

補機駆動用無段変速機の開発

安原伸二 魚田雅史 蓮田康彦 新井大和

Development of Continuously Variable Accessory Drive System

S. YASUHARA M. UOTA Y. HASUDA H. ARAI

There has been an increasing demand of efficiency on accessory drive systems due to adoption of new accessories and electric components in passenger cars. Many types of variable speed accessory drive systems have been researched and developed, but none of them has been adopted in commercial cars¹⁾²⁾. CVAD (continuously variable accessory drive system.) which can be applied for a compact v-ribbed belt drive system has been developed³⁾⁴⁾. The performance of CVAD has evaluated and the concept of centrifugal CVAD that is lower cost than this CVAD has been discussed⁴⁾. The results are as follows: (1) high performance material of drive ring was obtained, (2) a high torque transmission efficiency of over 85% was obtained, (3) the supercharger could be operated without any problem by CVAD.

- | | |
|------------------|----------------|
| 1. はじめに | 5. 評価結果 |
| 2. CVADの機構 | 5.1 ドライビング試験結果 |
| 2.1 CVADの構成と変速方法 | 5.2 バリエータ試験結果 |
| 2.2 変速パターン | 5.3 CVAD試験結果 |
| 3. CVADの仕様 | 6. CVADの簡略化の検討 |
| 4. 試験機の構成 | 7. おわりに |

1. はじめに

現在、自動車業界においては環境問題のたかまりから、燃費向上、省エネ化が積極的に進められている。この燃費向上の手段として、アイドリング回転数の低減がなされている。アイドリング回転数を大きく低減させると、クランクシャフトプーリを駆動源とする自動車用補機の出力が低下し、補機機能を満足できない。この対策としては、エンジン回転数に対する補機回転数の比（プーリ比）を大きくすることが考えられるが、この場合、エンジン高回転時の補機効率の低下や、寿命の低下などの問題が発生する。一方、パワーステアリングの採用拡大、電装部品の増大によるオルタネータの容量アップ等、補機駆動に必要な動力が増大している。

これら問題を解決する方法としては、補機回転数をエンジン回転数から独立させることが考えられるが、そのためには、補機回転数とエンジン回転数の比を自在に変えることのできる補機変速システムが必要となる。このような補機変速シ

ステムは種々提案されており、また変速した場合の燃費低減効果についての計算も行われている¹⁾²⁾。この補機用変速機として、我々は動力伝達機構が簡易で、今後補機駆動方式の主流となるVリブドベルト駆動方式に適用できる補機駆動用無段変速機（CVAD：Continuously Variable Accessory Drive System、以下CVADと称す）を開発した⁴⁾⁵⁾。この変速システムを用いれば、エンジンの高回転域での補機効率の低下を回避でき燃費向上が期待できる。

本報では、補機単体にCVADを適用することを想定して開発したCVADの構成、性能について述べる。

2. CVADの機構

2.1 CVADの構成と変速方法

開発したCVADの構成を図1に、バリエータの構造を図2に示す。

CVADはバリエータ、油圧ユニットを駆動源としたテンショナ、およびコントローラから構成される。ここで、バリエータはドライビング、シ

ープ、ダイヤフラムばね、およびシャフトで構成され、左右のシーブで挟まれたドライブリングの移動（偏心）により、変速を行う変速プーリである。

バリエータは補機入力軸に取り付けられ、バリエータの駆動はクランクシャフトプーリからVリブドベルトを介して行われる。ベルトから補機への動力伝達は、ベルトから樹脂製のドライブリングへ、ドライブリングからシーブへ、シーブからダイヤフラムばねを通してシャフトへ、そしてシャフトから補機へと行われる。

