

超音波流量計クランプオンセンサ用の 流れの障害補正（FlowDC）機能

FlowDC 機能を搭載した Endress+Hauser の Proline Prosonic Flow クランプオン超音波流量計は、常に高いパフォーマンスを保証しながら、必要な上流側直管長を 2 × 呼び口径に短縮

Beat Kissling、超音波流量計エキスパート、Endress+Hauser Flow Switzerland

摘要

正確な測定を行うには、特に設置スペースや上流側直管長に制限がある配管に流量計を設置する場合、流量計の規定の測定精度を確保することが重要になります（図 1 を参照）。

独自の FlowDC 機能により、一般的な配管の障害物（さまざまなエルボ、縮小管、拡大管、エルボが 2 つある場合など）の下流側にクランプオン計測システムを設置する場合、規定の測定精度を確保しながら、設置に必要な上流側直管長を 2 × 呼び口径にまで短縮できます。

FlowDC は、Endress+Hauser の特許取得済みの技術であり、新製品のクランプオン超音波流量計 Proline Prosonic Flow W 400 および Proline Prosonic Flow P 500 に搭載されています。FlowDC により、必要な上流側直管長を従来の 15 × 呼び口径以上から 2 × 呼び口径にまで短縮可能な非挿入型の超音波計測システムが実現します。センサは配管の外壁にクランプで固定されるため、圧力損失はありません。



図 1：90°エルボの下流側に設置されたクランプオンセンサ

概要

90°エルボなどの一般的なパイプラインの障害物は、流速分布の乱れを引き起こします。図2に示すように、標準的なシングルパス超音波クランプオンセンサを、障害物の下流側に十分な上流側直管長を確保せずに（15×呼び口径未満）、1トラバース配置で取り付けられた場合、配管上のセンサの半径方向（取付方向）に応じて、大きな測定誤差が生じる可能性があります。

