

新電磁流量計 ADMAG AXF シリーズ

New ADMAG AXF Series Magnetic Flowmeters

吉川 修^{*1}
YOSHIKAWA Osamu

宿谷 憲弘^{*1}
SHIKUYA Norihiro

田中 俊行^{*1}
TANAKA Toshiyuki

田邊 誠司^{*1}
TANABE Seiji

新井 崇^{*1}
ARAI Takashi

太田 博信^{*1}
OHTA Hironobu

世界初の電極絶縁物付着診断をはじめ、幅広いアプリケーション機能を搭載した新電磁流量計 ADMAG AXF シリーズを開発した。

本稿では、磁気回路のシミュレーションによる直線性改善と個体差低減を実現、絶縁物付着診断、アラーム発生時の処置を示す表示器など、新機能、性能向上技術等その原理、開発手法を紹介する。

We have developed the new ADMAG AXF series of world's first Magnetic Flowmeters with Electrode Adhesion Diagnostic Function, as well as various application functions.

This paper describes the fundamental principles and development methods of the new functions and advanced technology of the ADMAG AXF series, such as the linearity improvement of flow rate measurement and decrease in variation between sensors by magnetic circuit simulation, the Adhesion Diagnosis Function, and a full dot matrix LCD that can indicate what type of maintenance work should be performed when an alarm is issued.

1. はじめに

1988年、当社はそれまでに培ってきた流量測定技術をもとに開発した2周波励磁方式を採用して、耐流体ノイズ性、ゼロ点安定性を向上させた電磁流量計 ADMAG シリーズを製品化した。

同シリーズは、その後、一体形防爆電磁、容量式電磁などファミリー機種を加え、アプリケーション領域を拡大しながら今日に至っている。

一方、近年の流量測定のアプリケーションは生産システムの技術進歩や多品種少量生産などにより、より高性能、高機能な測定が要求され、同時にそれに伴うメンテナンス性の向上も望まれている。

これらを背景に、この度、更なる性能、機能の向上とユーザーフレンドリーを追及した電磁流量計 ADMAG AXF シリーズを、ADMAG の後継シリーズとして製品化した。外観を、図1に示す。本稿では、特長と原理や技術コンセプトなどについて紹介する。

2. 主な特長

製品化した ADMAG AXF シリーズの主な特長を示す。

2.1 性能・仕様の向上

(1) 拡張2周波励磁方式

流体の耐スラリーノイズ性向上の実現と最低導電率
1 μ S/cm の実現

(2) 高速パルス出力

10 kHz の実現



図1 ADMAG AXFシリーズ外観

*1 制御プロダクトフィールド機器事業部 第3技術部

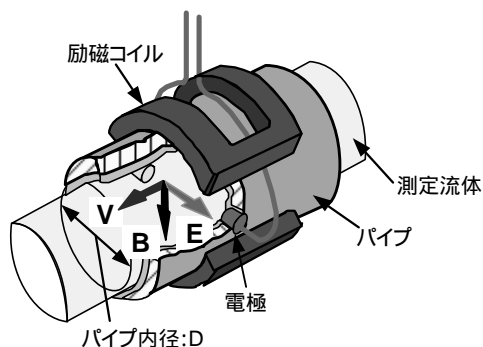


図2 電磁流量計原理

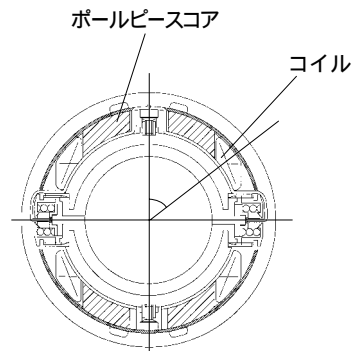


図4 既存製品の磁気回路

2.2 ユーザーフレンドリー

- (1) バックライト付フルドットマトリックスLCD表示器
- (2) 赤外線スイッチによるケース外部からの設定
- (3) 電極絶縁物付着診断機能と着脱電極採用によるメンテナンス性向上

2.3 ラインアップの拡大

- (1) 微小口径フランジ形の実現
- (2) サニタリ形の口径、接続方式の充実

3. 検出器の高精度化

既存製品が0.5% of rateの精度であるのに対し、ADMAG AXFシリーズは、出荷時精度0.2% of rateの精度を実現している。この精度向上にあたり、既存製品の見直しを含め、さまざまな技術革新を実施した。ここでは、その内容を述べる。

