフォーマンス向上および操作性向上に貢献する。

### 2.1.2. マルチコーンへの適用

マルチコーンに適用したレバーシンクロはワーナシンクロでは到達し難い性能を達成することができる。

図3、4はトリプルコーンに適用した構造の一例である。

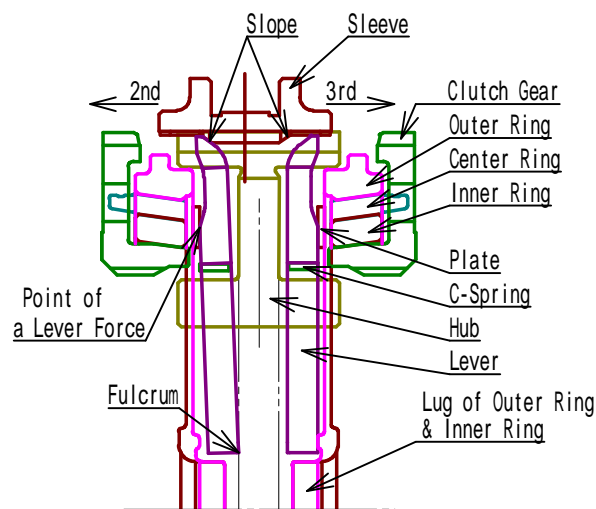


Fig.3 Synchronizing on The 2nd Position of High Performance Type

全体のレイアウトとしてはシングルコーンの高性能型と基本的な違いはないが、シンクロトルクのレバーへの伝達はアウトリングとインナリング双方の突起で行う。(図5)

つまり、一般的なマルチコーンワーナシンクロのようにアウトリングとインナリングとの連結はなくても、各リングがレバー(端部)にトルクを伝達することができる。

アウトリングとレバーの間に挟んだプレートは、アウトリングの摩擦防止と、Cスプリングの軸方向の移動規制を兼ねている。

Cスプリングは、初期押し力を与えるためのワーナシンクロにおけるキースプリングに相当し、レバーを外側に押し広げる働きをする。

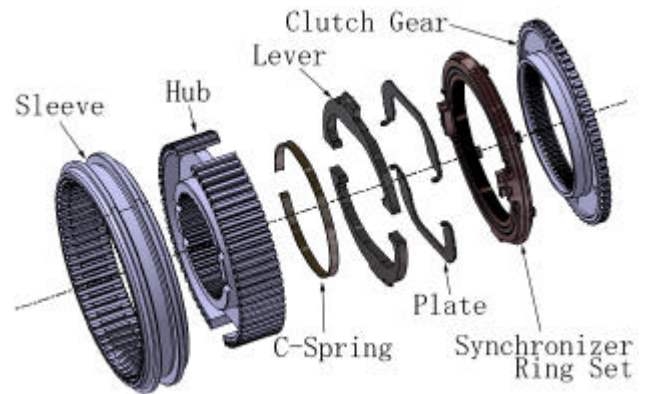


Fig.4 Technical Illustration of High Performance Type

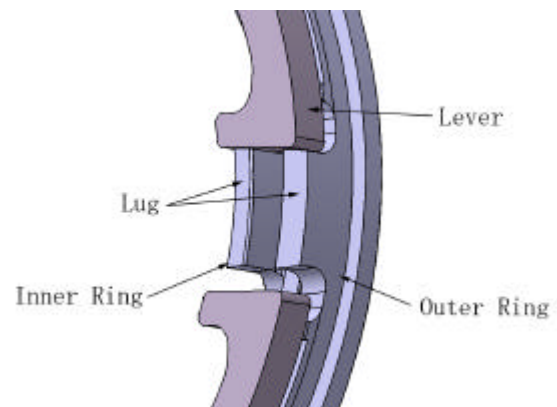


Fig.5 Technical Illustration of Ring Lug

### 2.2. 反転型

高性能型に対して、レバーの機能に変化を持たせたのが反転型と呼ぶタイプである。最初に市販化したのは5-R列を有するシフトパターンの5段MTにおける5速に適用したタイプである。(図6)

