

高性能、特殊高力黄銅シンクロナイザリングの開発

Development of Special High-strength and High-quality Brass Synchronizer Ring

中 野 和 宏* 山 田 裕** 斉 藤 進**
Kazuhiro NAKANO Hiroshi YAMADA Susumu SAITO
松 原 敏 彦** 工 藤 智***
Toshihiko MATSUBARA Satoru KUDO

要 旨

マニュアルトランスミッション用シンクロナイザ装置の耐摩耗性および同期性能を向上させるために、シンクロナイザリング用特殊高力黄銅の材料組織が摩擦摩耗特性に与える影響について解析し、素地の強化と素地に分散された金属間化合物粒子の形状・分布の最適化を図り、且つ材料特性を活かすシンクロナイザリング摩擦面形状の変更を同時に行った特殊高力黄銅シンクロナイザリングを開発した。

開発内容としては、素地を α 相主体から β 单相とし強化を図り、金属間化合物粒子の析出形状をデンドライト状から塊状とし析出量を7%以下とした。またシンクロナイザリング摩擦面については、ネジピッチを0.4 mm、ネジトップ幅を0.08 mmに縮小し、同期性能を改善した。

その結果、本開発シンクロナイザリングは、従来品に対して耐摩耗性が3倍に、耐ギヤ鳴き性は10倍の改善が図れた。またシンクロ同期性能は10%の向上が得られた。

ABSTRACT

This paper reports on the extensive study conducted to improve the wear resistance and synchronizing performance of the synchronizer for the manual transmission and on the investigation to determine the effects of the material structure of high-strength brass on wear resistance and synchronizing performance of the synchronizer. Its substrate was analyzed, and the results became the basis of a reinforced matrix structure achieved as well as the shape and distribution of intermetallic compound grains optimized. With these treatments, coupled with a modified shape of the friction surface of the synchronizer ring, a new, special high-strength brass synchronizer ring was developed. It has a matrix made solely from the β phase as opposed to the α phase, the main but not the sole component of the conventional matrix. The new matrix thereby features an increased level of strength. It has also the intermetallic compound grains reshaped from the original dendritic-type to a mass-type configuration, lessening the precipitation-to-matrix ratio to less than 7%. On the friction surface, both the screw pitch and top width were reduced, to 0.4 mm and 0.08 mm, respectively, for improved synchronizing performance. The new synchronizer ring features three times greater wear resistance and ten times better synchro grind while improving the synchronizing performance by 10%.

1. ま え が き

エンジン的高出力、高回転化によりマニュアルトランスミッションのシンクロナイザ装置に対する負荷は、Fig. 1に示すように増加傾向にある。その反面、トランスミッションの共用・流用化、あるいは小型化の要求等により負荷対応手法であるシンクロナイザの大型化は望めない。

一方、耐摩耗性やシフト操作性に対する高性能化の市

場要求も年々高まっておりマニュアルトランスミッションの品質向上は重要課題となっている。

従来から耐摩耗性および同期性能の向上を目的としてシンクロナイザリング（以下、SNRと記す）摩擦面へのモリブデン溶射技術等が適用されているが¹⁾、新規設備投資や大幅な材料費増加が伴い、さらなる改良手法の研究が必要である。

この様な背景を受け、現有の量産設備と製造条件を極力

* Honda R&D North America, INC.

** 栃木研究所

*** 本田技研工業(株)

活用し、コストアップが最少で既存部品との完全互換が可能となることを基本条件とした特殊高力黄銅 SNR を開発し、シンクロナイザの各種性能向上を実現した。

2. 開発の狙い

SNR は、マニュアルトランスミッションのギヤ変速装置において、出力軸とこれと相対回転のある変速ギヤの回転を同期させるための部品である。この SNR は、Fig. 2 に示すように内面にネジ切り加工を施した円錐状の摩擦面を有し、ここで発生する摩擦力により同期作用を行うものである。この摩擦面には、Fig. 3 に示すように高い耐摩耗性と共に摺動相手材への攻撃性が少ないこと、摩擦熱を放熱し凝着を防止するための高い熱伝導率、スムーズな同期性能を発生させるための十分な摩擦係数値など、種々な特性を満足する必要がある。しかも低コストであることが必要であり、一般的に特殊高力黄銅が広く用いられている^{2) 3)}。

この摺動部材料としての特殊高力黄銅の特性は、その素地組織と素地に分散された金属間化合物粒子の種類と量に本質的に依存する⁴⁾。この基本性能を向上させるた

めに、素地形態および金属間化合物粒子の析出形状・分布状態が摩擦摩耗特性にどのように影響を与えるかを検討し、更に材料特性を活かす摩擦面形状についても合わせて検討を行った。

開発目標としては、車の高性能化による SNR の吸収エネルギー増加を考慮し耐摩耗性は 2 倍以上、同期性能 (動摩擦係数) は 1 ランク上の SNR サイズに相当する 8 % 以上に設定し開発を行った。

3. 材料設計

3.1. 検討材料

摺動部材料としての特殊高力黄銅の素地組織および金属間化合物粒子が摩擦摩耗特性に与える影響を明確にするために、従来材の各元素の添加量を変化させ、また合わせて製法の変更を行うことで摩擦摩耗特性向上の検討を行った。

