

リッターカー及び軽自動車用新CVTの開発

西澤 泰樹
Yasuki Nishizawa
大越 直樹
Naoki Ohkoshi

藤堂 穂
Minoru Todo
伊藤 正泰
Masahiro Itou

概要

リッタークラス車両と軽自動車の低燃費を実現させるため新しい小型無段変速機(CVT)を開発した。このCVTは変速比幅を拡大して低燃費を実現した。また、新形状ギヤを採用した2ポートオイルポンプを含め、数々の部品を低摩擦化した。更に、軽量化技術として、デフレンシャルギヤの固定方法をボルト締結から溶接に変更した。本稿ではCVT仕様および技術的アプローチを解説する。

1. まえがき

近年、自動車の環境性能に対して、燃費・CO₂排出量規制が急速に厳格化しており、既に市場拡大している新興国市場においても重量車には不利な欧州規制が導入されることで、小型車へのシフトが進むと予想される。また、国内市場に目を向けると、低燃費・経済性の観点から軽自動車の需要が依然として高い。

当社ではこれまでも小型車向けにCVTを提供してきたが、従来型のシンプルな基本構造のCVTをベースに小型・軽量・高効率化技術に磨きをかけて小型車の更なる魅力向上をめざし新型CVTを開発した。

2. 開発のねらい

リッターカー、軽自動車向けの搭載を目的として開発を行うにあたり、本CVTは下記3項目のねらいを設定した。

- (1) 小型化 : 軽自動車への搭載を考慮した全長短縮、軸間設定とする。
- (2) 低燃費化: 損失トルク低減技術の導入および、変速比幅拡大による燃費向上を実現する。
- (3) 軽量化 : 最新技術の導入および、部品点数削減によるクラストップの質量を実現する。

3. 構造と主要諸元

本CVTの主要断面図を図1に主要諸元を表1に示す。

従来CVTに対してプーリの小型化、クラッチ・ブレーキ部のトルク容量最適化、3,4軸の支持構造の簡素化により、全長を9.3mm短縮した。変速比については図2に

示すように従来CVT比で4%ローギヤ化することで発進時の駆動力向上を図った。また、プーリの変速比幅を従来の5.601から6.536に拡大することで12%ハイギヤ化して高速走行時の燃費向上に貢献した。

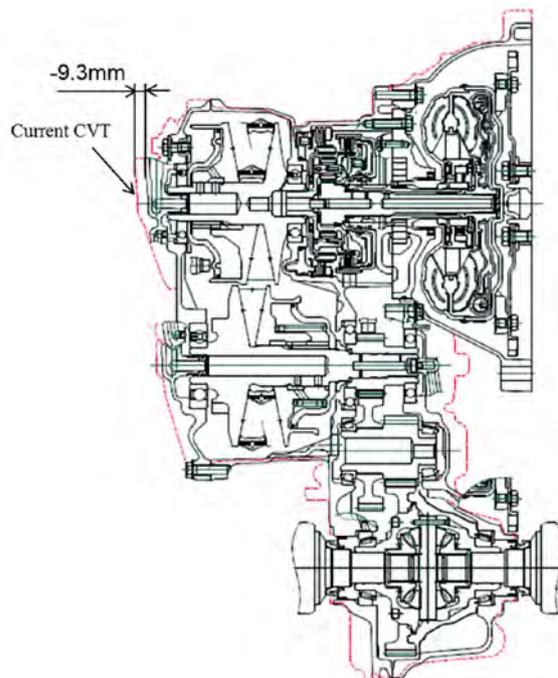


図1 新CVT断面図

表1 新CVT主要諸元

	Current CVT	New CVT
Torque Capacity	135Nm	110Nm
Pulley Ratio	2.386~0.426 (RC=5.601)	2.562~0.392 (RC=6.536)
Reduction Ratio	1.481	2.045
Final Gear Ratio	3.937	2.761
Total Gear Ratio	13.918~2.485	14.473~2.214
Center Distance	168mm	168mm
Diff Drop	80mm	80mm
Total Length (Main axis)	347.5mm	338.2mm
Weight (Wet)	63kg	57kg

