

ダブルアームチェーンテンショナシステムの開発

Development of Double-arm Chain-tensioner System

関 雅 夫*

Masao SEKI

要 旨

チェーンシステムの機能向上を目的に、チェーンテンショナシステムに着目した。従来システムに対して新たにサブテンショナアーム（以下、サブアームという）を配置することで、レバー比効果を利用したダブルアームチェーンテンショナシステムを開発した。

その結果、コストと重量は従来システム以下にした上で、エンジン全回転域においてチェーンフリクションとチェーン張力低減を達成した。また、チェーン伸び率も従来システムより低減することができた。

ABSTRACT

Research was conducted with a focus on chain-tensioner systems in order to enhance the functions of chain systems. A double-arm chain-tensioner system was developed that differs from a conventional system in adding a sub-tensioner arm (“sub-arm” below) to make use of a lever ratio effect.

As a result, cost and weight have been reduced to levels below those of a conventional system, and chain friction and chain tension have been reduced across the entire operating range. In addition, the rate of chain elongation has been reduced compared to that of a conventional system.

1. はじめに

エンジンのカム駆動システムにおいて、チェーン駆動システムはベルト駆動システムと比べると耐久性や小型化に有利であることから、多くのエンジンで採用されてきている。しかし、チェーン駆動システムはベルト駆動システムと比べると、フリクションの増加と摩擦による伸びの観点では不利である。チェーン駆動システムにはベルト駆動システムにはない、チェーンガイドとテンショナアームが存在する。チェーンがチェーンガイドやテンショナアームとしゅう動すると抵抗が生じる。このチェーンガイドとテンショナアームのしゅう動抵抗がチェーンフリクションの90%以上を占めていることが報告されている⁽¹⁾。そのため、チェーンフリクションを低減するためには、しゅう動抵抗を低減することが有効である。エンジン排気量に対するカム駆動システムのエンジン回転数 1500 rpm におけるフリクションを Fig. 1 に示す。チェーン駆動システムはベルト駆動システムと比較すると約2倍のフリクションロスがあることがわかる。チェーン駆動システムのしゅう動抵抗低減には、しゅう動部材の表面処理等による摩擦抵抗低減手法があるが、大幅なフリクション低減効果は期待できない。そのため、チェーンフリクションを低減するために

は、しゅう動抵抗を生み出すもとである、チェーン平均張力とチェーン張力振幅を低減することが重要である。

油圧式チェーンテンショナ（以下、チェーンテンショナという）を使用したチェーン駆動システムの一例を Fig. 2 に示す。チェーン駆動システムにおいては、エンジン運転時のトルク変動などによって発生するチェーン振動を抑制するために、クランクスプロケットのチェーン噛み離れ側にテンショナアームとチェーンテンショナが配置されている。また、チェーンテンショナ内部にはチェーンに荷重を