3.1.1. 検討材料組成

Table 1 に各検討材の成分組成を示す。A 材は従来材に対して耐摩耗性向上およびマトリックスの強化を目的

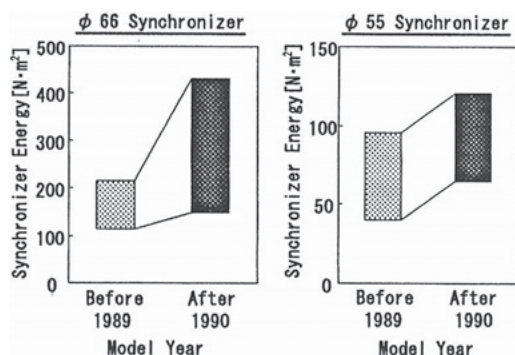


Fig. 1 Comparison of Synchronizer Load

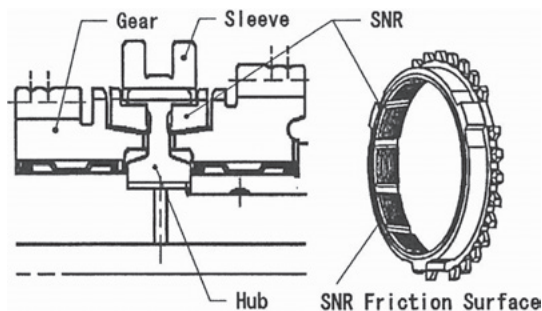


Fig. 2 Structure of Synchronizer

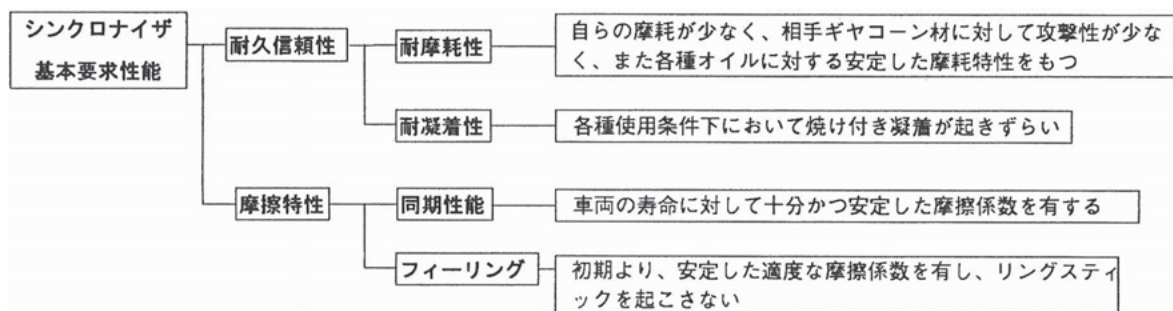


Fig. 3 Synchronizer Performance Requirements

Table 1 Properties of Materials Tested

	Symbol	Chemical Components (Wt%)							Hardness (HRB)	Matrix%		Precipitation(Intermetallic Compound)			
		Cu	Zn	Al	Si	Fe	Ni	Co		Zn. eq	α -phase	Kind	Shape	Size μ m	Area%
Try Material	A(○)	Bal.	30.0	4.0	0.8	0.7	2.8	1.5	94.9	48.7	25.5	Al-Co	Mass	11.5	8.9
	B(△)	↑	↑	↑	1.0	0.9	3.1	1.8	96.1	49.8	4.9	↑	↑	14.2	13.5
	C(▲)	↑	↑	↑	0.6	0.5	2.5	1.2	93.2	47.7	38.5	↑	↑	9.2	6.9
	D(□)	↑	31.5	4.3	↑	↑	↑	↑	96.6	50.9	0	↑	↑	12.5	10.1
	E(■)	↑	28.5	3.7	↑	↑	↑	↑	89.2	46.5	55.6	↑	↑	11.6	11.5
Honda Current Model Material		↑	27.0	2.9	0.8	0.7	3.0	0.6	84.8	42.7	82.6	Al-Ni	Needle	6.7	5.4

として各添加元素の増量を図ったものである。B、C材は硬質粒子析出量の影響を確認するためにSi(ケイ素)、Fe(鉄)、Ni(ニッケル)、Co(コバルト)をさらに変化させたもの、D、E材は素地中の α 相量の影響を確認するためにZn(亜鉛)、Al(アルミニウム)を変化させたものである。

3.1.2. 製造方法

従来のSNR用の熱間精密鍛造素材リングには、連続鍛造したパイプを切断・加工した物を用いていたが、特殊高力黄銅の材料特性に大きな影響を及ぼす金属間化合物粒子の形状・分布状態を、不均一で微細なデンドライト状から均一で粗大な塊状にコントロールするために、パイプの製法に熱間押し出し法を採用した。Fig. 4に熱間押し出し機の工程概略図を示す。

検討材についてはインゴットを750℃に加熱後、 $\phi 50$ の丸棒に押し出し、その後725℃に加熱しSNR現物に合わせた鍛錬成形比($L/L_0=0.3$)で $\phi 30$ の丸棒に実体鍛造し、空冷後、所定の試験片に加工し実験に供した。

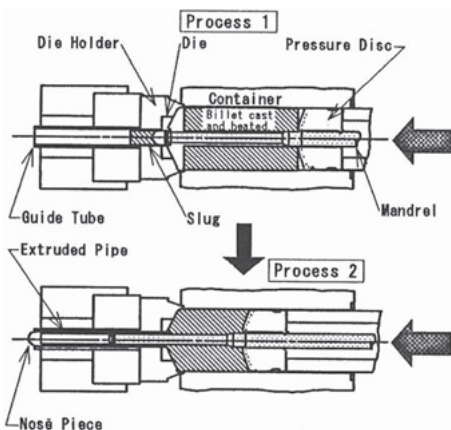


Fig. 4 Schematic Arrangement of Tooling for Extrusion

3.2. 試験方法

3.2.1. 材料調査

各検討材の材料組織が摩擦摩耗特性に与える影響を明確にするために、素地組織中の α 相量および金属間化合物析出量について定量化を行った。方法としては、検討材のマイクロ組織から画像解析装置を用いて面積率(%)にて評価を行った。