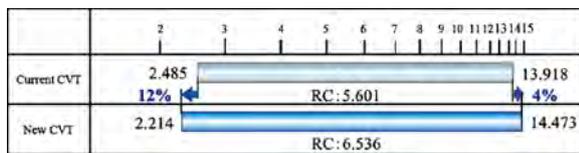


図2 変速比幅

4. 低燃費・高効率化技術

図3に本CVTの主要な損失トルクを示す。

CVTの損失トルクの内訳を分解するとオイルポンプの駆動トルク、クラッチ・ブレーキ部の引き摺りトルク、ベルトの損失トルク、オイルの攪拌抵抗、ギヤの噛み合い損失トルクが大きな割合を占めている。本CVTは従来比で10.5%の損失トルク低減を実現しており、下記に詳細な技術内容を記載する。

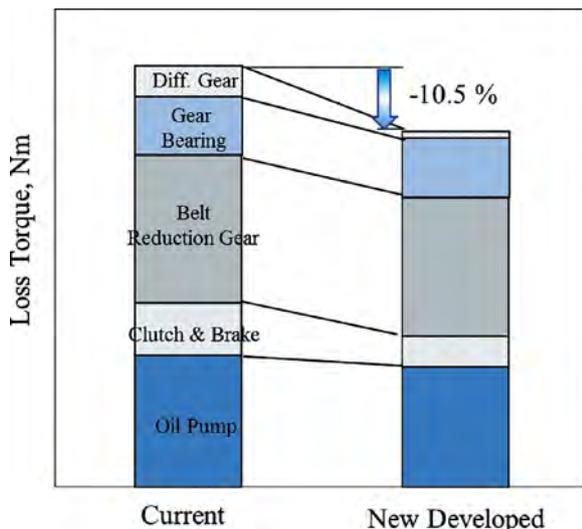


図3 CVT損失トルク

4.1 プーリの変速比幅拡大

本CVTでは、燃費性能と駆動力性能向上のため、変速比幅を従来CVTの5.601から6.536とし、16.6%拡大させた。(図2)

その際に車両への搭載性を従来CVTと同等にするため、プーリ径および、軸間距離の拡大を最小限に抑える必要があった。本CVTではプライマリシャフトのトルク容量最適設計、および図4に示すように金属ベルトの最小巻き掛け径を小径化することで、変速比幅拡大を実現した。ベルトの巻き掛け径を小径化すると、ベルトのリングにかかる応力が増加し、耐久性低下が課題となる。本CVTの開発においては、市場におけるベルト負荷応力に対する安全率の解析精度を向上させることで、市場適合性のある耐久性を確保した。

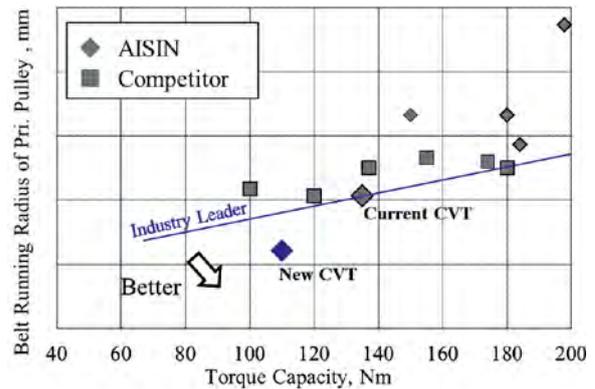


図4 ベルト巻き掛け径

4.2 オイルポンプ仕様

本CVTのオイルポンプはE/G軸上に配置されたトロコイド内接ギヤを駆動することで、油圧を供給している。従来CVTに対して新たに2系統吐出の油圧システムを採用し、新規開発した歯形の採用と油圧制御システムの消費流量低減により、オイルポンプ駆動トルク低減を実現した。

オイルポンプの駆動トルクは、油圧仕事とギヤの引き摺り損失で構成されており、本CVTでは歯間容積の増加可能な代数曲線を用いた新歯形(図5)を採用し、ドリブンギヤの小径化をすることで引き摺り損失トルク低減を図った。図6にギヤ1回転あたりの容積変化を示しており、新歯形は最大容積点において従来歯形比で3%容積を増加させている。

また、バルブポデーのリニアソレノイド・バルブ径の小径化、クリアランス縮小によりリーク流量を低減して、オイルポンプの吐出量を11%削減することで油圧仕事を低減した。図7に示すようにギヤ外径の小径化と吐出量削減により、従来CVTに対して9.2%の損失トルクを低減できた。