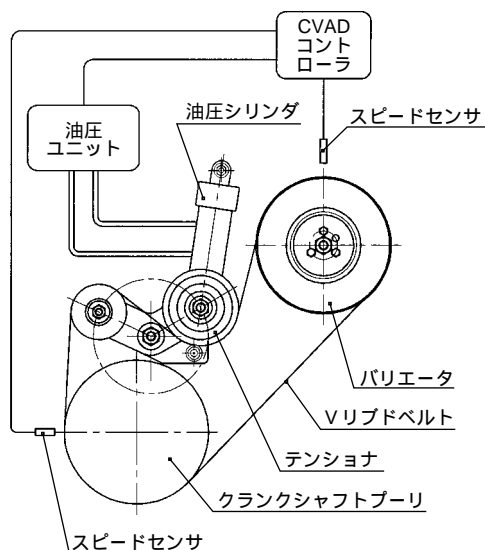


図1 CVADの構成
Construction of CVAD

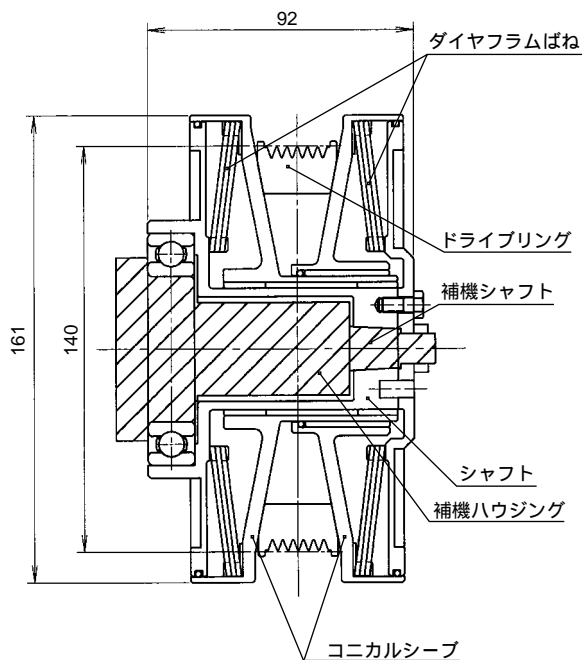


図2 バリエータの構造
Structure of variator

ここで、ドライブリングからシーブへの動力伝達は乾式ですべりを含むころがり接触により行われる。また、トルク負荷時にドライブリングがスリップしないように、十分なばね力でドライブリングはクランプされている。

変速は油圧ユニットと油圧シリンダによりテンションプーリを移動させ、ベルトでドライブリングを引っ張り、偏心させて行われる。また、ドライブリングが同心に戻る力もばね力により与えられる。このため、ダイヤフラムばねはシーブからシャフトへの動力伝達とドライブリングのクランプとドライブリングを同心位置に戻す機能を併せ持っている。

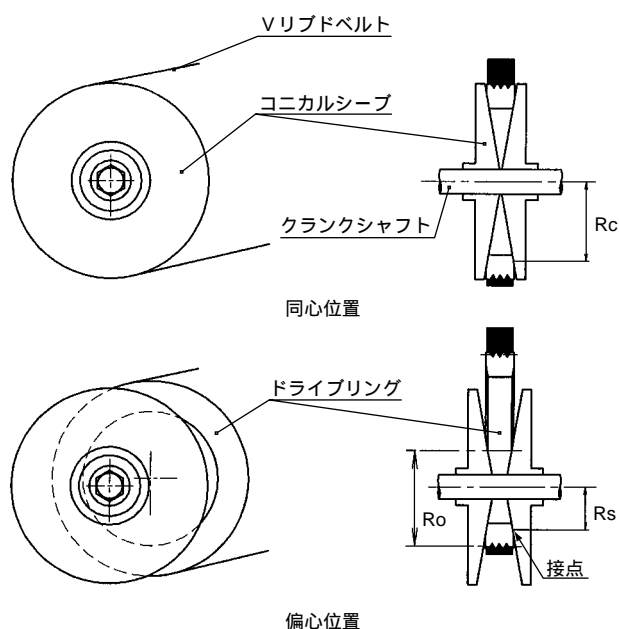


図3 ドライブリングの位置⁵⁾
Drive ring position of variator

図3はバリエータのドライブリングの位置が同心位置にある場合と偏心位置にある場合を示している。ドライブリングが偏心位置にあるとき、バリエータの有効径 Re は次の式で表わされる。