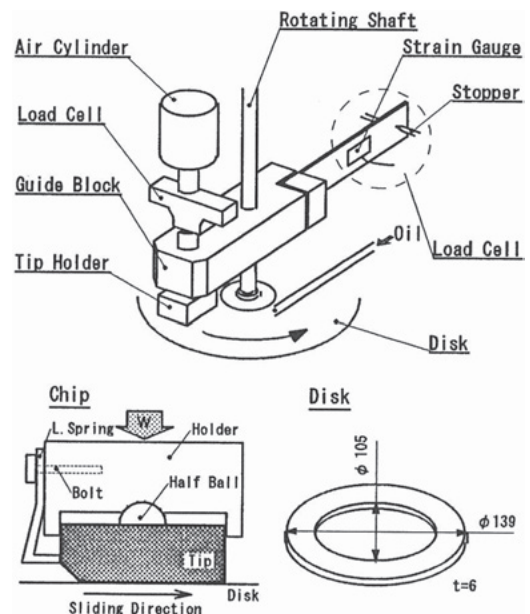


Fig. 5 Schematic of Tip On disk Type Friction Test Equipment

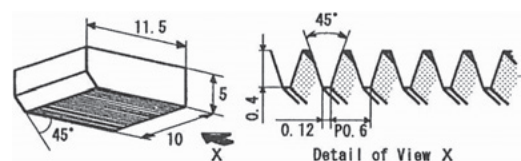


Fig. 6 Shape of Friction Face

3.2.2. 摩擦摩耗試験

各検討材の摩擦摩耗特性の単体評価試験は、Fig. 5に示すチップオンディスク摺動試験機(連続滑り)を用いて行った。チップ試片にSNR用検討材を、またディスクには相手材となるギヤ材(SCM420 浸炭焼き入れ)を用いた。チップ摺動面には部品に近い摺動状況にて評価を行うために、Fig. 6に示す従来のSNRと同様な摩擦面形状を施し評価した。

テスト条件としては、周速は実機SNR差回転の平均レベルとして2.5m/s、オイル供給量は境界潤滑状態を促すために2ml/minとした。また荷重については、摩擦特性・耐摩耗性評価試験は、実機ハードシフトレベルの面圧として25MPaとし、耐焼け付き性評価試験は200N/minの割合で徐々に負荷を上昇させ焼け付きが発生するまでの荷重で評価した。なお、単体試験での目標は実機耐久性との相関から、耐摩耗性については従来材に対し4倍以上に設定した。

3.3. 検討材試験結果

3.3.1. 検討材料特性

各検討材のミクロ組織は、添加元素の増量および熱間押し出し法の採用によって、狙い通り素地組織は α 相主体から β 相主体へ、また金属間化合物粒子は微細なデンドライト状から粗大な塊状となった。各検討材の材質調査結果を、素地組織についてFig. 7に、金属間化合物についてFig. 8に示す。

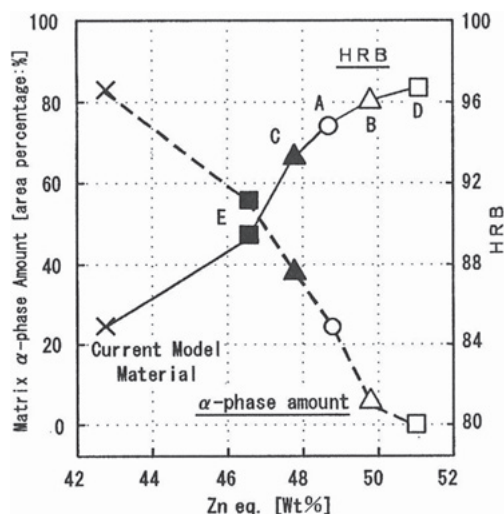


Fig. 7 Relationship between α -phase Amount, Hardness and Zn eq.

素地組織は、亜鉛当量の増加に伴い $\alpha + \beta$ 相から β 单相へと変化し、これに伴って硬度は向上する。ここで、亜鉛当量(Zn eq.)とは、普通黄銅(Cu-Zn)に添加した第三元素の添加量が、どれだけの量のZnと同じ影響を素地組織に与えるかを表す数値のことであり、次式によって表わされる。

$$\text{Zn eq} = \frac{Z_R + \sum e_i q_i}{C + Z_R + \sum e_i q_i} \times 100 (\%)$$

ここで、CはCu%、ZRはZn%、 e_i は各添加元素のZn当量(Al=6, Si=10, Fe=0.9, Ni=-1.3, Co=-1.2)、 q_i は各添加元素量%で、ある。

また金属間化合物は、各元素の添加量が与える影響を調査した結果、主にCoの添加量の増加に伴いその析出量は増加し、粒径も大きくなっていくことがわかった。

3.3.2. 摩擦摩耗特性に対する素地 α 相量の影響

Fig. 9に各検討材の(a)摩擦特性、(b)耐摩耗性、(c)耐焼け付き性と素地 α 相量との関係について示す。摩擦特性を向上させるためには、検討材の素地 α 相量を増加させ低硬度化を図り、真実接触面積を増加させることが有効である。一方、耐摩耗性および耐焼け付き性を向上させるためには、素地 α 相量を低減させマトリックスを強化することが効果的であり、これは摩擦特性向上の方向性とは相反する。