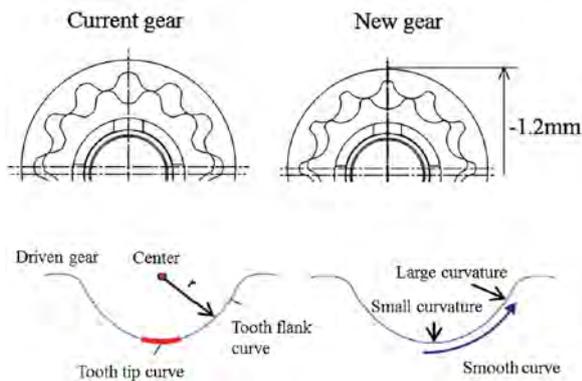


図5 新歯形

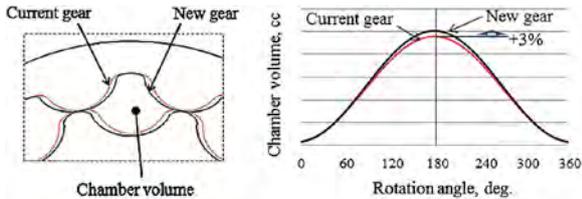


図6 容積変化

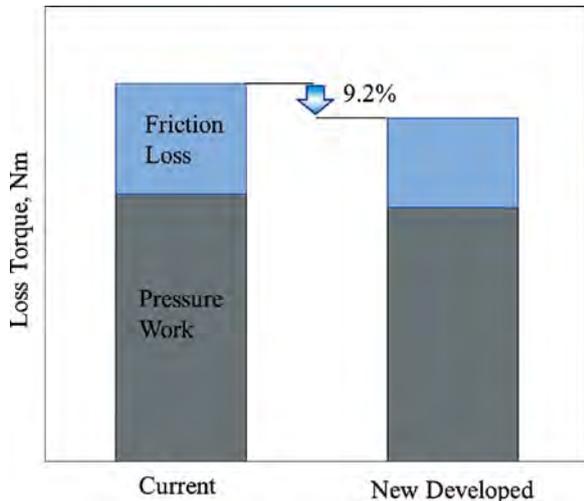


図7 オイルポンプ損失トルク

4.3 ハイウェーブ摩擦材

本CVTではコスト低減および、引き摺りトルク低減をねらい、クラッチ・ブレーキ用のクッションプレート廃止に取り組んだ。

従来CVTにおいては、前後進切り替え時の解放のショック低減を目的にクッションプレートを採用していたが、本CVTにおいては、摩擦材のコアプレートウェーブ高さを従来品比約2倍にすることで従来と同等性能の緩衝作用を持たせることに成功し、クッションプレートの廃止を実現した。ハイウェーブ化に伴い摩擦材局部面圧が増加する課題に対し、摩擦材構成材料の適正化により、耐へたり性の向上と動摩擦係数の低下を抑制し、係合特性と耐久性を両立させた。

また、ウェーブ高さを高くしたことで、ディスク間を通過するCVTFの排出性を向上させる効果もあり、引き摺りト

ルクを51%低減できた。

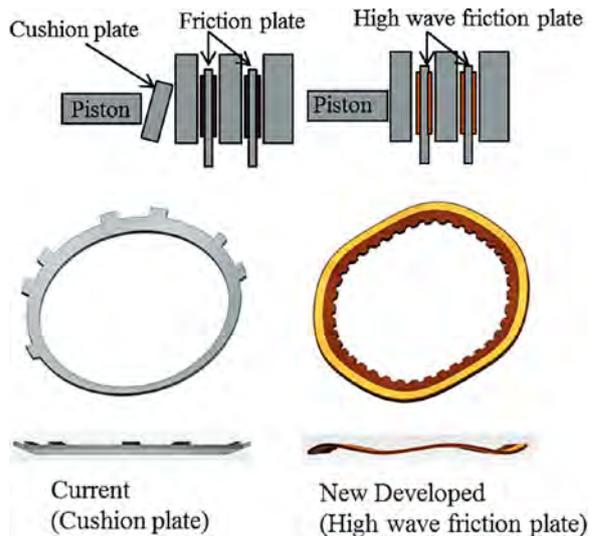


図8 新摩擦材の構造

4.4 低燃費化の取り組み

変速比幅拡大、高効率化技術の採用により、NEDCモードの車両燃費において従来CVT搭載車両に対して4.67%の燃費向上に貢献した。(図9)

