

IMC®を使用したプログラマブル・リニア・ホールICについて

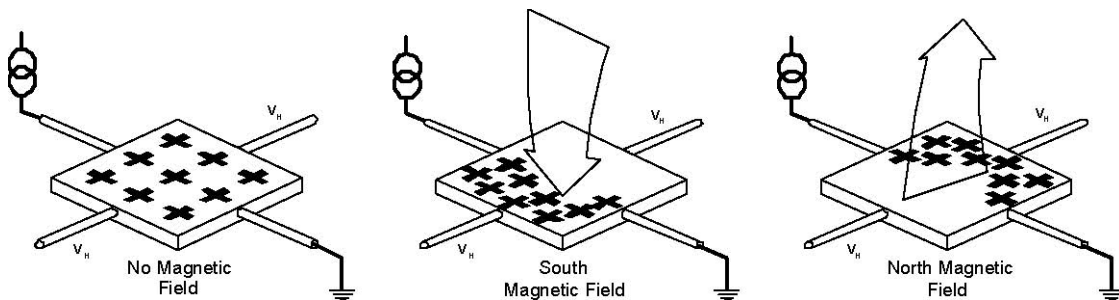
2007年10月25日

Melexis-Japan FAE 大河裕二

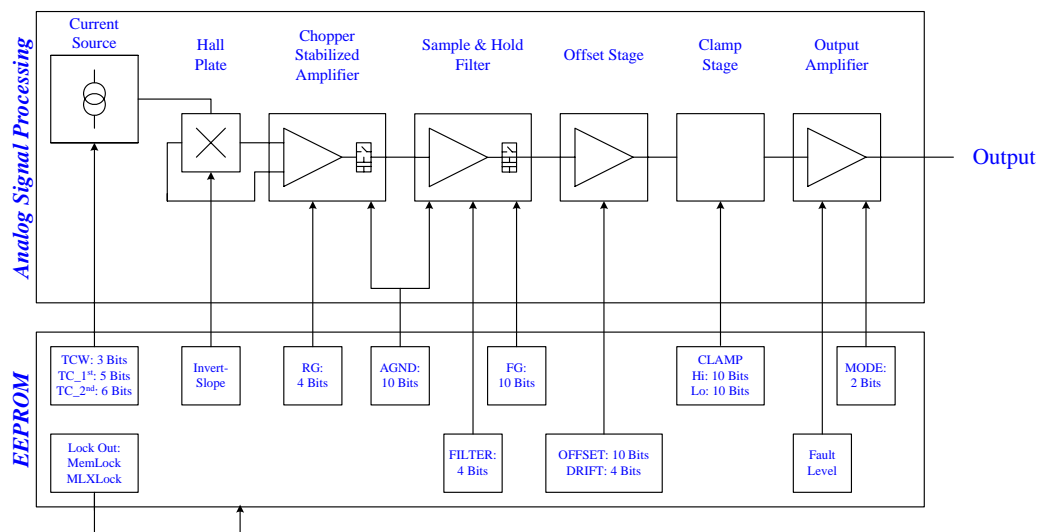
「はじめに：ホール効果について」

ホール効果の原理は物理学者のエドウィン・ホール (Edwin Hall) にちなんで付けられました。彼は1879年に、一方向への電流の流れを伴う導体 (または半導体) が磁場に垂直な状態に置かれたときに、電流経路と直角の方向で磁場によって発生した電圧を測定することができることを発見しました (図1)。ここで、導体 (または半導体) に流す電流をバイアス電流 (I_B)、磁場に比例して発生した電圧をホール電圧 (V_H) といいます。