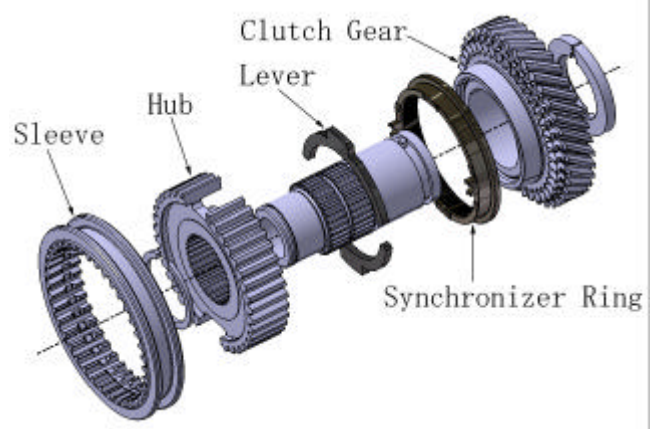


Fig.6 Technical Illustration of Inverted Type

これは図7に示すように、レバーの頂部はスリーブ内側の溝に係合しており、溝の両側には斜面が形成されている。

一方の斜面（図7では左側）は5速シフト時に使用し、他方の斜面（右側）はリバースシフト時に使用する。

リバース側の同期作用においては、高性能型における支点と作用点の位置関係が逆転し、レバー中間部が支点であり、レバー両端部が作用点となってレバーの反転作用でシンクロリングを押す。（図8）

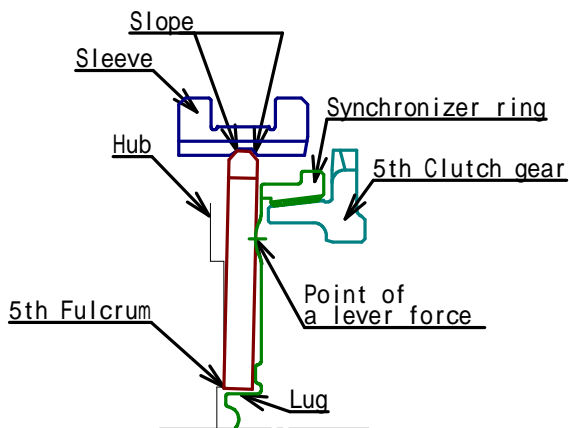


Fig.7 Synchronizing on The 5th Position

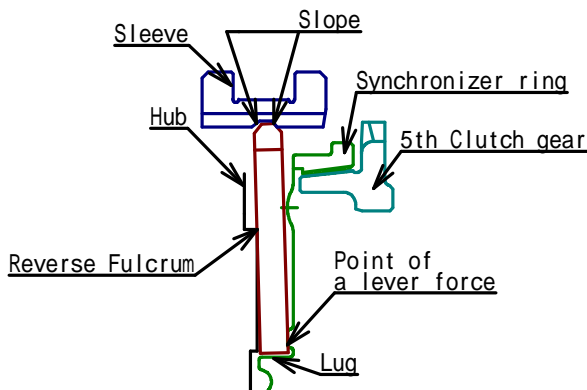


Fig.8 Synchronizing on The Reverse Position

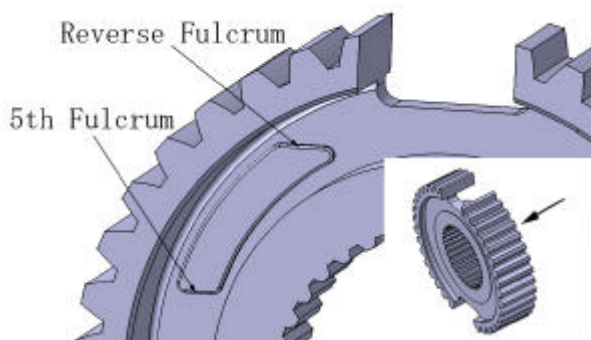


Fig.9 Fulcrum installed on the Hub

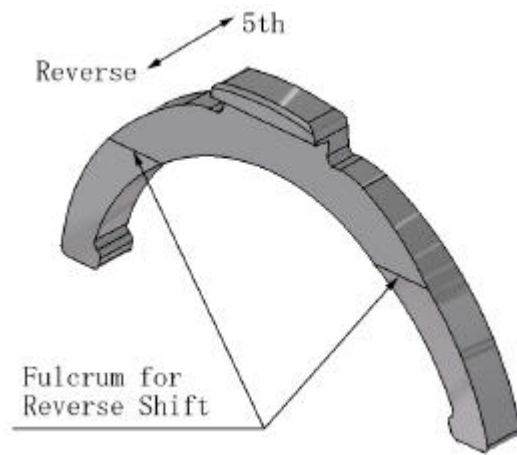


Fig.10 Fulcrum installed on the Lever

これにより、リバースシフトの際にリバース側（5速ギヤと反対側）へスリーブが進行する場合に、5速ギヤに同期してからリバースギヤと噛み合う。従って、停車時におけるリバースギヤ鳴り防止機能を有することになる。

