

スーパースポーツ二輪車用 ブレーキバイワイヤシステムの開発

Development of Brake-by-Wire System for Super Sport Motorcycles

西 川 豊*
Yutaka NISHIKAWA
高 柳 眞 二*
Shinji TAKAYANAGI

南 里 武 彦*
Takehiko NANRI
谷 一 彦*
Kazuhiko TANI

竹之内 和 也*
Kazuya TAKENOUCHI
深 谷 修 一*
Syuichi FUKAYA

要 旨

ABSTRACT

Hondaは、さまざまな二輪車用ブレーキ技術を提供してきた。しかしながら、スーパースポーツ二輪車、CBR600/1000RRは、短いホイールベースという車体の特性からハードブレーキ時にピッチングを起こしやすいので、従来のABSが適用できなかった。さらに機械式 Combined Brake System(CBS)も、その特性からスポーツライディングへの対応が困難であった。今回、新たにブレーキ入力を液圧センサで検知して、パワーユニットでブレーキ液圧を可変制御するブレーキバイワイヤシステムを開発した。本システムは新開発のストロークシミュレータによって従来ブレーキ同等の操作フィーリングを実現するとともに、緻密な液圧制御によって、ブレーキ性能と車体の安定性を両立させたものである。本システムは、スーパースポーツ用として世界初であり、2009年式モデルのCBR600/1000RRに採用されている。

Honda has developed a variety of innovative motorcycle brake technologies. Super sport motorcycles, CBR600/1000RR, have a unique combination of short wheel bases and center of gravity locations as vehicle characteristics, and the possibility towards pitching under hard braking has prevented conventional ABS from being used in these motorcycles. In addition, the characteristics of mechanical combined brake systems (CBS) make it challenging to adapt them for sport riding. Therefore, a new brake-by-wire system has been developed in which brake input is detected by a hydraulic sensor and the brake hydraulic pressure is varied by a power unit. A newly developed stroke simulator has enabled the achievement of an operation feeling similar to that of a conventional brake. In addition, the precise control of hydraulic pressure achieved by this system has enabled pitching to be controlled and made ABS/CBS compatible with sport riding. The new system represents a first for super sport motorcycles, and has been employed in the 2009 model year CBR600/1000RR.

1. まえがき

Hondaは二輪車のブレーキ性能向上のために、アンチロックブレーキシステム(ABS)、前後輪連動ブレーキシステム(CBS)、ABS付前後輪連動ブレーキ(コンバインドABS)といったブレーキ技術を多くの250cm³以上クラスのオンロード二輪車に適用してきた^{(1), (2)}。しかし、これらのシステムをスーパースポーツ二輪車、CBR600/1000RRに、適用するためには以下の課題があった。

- (1)短いホイールベースのため、ABSが作動する高減速度では大きなピッチングが発生しやすい⁽³⁾。
- (2)従来のCBSは機械式バルブで前後ブレーキ力を配分していたため、配分パターンの変更ができない。
- (3)車体の小型軽量化およびマス集中化のために車体内部に補機を取り付けるスペースが少ない。

- (4)二系統キャリパ、二次マスタシリンダなどのCBS専用部品を取り付けることでばね下質量が増加する。

そこで、これらの課題を解決するために、ブレーキ入力を液圧センサで検知して前後輪のブレーキ力を完全独立制御するブレーキバイワイヤシステムを開発した。

本稿では、2009年式モデルのCBR600/1000RRに採用された新ブレーキシステムの概要を説明する。

2. 開発のねらい

スーパースポーツ二輪車用ブレーキバイワイヤシステムの開発目標を次のように定めた。

- (1)ABS 作動時に高い減速度と車体安定性が両立できること。
- (2)CBS の特性がスポーツライディングを妨げないこと。

- (3) スーパースポーツ二輪車に搭載可能なサイズであること。
- (4) 従来型ブレーキキャリパを用いることで、ばね下質量を大幅に増加させないこと。
- (5) ブレーキ操作感は従来のブレーキと比べて違和感がないこと。
- (6) システムフェール時にブレーキ機能を確保すること。

3. 構成部品

Fig. 1 に本システムの作動状態を、Table 1 に Fig. 1 のダイアグラムおよび、本文で用いている記号の一覧を示す。以下、各コンポーネントの特徴を説明する。

