



Circuits from the Lab™ 実用回路は今日のアナログ・ミックスド・シグナル、RF回路の設計上の課題の解決に役立つ迅速で容易なシステム統合を行うために作製、テストされました。詳しい情報や/又は支援については www.analog.com/jp/CN0188 をご覧ください

接続/参考にしたデバイス

ADA4051-2	マイクロパワー、ゼロドリフト、レール to レール入/出力、デュアル・オペアンプ
AD7171	低消費電力、16ビットシグマ・デルタ ADC
ADR381	2.5 V、低ノイズ、高精度、バンドギャップ電圧リファレンス
ADuM5402	DC/DC コンバータ内蔵クワッド・チャンネル・アイソレータ

負の高電圧レールで使用するレベル・シフト付き低コストロー・サイド電流モニタ

評価と設計支援

回路評価基板

[CN-0188 回路評価基板\(EVAL-CN0188-SDPZ\)](#)

[システム・デモ用プラットフォーム\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

設計と統合ファイル

[回路図、レイアウト・ファイル、部品表](#)

回路の機能とその利点

図1に示す回路は、-48 Vの各チャンネルの電流を1%精度でモニタできます。負荷電流は(回路に外付けの)シャント抵抗を流れます。シャント抵抗の値はシャント電圧が負荷最大電流時に約50 mVになるように選びます。