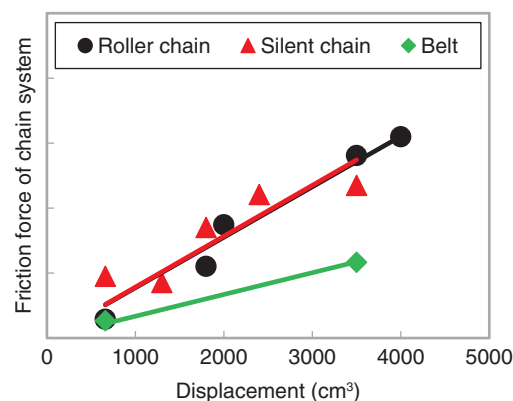


Fig. 1 Friction force of camshaft drive system

*四輪 R&D センター

与えるためのバネが配置されている。チェーンテンショナは、チェーンが緩みプランジャが伸びるときにプランジャ内部にエンジンオイルを吸い込み、チェーンが張りプランジャに付加された荷重を減衰することでチェーン張力振幅を抑制している。また、エンジンの運転が繰り返されると、チェーンが摩耗しチェーン伸びが発生する。チェーン伸びが発生すると、チェーンテンショナのプランジャも追従して伸びる。チェーンテンショナのプランジャが伸びると、チェーンテンショナ内部のバネからチェーンに与える荷重が低下していくが、荷重が不足するとチェーン挙動が不安定となり、チェーンとスプロケットの噛み合い不良などの機能的不具合が生じる。そのため、チェーンが伸びた状態でも必要な荷重を与えることができるようにチェーンテンショナ内部のバネ荷重を設定する必要がある。しかし、バネ荷重を高く設定しすぎるとチェーン伸びが発生していない初期のフリクションが増加する。このように、チェーンテンショナ内部のバネからチェーンに付加された荷重によるチェーン平均張力とエンジン運転時のチェーン張力振幅はチェーンテンショナシステムによってその値が大きく左右される。

チェーンテンショナシステムを考えると、チェーン伸びに追従するプランジャの伸び量の低減、およびチェーン伸び率が低減可能であれば、チェーン伸びが発生していない初期状態において、チェーンテンショナ内部のバネからチェーンに与える荷重を低く設定できるためチェーン平均張力が低減可能となる。また、チェーン張力振幅を低減できればチェーンフリクションの低減、およびチェーンに求められる疲労強度の値が低くなるため、チェーンのプレート枚数を低減することでコストと重量が低減可能となる。

そこで本研究においては、排気量 2.4 L のチェーン駆動システムのエンジンを用いて、コストと重量が従来システムと同等以下になることを前提として、フリクションロスがベルト駆動システムと同等になるフリクション 50% 低減を目標とした。この目標を達成するために、チェーン平均張力の低減、チェーン張力振幅の低減、およびチェーン伸び率の低減が可能なダブルアームチェーンテンショナシステムを開発した。

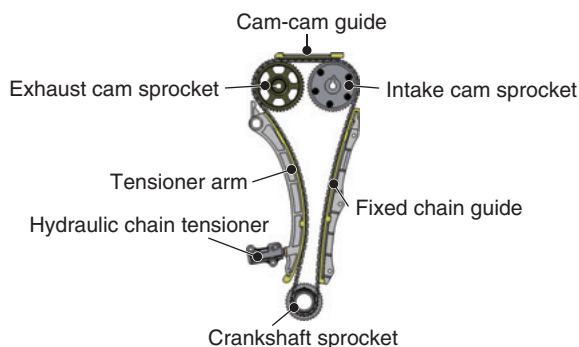


Fig. 2 Camshaft drive chain system

2. ダブルアームチェーンテンショナシステム

ダブルアームチェーンテンショナシステムの概要を Fig. 3 に示す。従来システムとの違いとして、テンショナアームとチェーンテンショナの間にサブアームが配置されている。サブアームを配置することによって、サブアームの支点とサブアームとテンショナアームの接点およびチェーンテンショナの接点にレバー比が生じる。このレバー比の効果によってダブルアームチェーンシステムは従来システムと比較して主に下記のような差が生じる。

- (1) チェーン伸びに対するテンショナアームの移動量に対して、プランジャの移動量が低減する。
- (2) チェーン張力振幅によるテンショナアームの揺動に対して、プランジャのストロークと振幅速度が低減する。
- (3) チェーン張力振幅によるプランジャへの入力荷重が増加する。
- (4) チェーンテンショナのバネからチェーンに与える荷重が低減する。

また、テンショナの配置によって下記のような効果が得られる。

- (5) チェーンテンショナのプランジャを上向きに配置することによって、エア抜き性能が向上する。
- (6) チェーンテンショナのプランジャを上向きに配置することによって、エンジン停止時のオイル抜けを防止する。