(1) 電磁流量計の原理

まず、電磁流量計の測定原理を簡単に説明する(図2)。電磁流量計は、コイルによって発生する磁束密度Bと流路の直径Dに対し、流速vで流体が流れた時に、次式のように、流速vに比例した起電力

Eが発生することを測定原理としている。

$$E = \alpha BvD$$

$$\text{流量 } Q = kv = k' E$$

(2) 磁界解析

ADMAG AXFシリーズの開発にあたっては、近年進歩した数値解析による磁界解析を随所に使用した。この数値解析により、条件の異なる磁界分布を自由自在に解析できるようになった。また、解析で求めた磁界分布データを、独自に開発した電磁流量計起電力計算ソフトに取り込み、電磁流量計の流速に対する直線性を求めることが可能となった。

図3に、既存製品でコイルの開き角(図4参照)を変化させた時の流量試験による直線性の変化と、磁界解析と起電力計算ソフトによるシミュレーション結果の比較を示す。

黒抜き実線の流量試験結果に対し、白抜き細線のシミュレーション結果がよく一致しており、実際の電磁流量計の直線性をシミュレーションによって求めることができた。このシミュレーション手法の確立により、開発期間の短縮、高精度化を実現できた。

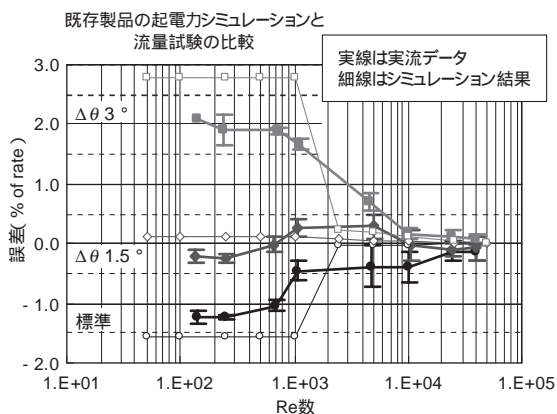


図3 起電力シミュレーション

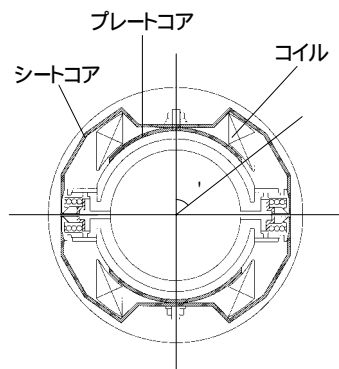


図5 ADMAG AXFの磁気回路

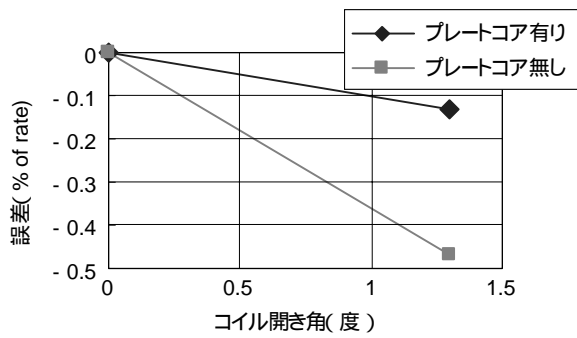


図6 コイル開き角と直線性

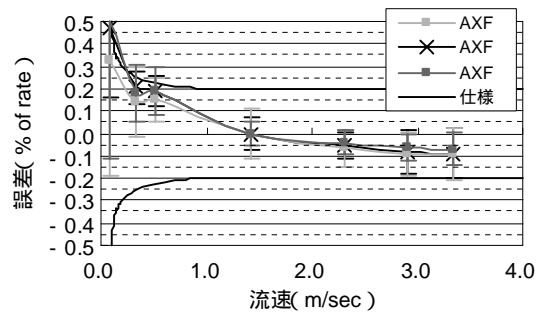


図8 試作品の実流試験結果

(3) 直線性を左右する要素の特定

次に、既存製品の直線性の実力確認を行った。この結果、既存製品では、ADMAG AXFシリーズが目指す出荷時の直線性0.2% of rateの精度に対してコイル、コア、リターン(これらは、電磁流量計における磁界を発生させる機構として、磁気回路といわれている。)の取り付け位置精度が十分でないことが確認された。