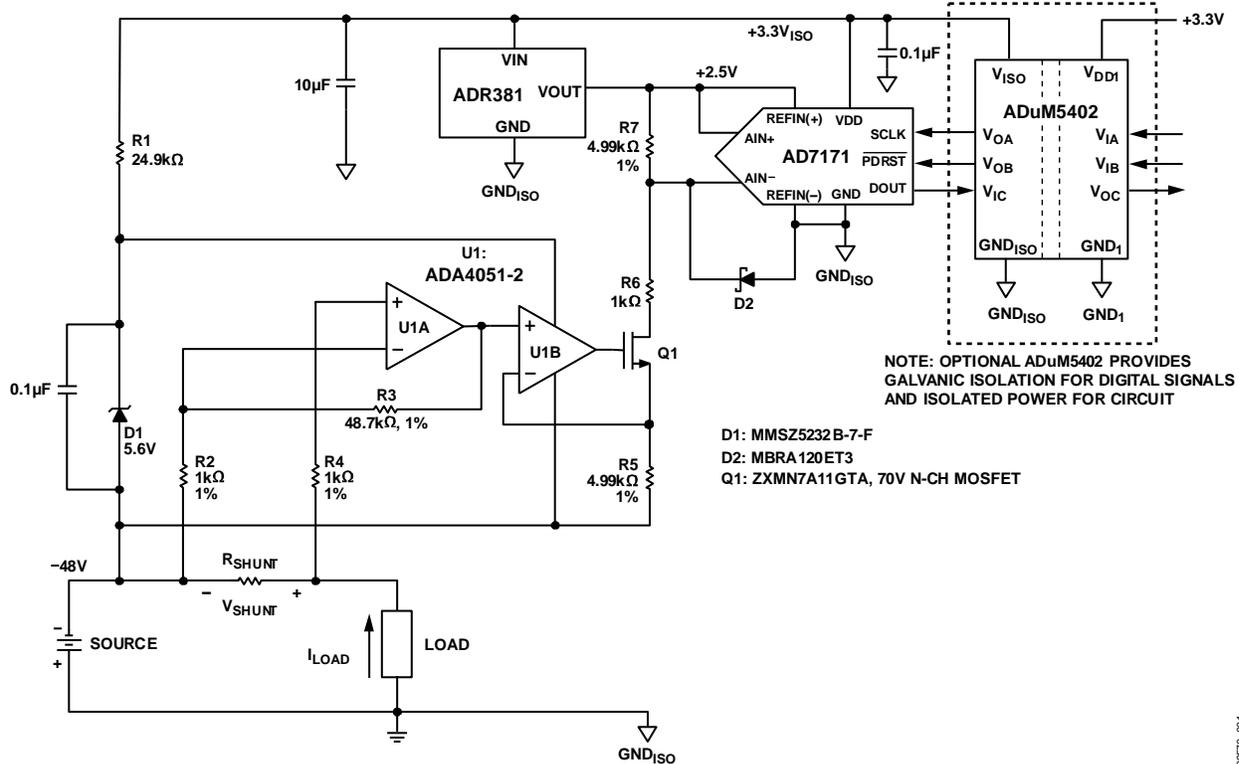


図1.負の高電圧レールで使用するロー・サイド電流モニタ (接続と、デカップリングのすべては示されていません)

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本誌記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. A

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル
電話 03 (5402) 8200
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー
電話 06 (6350) 6868

AD7171 からの測定結果は単純な 2 線、SPI 互換のシリアル・インターフェースを利用したデジタル・コードとして出力されます。全体の回路は+3.3 V 単電源で動作します。オプションの直流絶縁はクワッド・チャンネル・アイソレータ ADuM5402 によって実現できます。デジタル・アイソレータ ADuM5402 は出力データを絶縁するだけでなく絶縁した回路用+3.3 V 電源も供給できます。もし直流絶縁が必要ない場合、通常の回路動作には ADuM5402 は必要ありません。

これらの部品を組み合わせる事によりわずかな部品数、低価格、低消費電力で、高電圧負レールの高精度電流検出回路が実現できます。測定精度は主に抵抗の許容誤差とバンド・ギャップ・リファレンスの精度によって決まりますが、一般的に 1% 以下です。

回路説明

この回路は 50mV のフルスケールのシャント電圧が負荷最大電流 I_{MAX} で得られるように設計されています。従って、シャント抵抗の値は $R_{SHUNT} = (50 \text{ mV}) / (I_{MAX})$ になります。

オープンアンプ段のグラウンドを電源の同期モード電圧(-48 V)に接続します。オペアンプ段の電源電圧は”フローティングされた 5.6V ツェナー・ダイオード (約 2 mA の電流でバイアスされています) によって供給されます。これにより別電源を使用する必要がなくなります。回路は変更無しに-60 V ~ -10 V の電源電圧で動作します。

シャント電圧は $U_{1A} (G = 1 + R_3/R_2)$ により 49.7 の倍率で増幅されます。ゼロ・ドリフト・オペアンプ ADA4051-2 は低オフセット電圧 (15 μV_{max}) なので測定値に対する誤差は微小です。50mV のフルスケール・シャント電圧は U_{1A} により 2.485 V (電源の同相モード電圧を基準に) のフルスケール出力電圧が生じます。

U_{1B} のフィードバック・ループ内に接続されている高い V_{DS} ブレークダウン電圧 (70 V) の N-チャンネル MOSFET が抵抗 R_5 両端に U_{1A} の出力電圧を供給します。そしてその結果の電流が R_6 と R_7 を流れます。つまり U_{1A} から出力するフルスケール電圧 2.485 V により 0.498 mA のフルスケール電流が生じ、その電流により抵抗 R_7 両端にフルスケール電圧 2.485 V が発生します。 R_7 両端で生じた電圧は ADC の A_{IN} -に印加されます。抵抗 R_6 とショットキーダイオード D_2 は MOSFET が短絡した時 AD7171 の入力を保護します。

ADR381、AD7171、フローティング・ツェナー・ダイオードはクワッド・アイソレータ ADuM5402 の電源電圧は絶縁された電源出力(+3.3 V_{ISO})から供給されている事に注目してください。

AD7171 のリファレンス電圧は高精度バンド・ギャップ・リファレンス ADR381 から供給します。ADR381 の初期精度は 0.24% で、温度係数は 5 ppm/°C です。