3.1. ECU

電子制御ユニット(ECU)は、本システムの制御の中心部分である。車輪速センサ(3.6 節)、圧力センサ(3.3 節)の信号を内部のCPUで処理し、ソレノイド(電磁)バルブやモータの制御、システム診断をおこなう。

3.2. パワーユニット

パワーユニットは、ECU からの制御信号によりブレーキ圧の加減圧をおこなう。その基本構造を Fig. 2 に示す。Fig. 2 の状態はパワーピストンの初期セット位置である。この位置からパワーピストンが上昇するとブレーキキャリパが加圧され、下降する過程で減圧がおこなわれる。本シ

ステムではパワーユニットを小型化するために、モータとパワーピストンを平行に配置した。また、モータの回転をパワーピストンの直線運動に効率良く変換するためにボールねじを採用した。

Table 1 Codes used in diagram of brake-by-wire system

Codes	Meanings
SNOM	Solenoid valve, normal open, master cylinder
SNCS	Solenoid valve, normal close, simulator
SNCP	Solenoid valve, normal close, power unit
PMC	Pressure sensor (master cylinder)
PFS	Pressure sensor (fail safe)
PCC	Pressure sensor (brake caliper cylinder)
VOW1	One-way valve
VOW2	One-way valve
SWSF	Front wheel speed sensor
SWSR	Rear wheel speed sensor
SymF	Front brake stroke simulator
SymR	Rear brake stroke simulator
MCF	Front brake master cylinder
MCR	Rear brake master cylinder
LWG	Warning lamp
Batt	Battery
ECU	Electronic control unit
M	Motor

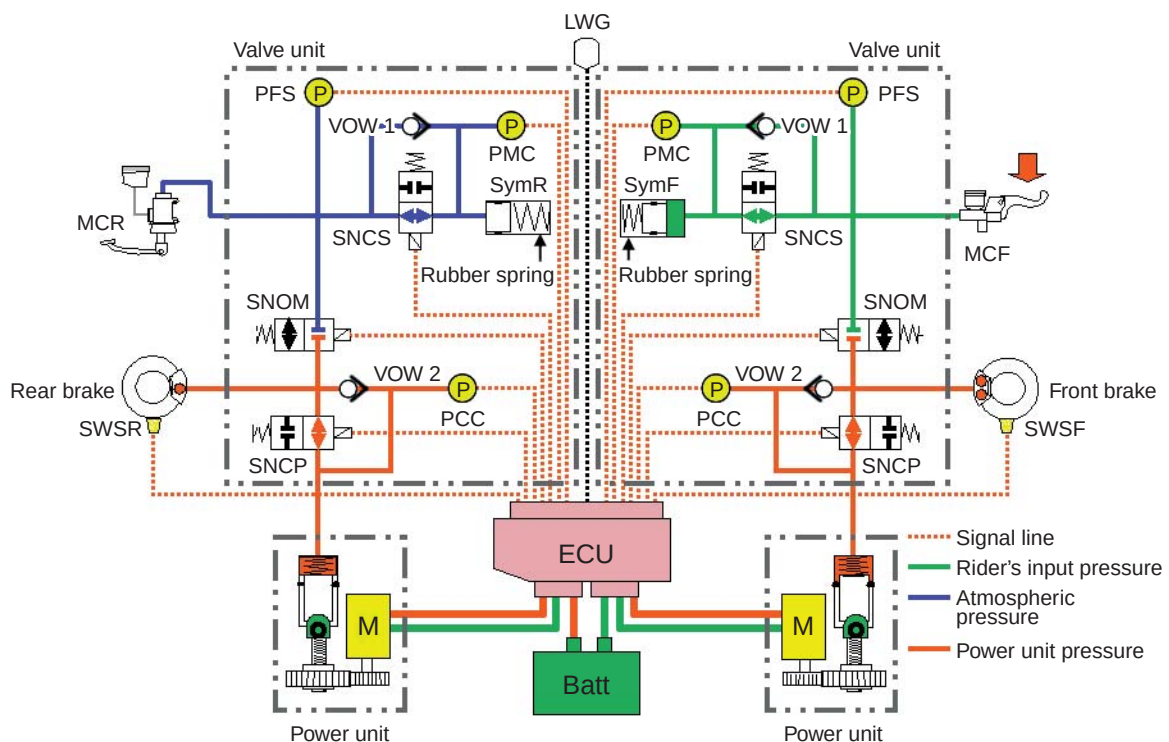


Fig. 1 Diagram of brake by wire system (Activated)