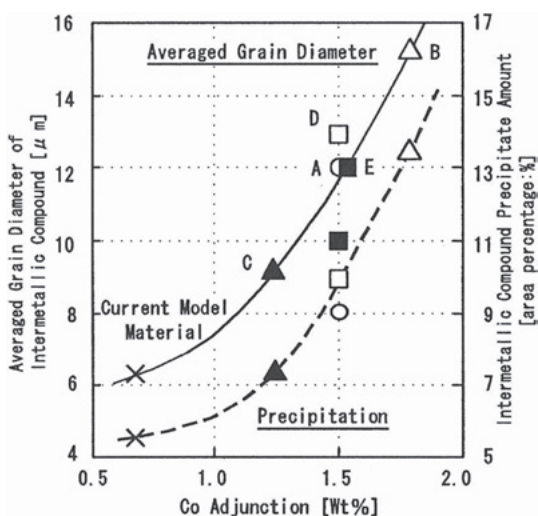


Fig. 8 Relationship between Averaged Grain Diameter, Precipitate Amount and Co Adjunction

3.3.3. 摩擦摩耗特性に対する金属間化合物析出量の影響

Fig. 10 に各検討材の (a) 摩擦特性、(b) 耐摩耗性、(c) 耐焼け付き性と金属間化合物析出量との関係について示す。摩擦特性を向上させるためには、検討材の金属間化合物析出量の低減が有効である。一方、耐摩耗性および耐焼け付き性を向上させるためには、検討材の金属間化合物析出量の増加が効果的であり、これも素地 α 相量の場合と同様に相反する方向性である。

3.4. 開発材成分組成の設定

3.4.1. 開発材の設定

3.3. で述べたように、素地 α 相量あるいは金属間化合物析出量を個々にコントロールして摩擦特性および耐摩

耗性を向上させる方向性は相反することから、各検討材について、素地 α 相量と金属間化合物析出量との相関が、摩擦摩耗特性に与える影響について検討を行った。Fig. 11 に結果を示す。従来材および各検討材 A~E の材料組織的な位置付けを、素地 α 相量と金属間化合物析出量に基づいてプロットし、そこに Fig. 9、10 で得られた試験結果をもとに従来材に対する摩擦特性および耐摩耗性の向上率を各々等高線状に示した。

本開発の目標を満足する材料組織としては、図中に斜線で示すとおり二つの選択が存在することがわかったが、材料費を考慮すると a ㉔ 適当であり、また機械加工性に対しても硬質粒子を低減する方向は刃具摩耗等に有利であることから、素地 α 相量は 15% 以下、金属間化合物析出量は 7% 以下を狙いとして設定した。

