

外94-26

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

電磁流量計の高性能化
に関する研究

申 請 者

黒 森 健 一

Kenichi Kuromori

1994年11月

電磁流量計は1950年代後半に実用化が始められて以来、種々の技術革新や改良が加えられ、現在ではプロセス用流量計の約20%を占めるに至り、差圧式流量計について重要な流量計となっている。

この論文は、電磁流量計の発展期といえる1970年代から1990年代にかけて、性能向上のためのいくつかの技術課題を研究し、製品化した成果をまとめたものであり、9章から構成される。以下その概要を述べる。

第1章は電磁流量計の特徴と流量計の中の位置を述べ、第2章では技術開発の歴史を要約する。第3章では電磁流量計の理論をとくに磁界分布と誘電体電磁流量計に焦点をあてて述べる。

第4章では高性能化を目的としてつぎの技術課題を挙げ、従来の研究や従来製品の問題点を明らかにし、解決すべき課題点を呈示する。

- (1) 流速分布の影響低減による高精度化
- (2) 検出器の小形化
- (3) 測定対象の拡大
- (4) 測定の安定性の向上

第5章は流速分布の影響を低減する研究について述べる。流速分布の影響を低減させる課題は1960年から1970年にかけて精力的に研究されていた大きな課題であった。この研究はもっぱら磁界分布をどのように形成すればいかなる流速分布に対してもその影響をうけない理想的な電磁流量計は可能かという検討であった。Engl等により理論的にはこのような磁界分布は実現不可能と証明されたが、実際の設計では依然として磁界分布を変えることにより流速分布の影響を少なくする努力が続けられた。

これに対して本研究では磁界分布のみではなく、電極の数と配置を変化させて流速分布による影響をさらに減少させる方法を検討した。通常の電磁流量計では流れと磁界方向それぞれに垂直な方向に1対の電極を配置するが、2対の電極を用い流速分布の影響をより小さくできることを確認した。均一磁界の場合は通常電極の位置から20°シフトさせた位置に2対の電極、不均一磁界の場合にはコイル形状に応じた一定角度の位置に設けた2対の電極とすると、流速分布の変化に対して誤差を小さくすることが、シミュレーションと実流試験から確認することができた。均一磁界の場合は90°曲がり管下流の流速分布を用いたシミュレーションと欠円オリフィスを用いた実流試験によって、2対電極の電磁流量計が従来の1対電極に比べ、流速分布の影響が少なくなることが確かめられた。不均一磁界の場合は不均一磁界形コイルと2対電極を組み合わせた検出器を使い、各種の弁や曲がり管による影響を実流試験によって測定し、従来の1対電極の不均一磁界の場合より誤差が少なく、上流側の直管長さを短縮できることが確かめられた。この2対電極はとくに500mm以上の大口径の電磁流量計に適用されており、上流部直管長さを十分にとることができない設置例について効果をあげて

いる。

第6章は検出器の小形化について述べる。検出器の小形化については1980年前後、R.Schmoochが不均一磁界分布と方形波励磁方式の採用によって小口径ではフランジを用いないウェーハタイプの小形化構造を提案し、Fischer & Porter社で100mm以下の小口径検出器が開発された。不均一磁界は電極面内はもちろん管軸方向にそって一様な磁界をつくる必要がないため、励磁コイルの軸長を小さくすることができる。また方形波励磁方式によってゼロ点の安定性が向上したため、起電力のレベルを下げることができ、励磁コイルそのものの小形化につながった。

本研究ではさらに検出器の小形化を推し進めるため、具体的設計の段階において構造解析、磁界解析、電界解析などの解析手法を検討し、各々の解析において最適な方法を選択して解いた。電界解析では回路網シミュレーションの手法を提案し、必要な面間寸法の設計に適用した。この手法は流体を抵抗の回路網によって模擬し、離散的な数値解法から測定管内部の電位分布を求めるものである。2次元における解析解との比較、また3次元における実流試験結果との比較検討から本手法の有効性が確かめられた。この手法を用いると実際の設計にあたり、試作を重ねて実験で確認する必要がなくなる。面間寸法の設計に適用した例ではコイル軸長が内径の0.7倍の矩形くらし形コイルの場合、面間寸法が内径の1.3倍あれば、隣接する配管内面の導電性に影響されないことが確認された。この電界解析の手法は、ひろがりをもつ面電極の場合の電位分布の解析、ライニング内面に付着物の堆積した場合の出力誤差の解析などにも適用することができる。