$$Re = Ro \times Rs / Rc \quad (1)$$

- Ro : ドライブリングのベルトピッチ半径
- Rs : シーブ接触半径(バリエータ中心からドライブリングとシーブの接触点までの距離)
- Rc : 同心位置でのシーブ接触半径

また、増速比 N は次式により表される。

$$N = Rc / Rs \quad (2)$$

式(1)からわかるように、バリエータ有効半径 R_e は接触半径 R_s の減少とともに減少し、増速比 N は増大する。増速比を決定するテンションプリー位置はスピードセンサで検出されたバリエータ (補機) およびクランクシャフトプリーの回転数をもとに、コントローラで制御する。

2.2 変速パターン

CVADの標準補機変速パターンを図4に示す。CVADはエンジン低回転域においては補機回転数を増速し補機出力を増大させ、変速領域においては、補機効率の良い目標回転数から一定の回転数範囲で補機回転数を制御する制御パターンとなる。

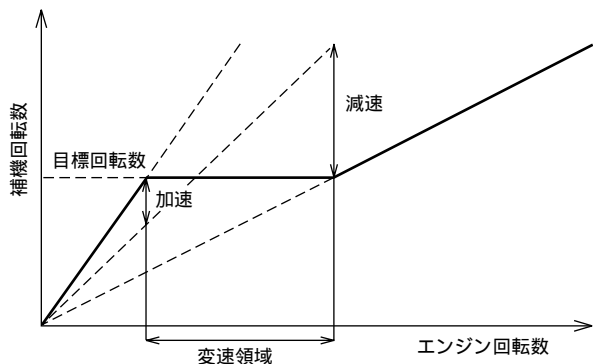


図4 変速パターン⁵⁾
Operating pattern

3. CVADの仕様

開発したCVADの仕様を表1に示す。今回、遠心式スーパーチャージャを変速対象の補機とした。

表1 CVADの仕様
CVAD specifications

No	評価項目	仕様
1	最大増速比	1.6
2	最高回転数	7 500min ⁻¹
3	許容トルク	40N・m
4	変速時間	目標0.5 s
5	目標効率 (増速比1~1.6)	出力トルク 8 N・m : 70%以上 出力トルク 20 N・m : 85%以上 バリエータ単体での効率
6	ゆるみ側張力増加量	目標300N以下 (出力トルク 8 ~ 35N・m)
7	耐久性	2 000h以上

4. 試験機の構成

試験はドライブリング単体、バリエータおよびCVADに対して行った。バリエータおよびCVADの評価に使用したCVAD試験機の構成を図5に、そのレイアウトを図6に示す。