AD7171VDD と REFIN(+)の両方を 3.3 V 電源で動作させる事も出来ますが、分離したリファレンスを使用する事でより良い精度が得られます。十分なヘッドルームを得るために 2.5 V リファレンスが選ばれています。

AD7171ADC に印加された入力電圧は ADC の出力でオフセット・バイナリ・コードに変換されます。ADuM5402 により DOUT データ出力、SCLK 入力、PDRST 入力は絶縁されます。

得られたデータは SDP ハードウェア基板と LabVIEW ソフトウェアを使用する事により PC で処理されます。

図 2 のグラフはテスト対象の回路が全入力電圧範囲 (0 mV ~ 50 mV) で誤差 0.3% を達成している事を示しています。比較は ADC の出力で観測したコード (LabVIEW によって記録されます) と完全なシステムをベースに計算した理想コードとで行われています。

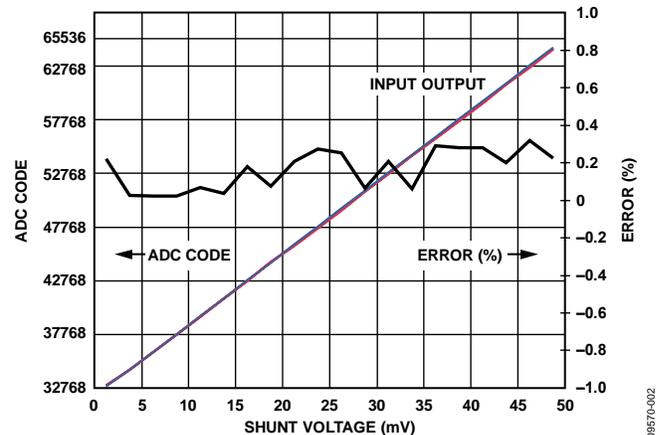


図 2. 出力と誤差対シャント電圧のグラフ

この理想コードを計算するために、システム性能についていくつかの仮定を設定しなければなりません。初めに、オペアンプ・ゲイン段は入力信号を正確に 49.7 倍としているとします。抵抗の偏差が 1% の場合、この値はワースト・ケースで 2% 変動します。2 番目に電流シンク抵抗 (R_5) と ADC 入力抵抗 (R_7) は同等と仮定します。回路で、これら重要な抵抗は 1% の許容誤差になっています。これらは同じ値なので、マッチングはおそらく 1% 以下です。より厳しい許容誤差の抵抗を使用する事もできますが、その場合、精度は向上しますが、回路コストも上がります。

回路の機能や性能にとって必ずしも必要なものではありませんが、ユーザやハードウェアの安全性を確保するために、いくつかの項目が PCB 上に施されています。例えば、もし Q_1 が破壊又は短絡した場合、ADC、SDP 基板、ユーザ、ユーザの PC は大きな負電圧電位により危険に晒されます。回路には安全を確保するための素子として AD7171 を保護する受動素子の R_6 、 D_2 、またユーザの PC と SDP 基板上の回路を保護するクワッド・チャンネル・デジタル・アイソレータ ADuM5402 が実装されています。

プリント基板レイアウトの考慮事項

高精度が要求される回路では、基板上の電源とグラウンド・リターンのレイアウトを注意深く行う事が重要です。PCB はアナログ部とデジタル部をできる限り分離してください。この PCB は大きな面積のグラウンド・プレーン層、電源プレーン層と共に 4 層に積み重ねて構成されています。レイアウトとグラウンディングに関するさらに詳しい内容は [MT-031 Tutorial](#) を、そしてデカップリング技術に関する情報については [MT-101 Tutorial](#) をご覧ください。

AD7171 と ADuM5402 に対する電源は、適切にノイズを抑制しリップルを削減するために、10 μF と 0.1 μF でデカップリングする必要があります。低 ESR 値の 0.1 μF コンデンサを使用し、これらコン