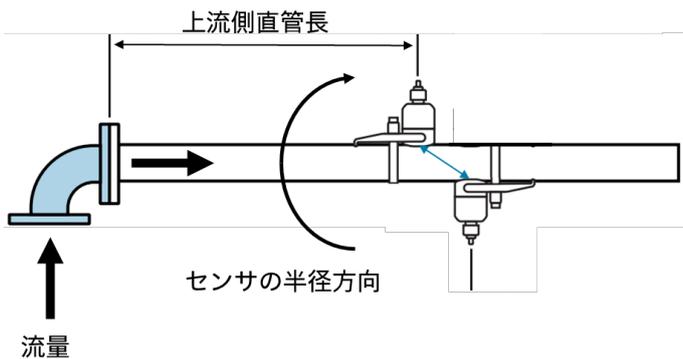


図2：90°エルボの下流側でのクランプオン流量測定

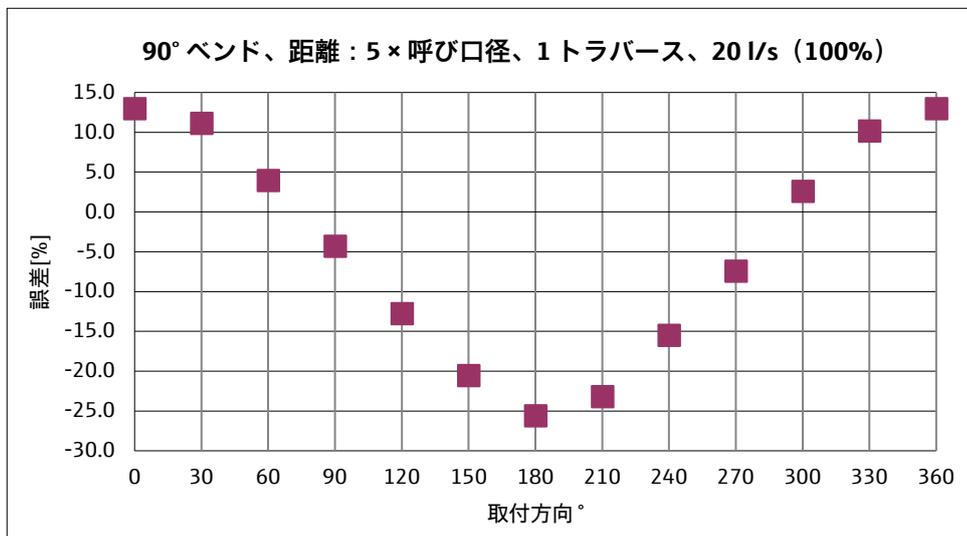


図3：90°ベンドの下流側5×呼び口径の位置におけるセンサ方向によって生じる測定誤差

図3は、上流側直管長が5×呼び口径のシングルパス1トラバース配置における配管上のセンサの取付方向によって生じる測定誤差を示しています。センサの位置に応じて、多くの場合、現場の環境により-25~+15%の誤差が生じる可能性があります。

常に最適な精度が得られる取付方向（上記の例では約 70° または 290°）を見つけ出すことは可能ですが、現場でそのようなアプローチを取ることは不可能です。したがって、センサ方向に依存しない測定を目標にする必要があります。

測定誤差が生じる原因

測定誤差は、エルボによる流速分布の乱れから生じます。図 4 は、障害物の下流側 5 × 呼び口径の位置における配管断面の流速分布を示しています。超音波ビームが断面を横切る角度に応じて、流速分布の非対称性のために流速の測定値が異なります。