図4に、既存製品の磁気回路を示す。既存製品には、ポールピースコアとコイルの間に隙間があり、また、コイルを寸法精度よく作ることは、コスト面から課題点であった。

図3に示すように、電磁流量計の直線性を左右する要因は、コイルとポールピースコアの開き角()である。そこで、コイルをより寸法精度よく製造し、位置決めできるように磁気回路を新たに設計する必要があった。

この問題を解決するためのシミュレーションを行い、図5に示すように、プレートコアの上にコイルを載せることで、電磁流量計の直線性が受けるコイル寸

法の影響を緩和した。

図6に、プレートコアの有無によるコイル開き角に対する直線性誤差の影響を示す。プレートコア有りでは、コイル寸法の影響が約 $\frac{1}{3}$ と計算された。

図7は、プレートコアの開き角を変更したときの直線性の流量試験結果であり、プレートコアの寸法をコントロールすることにより、直線性をコントロールできることを示している。プレートコアはケイ素鋼板をプレスで打ち抜いたものなので、寸法再現性が高く、直線性の安定性を既存製品に比べ高くすることができる。

図8に、ADMAG AXFシリーズ試作品3台の流速に対する直線性の実流試験結果を示す。この結果は、ADMAG AXFシリーズの個体差が非常に少ないことを示している。

以上のように、数々の解析技術、高精度なシミュレーションを行うことで、試作回数を減らし開発期間を短縮するとともに、試作モデルのみによる試行錯誤の評価では困難な高精度製品の開発を可能とした。