デンサは可能な限り素子の近くに配置してください。すべての高周波数デカップリングにはセラミック・コンデンサを推奨します

ADuM5402 の 1 次・2 次間の絶縁間隙の検討には注意が必要です。EVAL-CN0188-SDPZ 基板では表面層のすべてのレイアウト又は部品を後方に置き、それらを ADuM5402 のピンと揃える事によりこの距離を最大にしています。

電源ラインはできるだけ太いパターンにして低インピーダンス経路にし、電源ライン上のグリッチによる影響を軽減させる必要があります。クロックやその他の高速スイッチング・デジタル信号は、デジタル・グラウンドでボード上の他の部分からシールドする必要があります。

この回路ノートのための完全な設計支援パッケージは <http://www.analog.com/CN0188-DesignSupport> に載っています。

バリエーション回路

正電源側のハイ・サイド検出を提供する数多くのソリューションがあります。電流検出アンプ、差動アンプ又はこれらの組み合わせを使った IC ソリューションが提供されています。

Analog Dialogue vol.42-1 「ハイ・サイド電流の検出：差動対電流検出アンプ」には電流検出と差動アンプの使用について述べられています。

この記事は www.analog.com/jp/HighSide_CurrentSensing に掲載されています。

以下の URL は電流検出の問題解決に役立つアナログ・デバイセズ製品へリンクします：

電流検出アンプ：www.analog.com/jp/CurrentSenseAmps

ディファレンス・アンプ：www.analog.com/jp/DifferenceAmps

計装アンプ：www.analog.com/jp/InstrumentationAmps

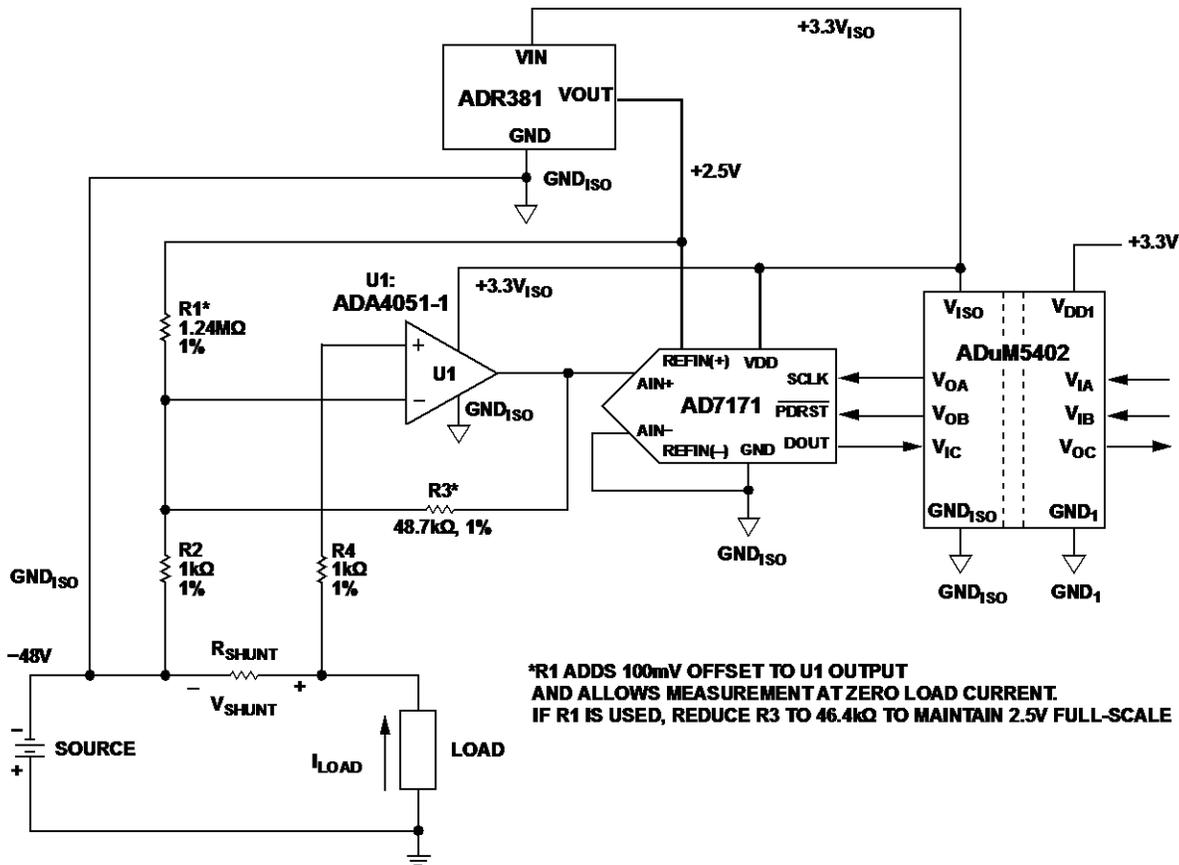


図 3.-48V 電圧源と ADuM5402 アイソレータから直接電源を供給するもう 1 つの電流絶縁型負レール電流検出回路 (全ての接続とデカップリングは示されていません)

図3は直流絶縁が必要とされる場合に使用できるもう1つの回路を示します。全体の回路のグラウンドを-48 V 電源源に接続します。ADuM5402 から供給される絶縁された +3.3 V は回路電源として使用されます。この回路はオペアンプ/MOSFET レベル・シフタ(図1参照)を必要としません、なぜならレベル・シフト機能はアイソレータ ADuM5402 によって実現され、新たなグラウンド・リファレンス(GND1)がデジタル信号用に確立されるからです。