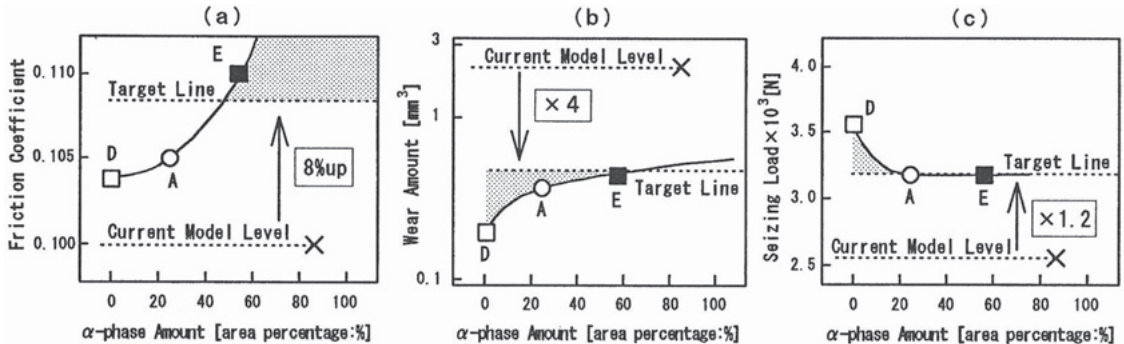


Fig. 9 Effect of Matrix α -phase Amount

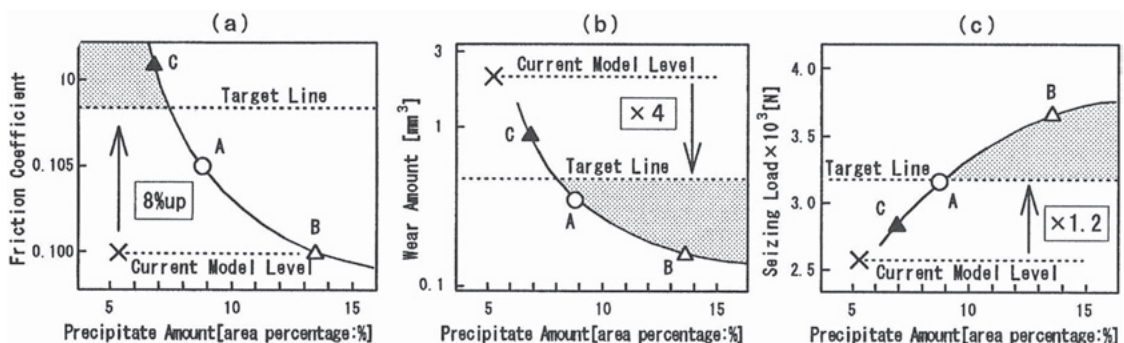


Fig. 10 Effect of Inter Metallic Compound Precipitate Amount

3.4.2. 開発材設定組成

素地 α 相量および金属間化合物析出量が摩擦摩耗特性に与える影響について検討を行った結果、Table 2 に示す開発材組成の設定を行った。

素地 α 相量を15%以下に管理するためにはFig. 7より亜鉛当量は49.5Wt%以上とする必要があり、Zn、Alにてコントロールを行った。また金属間化合物析出量を7%以下とするためにFig. 8よりCo添加量は1.2Wt%とした。Niについては α 相形成促進元素であることから若干の低減を行った。Fig. 12に本開発材と従来材のミクロ組織を示す。Zn、Al、Coの増量および熱間押し出し法の採用によって素地組織は β 単層に、また金属間化合物粒子は粗大な塊状となった。

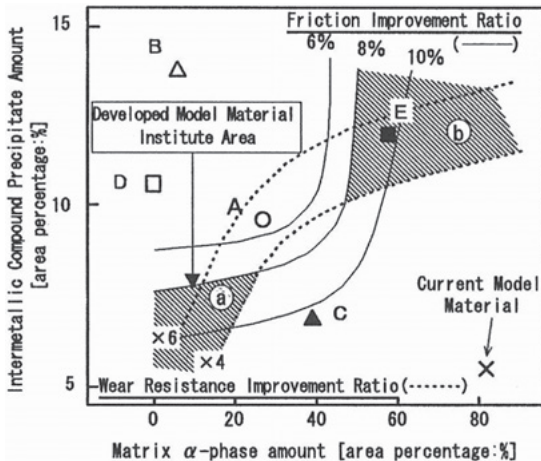
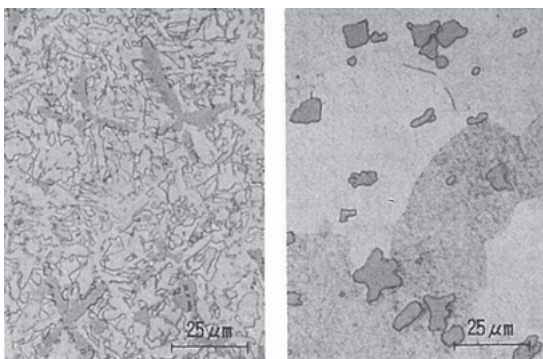


Fig. 11 Effect of Matrix α -phase Amount and Precipitation



Current Model Material Developed Model Material

Fig. 12 Comparison of Microstructures

Table 2 Material Property Comparison [Wt%]

Composition	Current Model	Developed Model
Cu	Bal.	Bal.
Zn	27.0 (26.0-27.0)	31.0 (30.0-32.0)
Al	2.9 (2.8-3.1)	3.9 (3.8-4.1)
Si	0.8 (0.7-0.9)	0.8 (0.7-0.9)
Fe	0.7 (0.6-0.8)	0.7 (0.6-0.8)
Co	0.6 (0.5-0.7)	1.2 (1.0-1.3)
Ni	3.0 (2.8-3.2)	2.5 (2.3-2.7)
Zn eq.	42.7	49.6
Hardness	HRB 82-87	HRB 94-97
α -phase percentage	75-90%	0-15%
Precipitation	4-6%	5-7%

3.5. 開発材の加工性および機械的性質

3.5.1. 熱間鍛造性

開発材は、材料変更および鍛造素材リングの製法変更を行っていることから熱間鍛造条件の最適化を図るために熱間落錘試験を行った。評価は加熱温度を変化させた時の据込成形性試験にて行った。テスト条件は現物の鍛錬成形比並みの据込比率0.3となるよう、試験片寸法は押し出し材 $\phi 14 \times 20L$ 、負荷エネルギーは500N $\cdot$ mとした。Fig. 13にテスト結果を示す。開発材は β 単層としたために従来材と比べ熱間加工性は向上しており、従来材と同等の熱鍛性とするための加熱温度は、800℃から725℃に低減し、省エネルギーの観点からも好ましいものとなった。

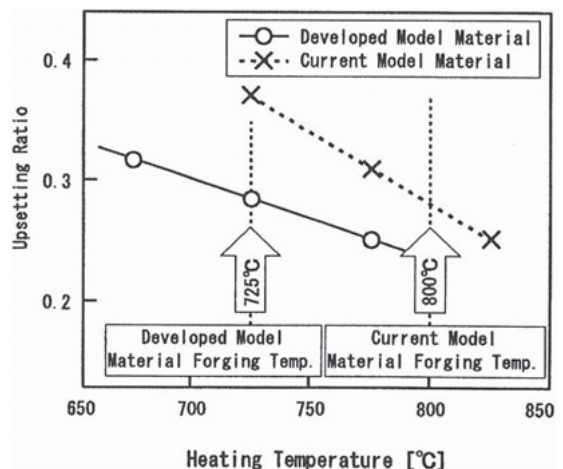


Fig. 13 Hot Upsetting Test Results

Table 3 Wear Resistance Test Condition

Transmission	2000cc FWD transmission
Synchronizer Size	φ 66
Shift Mode	3 rd → 2 nd
Differential	1200 rpm
Shift Load	100 N
Shift Cycle	30000 Shifts
Oil Temp. (Genuine Oil)	75 ± 5 °C