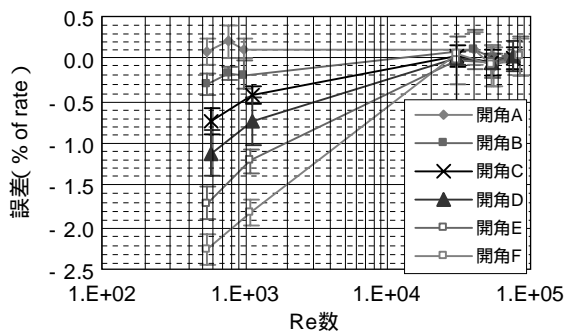


図7 プレートコアの開き角と実流試験結果の例

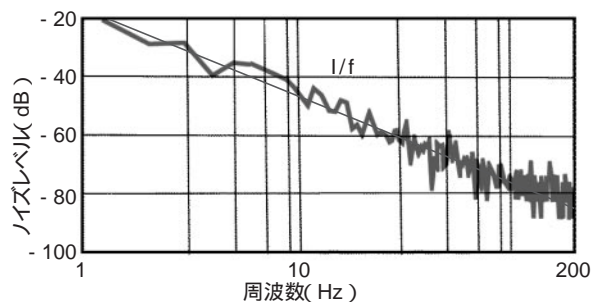


図9 ノイズの周波数スペクトラム

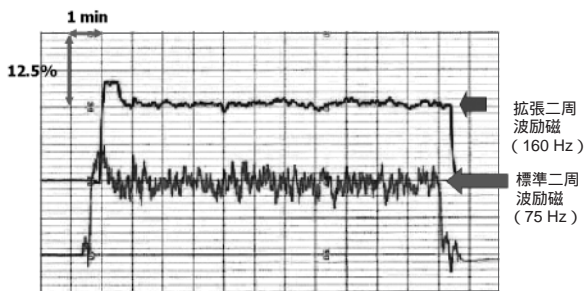


図 10 スラリー流体の実流試験結果

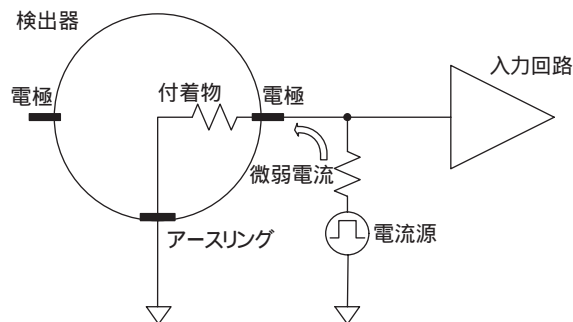


図 12 電極付着診断回路

4. 160 Hz 励磁のための磁気回路設計

当社独自の二周波励磁方式は、低周波に高周波の励磁を重畳させた信号処理をすることにより、高周波励磁の耐ノイズ性と高速応答、低周波励磁のゼロ点の安定性という両方の特長を実現した方式である。スラリー流体や低導電率流体は、図9に示すように、低周波側ではノイズが大きく高周波側では小さい、いわゆる1/f特性をもっている。従って、高い周波数で励磁すればノイズレベルは低く、高いS/N比の信号が得られることが判る。ADMAG AXFシリーズでは、このノイズ特性に着目し、従来の二周波励磁方式の高周波励磁の周波数を約2倍にすることにより、更に耐スラリーノイズ性を大幅に向上させた(図10参照)。この技術により、1 μ S/cm という低導電率流体の測定も可能となった。

但し、この励磁周波数を約2倍にするために、検出器の磁気回路周波数特性を向上させる必要が出てきた。従来の製品では、コイル内部にポールピースコアを入れていたが(図4参照)、この部品内部で渦電流が発生してしまい、磁気回路の周波数特性向上ができなかった。そのため、ADMAG AXFシリーズでは、コイル内部のポールピースコアを廃止するなど構造を工夫して(図5参照)、磁気回路の周波数特性を2倍以上向上させた(図11参照)。

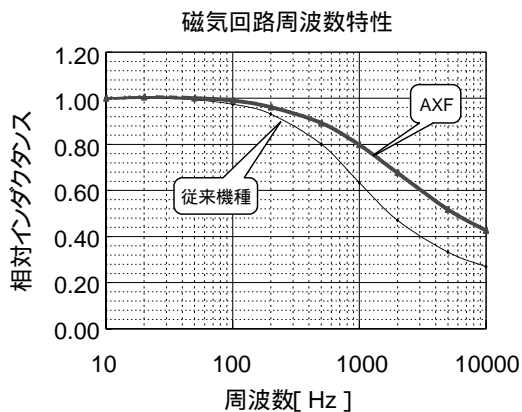
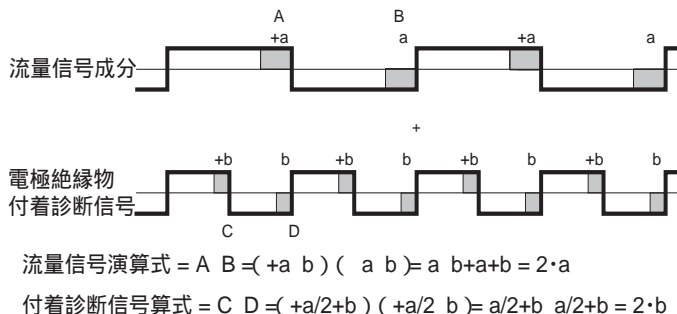


図 11 磁気回路周波数特性

5. 電極絶縁物付着診断

電磁流量計は様々なアプリケーションで使用されるが、絶縁性付着物が電極に付着すると出力に揺動が現れたり、ハンチング、または指示振り切れ等が発生し、流量測定ができなくなる場合がある。そこで ADMAG AXF シリーズでは、新たな機能として、電極絶縁物付着診断機能を設けた。この電極絶縁物付着診断機能の模式図を、図12に示す。絶縁物の付着レベルは、電極とアースリングとの間の抵抗値を測定することで判定することができる。そのためには、電極からアースリングに対して極微小の矩形電流を流し、オームの法則の原理で抵抗値を測定する。この周波数は、信号周波数の偶数倍で信号に同期しており、流量信号演算を行うと、キャンセルされて出力には現れない。逆に電極絶縁物付着診断の信号処理を行うと、流量信号はキャンセルされて診断結果に現れない。以上のような信号処理を行うことにより、電極絶縁物付着診断を流量測定中も可能とした(図13)。

付着の判定は、予め付着レベルを設定しておき、4段階のレベル判定を行う。付着レベルの判定結果の一例を、図14に示す。図は付着レベル3を示しており、付着の進行状況を一目瞭然で確認することができる。付着レベル3においては、ワーニング出力となり、ステータス出力が



$$\text{流量信号演算式} = A \cdot B = (+a \cdot b) \cdot (-a \cdot b) = a \cdot b + a \cdot b = 2 \cdot a \cdot b$$

$$\text{付着診断信号算式} = C \cdot D = (+a/2 + b) \cdot (-a/2 + b) = a/2 \cdot b + a/2 \cdot b = 2 \cdot b \cdot a/2$$