シングル・ゼロ・ドリフトの ADA4051-1 はシャント電圧を 49.7 倍します。抵抗 R1 によりオペアンプ出力に 100 mV の正のオフセット電圧が加わるのでゼロの負荷電流状態まで回路は動作します。このオフセットが加わった場合、50 mV シャント抵抗で ADC 入力電圧のフルスケールを 2.5 V に保つために、R3 を 46.4 kΩ まで小さくする必要があります。オフセット無しの場合、約 40 mV 以下の出力電圧では ADA4051-1 の出力の線形性が保たれません。

回路評価とテスト

この回路は回路基板 (EVAL-CN0188-SDPZ) とシステム・デモ用プラットフォーム (SDP) 評価基板の EVAL-SDP-CB1Z を使用します。2つの基板には、迅速な回路性能の設定と評価を可能にする 120ピン接続用コネクタがあります。この回路ノートに記述されているように、EVAL-CN0188-SDPZ 基板には評価対象の回路が含まれています。そして SDP 評価基板を CN0188 評価ソフトウェアと共に使用して、回路基板 (EVAL-CN0188-SDPZ) からのデータを取り込みます。

必要な装置

- USB ポート内蔵で Windows® XP 又は Windows Vista®(32-bit) 又は Windows® 7 (32-bit) 対応の PC
- 回路評価基板 (EVAL-CN0188-SDPZ)
- 評価基板 (EVAL-SDP-CB1Z SDP)
- CN0188 評価ソフトウェア
- 電源電圧: +6 V 又は +6 V AC アダプタ
- 最大負荷電流で 50 mV の最大電圧となるシャント抵抗
- 電子負荷

始めてみよう

CN0188 評価ソフトウェア・ディスクを PC の CD ドライブに入れて評価ソフトウェアをロードしてください。"マイ・コンピュータ"を使用して、評価ソフトウェア・ディスクのドライブを見つけ、Readme ファイルを開いてください。Readme ファイルに含まれているインストラクションに従って、評価ソフトウェアをインストールし、使用してください。

機能ブロック図

回路ブロック図についてはこの回路ノートの図1を、そして回路図については"EVAL-CN0188-SDPZ-SCH"の pdf ファイルをご覧ください。このファイルは、[CN0188 Design Support Package](#) に含まれています。