リバース側の支点は、ハブ側にエッジを形成（図9）する方法と、レバー側にエッジを形成するやり方がある。

主に、ハブを焼結成形によって作る場合に前者を、切削加工によって作る場合に後者を適用するが、後者の場合のレバー形状を図10に示す。これは02年8月より量産化された。

5速シフトでの作用は前述の高性能型と同様であるが、リバースシフトにおいてもシンクロトルクが、リング突起レバー スリーブの斜面、の順に伝わりボーク作用を行うことは高性能型と基本的に同じである。

反転型は、商用車などのように、1速の反対側にリバースがあるシフトパターン（1-R）に適用することも可能である。

このような反転型の特徴は、同機能のリバースギヤ鳴り防止機構を備えたものと比較して、部品点数が少なく大幅なコストダウンができることである。

また、そのために摩擦面の数が増えることがないので、高速走行におけるドラッグトルクや発熱を生じないこともメリットと言え、重量低減にもなるのでわずかではあるが燃費向上にも貢献する。

### 3. 同期作用における計算

上記のように、同期が成立するための基本的な条件はワーナシンクロと同じであり、計算式も従来の考え方を応用することができる。

つまり、コントルクを $T_c$ として、スリーブがレバーを内側へ押し込む際にシンクロリングを回転させるトルクを $T_i$ とした場合のつりあい式を示す。図11に力のつりあい関係を示す。

$$T_c = \frac{F \cdot L \cdot \mu_c \cdot R_c}{\sin \alpha} \quad \dots (1)$$

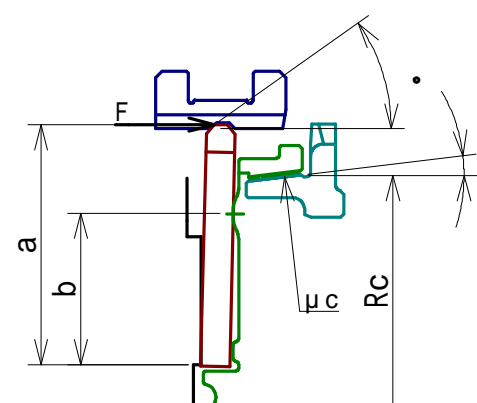
$$T_i = \frac{F \cdot R_r}{\tan \alpha} \quad \dots (2)$$

ここに、

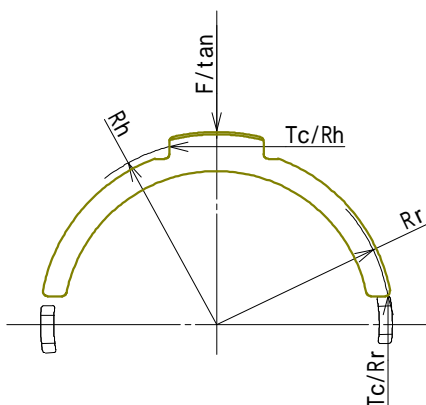
- F : スリーブ押し力
- L : レバー比
- $\mu_c$  : コーン面摩擦係数
- Rc : コーン半径
- α : コーンテーパ角
- Rr : シンクロリング突起部半径
- α : スリーブ斜面角

$B = \frac{T_c}{T_i}$  をボーク比とすると、以下になる。

$$B = \frac{T_c}{T_i} = \frac{L \cdot \mu_c \cdot R_c \cdot \tan \alpha}{R_r \cdot \sin \alpha} \quad \dots (3)$$