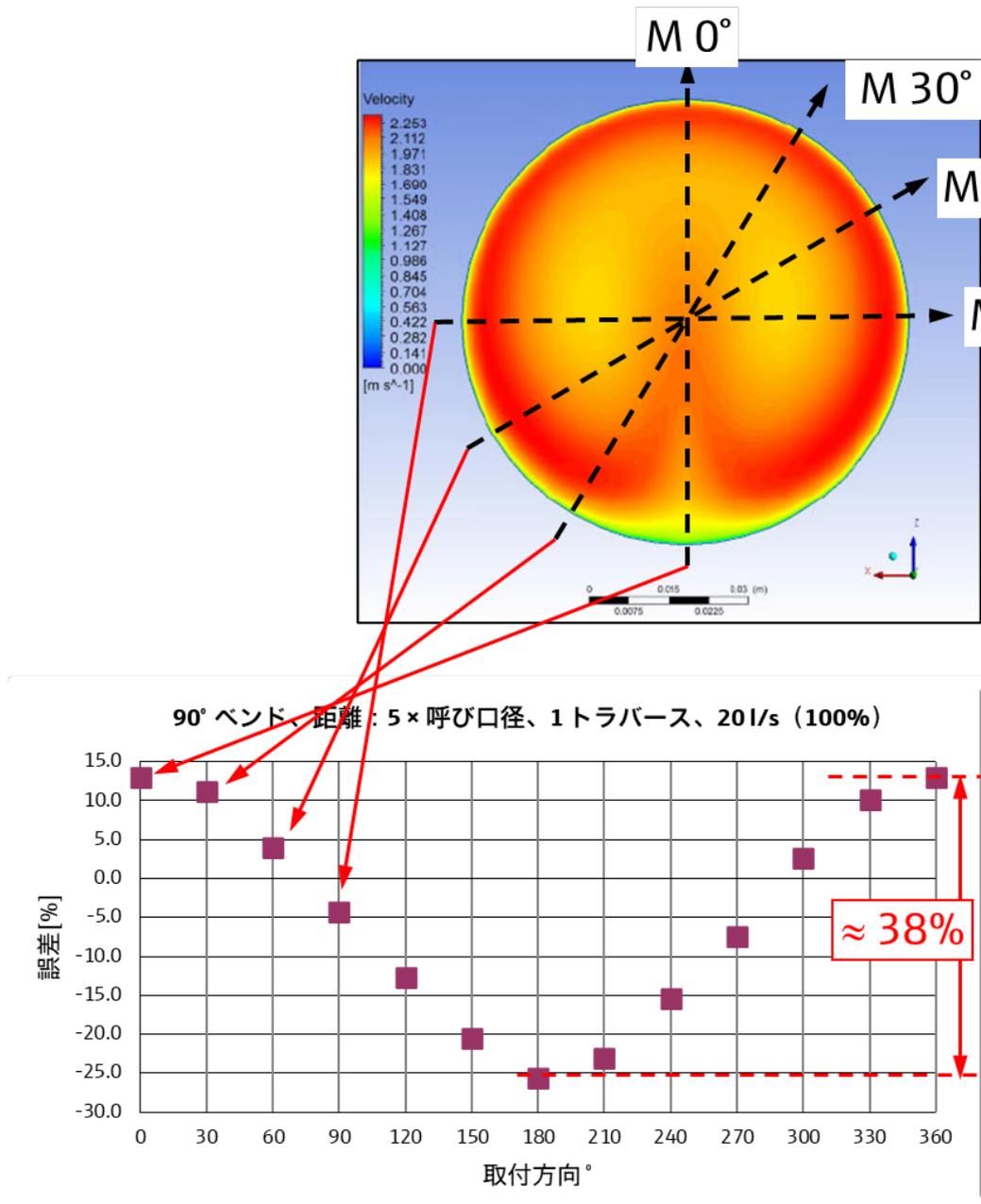


図 4：乱れた流速分布

FlowDC テクノロジー

FlowDC テクノロジーにより、2ステップのアプローチを使用して、流速分布の乱れによって生じる測定誤差を補正できます。

1. 測定誤差のリニアライゼーション

図5に示すように、第1の測定パスを基準に設定した角度で第2の測定パスを追加することにより、センサ方向に依存しない平均流量値を測定できます。1トラバース配置の場合、センサセット間の角度を180°に設定する必要があります。図6には、各パスの測定誤差（緑色と赤紫色）が平均誤差（青色）とともに個別に表示されています。ご覧のとおり、平均誤差はセンサ方向の影響を受けることがなく、2つのセンサセットの相対位置が保持されている限り、センサは配管上の任意の方向に取り付けることができます。