検出器の機械的強度を与える構造解析、磁束洩れの少ない有効な磁界を作るための磁界解析、誘起された起電力による電位分布を種々の境界条件のもとで見いだす電界解析、これらの解析手法を総合して設計した結果、口径が200mm以下のサイズについて面間寸法の長いフランジタイプから相手配管のフランジ間に挟み込むウェーハタイプが可能となった。また面間寸法のみではなく検出器全体が小形となり、重量も大幅に軽減された。検出器の小形化によって配管設置作業が容易となるほか、製造コストの面においても大きな効果がもたらされた。

第7章は測定対象の拡大の観点から、摩耗性流体、高温流体に適用範囲を広げたセラミック測定管をもつ電磁流量計の研究について述べる。測定対象の拡大に関しては流体の種々の物性量についてその適用範囲の拡大が考えられる。電磁流量計は管内に障害のない特徴を生かしスラリー流体に多く適用されている。従来、電磁流量計のライニング材料はフッ素樹脂やポリウレタンゴム、クロロブレンゴムなどのゴム材料が多く用いられてきた。しかしながら摩耗性スラリーに対してはフッ素樹脂やゴム材料のライニングは耐性をもたず、製品寿命は短かった。またこれらの材料は高温になると変形しやすく、高温流体の測定の際、精度を期待できない欠点をもっていた。これらの高分子材料に代わる耐摩耗材料としてセラ

ミック材料が注目され、1982年Krohne社からセラミック電磁流量計が開発された。しかしこの検出器の電極構造は白金のシャフトをアルミナと一体に焼結するものであるが、電極境界面のシール特性が不十分である問題が少なからずあった。

この課題に対して本研究では、セラミック測定管をもち電極のシール構造を改善した電磁流量計検出器を開発した。測定管母材のアルミナと同じアルミナ粉を白金粉と混合し、粉体の状態において測定管と一体に成形したのち、さらに一体に焼成する電極構造とその製造方法を開発した。この白金アルミナサーメット電極構造では電極内のアルミナが母材のアルミナと境界を越えて焼結するためシール不良の問題は全く起こらない大きな利点をもっている。この電極構造はシール特性のみではなく、耐食性、耐熱衝撃性、スラリーノイズにたいする特性についても従来構造の欠点を克服し実用に耐えるものであることが確認された。

またセラミック材料に特有な欠点である脆性また熱衝撃にたいする弱さを克服するため、セラミックの信頼性設計の考え方を検討し、統計的手法に基づいた設計基準を確立して実際の製品設計に適用した。流体圧力に対しては安全係数を6とする設計基準を定め、安全係数を十分とすることができない熱衝撃性については保証試験を導入してセラミック測定管の構造健全性を確保することとした。

第8章では測定の安定性に関して、流体ノイズの抑制を図った2周波励磁方式の電磁流量計について述べる。測定の安定性についてはゼロ点の安定性の改善を図った方形波励磁方式が普及し始めたのち、高濃度のパルプスラリーや低導電率流体に対して流量出力が不安定となる問題が生じてきた。この課題に対し、従来、電極材料の検討や出力の変化率の大きさからノイズと流量信号をソフトウェアで判断する対策が採られていたが、いずれも満足すべき解決に至らなかった。

本研究ではまずスラリーを流した場合生ずるスラリーノイズ、低導電率の流体を流した場合生ずるフローノイズそれぞれの特性を調べ、その原因を推定した。スラリーノイズは金属電極の酸化皮膜の局部腐食に関連し、フローノイズは低導電率の流体の流れが運ぶ流動電流のゆらぎに関連すると推定された。この二つの流体ノイズに共通する特徴は低周波成分が大きく、高周波成分が小さくなることである。したがって低い周波数で励磁する方形波励磁ではこれらの流体ノイズの混入が無視できなくなる。そこで本研究では低周波と高周波の2つの周波数を重ね合わせた波形の磁界を印加する2周波励磁方式を開発した。この2周波励磁方式は方形波励磁の長所であったゼロ点の安定性と商用周波数励磁の高速応答の長所を保持しながら、流体ノイズの低減を実現することができた。高速応答による制御を要求される紙パルププロセスの種箱ラインなどにこの励磁方式が適用され、有効であることが確認された。

第9章は結言であり、本研究で得られた成果を要約する。