ここで、バリエータのトルク負荷は図中に示す遠心式スーパーチャージャのみでなく油圧ポンプでも与えた。

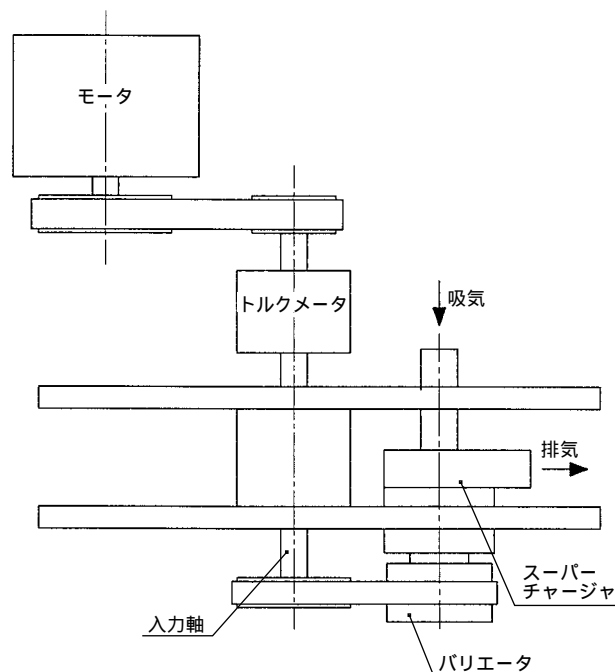


図5 試験機の構成
Structure of tester

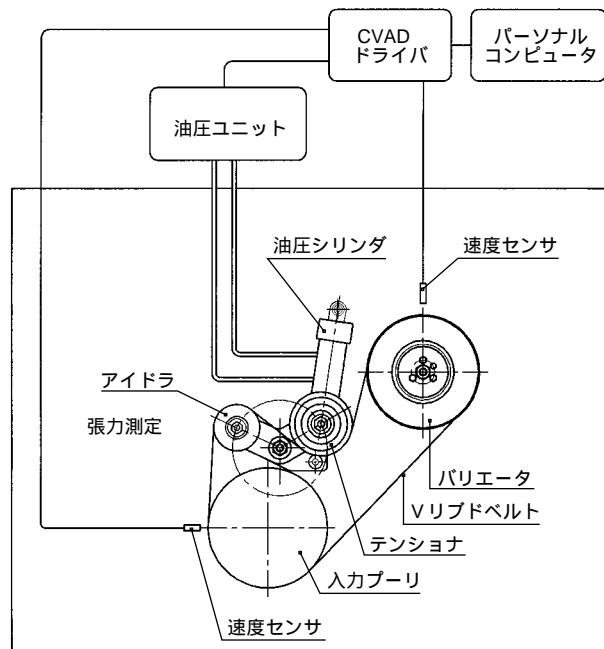


図6 CVAD試験機レイアウト
CVAD tester layout

5. 評価結果

各仕様に対する試験項目と結果を表2に示す。

5.1 ドライブリング試験結果

CVADでは樹脂製ドライブリングの信頼性の確保が最も大きなポイントである。今回、ドライブリング材料として開発した樹脂材は、安定した摩擦係数を持ち、通常雰囲気下における耐摩耗性能は $0.087 \mu\text{m/h}$ と低く、耐薬品性試験および環境試験においても問題のないことが確認された。また、CVAD試験機を用いた耐久試験において、300h以上の耐久性をもつことが確認された。

5.2 バリエータ試験結果

効率はベルト損失、スピンドルの軸受損失を含んだ状態で測定した。図7に効率測定結果を示す。また、ここで測定した効率は変速比は一定の状態では負荷トルクを変化させた場合の効率であり、変速比が変動している状態の効率ではない。