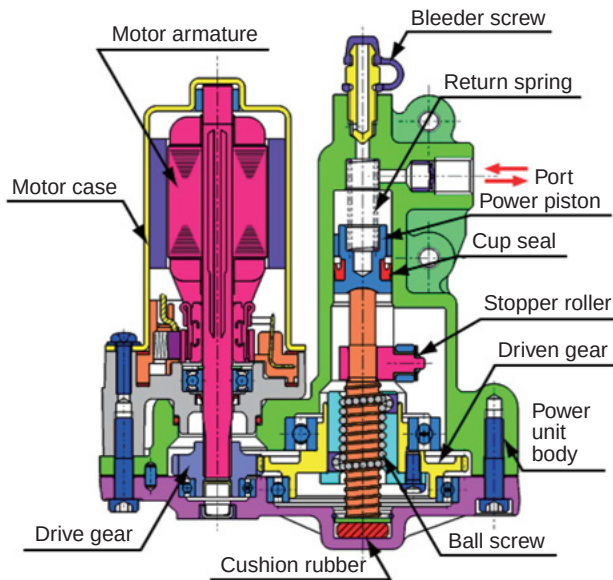


Fig. 2 Power unit

3.3. 圧力センサ

圧力センサはブレーキ液圧を検知する部品である。一般に圧力センサは、圧力を検出部のひずみ量として検知している。したがって、圧力に対するひずみ量が多いほど検知できる分解能は高くなるが、検出部自体の耐圧強度は低下する。二輪車の使い勝手の中では、瞬間的に高液圧が発生する場合がある。従来、高分解能と高耐圧が両立する圧力センサは存在しなかった。

本システムでは入力圧を基にすべてのブレーキ制御をおこなうため、誤検知を防止する必要がある。そこで、ソレノイドバルブ SNCS の上流側に高耐圧センサ PFS を配置し、下流側に高分解能センサ PMC を配置した。これによって液圧を相互比較してシステムの失陥を自己診断できるようにした。入力側の高分解能センサの破損を防ぐため、設定を超える高い入力圧が作用した場合には、センサ保護のために SNCS が閉鎖される。上流側の高耐圧センサの耐圧強度はブレーキキャリパと同等とした。ブレーキキャリパの液圧を検知する高分解能センサ PCC は、入力側の PMC と同一仕様であり、同様の理由からソレノイドバルブ SNCP の下流側に配置されている。出力圧センサ PCC はモータの作動状態を併せて監視することで、自己診断をおこなうことができる。

3.4. ストロークシミュレータ

ライダーがブレーキレバーやブレーキペダルを操作したときの反力を再現するのがストロークシミュレータである。運転中、ライダーはレバー操作の反力とブレーキ力の強さを体感しながらブレーキを操作している。特に旋回時のブレーキング制御では、ライダーの手足に伝わる微妙な反力の違いが重要となる。したがって、ライダーの微妙なブレーキ操作に対応するためには、入力に応じた操作反力を発生させ

る機能が必要となる。Fig. 3 は、バルブユニット(3.5 節)内にあるストロークシミュレータ部分の断面図である。ストロークシミュレータはソレノイドバルブ SNCS の下流側に設置されており、バルブが開くとマスタシリンダと連通するようになっている。ライダーがマスタシリンダを操作して発生した圧力は、ソレノイドバルブ SNCS を通じてシミュレータピストンに作用する。このピストンに組み付けられたラバースプリングの荷重特性は、通常のブレーキ操作感と同じになるように設定されている。より実機に近い操作感を再現するため、本システムでは荷重特性の異なる二種類のラバースプリングを組み合わせている (Fig. 4)。

3.5. バルブユニット

バルブユニットには、ソレノイドバルブ、圧力センサ、ストロークシミュレータが内蔵される。ソレノイドバルブは電磁コイルの通电によってバルブの開閉をおこなう。通电状態でバルブを開放するノーマルクロズバルブと、通电状態でバルブを閉鎖するノーマルオープンバルブの二種類がある。ECU からの信号により各電磁バルブが作動して、マスタシリンダ、ブレーキキャリパ、パワーユニット、ストロークシミュレータ間の連結および遮断をおこなう。

3.6. 車輪速センサ

車輪速センサ SWSF, SWSR は、スリットを打ち抜いて作られたパルサーリングの回転をホール素子で検出するもので、現行の量産二輪車用 ABS に広く用いられている。