3.5.2. SNR 円環剛性

SNR の多様な要求性能の一つに、同期終了後に相手コーン面への張付きのないことがある。この事象要因の一つとして SNR の円環剛性があり、開発材についても確認を行うために、SNR 実体にて圧壊試験を実施し、その際の押込みストロークに対する押付け荷重の増加量にて評価を行った。Fig. 14 に、テスト方法と押付け荷重～変位量線図の例を示す。押込み速度は 1mm/min とした。Fig. 15 に、開発材と従来材の比較結果を示す。円環剛性を示す $\tan \alpha$ 値にて 8 % の向上が認められた。

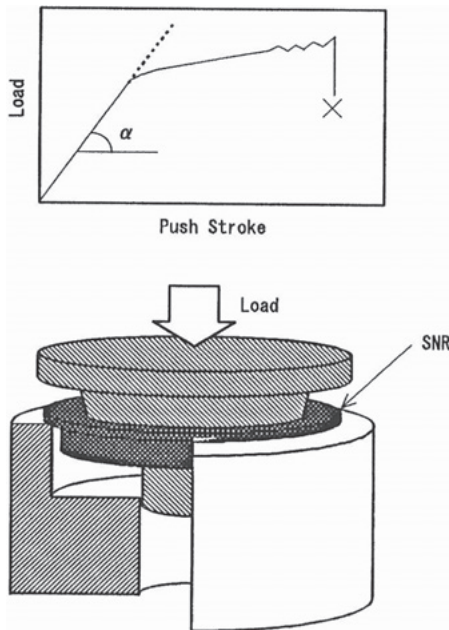


Fig. 14 Schematic of SNR Expanding Test

4. 実機による試験結果

前記にて設定した開発材にて、量産同一加工設備を用いて SNR 実体を作成し、トランスミッション実機試験装置に組み耐摩耗性、耐ギヤ鳴き性、耐リングスティック性、同期性能についてのシンクロナイザ性能試験を行った。

4.1. 各種オイルによる耐摩耗性

通常黄銅合金は、潤滑油中の S(硫黄)、P(リン)系極圧添加材によりマトリックス中の特に軟らかい α 相が腐蝕し、SNR の摩耗が促進されシンクロナイザの寿命が低下することが知られている⁴⁾。しかしながら本開発材においては、マトリックスを β 単相としたことで耐腐蝕摩耗性が向上し、さらに金属間化合物粒子をデンドライト状から塊状としたことで素地からの化合物粒子脱落防止効果が働き、SNR の耐摩耗性は大幅に向上した。

Table 3 に示す耐久条件における耐久試験結果を Fig. 16 に示す。SNR 背面クリアランス変化量を比較すると純正油にて 1/3、異種油においては 1/4 と大幅に耐摩耗性が向上したことがわかる。また耐久試験終了時における相手ギヤコーンへの攻撃性および凝着の度合は従来品と同等であった。

4.2. 耐ギヤ鳴き性の向上

シンクロナイザ装置の耐久信頼性の確保には、いかなる使用条件下においてもギヤ鳴きせず、これが車両の寿命に対して十分維持されることが必要である。

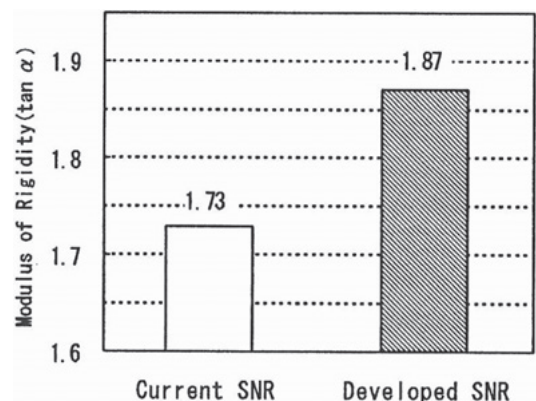


Fig. 15 Comparison of SNR Rigidity

ギヤ鳴きとは、相対回転のあるギヤの回転が同期できずにスリーブとギヤのチャンファ部が衝突し異音を発生する現象である。一般的にこの現象は、SNR 摩擦面（ネジ、ランド部）の摩耗状態により、ギヤ摩擦面での摩擦力が低下することにより発生する。特に摩耗の中でも Fig. 17 に示すようにネジ、ランド部の偏摩耗（凸摩耗）により十分背面クリアランスがあるにもかかわらずギヤテーパー部との接触不均一により、摩擦力が著しく低下し同期不良を引き起こす場合がある。この様なネジ、ランド部の偏摩耗の主要因としては、シフト操作を行うためにスリーブの円周 180° 方向を二点で押す、シフトフォークの二点間での荷重差によるものが大きい。この事により、SNR が斜め押し状態となりランド部の局所面圧が高くなり、偏摩耗が進行する。

この現象に対して、Table 4 に示すギヤ鳴き再現モードにて、従来品と開発品の比較を行った。Fig. 18 に示すように偏摩耗を示す SNR ロッキング量は、開発品は従来品の 1/3 に低下し、耐久回数としては 10 倍となりギヤ鳴き性の大幅な改善が可能となった。