その後、これらの原理を利用した素子が集積回路 (IC) という形で作られ始めると、ソリッドステートスイッチの長寿命というメリットから、様々なアプリケーションで、ホールセンサ (ホールIC) は機械的な接触スイッチに置き換わるものとして、その用途を広げてきました。1980年代の半ば、自動車の点火ポイントが機械式からホールICに切り替えられ始めてから、現在では、自動車の市場で、1年あたりおよそ4000万個以上のホールICが使われるようになりました。現在ではホール素子とCMOS-ASICが集積化され、センサー出力の増幅やデジタル信号変換などの信号処理機能、そして、オフセットおよび温度補正といったプログラマブルな補正機能を1チップにしたものが主流になってきています (図2)。



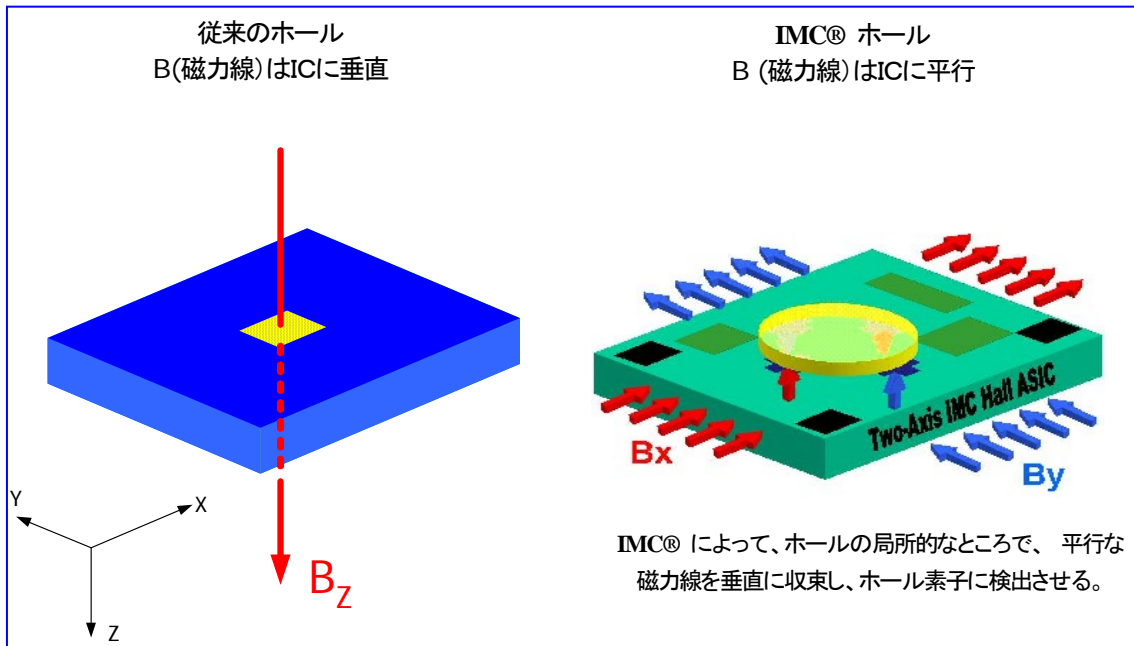
(図1) ホール効果



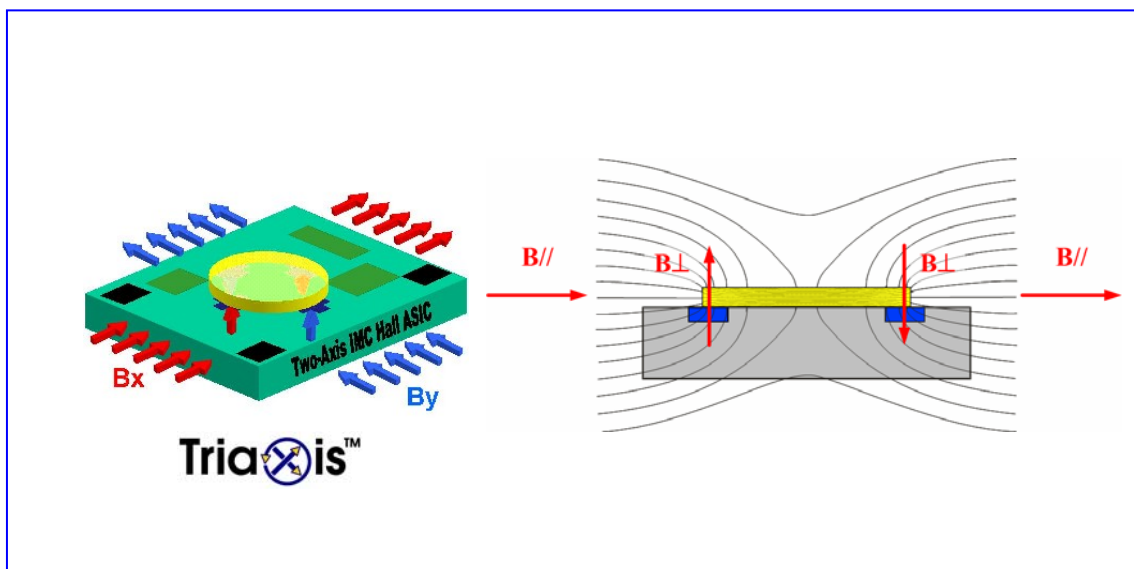
(図2) Melexis社のリニア・ホール・IC MLX90251のブロックダイアグラム

「素子に平行な磁束を測定する IMC®を使用したプログラマブル・リニア・ホール IC」

現在では、ホール素子は、化合物半導体を使ったものがほとんどで、通常の IC の拡散工程で作られます。このようなホール素子は、チップの表面に対し平行な位置に形成されますので、検出できる磁束の向きは当然 IC チップに対し垂直なものになります。それに対して、Melexis 社から発表された IMC® を使用したホール IC はチップの面に対して平行に発生する磁束も測定することが可能になっています。これは IMC® (インテグレートッド・マグネット・コンセントレータ®) と呼ばれる、軟磁性体をチップの表面層に形成し、これによって、チップと平行な磁束を収束することで実現しています (図 3)。この磁性体コアは局所的 (エッジ) に磁束を収束させる働きがありますので、その箇所にホール素子を配置することで、平行な磁束を検出することが可能になります (図 4)。