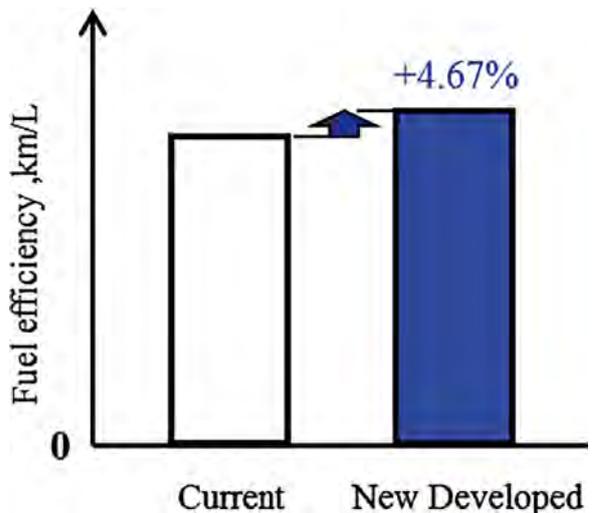


図9 燃費性能(NEDCモード)

5. 軽量化技術

本CVTでは軽自動車へ搭載可能にするための全長短縮技術および、車両の燃費向上のための軽量化技術の開発に取り組んでおり、主な採用技術を図10に示す。図11に示すように従来CVTに対して6kgの質量を低減し、クラストップの軽量化を実現した。

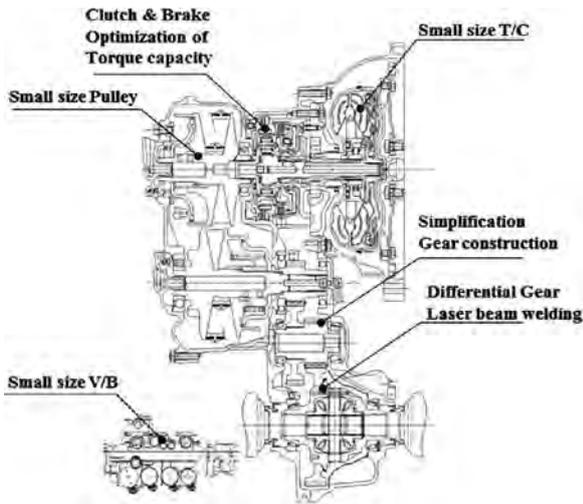


図10 軽量化技術

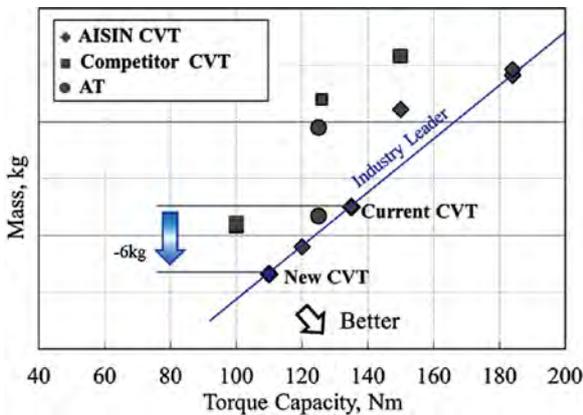


図11 トランスミッション質量

5.1 プーリの小型化による全長短縮

従来のCVTは可動プーリ側にスナッピングにて軸方向の固定したローラを配置し、シャフト上を摺動する構造となっている。本CVTはシャフト側にローラを固定する構造に変更することで、プーリの全長を6.9mm短縮した。(図12)

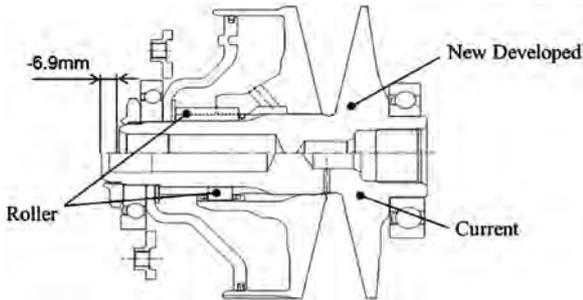


図12 可動プーリ比較

可動プーリの全長短縮の背反として、支持スパンの減少によるプーリ面の倒れが増加する。それにより図13, 14に示すようにベルトの入口側と出口側の巻き掛け径が理想的な巻き掛け径から外れ、ベルトのエレメントが径方向に滑ることで、引き摺りトルク増加の要因となる。