図 13 電極絶縁物付着診断回路動



図 14 付着診断レベル表示の例

行える。付着レベル4になると、アラーム出力も選択できる。なお、付着レベルは、予め工場出荷時に基準値が設定されているが、ユーザーがアプリケーションに応じて値を変更することも可能である。

6. 着脱電極

従来、流体中の絶縁物が検出器の電極面に付着した場合、付着物は検出器を配管から取り外して清掃する必要があった。ADMAG AXFシリーズでは、図15のように、Oリング、電極、スプリング、ワッシャー、電極キャップという各要素部品が止め輪により一つのユニットとなるため、電極取り外し時に各部品がバラバラにならず、簡単に取り外すことが可能となっている。そのため、この着脱電極ユニットを採用することにより、電磁流量計を配管より取り外さずに電極面の付着物清掃することを可能にした。電極のシール部分にはフッ素ゴムのOリングを使用し、使用温度範囲(-10 ~ 160)で仕様圧力の3倍の圧力をかけても漏れがない構造となっている。

また、規定の締め付けトルクで電極ユニットを取り付けることにより、着脱による誤差は±0.1%以内と精度への影響はほとんどないことを確認している(図16参照)。

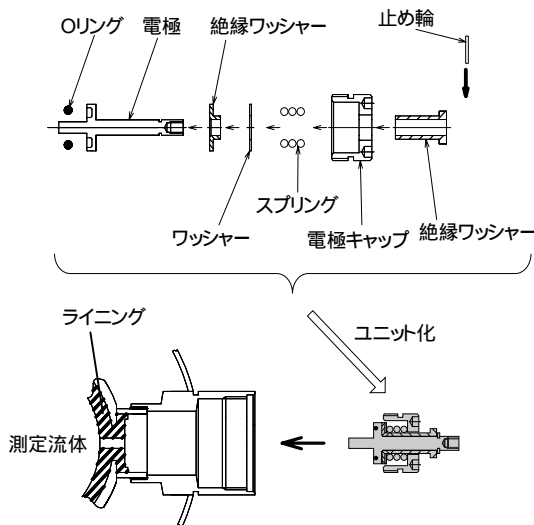


図 15 着脱電極ユニット

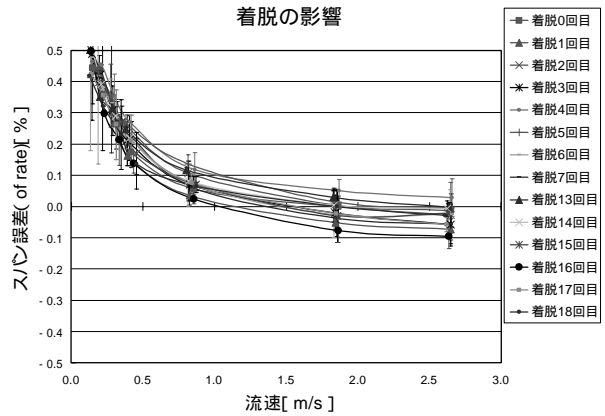


図 16 着脱によるスパン誤差

7. 赤外線スイッチ

ADMAG AXFシリーズでは、表示器に非接触型の赤外線スイッチを採用している(図17参照)。図18に、赤外線スイッチの動作原理を示す。発光素子から放出された赤外線が、操作者の指で反射して受光素子に入射された時にスイッチが操作されたと判定する。図に示すように、ケースカバーに設けられた窓ガラスに触れるだけで、ケースカバーを開けずにパラメータの設定変更が可能である。

赤外線スイッチの動作原理上、操作者の指が窓ガラスから少し離れていても、赤外線が受光素子に入射されさえすればスイッチが反応することになるので、操作者の感覚と実際の設定動作が一致せずに、操作感が悪いと感じたり、誤設定に繋がってしまう可能性がある。この原理上の欠点を補うために、図に示すように赤外線の光学路を規定した。発光素子と受光素子をマスクで覆い、マスクの開口部の位置・寸法を調整することで赤外線の光学路を規定した。直線Aと直線Bおよび直線Cと直線Dで挟まれた領域が感度領域となり、ここに操作者の指がある時にスイッチが反応するようにし、操作感を向上させている。