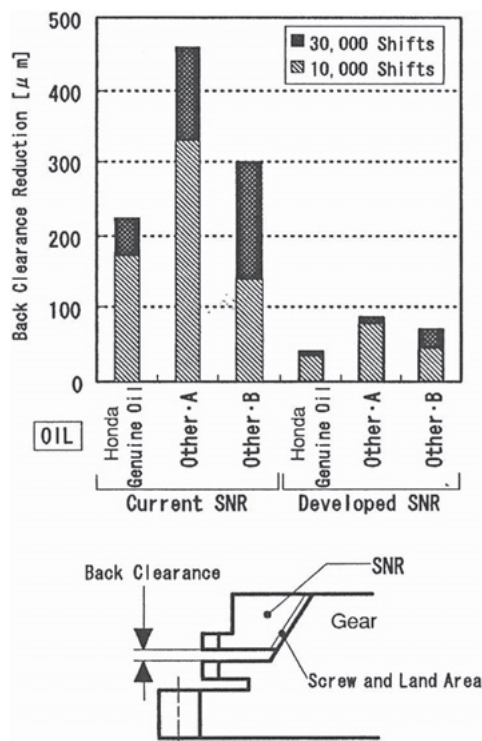


Fig. 16 Variation in Wear Resistance due to Transmission Fluid

Table 4 Synchro Grind Recurrence Test Condition

Transmission	2500cc FWD transmission
Synchronizer Size	φ 55
Shift Mode	2 nd → 5 th
Differential	3000 rpm
Shift Load	50 N
Shift Cycle	20000 Cycle
Oil Temp. (Genuine Oil)	75 ± 5 °C

この結果から、ネジ、ランド部の偏摩耗に対し、開発品はシフトフォーク荷重差の影響を受けづらくなったといえる。

4.3. 初期耐リングスティック性の向上

初期品質の中で SNR がギヤテーパー部に張付き、これを剥がす際にシフトフィーリング（引掛掛かり等）が悪化する場合がある。

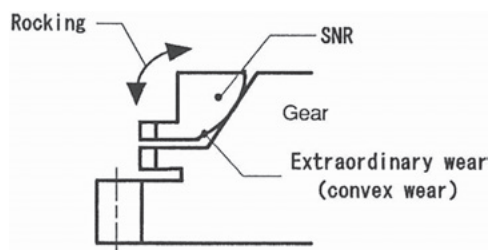


Fig. 17 SNR Extraordinary Wear

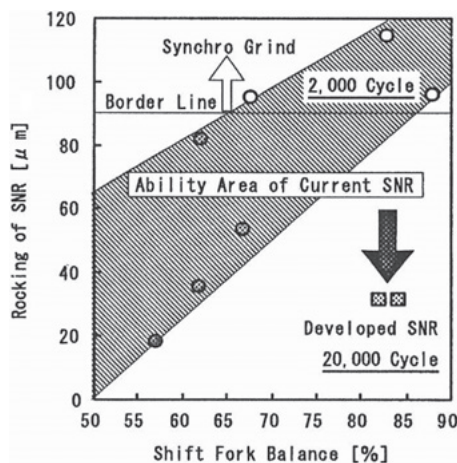


Fig. 18 Comparison of Synchro Grind

これは、ギヤテーパ部の初期面粗度の影響を受け円錐摩擦部に SNR がくさび状に張付くことにより発生する（リングスティック現象）。本開発品は材料素地の強化、円環剛性向上によりギヤテーパ部の面粗度の影響を受けづらくなり、初期より安定したシフトフィーリングを得ることが可能となった。

ギヤテーパ部にて張付いた SNR を解除するために必要なトルクの測定結果を Fig. 19 に示す。開発品は従来品に対し、張付き解除トルクが低減しシフトフィーリングが改善された。

4.4. 同期性能

シンクロナイザにおいて同期性能は重要な要素である。すなわち、より軽く安定したシフト操作性を車両の寿命に対して十分保証するために、動摩擦係数はできるだけ高く、経時変化の少ないことが要求される。これに対し従来から摩擦係数を安定、向上させるためにオイルフィルムをカットし、より境界潤滑状態とさせる手法として SNR 摩擦面にネジ溝等の加工が施されている。しかしながらこれらの加工は、SNR の耐摩耗性を悪化させる傾向があることから、ネジの細かさ等の形状変更については限界があった。しかし大幅に耐摩耗性が向上した本開発材を用いることにより高く安定した摩擦係数の確保

が可能となり、SNR 摩擦面の設計自由度が広がった。仕様としては、ネジピッチを 0.6 から 0.4mm、ネジトップ幅を 0.12 から 0.08mm と設定し、極力面圧増加も抑えた形状とした。Fig. 20 に外観を示す。

動摩擦係数と耐久回数関係を Fig. 21 に示す。この結果より従来品に対して摩擦係数の劣化が少なく、また安定時摩擦係数の高いことがわかる。シフト操作性は、評価項目の中で最も重要なシフト操作力とシンクロナイザ周期時間の関係にて評価した。測定結果を Fig. 22 に示す。同一の同期時間を得るのに必要とするシフト操作力を比較すると、従来品に対して開発品は約 10% 低減され、シフト操作性の向上が図れた。

5. まとめ

マニュアルトランスミッション用シンクロナイザ装置の耐摩耗性および同期性能を向上させるために、シンクロナイザリング用特殊高力黄銅を開発し、更に材料特性を生かした SNR 摩擦面形状の最適化も合わせて検討を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) SNR 用特殊高力黄銅の材料組織が摩擦摩耗特性に与える影響について解明し、素地の強化および素地に分散された金属間化合物粒子の形状・分布の最適化