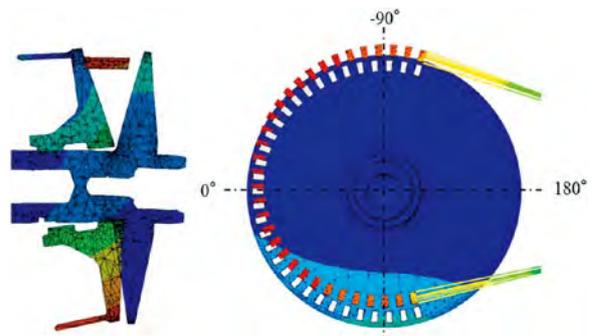


図13 FEM解析結果

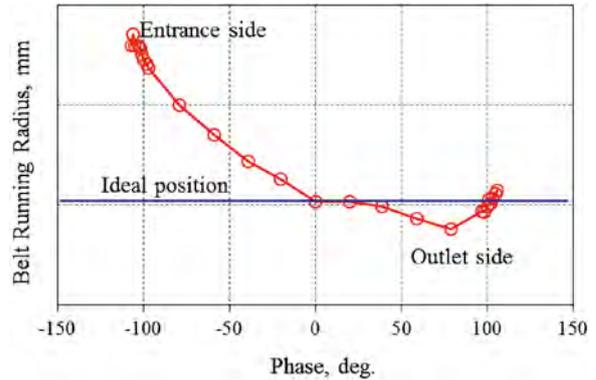


図14 FEM解析結果

この問題を解決するためには、プーリの剛性を高くして、巻き掛け径のずれを抑制することが有効であるが、肉厚増加による質量増加に繋がる。質量を抑えながら損失トルクを低減するプーリ形状とするため、ベルトの挙動解析のモデルを新たに構築し、重量の制約条件の下で肉厚を最適化し高剛性化を実現した。(図15)

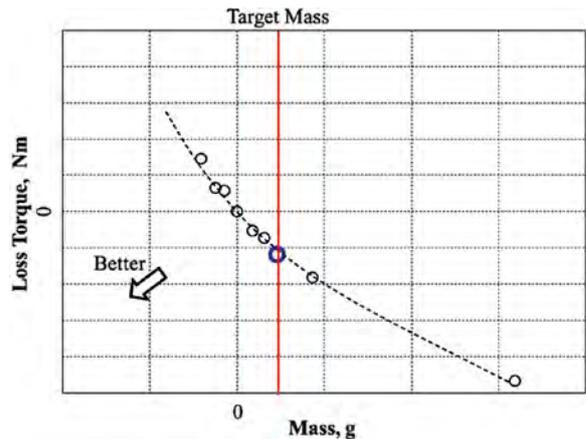


図15 質量-ベルト損失トルク

5.2 デファレンシャルギヤの締結構造

デファレンシャルケースとギヤの締結方法について、従来はボルトによる締結が主流である。本CVTでは軽量化の取り組みとして、図16に示すレーザー溶接による締結技術の開発に取り組んだ。

デファレンシャルケースは一般的に鋳鉄材料を使

用しており、リングギヤの浸炭用鋼材との溶接締結は、溶接欠陥が発生するため、安定した溶接品質の確保が困難であった。溶接欠陥の課題を解決するために、レーザー溶接のフィラーワイヤー材料の選定・継手部の最適な形状選定をすることでブローホールや割れの発生を抑制している。また、図17に示すように溶接部の欠陥サイズと発生応力の関係から亀裂進展による寿命低下しない領域を実験的に見極め、設計的に許容可能な欠陥サイズを定義することで良品条件を明確にした。