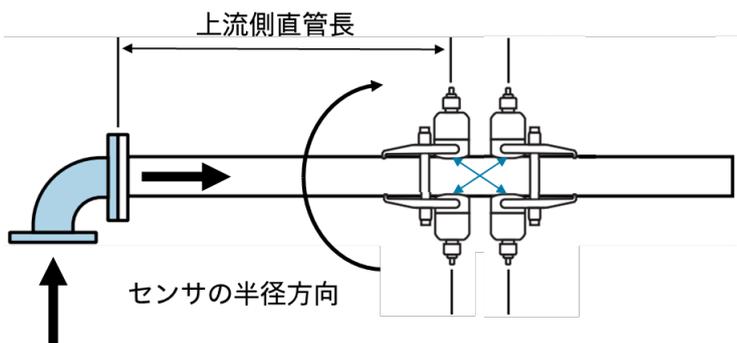


図5：FlowDCによるデュアルパスセンサ配置

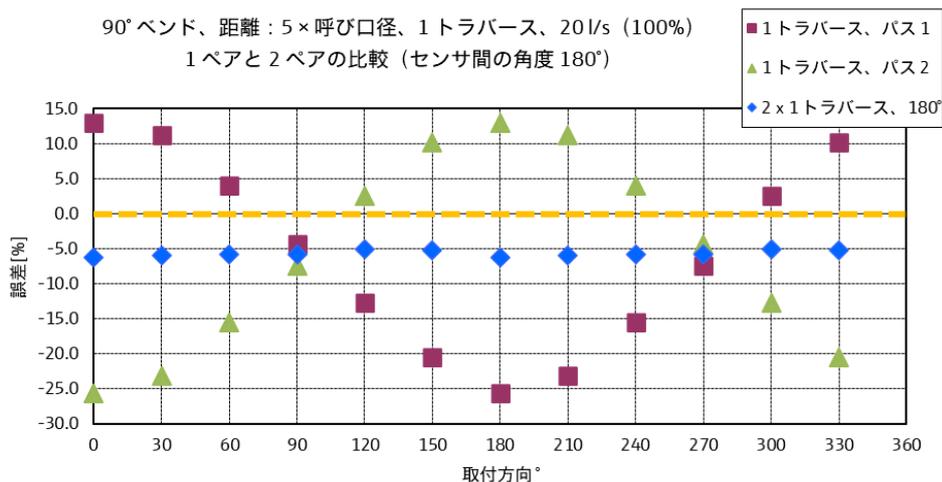


図6：平均誤差計算による誤差のリニアライゼーションと補正

したがって、FlowDC 機能を活用するには、2つの測定パス（2 センサセット）を、パス配置に応じて相互に固定角度で配置する必要があります。図7に示すように、センサ間の角度は1トラバース配置では180°、2トラバース配置では90°に設定する必要があります。

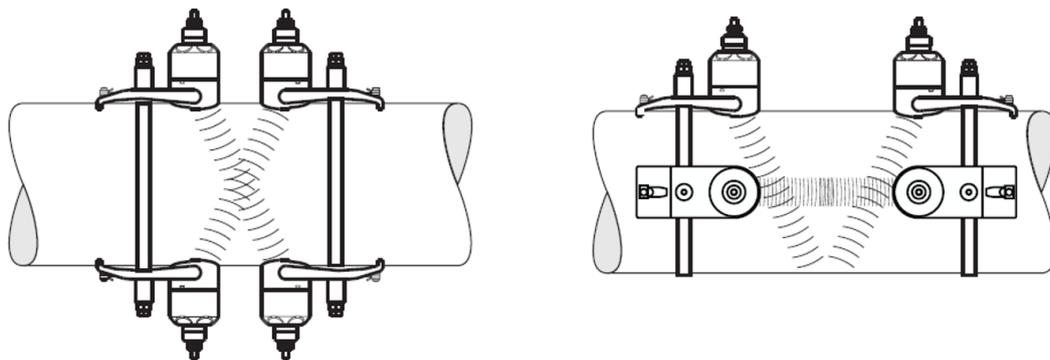


図7：1トラバース（左）および2トラバース（右）構成におけるFlowDC用のセンサの相対配向

2. オフセット補正

測定値のリニアライゼーションだけでは十分な測定精度が得られないため、実際の設定に固有の補正係数を流量測定値に適用して、残りの（一定の）誤差を補正する必要があります（図6の青色と黄色のライン間のオフセット）。この係数は、3D CFD（計算流体力学）シミュレーションによって、以下のパラメータを使用して計算されます。

- クランプオンセンサの配置（トラバース数）
- 障害物のタイプ
- 障害物からセンサまでの距離
- レイノルズ数

CFD シミュレーションは、FlowDC に組み込まれる補正係数の生成に使用されます。流量計の上流側に取り付けられている90°バンド管、3Dバンド管、S字型バンド管、縮小管、拡大管などの流れの障害のシミュレーションを行います。