図 17 外観図

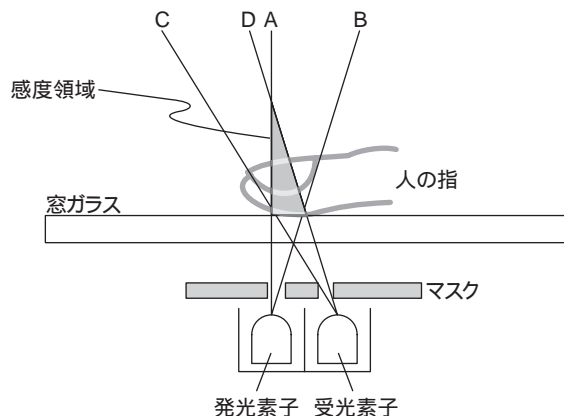


図 18 動作原理



図 20 アラームの表示例

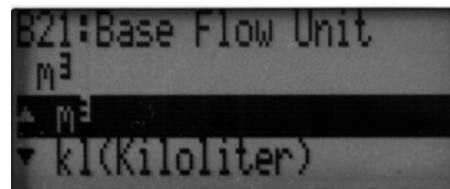


図 21 パラメータ設定モード(選択パラメータの例)

8. 表示器と表示機能

近年では、携帯電話で見られるように、表示デバイスの進歩は著しいものがある。それに伴い、フィールド計器のユーザも、より簡易な入力や多彩な入力を要望として挙げるようになってきた。

これらの要望に応えるため、ADMAG AXFシリーズでは、バックライト付きフルドットマトリックス形式のLCDを表示デバイスとして採用している。このLCDの解像度は、132ドット(横)×32ドット(縦)になっており、最大、横22文字、縦4行の表示が可能になった。

工場出荷時には、瞬時流量値が大きな文字で1行のみ表示されているが、パラメータの設定変更によって、1～3行の内、希望の行数表示に変更できる。図19には、3行表示の例を示す。1行目は、他の行より若干大きめな表示が可能で視認し易いように配慮した。表示選択できる内容は、瞬時流量、瞬時流量%表示、積算値等であるが、ドットマトリックスの特性を活かして、バーグラフも表示できるようになっている。

アラームが発生した場合には、通常表示とアラームの内容が交互に表示される。図20に示すように、ADMAG AXFシリーズでは、上段にアラーム内容が表示されると同時に、下段に、アラームの対処内容が表示される。ユーザは、インストラクションマニュアルを読まなくとも対処方法の概要を知ることができる。ADMAG AXF

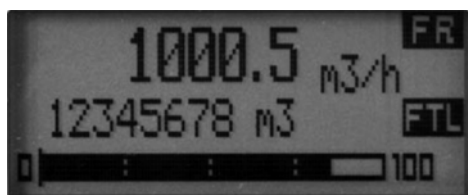


図 19 3行の表示例

シリーズでは、アラーム内容を「System Alarm」、「Process Alarm」、「Setting Alarm」の3つのカテゴリーに分類している。また、アラームとは別に、電極絶縁物付着診断等については、「Warning」というカテゴリーを設けている。Warning表示では、通常流量表示と同時にWarning内容が表示される。

パラメータ設定モードでは、図21に示すような表示が可能である。表示の際は、パラメータの番号と名称が表示される。パラメータ名、アラーム名の表示は、パラメータの言語選択によって、日本語(カタカナ)に切り換えることができる(ドイツ語、フランス語、スペイン語、イタリア語にも対応)。英語では分かり難いパラメータ名称の場合も、日本語で確認することができる。

9. おわりに

ADMAG AXFシリーズの開発における解析手法を主体に新技術を紹介した。これら先進技術により、お客様のご要望に基づく電磁流量計の幅広いアプリケーションへの対応やメンテナンス性の向上を実現できたと思っている。

この製品がお客様のもとで有効にご活用いただけることを願い、また、ご意見、ご要望をお聞かせいただくと幸いです。

参考文献

- (1) 黒森健一、後藤茂、西山清、西島剛志、“2周波励磁電磁流量計 ADMAG”，横河技報，vol. 32，no. 3，1988，p. 129-134

* ADMAG AXFは、横河電機(株)の登録商標です。その他、本文中の名称及び製品名称は、それぞれ各社の商標、或いは登録商標です。