デファレンシャルケースのボルト締結の廃止および、肉厚形状の最適化設計により、従来比23%の軽量化を実現した。

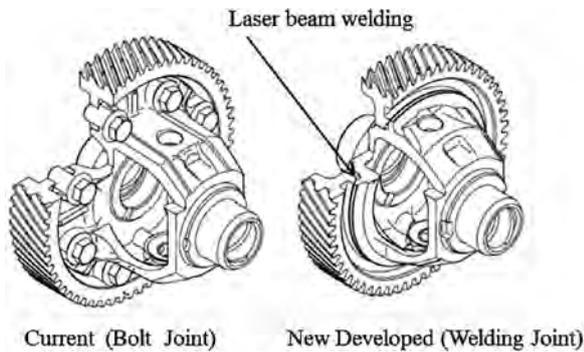


図16 デファレンシャルケース

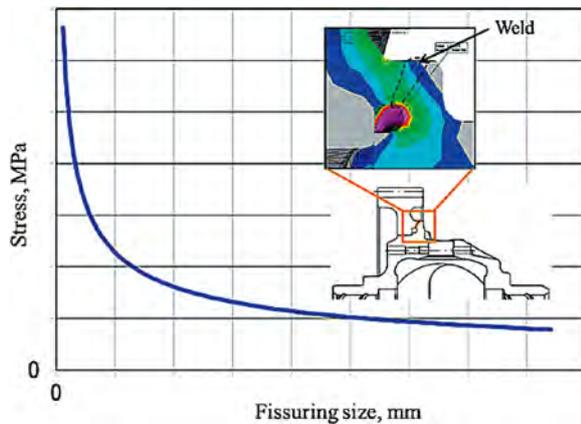
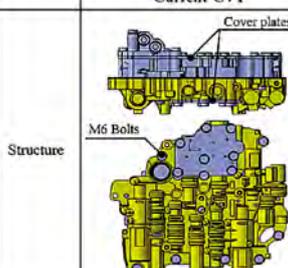
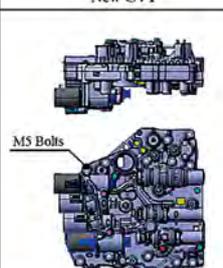


図17 溶接部位の発生応力

5.3 バルブボデー

本CVT用のバルブボデーはリニアソレノイドおよび、バルブ使用数の削減により油路長さを短縮し、最小スペースで構成した。また、プレート合わせ面の開き量の解析精度を向上させることで、カバープレート廃止および、締結ボルトのM6からM5への変更が可能となり、従来比で23%の軽量化を実現した。(表2)

表2 バルブボデー諸元

	Current CVT	New CVT
Structure		
Valve #	12	9
Solenoid #	5	4
Plate #	3	1

5.4 トルクコンバータ

本CVTは従来同様にフレックススタート制御に対応するトルクコンバータを採用している。フレックススタートとは車両の発進直後からロックアップクラッチの差回転を制御しながら係合する技術であり、クラッチ摩擦材の熱容量確保が課題となる。従来CVTでは摩擦材の外径拡大、フロントカバーの板厚アップにて熱容量を確保している。本CVTにおいては、高耐熱摩擦材の採用および、実走行データを用いた発熱量解析の精度向上に取り組み、フロントカバーの板厚・外径を最適化して、従来比で16%の軽量化を実現した。(図18)

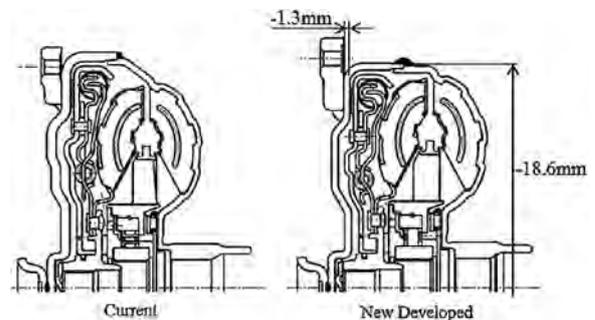


図18 トルクコンバータ

6. まとめ

小型車の更なる魅力向上をめざし、小型・軽量・高効率化技術を新たに採用することで従来のCVTに対してあらゆる性能においてレベルアップすることができた。また、プーリの全長短縮、各コンポーネントの徹底的なコンパクト化により軽自動車、Aセグメント車両への搭載を可能とし、幅広いニーズに対応する搭載性に優れたCVTを開発した。

参考文献

- 1) 荻野拓也:新型ヴィッツ向けCVTの開発,自動車技術会シンポジウム, No.20114761,p.21-24 (2011)
- 2) Brian Schneidewind, Toshihiro Aoyama:Development of TOYOTA New Generation Continuously Variable Transmission, SAE Presentations (2014)



西澤 泰樹
旧AW第2技術部
CVTの開発に従事
(現在AWTC-C出向中)



藤堂 穂
旧AW第2技術部
CVTの開発に従事
(現在PT技術企画部)



大越 直樹
T/M技術部
CVTの開発に従事



伊藤 正泰
T/M技術部
CVTの開発に従事