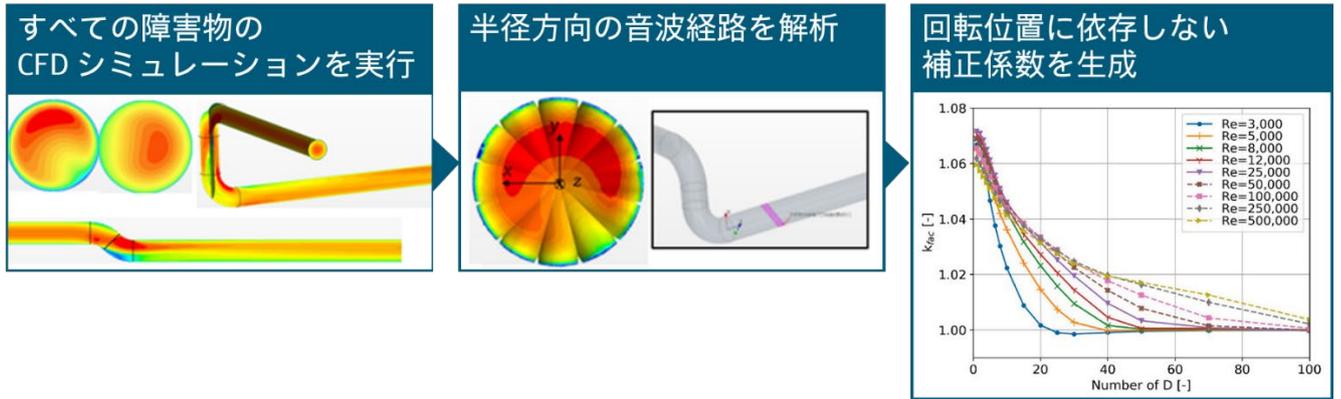


図 8 : CFD ベースの補正係数生成のシミュレーションステップ

流体内の実際の音波伝搬経路を表す仮想的な円筒形の音波経路が生成されます。すべての距離、取付方向、レイノルズ数、すべてのパス配置に対して、音波経路が自動的に生成されます。円筒形音波経路の平均体積速度が計算され、すべての音波経路に対する最終的な平均流速が計算されます。また、流量計の断面全体にわたる基準速度も計算されます。最後に、すべての障害物、距離、レイノルズ数に対して、回転位置に依存しない補正係数が自動的に計算されます。

このシミュレーションは、図 9 に示す流量計測システムで実験により検証されています。

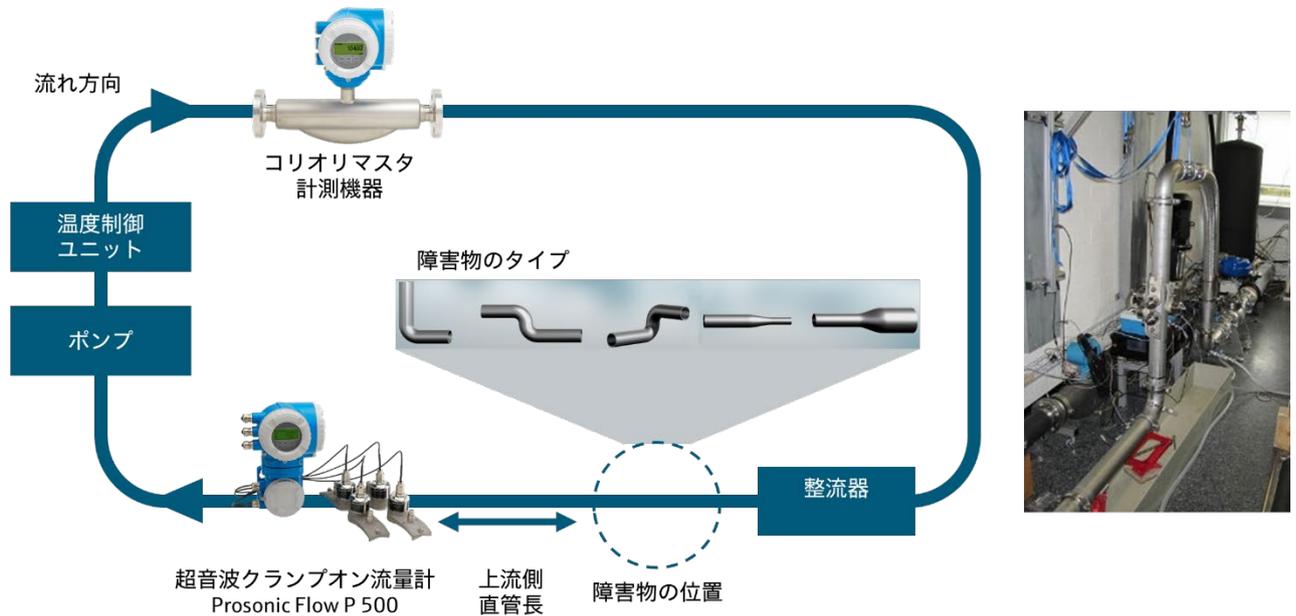


図 9 : 実験検証用の流量計測システム

前述のアプローチを使用すると、流量計の全体的な測定精度を損なうことなく、必要な上流側直管長を2×呼び口径にまで短縮しながら、障害物に起因する測定誤差を補正できます。