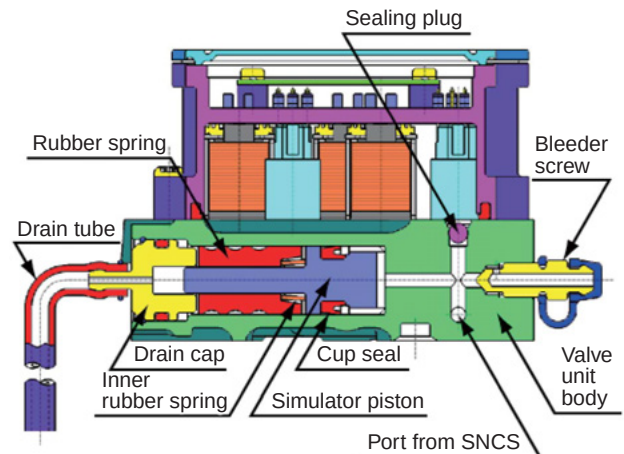


Fig. 3 Valve unit

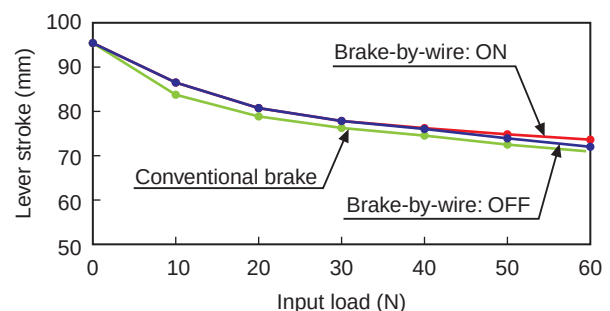


Fig. 4 Load deformation characteristics of stroke simulator

4. 実車への搭載

二輪車用液圧式ブレーキシステムは、ライダーがブレーキレバー(またはブレーキペダル)を操作して液圧を発生させるマスタシリンダ、液圧をブレーキ力に変換するブレーキキャリパ、およびそれらの部品を連結するブレーキホースで構成されている。Fig. 5 は、本システムの実機搭載を示す。本システムは、ECU、パワーユニット、バルブユニット、および車輪速センサが、通常の液圧式ブレーキシステムに追加された構造となっている。スーパースポーツ二輪車は、マス集中化のために車体内部にスペースが少ない。そこで、本システムでは実車への搭載を容易にするため複数の小ユニットに分割した。

パワーユニットとバルブユニットはマスタシリンダとブレーキキャリパの間に連結され、各ユニットは信号線を通じてECUと電気的に接続される。従来の機械式CBSのような前後のブレーキ系を連結するブレーキ配管や専用の二系統キャリパ、二次マスタシリンダは不要であり、通常のブレーキキャリパでCBSが実施可能である。車輪速センサ以外にばね下質量の増加はないため、スーパースポーツ二輪車に要求される高い運動性能を維持できる。

5. ブレーキバイワイヤシステムの作動

5.1. システム不動作状態

Fig. 6 のシステム図は、本システムが作動していない状態である。二輪車が停止しているとき、前輪側マスタシリン

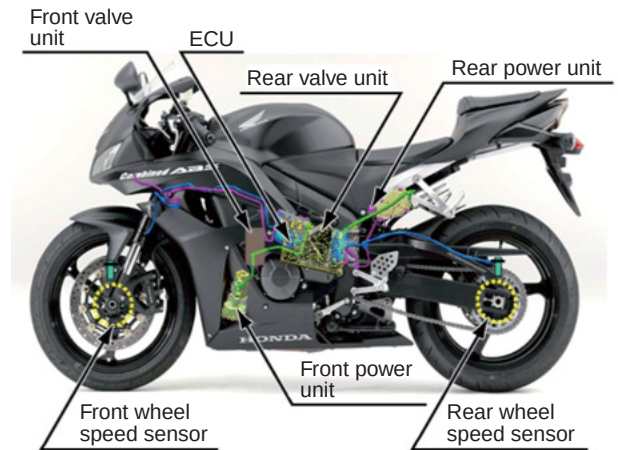


Fig. 5 Layout of brake-by-wire system

ダ MCF と後輪側マスタシリンダ MCR は、ノーマルオープン型ソレノイドバルブSNOMを通じてそれぞれのブレーキキャリパに連結されている。このとき、ストロークシミュレータとマスタシリンダを連結するソレノイドバルブSNCS とブレーキキャリパとパワーユニットを連結するソレノイドバルブSNCP は、ノーマルクローズ型なので閉じられている。この状態で、ライダーがブレーキを操作すると、発生したブレーキ液圧は Fig. 6 の緑色のラインの経路で直接ブレーキキャリパに作用する。したがって、システムが作動していない状態でも、ライダーは通常のブレーキ操作が可能である。