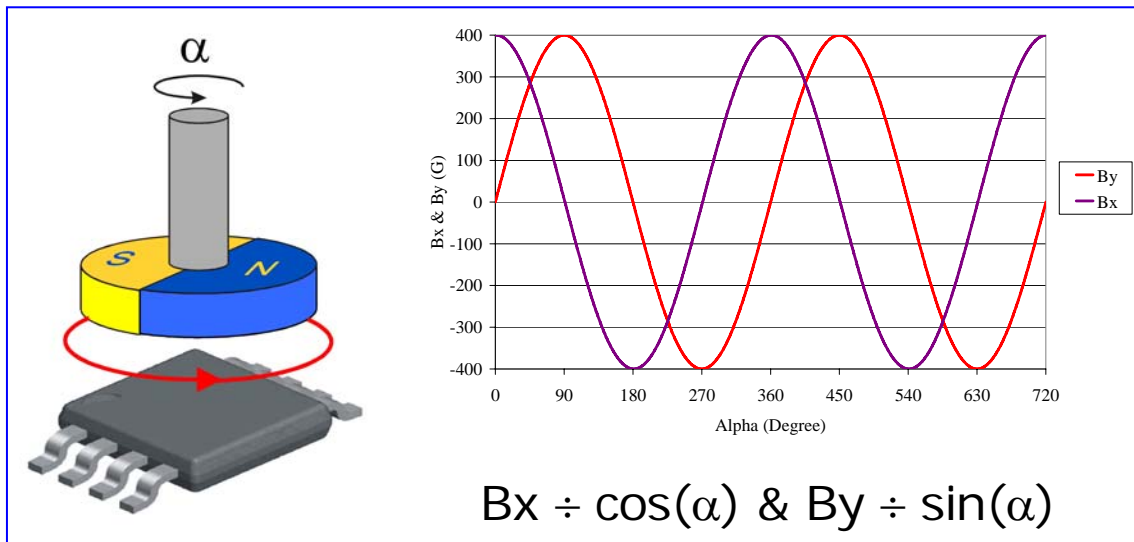
(図 3) 従来のホール素子と IMC®ホール



(図 4) インテグレートッド・マグネット・コンセントレータとプレーナ・ホールを組み合わせた回路

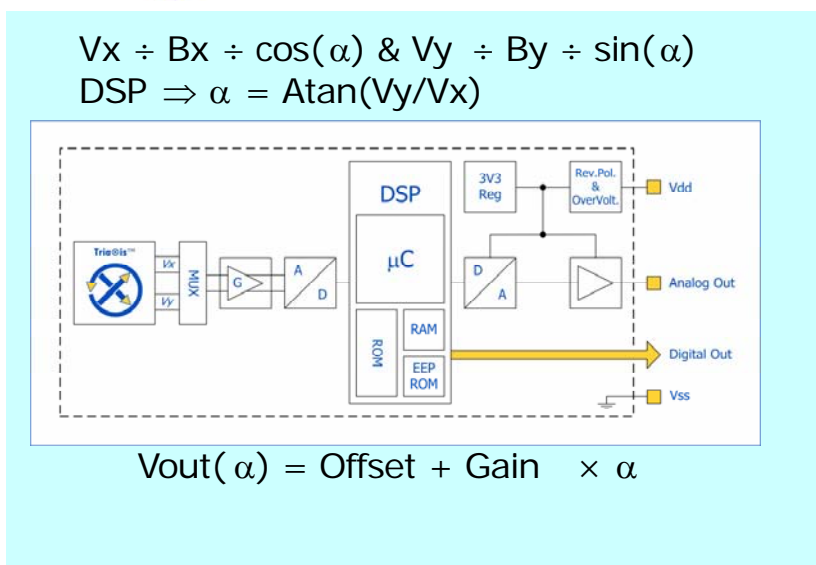
このコンセントレータに使用される軟磁性体は、デバイスの表面にアモルファスの軟磁性体フィルム

(リボン)を接着し、CMOSプロセスのポストプロセスとしてフォトレジとプラズマエッチングによって形成されます。そのため、微細加工が可能でさまざまな形状に対応することができます。図4の場合は、円形のコンセンレータを使用し、その90度の位置にホール素子を配置しています。対向するホール素子にはそれぞれチップと平行な磁束が屈折されたB+とB-の逆相の磁束が入力されます。この2つの対向するホール素子の差動電圧がチップと平行に発生した磁束によるホール電圧になります。また、このホール素子のペアを直角に配置することで、それぞれのペアで検出されたホール電圧BxとByの相対値(差動)をとることによって、X-Yの2軸の検出すなわち平行磁束の角度の検出が可能になります(図5)。



(図5) X-Y 2軸 (角度) の検出

また、後段の信号処理で、BxとByの相対値と絶対値を計算すれば、X-Y-Zの3軸の位置検出が可能になります。IMC®を使用した、この3軸の検出方式をMelexis社ではトライアクシス™ [TriAxis™] と呼んでいます。