ユーザーインターフェース

FlowDC 機能の設定は容易です。2 測線計測を有効にすると、Web サーバーなどを使用して、障害物のタイプと障害物までの距離を機器で設定できるようになります。

Main menu > Setup > Measuring point

Measuring point configuration	 1 measuring point - 2 signal patl ▾
FlowDC inlet configuration	 Single elbow ▾
Inlet run	 <input type="text" value="400.0000"/> mm
Relative sensor position	 180°
Result sensor type / mounting type	 CH-100-A / (1) direct

図 10 : Web サーバーの FlowDC 設定画面

ソフトウェアには、一般的に使用されるさまざまな障害物（図 11）が組み込まれています。

- 90° (1) および 45° (4) エルボ x 1
- 同一平面上に 90° (2) および 45° (5) エルボ x 2、間隔は可変
- 異なる平面上に 90° エルボ x 2、間隔は可変 (3)
- 同心の口径拡大/縮小、口径の比率および移行部の長さは可変 (6)

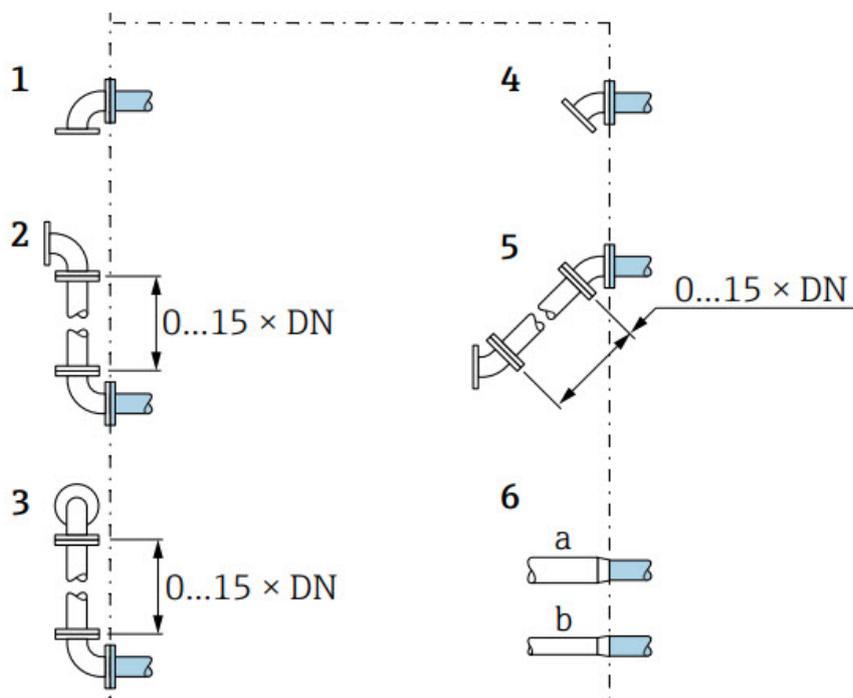


図 11 : FlowDC がサポートする障害

外部ラボでのテスト測定

FlowDC 機能の外部テスト測定は、世界最大規模の発電施設の 1 つにあるラボで実施されました。テストを実施した装置は、流量範囲 $50 \sim 1100 \text{ m}^3/\text{h}$ 用に認定されたものであり、不確かさは 0.2% です。以下に、テストの設定と結果を示します。