(1) Cross section



(2) Front View

Fig.11 Balance of A Shift Force

実際には、レバーまわりの各接触点における摩擦が影響するので、それらを盛り込んだ計算を行うが、ボーク比は基本的にワーナシンクロと同じ見方をする。

#### 4 . 開発する過程での課題と対策

レバーシンクロを実用化する上で最初の課題が、確実にボークするか否かであった。

すなわち、従来のワーナシンクロの場合は、スリーブが進行すると、最初にキーまたはこれに相当するものがシンクロリングを軽く押す。

これにより、シンクロリングが初期摩擦トルクによってインデックスしてから、スリーブチャンファ面がシンクロリングに接してボーク作用が始まる。

しかし、レバーシンクロの場合は、レバーが遠心力およびスプリングの張力によって最初からボーク位置にあるものの、確実にボークするためにはスリーブがレバーを押すと瞬時にシンクロリングが回転(インデックス)してボーク作用を行う必要がある。

これと似たような従来例としてはボルシェタイプのシンクロがある。この問題は実機にて確認を行った結果、上記の計算のようにボークが成立することを確認した。すなわち、スリーブ角度を小さくしてボーク比を満足しなくなると、ギヤ鳴りが発生する。

##### 4 . 1 . 5 - R型の開発

前述のように、99年11月に商品化したのは5速に設けた反転型であり、リバースギヤ鳴り防止機能を持つことから「5-R型」とも呼んでいる。

実際に開発したのは、FF車用ユニットの入力軸上に5速シンクロが設けられたレイアウトのものであった。

この場合、同期を始める際に初期荷重を与えるため、レバーを外側へ押すスプリングが必要か否かがひとつの焦点であった。すなわち、レバーに作用する遠心力がスプリングの代わりにならないかということである。

入力軸が殆ど回転していない状態において、5速またはリバースへシフトすることがあり得ることから、常識的にはスプリングは必須と言える。

しかし、この点も種々の実験においてスプリングはなくとも何ら問題ないことが確認され、スプリングなしで実用化した。すでに4ユニットに適用して実績が積みあがった。

最大の課題は高回転時にレバーに作用する遠心力の影響であった。

5速ポジションは高速での同期作用が付きものであり、レバーのサイズが大きいと遠心力の影響が無視し得ないレベルになる。

つまり、同期終了後にスリーブがレバーを内側へ押し込みながら進行する際に、遠心力にうち勝つ必要がある。

この操作力は特にスロー操作において問題になる。

最初に実用化した5-R型は、当初、5速側レバー比を1.2程度でスリーブ斜面角を48°程度にしていた。

しかし、レバーのサイズが大きかったため、車速130 Km/h超における5速シフトの操作力が重いという問題があった。

入力軸回転数4500 rpm時のシフト時間と操作力の関係を図12に表す。

この対策として、同期終了後にスリーブがレバーを押し込むのに要する荷重を低減すべく、スリーブ斜面角を小さくすることにした。

このために、5速側のレバー比を1.5にアップするとともに、スリーブ斜面角を35°と小さくして遠心力の影響を低減した結果、操作力の目標をクリアすることができた。

また、02年8月にはアウトプット軸に連動して回転する部位に5速シンクロが配置されたタイプが量産化された。

このケースでは、車両停止時に、レバーはクラッチディスクに連動して回転しないので、Cスプリングを設けて、レバーを押し広げている。

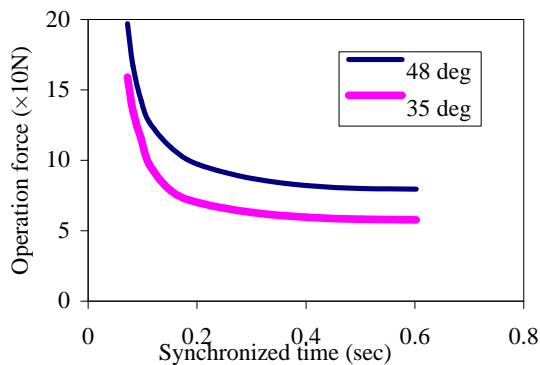


Fig.12 Effect of Sleeve Angle & Leverage on The Shift Knob (4th 5th Up Shift)

#### 4.2.2 高性能型の開発

高性能型の性能向上代は、主としてシフトストロークと、コーン面の摩擦量との関係で取りうるレバー比が決まる。具体的なレバー比の上限Lは、基本的に以下の式で算出される。

$$L = \frac{A - (B + C)}{D} \quad \dots (4)$$

- A : スリーブの先端がクラッチギヤの先端と噛み合い始めるまでのスリーブストローク (図13)
- B : 各部の軸方向寸法精度および遊び
- C : ギヤコーンとシンクロリングとの熱膨張差
- D : 許容摩擦量