上記の効果を活用することでダブルアームチェーンシステムの開発においては次に示す機能向上を目指した。

フリクション: (1) の効果によって、チェーン伸びに対するプランジャの移動量が低減できることを利用してフリクションを低減する。

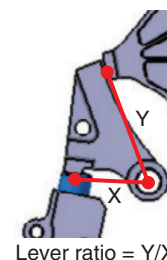
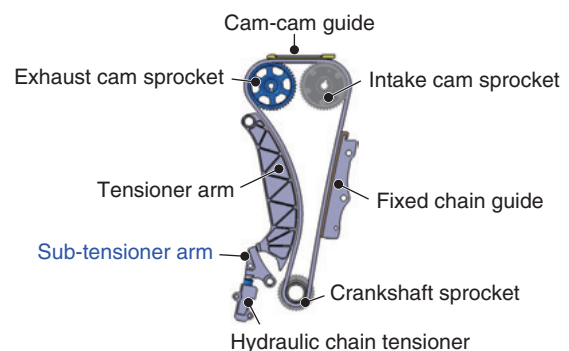


Fig. 3 Double-arm chain-tensioner system

チェーン張力振幅: (2)の効果によって、エンジン高回転時のテンショナ追従性が上がることを利用してチェーン張力振幅を低減する。

チェーン伸び低減: (1)と(2)の効果によって、チェーンのピンとプレート間の面圧を低減できることを利用してチェーン伸びを低減する。

コスト、重量: チェーン張力振幅およびチェーン伸び低減の達成により、チェーンのプレート枚数を低減することでコストと重量を低減する。

従来システムとダブルアームチェーンテンショナシステムのチェーン伸びに対する、チェーンテンショナ内部のバネからチェーンに与えられる荷重の変化を Fig. 4 に示す。ダブルアームチェーンテンショナシステムのチェーンに与えられる荷重の設定については、保証すべきチェーン伸び率の最大伸び率での荷重が従来システムと同等になるようにした。ダブルアームチェーンテンショナシステムは従来システムと比較してチェーン伸びが発生していない初期状態での荷重が低く設定できており、チェーン伸びに対する荷重の変化も緩やかである。これは、ダブルアームチェーンテンショナシステムはチェーン伸びに対するテンショナアームの移動量に対してチェーンテンショナのプランジャ移動量が少ないことに加えて、チェーン伸びに対するレバー比の変化および、プランジャ内部のバネからチェーンに与える荷重の伝達効率の変化等を考慮した上で設定をおこなっているためである。

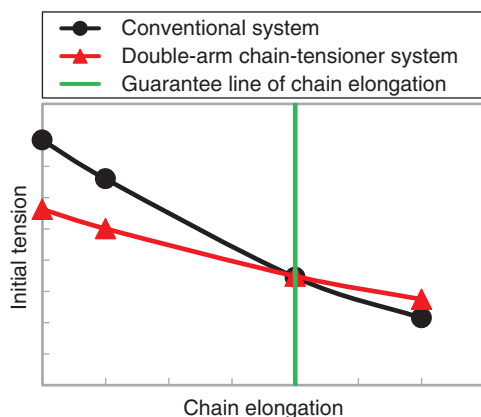


Fig. 4 Relation between chain elongation and initial tension

3. ダブルアームチェーンテンショナシステムの基本性能

ダブルアームチェーンテンショナシステムの基本性能を確認するために、同一諸元のエンジンのチェーン駆動システムのみを変更して試験をおこなった。エンジン諸元の概要を Table 1 に示す。従来システムとダブルアームチェーンテンショナシステムのエンジン運転時のチェーン張力測定結果の比較を Fig. 5 に示す。チェーン張力測定はクラン

Table 1 Engine specifications

Cylinder configuration	Inline 4
Bore × Stroke (mm)	87.0 × 99.0
Displacement (cm ³)	2354
Compression ratio	10.5
Chain type	Silent chain
Chain pitch (mm)	6.35
Number of link plates	4/3
Number of links	176
Tensioner type	Hydraulic tensioner
Number of sprocket teeth	Crankshaft sprocket : 23 Camshaft sprocket : 46