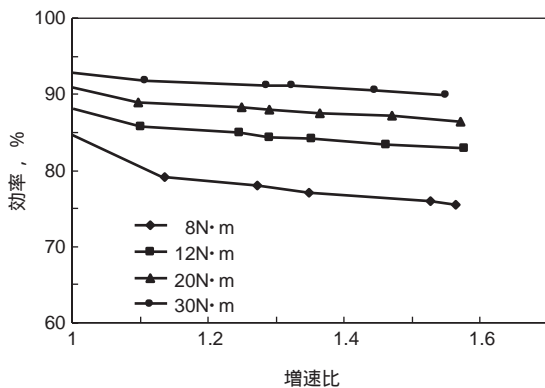


図7 効率測定結果
Efficiency

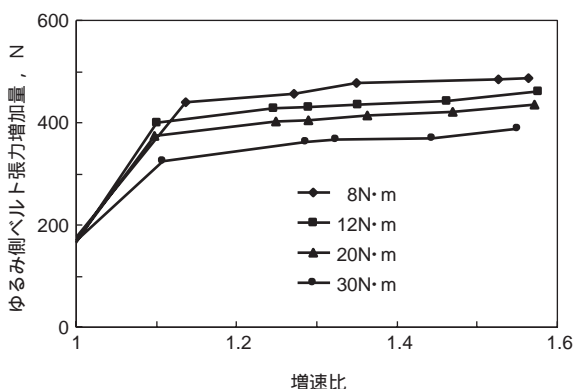


図8 ゆるみ側ベルト張力
Slack side belt tension

測定された効率は負荷トルクが減少するに従って低下しているが、負荷トルク $8 \text{ N}\cdot\text{m}$ で75%であり、目標とした効率70%を超えた。また、負荷トルク $20 \text{ N}\cdot\text{m}$ 以上でも効率は86.5%以上あり、目標効率を満足した。

図8にゆるみ側ベルト張力増加量の測定結果を示す。

ベルト張力増加量は最大390Nであり、増加量としては仕様を超える値となった。この原因としては、ドライブリングとシープ間のスリップ防止のため、ダイヤフラムばねの変位荷重特性を大きく設定していることがあげられる。このベルト張力増加量を減少させるためには、ダイヤフラムばねの変位に対する荷重の特性を変更し変位荷重特性を最適化するか、あるいはトルクカム設置によるダイヤフラムばねの変位荷重特性を減少させることが必要である。

5.3 CVAD試験結果

CVADで重要な仕様は変速時間と耐久性である。変速時間は入力回転数一定で変速比を1～1.6に増・減速させて測定した。また、試験は手動変速と自動制御変速の場合について行った。その結果、目標仕様が0.5sに対し、自動変速の場合、変速時間は最大1.5s、手動変速の場合は0.7sであった。これは、油圧ユニットの出力に対しベルト張力が高いため変速に時間を要したためと考えられる。

CVADの耐久性については、目標仕様は2 000hに対し、今回は200hで試験を行った。200h後の試験結果では効率、ベルト張力にほとんど変化なく、初期損傷がないことが確認できた。今後、CVADの耐久性を確認する。

以上の結果より、開発したCVADは大きな問題なくスーパーチャージャを駆動できることが確認できた。

6. CVADの簡略化の検討

今回の試験結果より、CVADが補機単体用変速機として十分使用可能な機能を有していることが確認できた。しかし、CVADの自動車への採用を考えた場合、コストの問題が避けられない。