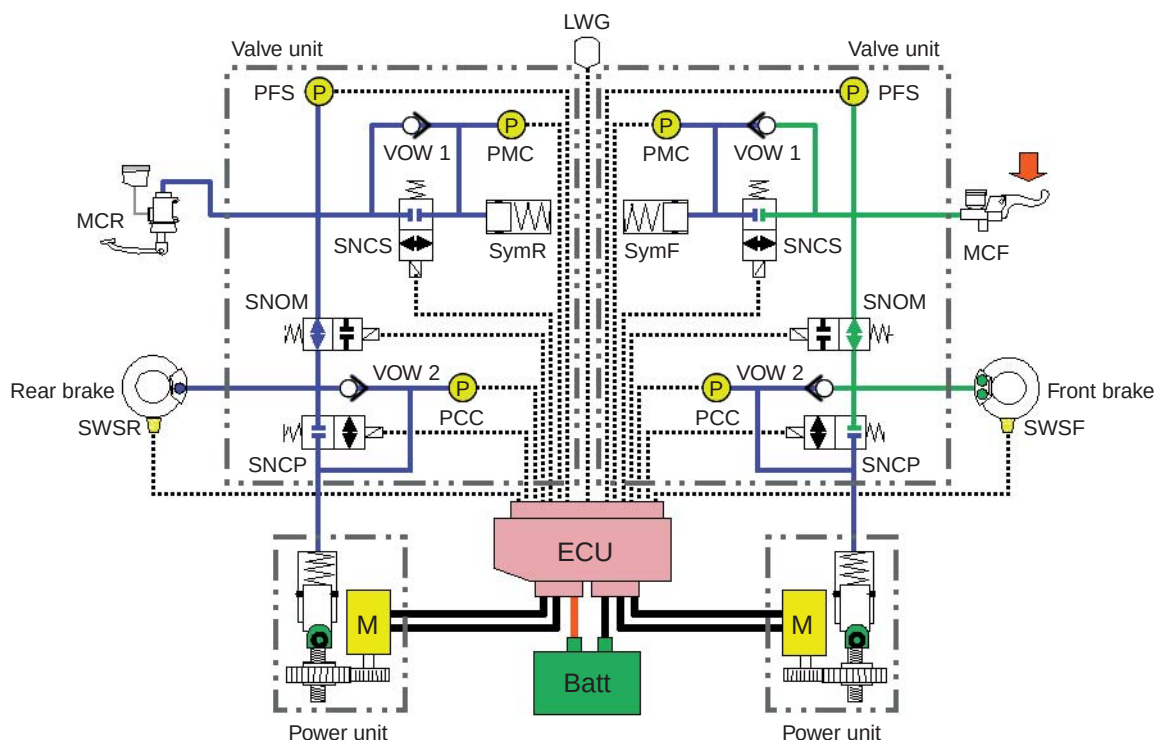


Fig. 6 Diagram of brake-by-wire system (Deactivated)

5.2. システム作動状態

車両の速度が6 km/hを超えるとスタンバイ状態となる。この状態でソレノイドバルブ SNCS が開き、高分解能圧力センサ PMC が入力圧を検知できるようになる。ライダーがブレーキレバーを操作して入力液圧が設定されたレベルを超えると、システムはバイワイヤ状態に移行する (Fig. 1)。ソレノイドバルブ SNOM は、マスタシリンダからブレーキキャリパまでの通路を閉じ、同時に、ライダーからの入力圧はソレノイドバルブ SNCS を通じてストロークシミュレータ SymF のシミュレータピストンに伝えられる。入力圧と圧力増加率から ECU は必要なブレーキキャリパの圧力を計算する。モータが回転してボールねじがパワーピストンを上昇させると液圧が発生する。前輪側パワーユニットで発生した液圧はソレノイドバルブ SNCP を通じて前輪側ブレーキキャリパに伝えられ、ブレーキ力が車輪に作用する。また、ECUは、前輪側のブレーキキャリパ圧に応じて、後輪ブレーキ側が最適のブレーキ力となるように後輪側のパワーユニットを制御する (CBS 制御)。なお、ブレーキペダルを操作した場合も同様である。一方、車輪のスリップ率が設定値を越えると、ECUがモータを逆転させる。パワーピストンが下降してブレーキキャリパ圧が減少し、その後は適切なスリップ率となるようにキャリパ圧をコントロールする ABS 制御をおこなう。