エルボ x 1 およびエルボ x 2 の下流側 $4.5 \times$ 呼び口径の位置にある測定点でテストを行いました。

呼び口径 200 mm のステンレス製配管 ($219.7 \times 3.4 \text{ mm}$) を使用し、水温 25°C で測定を実施しました。2 つのセンサペアを、それぞれ 2 トラバース配置 (センサ間の角度 90°) で取り付けました。図 12 と図 13 は、流量に応じた各障害物タイプでの測定精度に対して、FlowDC がもたらす効果を示しています。記載されている誤差は、すべての誤差原因が考慮された総合誤差であることに注意してください。

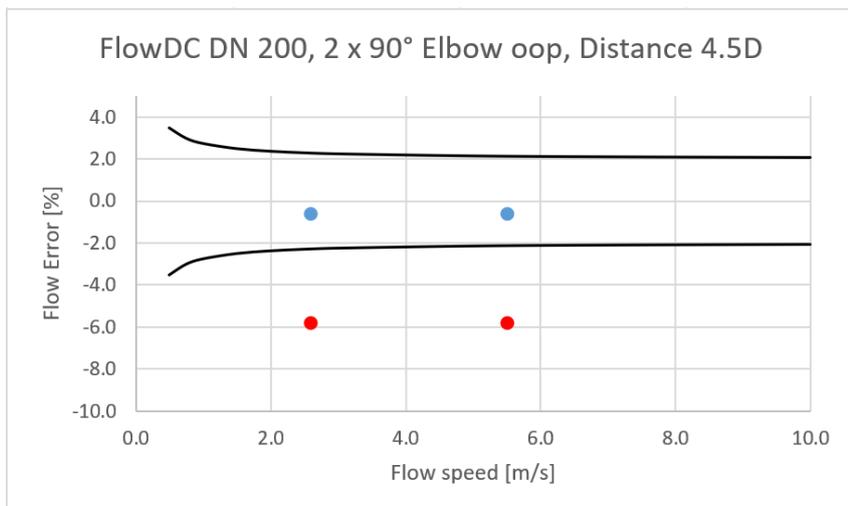


図 12 : エルボ x 2 (異なる平面上) の下流側での測定結果

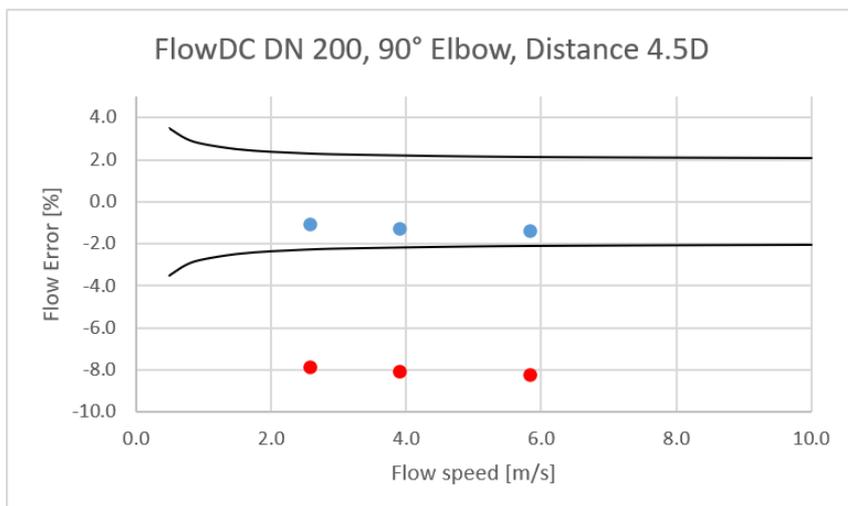


図 13 : エルボ x 1 の下流側での測定結果

- : FlowDC を使用しなかった場合の測定誤差
- : FlowDC を使用した場合の測定誤差
- : 精度仕様 (±2% o.r. ± 0.05% o.f.s.)

FlowDC によって数パーセントの補正が適用されたことにより、流量計の精度仕様を十分に満たすことができます。