このため、外部制御の不要な自律制御式CVADを検討した⁴⁾。

それぞれ、図9、図10、表3に仕様を示す。

表2 CVADの試験結果
CVAD test results

No	評価項目	仕様	試験方法	試験条件	評価結果
1	最大増速比	1.6	バリエータ性能試験 負荷：スーパーチャージャ	回転数：Max 7 500min ⁻¹ 負荷トルク：Max 26N・m 増速比：1～1.6	増速比1.6
2	最高回転数	7 500min ⁻¹	バリエータ性能試験 負荷：スーパーチャージャ	回転数：Max 7 500min ⁻¹ 負荷トルク：Max 26N・m 増速比：1～1.6	7 500min ⁻¹
3	許容トルク	40N・m	バリエータ性能試験 負荷：油圧ポンプ	回転数：1 000min ⁻¹ 負荷トルク：40N・m 増速比：1および1.2	40N・m以上
4	変速時間	目標0.5s	CVAD性能試験 負荷：スーパーチャージャ	手動，増速比1 1.6	1.6 1：1 1.6
				回転数：3 000min ⁻¹ 負荷トルク：Max 5N・m	0.70 (s)：0.66 (s)
				回転数：7 500min ⁻¹ 負荷トルク：Max 15N・m	0.60 (s)：0.47 (s)
				回転数：7 500min ⁻¹ 負荷トルク：Max 26N・m	0.62 (s)：0.51 (s)
				制御，増速比1 1.6 回転数：4 000min ⁻¹ 負荷トルク：Max 6N・m	1.6 1：1 1.6 1.50 (s)：1.18 (s)
5	目標効率	出力トルク8N・m ：70%以上 出力トルク20N・m ：85%以上 増速比：1～1.6 バリエータ単体効率	CVAD性能試験 負荷：油圧ポンプ	回転数： 400，1 000min ⁻¹ 負荷トルク：8，20，30N・m 増速比：1.6	負荷トルク 8N・m ：75.0% 負荷トルク20N・m ：86.5% 負荷トルク30N・m ：89.8%
6	ゆるみ側 張力増加量	目標300N以下 出力トルク： 8～35N・m	CVAD性能試験 負荷：スーパーチャージャ	回転数： 5 000，7 500min ⁻¹ 負荷トルク：15～26N・m 増速比：1.6	負荷トルク15N・m：390N 負荷トルク21N・m：364N 負荷トルク26N・m：386N
7	耐久性	2 000h	CVAD性能試験 負荷：スーパーチャージャ	回転数：Max 4 000min ⁻¹ 負荷トルク：15～26N・m 増速比：1～1.6 試験時間：200h	200h問題なく稼動
8	ドライブリング 材料	樹脂材	耐薬品性試験	E/G油，P/S油， B/K油，LLC(TP)， 塩化カルシウム	強度低下なし
			ヒートショック試験	- 30～120	クラック等なし
			ヒートサイクル試験	- 30～120	許容範囲内
			クリープ変形試験	- 30～120	許容範囲内
			変速負荷耐久試験 負荷：油圧ポンプ	回転数：Max 4 000min ⁻¹ 負荷トルク：20～28N・m 増速比：1.05～1.43 試験時間：300h	摩耗率 0.087 μm/h
			泥水試験	回転数：Max 3 800min ⁻¹ ベルト張力：500N 増速比：1～1.5 泥水・乾燥各12h 試験サイクル数：12	摩耗率 1.25 μm/h