クスプロケットをロードセル化して測定し、張力は固定ガイド側をプラス、テンショナアーム側をマイナスとしている。ダブルアームチェーンテンショナシステムは、Fig. 5 より、全回転域でチェーン張力振幅が低減できている。特に、高回転側については、チェーンテンショナの振幅低減による追従性向上効果によって約 35% チェーン張力が低減している。また、チェーン張力振幅の低減効果によってチェーンのプレート枚数を少なくしてもチェーンに必要な疲労強度を満足する仕様にする事ができている。

次に、チェーンシステムのフリクション測定結果の比較を Fig. 6 に示す。ダブルアームチェーンテンショナシステ

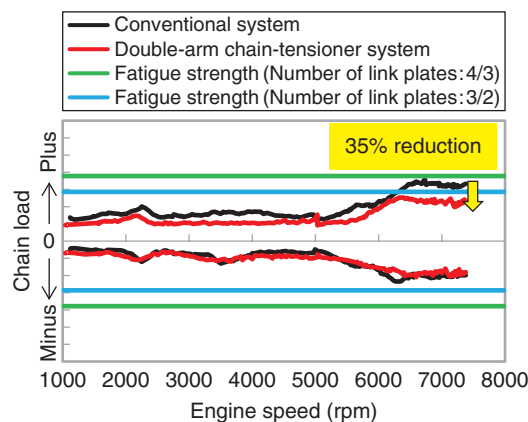


Fig. 5 Comparison of chain load

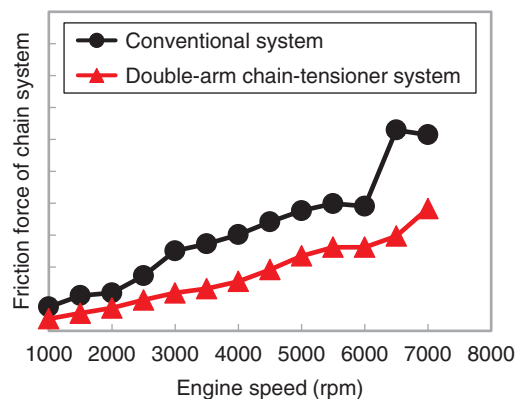


Fig. 6 Comparison of chain friction force

ムを採用することで、チェーン張力振幅およびチェーン平均張力が低減された効果により、全回転域でフリクションが低減されている。また、4000 rpm 以下の領域においては50%のフリクション低減が達成されている。

4. 信頼性評価

ダブルアームチェーンテンショナシステムの信頼性評価をおこなうために、サブアーム支点への負荷荷重が最大となる条件でのチェーンシステムの耐久試験とチェーン伸び評価試験をおこなった。チェーン張力測定結果から計算したチェーンのピンとプレート間の面圧比較を Fig. 7 に示す。また、チェーン伸び評価試験結果を Fig. 8 に示す。Fig. 5 より、ダブルアームチェーンテンショナシステムではチェーン張力振幅低減効果よりチェーンのプレート枚数を低減しても疲労強度を満足する仕様となっ