(図6) トライアクシス™を使用した3軸位置センサーIC [MLX90316] のブロックダイアグラム

「IMC®のメリット」

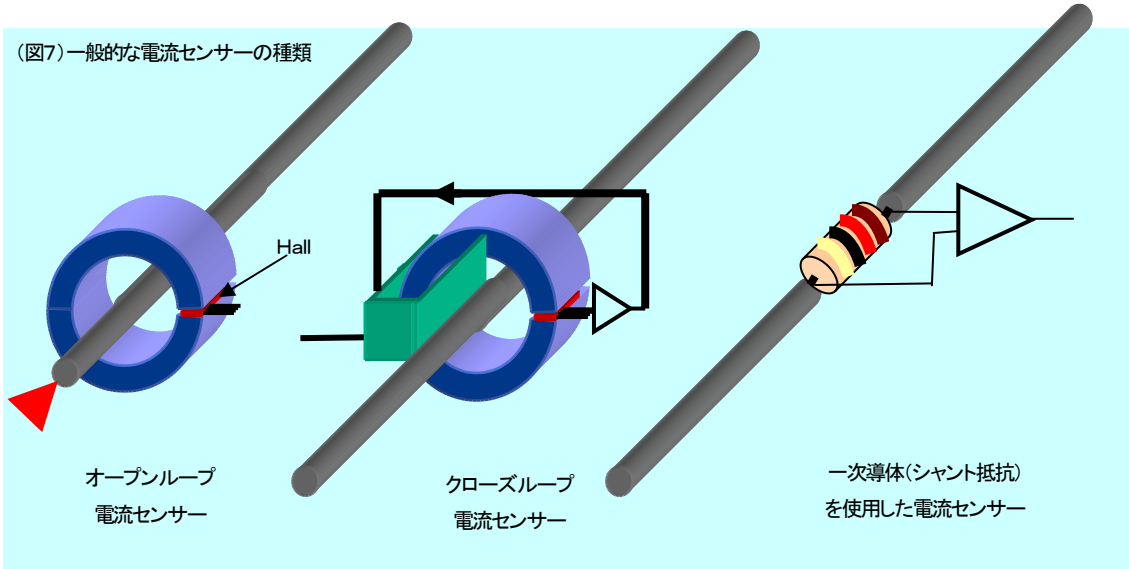
このIMC®に使用される軟磁性体は、CMOSのポストプロセスの工程内で形成することが可能です。そのため、デバイスとしての価格は従来のホール素子に比べてあまり大きな影響が無く、また、硬質磁性体コアなどで問題となる非直線性やヒステリシス（B-H特性）などが非常に少ない特殊な素材を採用しています。そのため、このようにIMC®を磁気コアとして使用した場合でも磁気特性に対するリニアリティや精度にほとんど影響がありません。そして、このIMC®を使用しX-Yの2軸を検出する場合、従来のホール素子の位置検出のような、プレートに入る磁束の密度を直接検出している方式と違い、ホール出力の相対値（差動）を検出しているため、磁束密度の絶対値の変動に対し出力はあまり影響を受けません。すなわち、温度変化による磁力変動や経年変化による減磁に対して、精度が安定していることとなります。このことから、IMC®を使用した角度検出回路は、面倒な位置合わせや精度の検証が必要だった磁石の設計を簡単にすることができ、また比較的低価格な磁石を使用することが可能になります。

「トライアキス™を使ったアプリケーション」

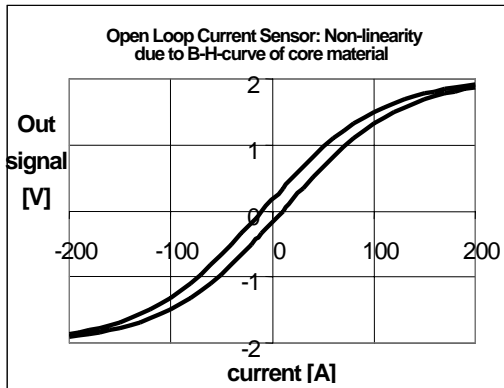
トライアキス™を使用することによって、表面実装デバイスで360度の角度検出と3軸の位置検出が簡単に行えます。3Dジョイスティックの位置検出やモーターのロータリーエンコーダ、ペダル踏み角やステアリングの舵角センサー、電子コンパスなどへの応用が可能になります。

「電流センサーとしての応用」

この、IMC®を使用したホール素子のもうひとつの特徴としては、コアレスのオープンループ電流センサーとして使用することができることです。現在、電流センサーには大きく3つの方式があります（図7）。