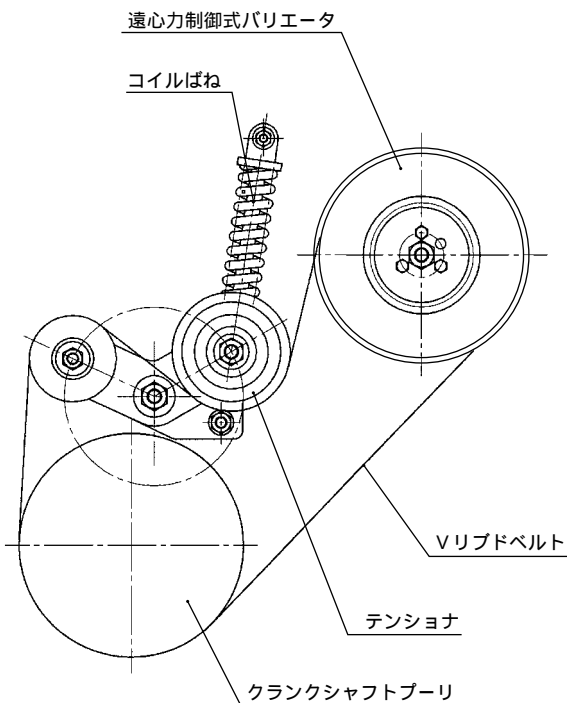


図9 遠心力制御式CVADの構成
Centrifugal CVAD system

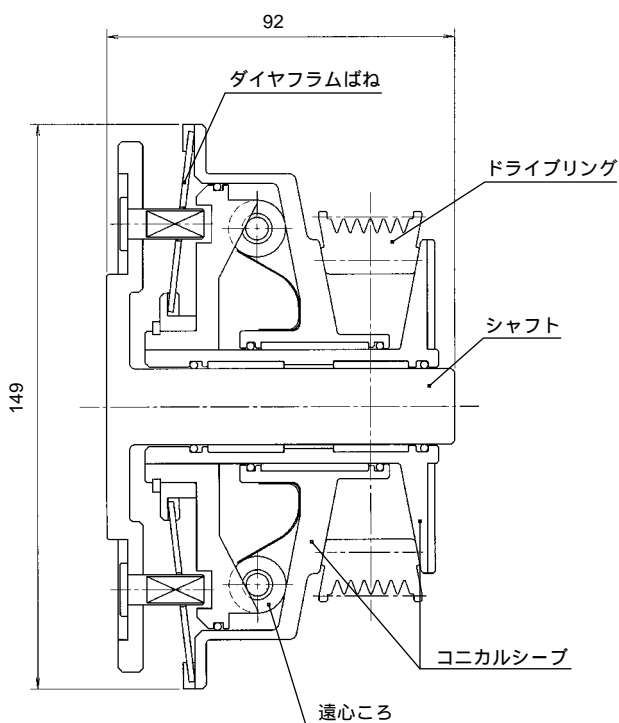


図10 遠心力制御式バリエータの構造
Centrifugal variator

表3 バリエータの仕様
Variator specifications

No	評価項目	仕様
1	最大増速比	1.4
2	最高回転数	10 400min ⁻¹
3	許容トルク	30N・m
4	ドライブリング寸法	ベルトピッチ径100mm
5	目標効率 (増速比1~1.6)	出力トルク 8N・m : 70%以上 出力トルク 20N・m : 85%以上 バリエータ単体での効率
6	ゆるみ側張力増加量	目標300N以下 (出力トルク 8 ~ 35N・m)
7	耐久性	2 000h

遠心力制御式CVADはバリエータ内に設置された遠心ころの遠心力をドライブリングのクランプ力に利用して変速を行うものである。従来のCVADはテンショナにより変速比を制御しているが、遠心力制御式CVADはバリエータの回転数によりドライブリングのクランプ力が変化し、テンショナばね力との釣り合いによりドライブリングの偏心位置、すなわち変速比が決定される。このため、変速比はバリエータ回転数により決定される。

この方式では、油圧ユニットおよびアクチュエータが不要となる。また、ゆるみ側ベルト張力はテンショナにより決定されるため、ゆるみ側ベルト増加量の低減が可能である。今後、試作・評価を行い製品化を進めていく。

7. おわりに

CVADは樹脂製のドライブリングを偏心させて変速し、動力伝達は乾式で若干のすべりを含むころがりにより行われる。この動力伝達方式は高い効率を有しており、また今回適用した樹脂材も十分な耐摩耗性能を有する。

今回の評価により以下の結果が得られた。

- (1)開発したCVADによりスーパーチャージャを駆動できることが確認できた。
- (2)ドライブリング用に耐摩耗性の高い材料が開発できた。
- (3)負荷トルクが20N・mを超える領域において、効率は85%以上である。

今後、遠心力制御式CVADの検討・評価を進め、車載用変速機として商品化を進める。

参考文献

- 1) 石川 治：補機駆動装置，内燃機関32巻10号408(1993)65.
- 2) 瓦井光雄，室井悦雄，菊池文男，益田孝：自動車技術会学術講演前刷集934(1993)61.
- 3) T. Tamagawa, S. Yasuhara, Y. Hasuda : International Conference on Continuously Variable Power Transmissions, Sept(1996)207.
- 4) 魚田雅史，安原伸二，新井大和，玉川隆雄：自動車技術会学術講演前刷集9(1999)9932278.
- 5) 安原伸二，玉川隆雄，蓮田康彦，マイケルジョーンズ：KOYO Engineering Journal no. 151(1997)3.

筆者



安原伸二*
S. YASUHARA



魚田雅史*
M. UOTA



蓮田康彦*
Y. HASUDA



新井大和**
H. ARAI

* 総合技術研究所 電子システム研究所
自動車ユニット技術開発部

** 総合技術研究所 電子システム研究所
電子システム技術開発部