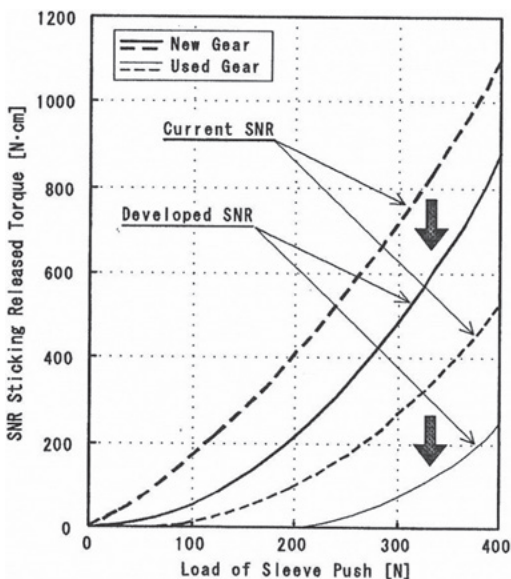


Fig. 19 Comparison of SNR Sticking Released Torque

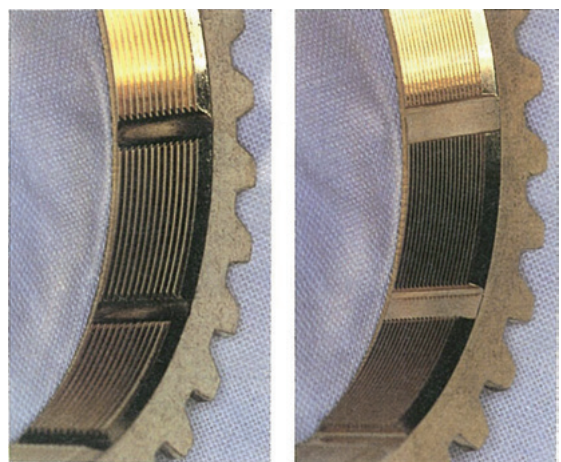


Fig. 20 Comparison of SNR Friction Surface

を図るために、開発材の組成としては、亜鉛当量を49.5Wt%以上とするためZn=31Wt%、Al=3.9Wt%とし、金属間化合物析出量を7%以下とするためにCo=1.2Wt%とした。またSNR用熱間鍛造素材リングの製法に熱間押し法を採用することにより摩擦摩耗特性の向上が図られた。

(2) SNRに本開発材を用いることにより、更に摩擦摩耗特性を向上させるSNR摩擦面形状の設定自由度が向上し、ネジピッチ(0.6→0.4mm)、ネジトップ幅(0.12→0.08mm)の縮小が可能となった。

(3) その結果シンクロナイザ性能としては耐摩耗性3倍、耐ギヤ鳴き性10倍、また同期性能の10%アップが図られた。

本開発品は、1994年度以降の全マニュアルトランスミッション車に量産適用されている。

謝 辞

本開発にあたり材料開発面で中越合金鑄工(株)、加工および生産技術面で田中精密工業側に多大な御協力をいただいたことを感謝いたします。

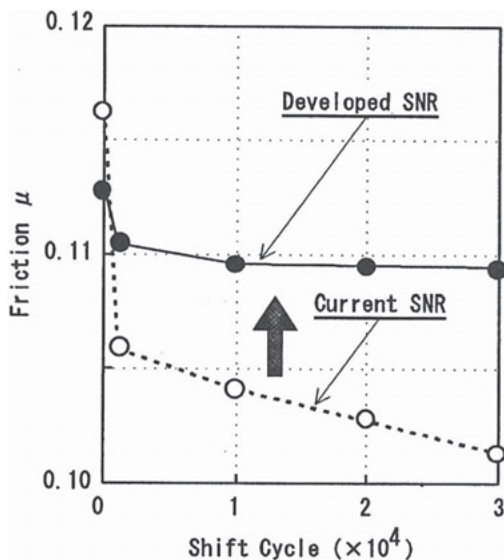


Fig. 21 Relationship between Friction and Shift Cycle

参考文献

- 1) 下田、加藤、小山ら、Al-Si-MO 溶射シンクロナイザリングの開発、日本溶射協会第52回論文集(1990)
- 2) 不破、駆動系のトライボロジの動向と展望、トライボロジスト第36巻、第11号(1991)
- 3) 渡辺、大橋、大塚、シンクロナイザリングとギヤコーン部の摩擦摩耗、トライボロジスト第35巻、第4号(1990)
- 4) 阿久津、耐摩耗性銅合金、トライボロジスト第37巻、第2号(1992)
- 5) 村田、野口、ダブルコーンシンクロ機構の開発、日産技報第24号(1988)
- 6) 榎本、薄膜トライボロジ、東京大学出版会(1994)

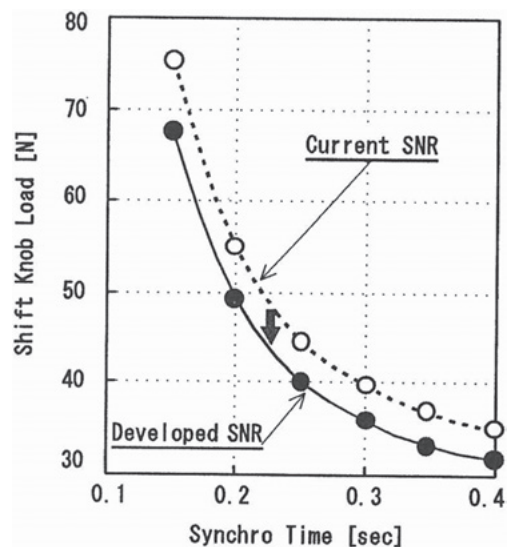


Fig. 22 Relationship between Shift Knob Load and Synchro Time

■著 者■



中 野 和 宏



山 田 裕



斉 藤 進



松 原 敏 彦



工 藤 智