5.3. システムフェール

イグニッションスイッチが ON の間、ECU はシステムの作動不作動に係わらず、常時自己診断をおこなっている。万一、システム作動中にフェールが発生した場合には、ECU が各ソレノイドバルブとモータの電源供給を遮断する。ソレノイドバルブは内部のスプリングにより元の状態に戻り、通常のブレーキラインが確保される。

6. ブレーキバイワイヤの効果

6.1. CBS 配分の設定

Fig. 7 に CBS 制御の概念を示す。左側の図は前後ブレーキ力の配分パターンであり、右側の図はその配分パターンに従ってブレーキをかけ始めてから解除するまでの後輪ブレーキ力の時間変化を示したものである。Fig. 7 (a) は機械式 CBS、(b) は本システムの例である。機械式 CBS ではブ

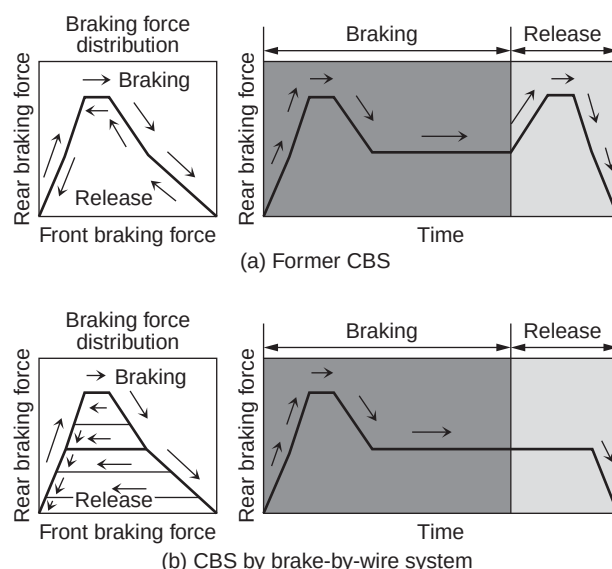


Fig. 7 Braking force distribution pattern of CBS

レーキ入力時と解除時の前後ブレーキ力配分パターンが同一のため、解除時には瞬間的な後輪の引きずりが発生する。この特性がスポーツライディングを妨げていた。本システムはブレーキ力配分を前後独立して自由に設定できるので、解除時に後輪ブレーキ力が増加することがない。

6.2. ピッチング制御

スーパースポーツ二輪車は高減速度域で大きなピッチングが発生し、自然な姿勢を保ちにくいことがある。この時ABSを作動させれば大きなピッチングの発生を防ぐことが可能である。しかし、ブレーキ入力速度や前後輪の荷重移動の状況によってはスリップ率が増加しないため、従来のスリップ率感応型ABSでは対応できなかった。そこで、本システムではブレーキ入力圧と昇圧率からピッチングの発生を予測して、最適のタイミングでABSを作動させることで、車体のピッチング発生を抑制するピッチング制御をおこなっている⁽³⁾。

本システムを組み込んだスーパースポーツ二輪車を使い Table 2 のテスト条件で、ピッチング制御の有効性を確認した。テストに用いたスーパースポーツ二輪車の主要諸元を Table 3 に示す。Fig. 8 はピッチング制御がない場合の例である。ブレーキ開始直後は 0.8 G の減速度が発生しているが、直後に大きなピッチングが発生したため、ライダーは、途中でブレーキ操作をやめている。

Table 2 Test conditions

	Brake-by-wire system	Brake operation	Brake control system		
			ABS	Combined brake	Pitching control
Test 1	Deactivated	Conventional brake (hand and foot)	Deactivated	Deactivated	Deactivated
Test 2	Activated	Hand-operated combined brake	Activated	Activated	Deactivated
Test 3	Activated	Hand-operated combined brake	Activated	Activated	Activated