このうち、Cについてはギヤコーンが鉄でシンクロリングが銅合金製のように熱膨張率に差のある組み合わせの場合に適用する。ギヤコーン、シンクロリングともに鉄の場合は熱膨張差がないので無視することができ、レバー比をより大きくすることが可能になる。

また、ダブルコーンの場合は、鉄と銅の組み合わせであっても2カ所の摩擦面同士で熱膨張差が相殺されるので、無視することができる。

これらから、シングルコーンにおいては、シンクロリングのベース材が鉄で、摩擦の少ない摩擦材を適用するケースが、最も大きなレバー比にできるのが分かる。

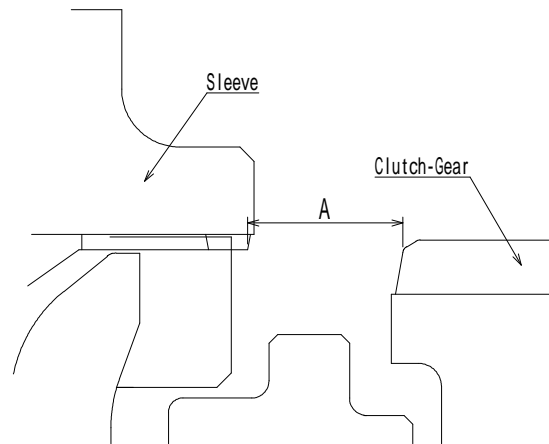


Fig.13 Sleeve Stroke Until Engaging with The Clutch-Gear

また、高性能型はレバーを挿入するための軸方向スペースが必要になるが、スリーブの外側がリバースギヤを兼ねているギヤトレンにおいては、当該スリーブが長く軸方向スペースに余裕があるので、既存のワナシンクロがあったスペース内にレバーを収めることが容易にできる。

レバーシンクロの成立性を高めるにはレバーまわりの剛性も見逃すことが出来ない。

特にレバー自体を梁として見た場合、梁の長さが長くなりがちであるので、一定以上の径方向の剛性が必須である。

先に述べた遠心力対策として、レバー自体の軽量化が効果的であるが、それは径方向の剛性と二律背反になるので、注意が必要である。

また、レバーの板厚を薄くする場合は軸方向の剛性に注意が必要であり、特に操作荷重が大きい条件では軸方向の剛性が上記のレバー比の上限値にも影響する。

さらに、近年のMTは、より少ないスペースに大きなシンクロ容量を求める傾向にあるが、レバーシンクロはワナシンクロに比べて、構成部品数が多くなりがちであるので、軸方向スペースとの戦いになる。

これらの検討には、リアルタイムにレバー等の剛性検討を行うことが必要であり、簡易計算レベルで精度よく結果を見出すことは困難である。

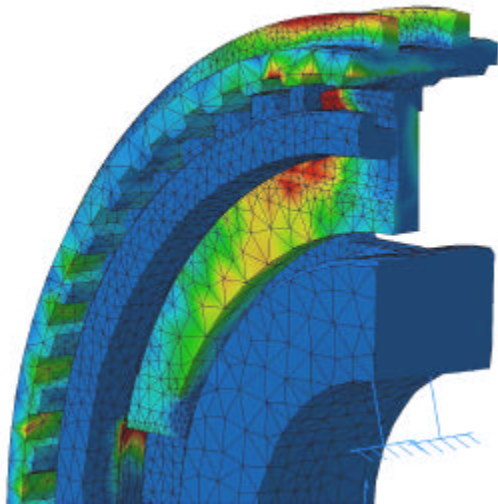
そこで、CAD+CAE(Computer Aided Engineering)を設計ツールとして用いて解析を行った。用いたシステムは、製図(モデリング)と解析を同一のワークベンチ内で行うことが可能なもので、効率良く設計することができた。