セットアップ

回路基板 (EVAL-CN0188-SDPZ) の 120 ピン・コネクタを評価基板 (EVAL-SDP-CB1Z) の "CON A" と表示されたコネクタに接続してください。120 ピン・コネクタの末端にある穴を利用して 2 つの基板をしっかりと固定するためにナイロン製ハードウェアを使用する必要があります。

図1に示したように入力端子からグラウンドに対し負荷を接続し、入力端子間にシャント抵抗 (R_{SHUNT}) を接続してください。電源をオフにして、+6 V 電源を基板の "+6 V" と "GND" と表示されているピンに接続してください。もし +6 V 用 AC アダプタがあれば、基板上のジャック・コネクタに接続して +6 V 電源電圧の代わりに使用する事ができます。SDP 基板と共に供給される USB ケーブルを PC の USB ポートに接続してください。注: この時にはまだ USB ケーブルを SDP 基板上のミニ USB コネクタには接続しないでください。

テスト

回路基板 (EVAL-CN0188-SDPZ) に接続した +6 V 電源 (又は AC アダプタ) に電源を供給してください。評価ソフトウェアを立ち上げ、PC からの USB ケーブルを SDP 基板上の USB ミニ・コネクタに接続してください。

1 度 USB の通信が確立されれば、SDP 基板を使用して回路基板 (EVAL-CN0188-SDPZ) からのシリアル・データの送信、受信、取り込みを行う事ができます。電子負荷をステップ状に変化させる事により、様々な値の負荷電流のデータを記録する事ができます。

データ取り込みのための評価ソフトウェアの使用方法についての情報と詳細は CN0188 評価ソフトウェア Readme ファイルに記載されています。

SDP 基板に関する情報は [SDP User Guide](#) に載っています。

さらに詳しくは

CN0188 [デザイン・サポート・パッケージ](#)

<http://www.analog.com/CN0188-DesignSupport>

[Analog Dialogue vol.42-1](#)

「ハイ・サイド電流の検出: 差動対電流検出アンプ」

Cantrell, Mark. Application Note AN-0971, *Recommendations for Control of Radiated Emissions with isoPower Devices*. Analog Devices.

Chen, Baoxing, John Wynne, and Ronn Kliger. *High Speed Digital Isolators Using Microscale On-Chip Transformers*, Analog Devices, 2003.

Chen, Baoxing. *iCoupler® Products with isoPower™ Technology: Signal and Power Transfer Across Isolation Barrier Using Microtransformers*, Analog Devices, 2006

Chen, Baoxing. "Microtransformer Isolation Benefits Digital Control." *Power Electronics Technology*. October 2008.

Ghiorse, Rich. Application Note AN-825, *Power Supply Considerations in iCoupler® Isolation Products*, Analog Devices.

Krakauer, David. "Digital Isolation Offers Compact, Low-Cost Solutions to Challenging Design Problems." *Analog Dialogue*. Volume 40, December 2006.

MT-022 Tutorial, *ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics*, Analog Devices.

MT-023 Tutorial, *ADC Architectures IV: Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications*, Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND,"* Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.
Wayne, Scott. “*iCoupler*® Digital Isolators Protect RS-232,
RS-485, and CAN Buses in Industrial, Instrumentation,
and Computer Applications.” *Analog Dialogue*. Volume 39,
October 2005.

データシートと評価用ボード

CN0188 回路評価用ボード(EVAL-CN0188-SDPZ)

システム・デモ用プラットフォーム(EVAL-SDP-CB1Z)

ADA4051-2 データシート/評価用ボード

ADA4051-1 データシート/評価用ボード

AD7171 データシート/評価用ボード

ADR381 データシート

ADuM5402 データシート/評価用ボード

改訂履歴

6/11—Rev. 0 to Rev. A

Changes to Circuit Note Title	1
Changes to Circuit Function and Benefits	1
Changes to Figure 1.....	1
Changes to Circuit Description	2
Changes to Common Variations	3
Added Figure 3.....	3

4/11—Revision 0:初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。