まず、オープンループ電流センサーの場合ですが、これは電流を流すコンダクタンス（導体）の周りに発生する磁場を、コアを使って収束し、ギャップ内のホール素子に入力する方法で、コアの素材の特性（B-H曲線・図7）によって性能が左右されます。これは、マテリアルのB-H曲線の特性によって、実際の電流に対して、出力に比直線性やヒステリシスが発生するため、コアの特性によっては非常に精度が悪いものになります。



(図8) コアのB-H曲線

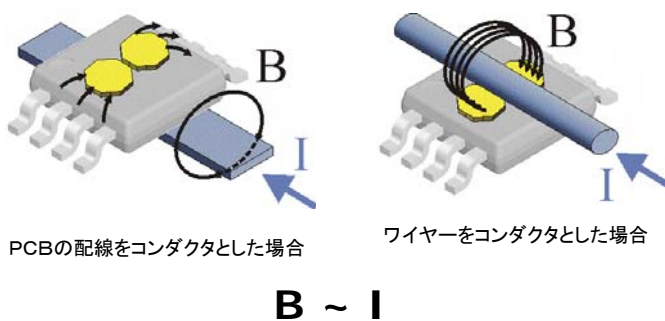
この、オープンループの電流センサーに対して、主力に対して補正のためのフィードバック回路を付けたものがクローズループ電流センサーになります。これは、出力からのフィードバックによってコアに取り付けた補正コイルに電流を流し、これによってリニアリティとヒステリシスを補正したものです。この補正回路によって、リニアリティやヒステリシスといった磁気コアの特性による精度の悪化を改善することができますが、フィードバックループに補正コイルといった回路が必要になるため、回路規模が複雑でオープンループに比べて高価になります。

最後にこれら2つの方式とは違う一次導体を使用した電流センサーがあります。これは、一次導体(シャント抵抗)などの小さな値の抵抗をコンダクタンスに直列につなぎ、その抵抗で発生した電圧降下を電流値として検出する方法です。この方法は、小型携帯機器などのバッテリーを使用した機器の電源回路に広く使われています。低電圧・低電流のアプリケーションでは、回路が簡単で精度も取れますが、大きな電流を扱う場合には、抵抗が大きな発熱の原因となりますし、抵抗での電圧降下の大きさがそのまま電力損失につながってしまうため、大電流のアプリケーションではあまり使用されません。

「IMC®を使用したコアレスのオープンループ電流センサー」

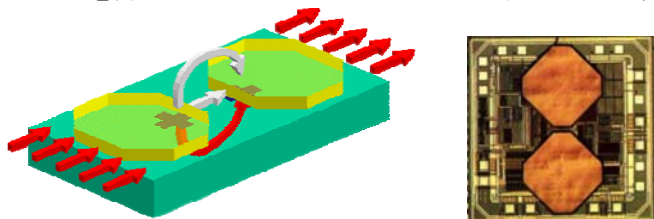
IMC®を使用したホールICはチップと平行な磁束を検出できるため、電流センサーとしても使用することが可能です。このデバイスは、その構造からPCBのパターン上に(または電線の下側に)ICを配置するだけで、コアレスのオープンループ電流センサーとして機能することができます(図9)。