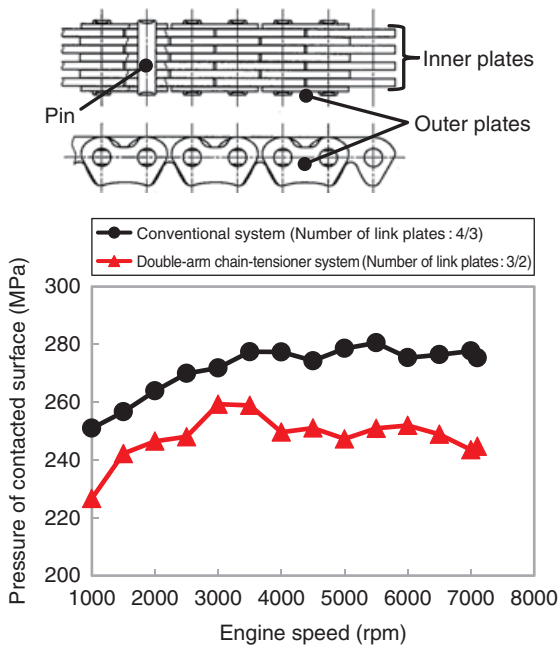


Fig. 7 Comparison of pressure of contacted surface

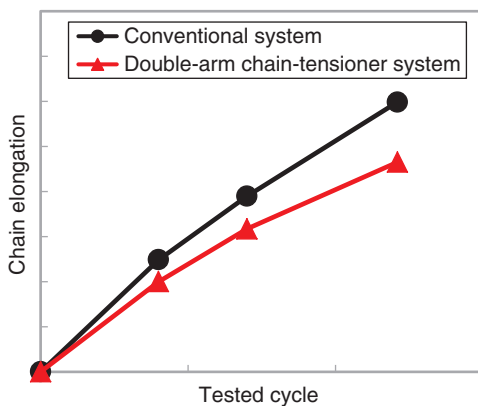


Fig. 8 Comparison of chain elongation

た。また Fig. 7 より、チェーン平均張力およびチェーン張力振幅を低減した効果によって、プレート枚数を低減しても従来システムに対して、ピンとプレート間の面圧が低減できている。以上より、ダブルアームチェーンテンショナシステムを採用することで信頼性向上が認められたため、従来システムに対してプレート枚数を低減した仕様で信頼性評価試験をおこなった。Fig. 8 より、ダブルアームチェーンテンショナシステムは、チェーンのプレート枚数を減らしたにもかかわらず、面圧低減の効果によってチェーン伸び率が従来システムに対して30%低減されている。また、サブアームへの負荷荷重が最大となる耐久試験をおこなった結果は、不具合の発生なく終了している。

5. コストと重量

従来システムとダブルアームチェーンテンショナシステムのコストと重量の比較を Fig. 9 に示す。ダブルアームチェーンテンショナシステムではチェーンのプレート枚数を低減できた効果で従来システムと比較してコストは2.5%、重量は0.8%低減することができた。

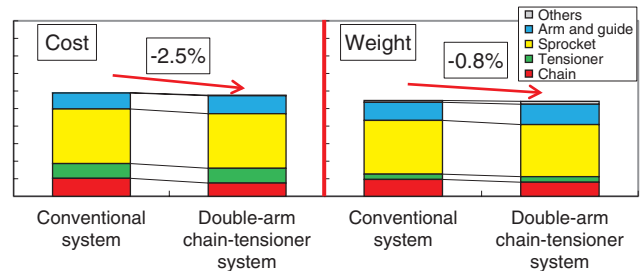


Fig. 9 Cost and weight

6. まとめ

ダブルアームチェーンテンショナシステムを開発することで以下の内容を達成した。

- (1) エンジンの全回転域でフリクション低減を達成した。特に、4000 rpm 以下の領域については50%のフリクション低減を達成した。
- (2) エンジンの全回転域でチェーン張力振幅低減を達成した。特に、高回転領域では最大で35%のチェーン張力振幅低減を達成した。
- (3) チェーン平均張力およびチェーン張力振幅を低減した効果によって、チェーンのプレート枚数を低減した。これにより、従来システムに対してコストを2.5%、重量を0.8%低減した。また、プレート枚数は低減したがチェーン伸び率は30%低減を達成した。

参考文献

- (1) 坂口元康, 山田真嗣, 関雅夫, 小岩洋二郎, 若林智弘,
山内孝宏: マルチボディダイナミクスをもちいたタイ
ミングチェーンフリクション予測, 自動車技術会学術
講演会前刷集, No.154-11, p.1-6(2011)

■ 著 者 ■



関 雅 夫