解析は主に応力解析と剛性検討に用いた。レバーシンクロの構成部品であるリング、ハブ、スリーブの全てを組み合わせ

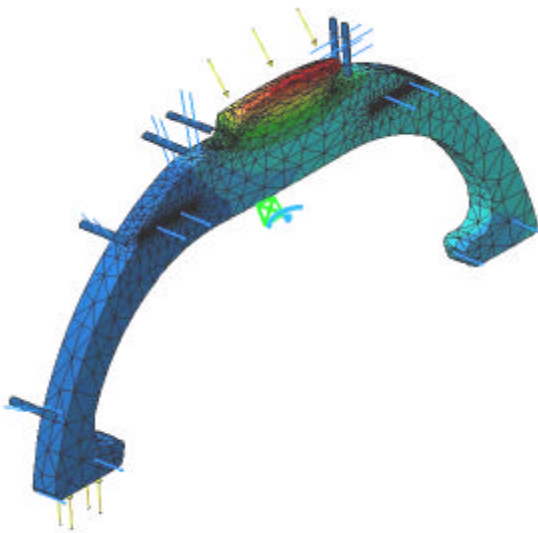
せたモデルでの応力解析結果と、レバー単体による応力解析結果をそれぞれ、図14(1)(2)に示す。

レバー単体での解析結果が示すように、限られたスペース内で要求された剛性を満足するように形状の最適化を行うと、レバーはやや複雑な形状になることが分かる。

また、実験による測定結果とシミュレーション結果を比較すると、今のところ十分に対応しているとは言えないが、これらのデータを蓄積すれば、設計ツールとして更に効率的となると考えている。



(1)



(2)

Fig.14 Simulation Result in The Stress Analysis of the Lever

高性能型はまだ開発途上にあるが、摩擦材に銅合金を用いて高性能型レバーを適用した具体例として、シングルコーンとマルチコーンの2種の開発状況を紹介する。

#### 4.2.1. シングルコーンへの適用

《主要諸元》

- コーン径：86
- コーンテーパ角：7°
- レバー比：2

このケースは、シングルコーンでありながら、ダブルコーンのワーナシンクロ以上の性能を狙ったものである。

実際の操作力について、レバーシンクロとシングルコーンのワーナシンクロとの比較データを図15に表す。

これで分かるように、総じてレバー比『2』に近い性能向上を果たしているのが分かる。

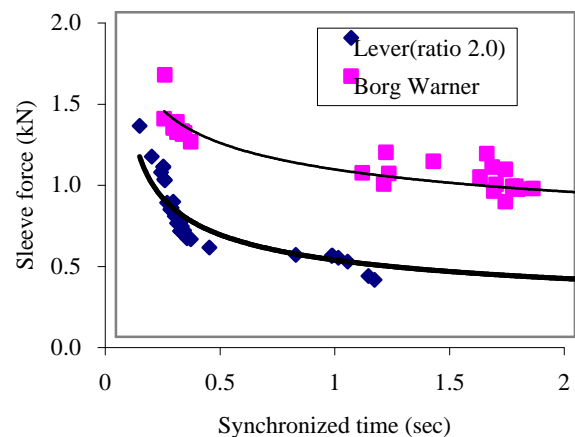


Fig 15 Comparison of Borg Warner Synchronizer & Lever Synchronizer (2nd 1st Down Shift)