IMC® 電流センサー「MLX91205」



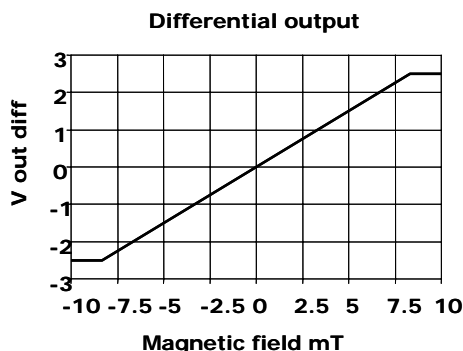
(図9) IMC®電流センサー

これらの電流センサー用 I MC[®]ホール IC は図 1 0 のような構造になっています。



(図 1 0) I MC[®]電流センサーの構造

この場合、コアレスと呼んでいますが、実際には IC 内部のコンセントレータが磁気コアの働きをしています。この例ではコンセントレータは 8 角形をしています。この形状を楔形などに変えることによって物理的に磁束を集中させてコア自体の磁気ゲインを上げることも可能です。また、この I MC[®]のコアは一般のオープンループ電流センサーのコアで問題となる非直線性とヒステリシスが非常に小さく(図 1 1)、オープンループ回路構成でクローズループに匹敵する性能を可能にしています。



(図 1 1) I MC[®]の磁気特性

「外来磁場によるノイズについて」

コアを使用したオープンループ&クローズループの電流センサーに比べ、I MC[®]を使用した電流センサーは、磁気回路が磁性体で覆われていないため、外来磁場による磁気ノイズに対して多少対策を行う必要があります。これらは、簡単なシールドを施すことでほとんどの場合問題なくなります。電線の電流を測るタイプでは、コンダクターとデバイスを薄い磁気シールドでトンネル状に覆うようなシールドが、また、PCB上のパターンで測定する場合は、PCBの半田面に磁気シールドのベタパターンを使用することで、ノイズの影響を充分除去できる効果があります

「I MC[®]を使用したコアレス・オープンループ電流センサーのメリット」

I MC[®]を使用したコアレス・オープンループ電流センサーの利点として以下の項目が挙げられます。

- 1) 設計が簡単：オープンループでのコアの設計や、クローズループでのフィードバック設計などが不要で、表面実装の IC 単体で構成が可能。
- 2) 低価格：オープンループでの磁気コアや、クローズループでのフィードバックコイルなどが必要なく、部品点数を削減することができ、回路価格を低く抑えることができる。
- 3) 高精度：I MC[®]自体の磁気特性が一般的な磁気コアより優れており、非直線性やヒステリシスなどの影響がほとんど無い。
- 4) 広帯域：差動信号を使用するため、初段のチョップアンプ等を高速化でき、従来のホール素子に比べ、帯域幅や応答スピードを高速にすることができる。
- 5) 広測定範囲&高ゲイン：I MC[®]自体で磁気ゲインを上げることができるため、従来のホール素子に比べ、入力範囲が広く、高いゲインを得ることができる。
- 6) 動作温度範囲が広い：車載向け信頼性に対応している製品は、 -40°C から $+125^{\circ}\text{C}$ までの動作温度範囲に対応している。

「IMC®を使用したコアレス・オープンループ電流センサーのアプリケーション」

IMC®を使用したコアレス・オープンループ電流センサーのアプリケーションとしては、バッテリー・マネージメント（インテリジェント・バッテリー・モニタリング・システム）、電流モニタリング（ハーネス、強電モーター、スターター/オルタネーターなど）等があります。また今後需要が伸びると思われるハイブリッドカーなどに対して、現行のメカスイッチで行われているリレーやヒューズなどを使用した過電流保護回路のソリッドステート化に伴い、さまざまな応用が考えられます。

「Melexis社について」

Melexis社は1989年にベルギーで設立されたファブレスの半導体メーカーです。生産しているICの約70%が車載向けの製品で、そのうちの半数がセンサー（赤外線、圧力、ホール）関連になります。同社は1995年から自社ブランドの製品を展開しており、2004年度の販売実績は全世界で約200億円となっています。欧米および日本の大手自動車メーカーでの数多くの採用実績を持っており、自動車向けの信頼性に対応した製品を多数リリースしています。なお、今回紹介したIMC®、トライアクシス™はMelexisの登録商標です。また、このIMC®の材料およびこれをCMOS-ASICに集積化したデバイス技術に関して、Melexis社がワールドワイドで特許を取得しています。