Fig. 9は、ピッチング制御を実施したときの例である。前輪ブレーキ入力の昇圧率から ECU がピッチングの発生を予測して、前輪ブレーキキャリパ圧を急昇圧させている。これによって、前輪ブレーキはABS作動状態となり、最大ピッチングも 5 deg 程度に抑えられている。通常のブレーキにおいて発生するノーズダイブが 6 deg 程度なので、ピッチング制御が有効に機能したと判断できる。

Table 3 Specifications of test motorcycle

Items		Test motorcycle
Brake system	—	Brake-by-wire
Wheelbase	L (m)	1.372
Curb mass	M (kg)	185.6
Height of C.G.	H (m)	0.681
Distance between C.G. and rear axle	X (m)	0.663
Distributed load of motorcycle with one rider	Front (N)	1 235
	Rear (N)	1 321
Pitching factor	(L-X)/H	1.04
Engine displacement	V (cm ³)	599

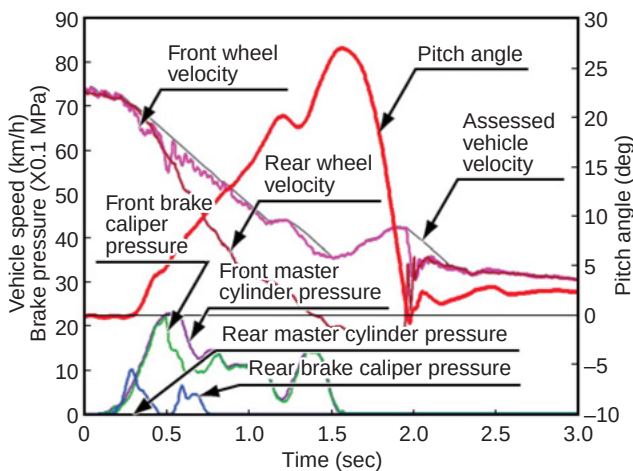


Fig. 8 Example of time history data (Pitching control deactivated)

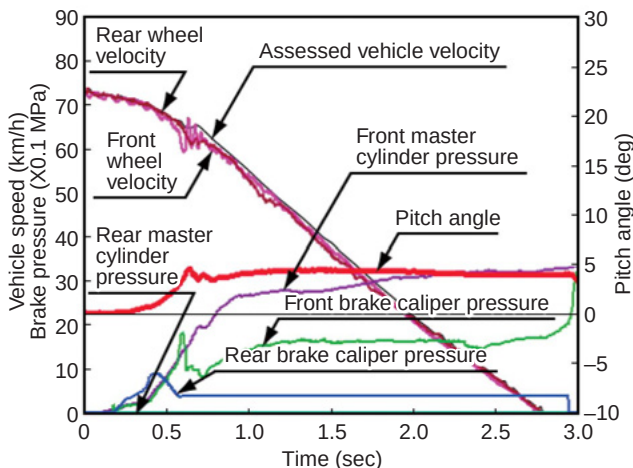


Fig. 9 Example of time history data (Pitching control activated)

7. 結論

スーパースポーツ二輪車用ブレーキパイワイヤシステムが開発できた。その成果は以下の通りである。

- (1)ピッチング制御により、ABS 作動時の高い減速度と車体安定性が両立できた。
- (2)スポーツライディングと CBS が両立できた。
- (3)スーパースポーツ二輪車に搭載可能なサイズを実現できた。
- (4)ばね下質量の増加は、操安性に影響を与えないレベルに抑えられた。
- (5)新開発のストロークシミュレータによって従来ブレーキ同等の操作フィーリングが達成できた。
- (6)電源 OFF 時およびシステムフェール時にブレーキ機能が確保できた。

参考文献

- (1)西本幸正, 谷一彦: 二輪車のブレーキシステムの現状と将来, 自動車技術会シンポジウム, 20054590, No.05-05, p.41-46(2005)
- (2) Tsuchida T., Nishimoto Y.: Advanced Brake Systems for Powered Two Wheelers: CBS, ABS and Future Directions, 4th International Motorcycle Conference, p.379-396(2002)
- (3) Nishikawa, Y., Nanri, T., Takenouchi, K., Takayanagi, S., Tani, K., Fukaya, S.: Experimental Study of Pitching Control of Large Motorcycle with Short Wheelbase Using a Brake-by-Wire System, 7th International Motorcycle Conference (2008)

■ 著 者 ■



西川 豊



南里 武彦



竹之内和也



高柳 真二



谷 一彦



深谷 修一