#### 4.2.2. マルチコーンへの適用

《主要諸元》

- コーン径：93、87、79  
(アウト、センタ、インナ)
- コーンテーパ角：8°
- レバー比：1.4

これはトリプルコーンをレバーシンクロ化することで、ワーナシンクロでは望み得ない操作力低減を狙いとしました。

トリプルコーンレバーシンクロの代表的な操作波形データを図16に示す。

実験値のサンプリングは、ユニット台上試験機で行い、スリーブ操作力、発生トルク、クラッチディスクの回転数、スリーブの移動量を時系列で取得した。

これと同じ手法でコーンまわりが同諸元のワーナシンクロにおける波形データを図 17 に示す。

ダウンシフトにおける操作力について、レバーシンクロとワーナシンクロとの比較データを図 18 に表す。

マルチコーンを用いたレバーシンクロであっても、シングルコーンと同様に、レバー比に見合った性能向上が確認できた。

スロー操作における最低操作力の違いはCスプリングの張力がワーナシンクロのキーロック力より小さいためである。

高性能型の最大の特徴は、摩耗の少ない摩擦材との組み合わせでレバー比を大きくとって、高性能化できることである。

すなわち、摩擦材の耐摩耗性をシンクロ性能に転化できることになる。

無論、使用頻度の少ないポジションにあっては、通常材料でも十分な摩耗余裕があるため、レバー比を大きく設定して高性能化することが可能である。

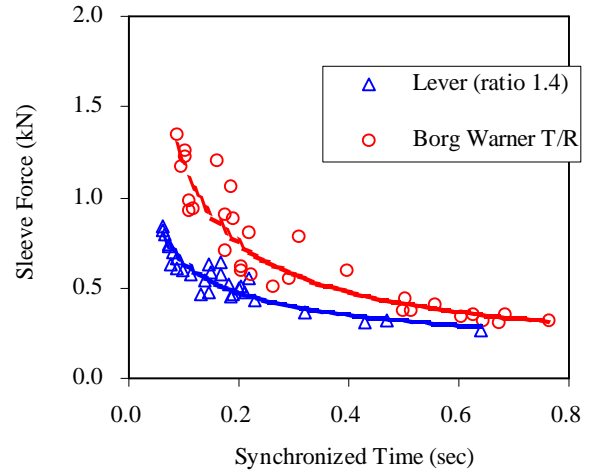


Fig 18 Comparison of Borg Warner Triple Cone and Lever Triple Cone (3rd 2nd Down shift)

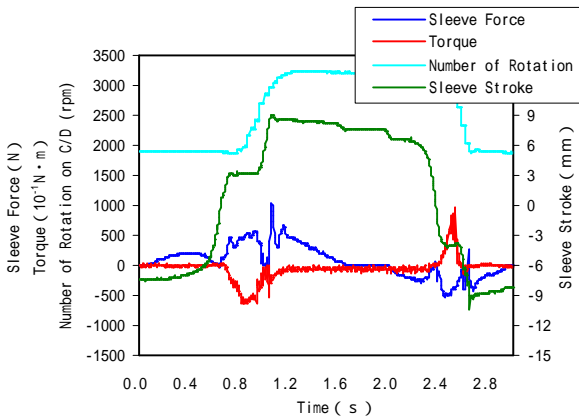


Fig.16 Unit Bench Result of Lever Synchronizer (Triple Cone)

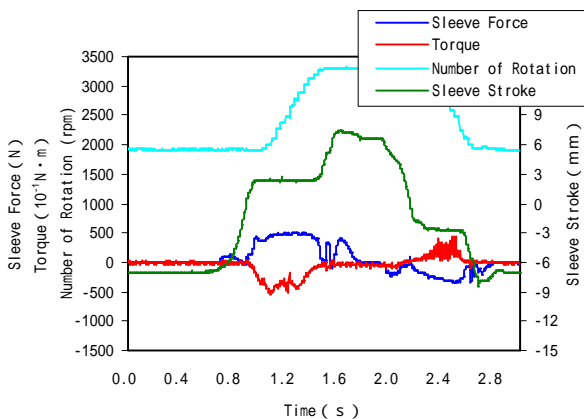


Fig.17 Unit Bench Result of Borg Warner Synchronizer (Triple Cone)

## 5.まとめ

従来とは異なる構造のレバーシンクロであるが、関係各位のご理解とご支援を得ながら実用化することができた。

現時点で実用化できているのは、既存の銅合金材との組み合わせであるが、レバーシンクロの特徴を生かすには摩耗の少ない新摩擦材との組み合わせの実現が課題である。

さらに、高性能型の所要スペース削減により、既存のワーナシンクロとの置換を進めることも課題といえる。

今後さらに解析を進めるとともに上記の課題を克服して発展をはかっていきたい。

## 謝辞

本開発および本原稿を執筆するにあたり、ご協力頂いた三菱ふそうトラック・バス株式会社 開発本部の皆様をはじめ、関係各社各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 森 工 ほか：アテンザの駆動系 マツダ技報 2002 NO.20 P.75～85
- (2) 小山 重 ほか：自動車用トランスミッション設計者の CAE 解析事例と今後の方向性、自動車技術会学術講演会前刷集、No.59-03、P13～16
- (3) 星野 裕昭：トランスミッションの同期メカニズム解析、日産ディーゼル技報、No.59、P.37～42
- (4) 佐藤 健一 ほか：レバー機構を有する新型シンクロの開発、自動車技術会論文集、Vol.34、No.1
- (5) Kenichi Satoh, et al.,: Development of A New Synchronizer with The Lever Mechanism