蒸気用超音波流量計（クランプオン式）

Ultrasonic Flowmeters for Steam (Clamp−on)

平山　紀友＊ HIRAYAMA, Noritomo　　金井　秀夫＊ KANAI, Hideo　　木代　雅巳＊ KISHIRO, Masami

2015 年に採択された地球温暖化など気候変動問題に関する国際的な枠組みである「パリ協定」（COP21）では，日本は温室効果ガス排出量を 2030 年度までに 2013 年度比で 26% 減らすことを目標に掲げている。

また，2018 年の「エネルギー使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）の改正では，“省エネ再エネ高度化投資促進税制”によって，新たに購入した省エネルギー（省エネ）設備取得価格の 30% の特別償却または 7% の税額控除を措置する制度が新設されるなど，社会的に徹底的な省エネの推進が行われている。

このような協定や改正された法律に促されて，各家庭や事業所ではエコ製品の購入や太陽光発電などの再生可能エネルギーの活用により電気の省エネが広く実施されている。

電気エネルギーは容易に測定できるので見える化によってさまざまな省エネが行われていて，これ以上の削減効果は望みにくい。一方，蒸気エネルギーは測定が難しく見える化が困難であるため省エネの実感が分かりにくく，実施できたとしても継続できずに止めてしまうことが多かった。しかし，さらなる省エネを実施する上で蒸気の省エネ化は避けて通ることができない。

1　蒸気用超音波流量計

富士電機は蒸気の見える化を実現するため，配管に外付けするクランプオン式の蒸気用超音波流量計を開発し，製品化した（**図 1**）。

0.1 MPa (G) の低圧力から測定できるクランプオン式の蒸気用超音波流量計は世界初の製品であり，ボイラ設備の末端流量まで測定できる。

従来の差圧流量計は，オリフィスによる圧力損失が大きく，また，詰まりが発生した場合はメンテナンスが必要である。省エネ目的で流量を測る上で圧力損失によってエネルギーロスが生じることはあまり好ましくない。

また，渦流量計を含めたインサート式の流量計は，ウォーターハンマーや蒸気の過大流量により機器が故障するリスクを伴う。

これに対して，クランプオン式の流量計は，圧力損失がなく，測定流体の状態変化に対しても影響を受けることがない。そのため，エネルギーロスがなく，機器故障のリスクが低い。

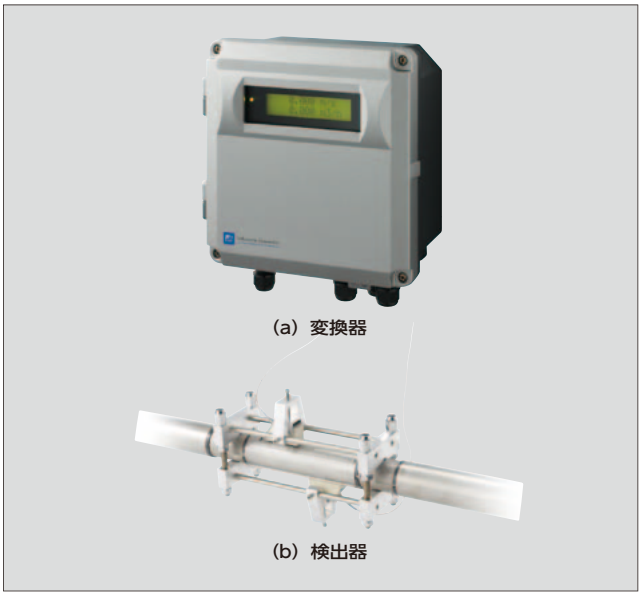

図 1　蒸気用超音波流量計（クランプオン式）

さらに，センサを設置するために配管を切る必要がないので蒸気漏れの心配がなく，センサ全体を断熱材で覆うことができるため，機器からの放熱によるエネルギーロスが少なく省エネ機器として最適である。

2　特　徴

ボイラ設備などの飽和蒸気を測定対象にしている本製品は，次のような特徴がある。

(1)　配管工事不要で設備稼動中でも設置可能

配管外付けタイプであるため設備が稼動中でも自由に設置でき，センサはレール取付けのため取付け位置の調整が容易で，短時間で取付けが可能である。

(2)　低圧の蒸気から高温の蒸気まで測定可能

従来の超音波流量計で測定が難しかった低圧蒸気が測定できる。また，キュリー点よりも低く超音波振動子の磁性が維持できる 180 ℃までの蒸気を測定することが可能である。

(3)　質量流量換算が可能

外部入力信号（Analog Input）やオプションの白金測温抵抗体を使って測定した蒸気温度から密度を求め，質量流量を出力することが可能である。

＊ 富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部計測機器開発部

表1　仕　様

項　目	仕　様
適用流体	飽和蒸気
最低圧力	0.1 MPa (G)
最高流体温度	180℃
精　度	±3.0% of rate（10 ～ 30 m/s）
口　径	50 A（SGP*1管，SUS*2管）
配管厚	2.8 ～ 3.9 mm
直管長	上流20 D*3，下流10 D以上
出　力	DC4 ～ 20 mA×1点 接点出力×1点 積算パルス出力×1点
電　源	AC100 ～ 240 V，50/60 Hz

＊1：配管用炭素鋼管
＊2：ステンレス鋼管
＊3：配管内径

⑷　高精度かつ高速応答

搭載している高速FPGA（Field−Programable gate array）によって0.2秒の応答性を実現している。流速が早い環境にも対応して，クランプオン式でありながら3.0% of rate（10〜30 m/s）と高精度な計測が可能である。

製品の主な仕様を**表1**に示す。

3　測定原理

液体用の超音波流量計と同様に，伝搬時間差法を用いて流量を計測している。伝搬時間差法では，一対のセンサ間で測定流体を斜めに横切るように超音波パルスを往復させる。測定流体に流れがあると流れの影響を受けて伝搬時間に差が生じる。この伝搬時間の差から蒸気の流速を計測する（**図2**）。

蒸気や気体は液体と比べて超音波透過率が約1/2,400しかなく，従来の技術では測定が困難であった。しかし，センサ構造を見直して超音波の伝搬効率を高めた。また，**図3**に示すようにノイズ吸収材を配管表面に巻くことにより配管表面から回り込んでくるノイズを大きく低減して S/N 比を高めるなどの対策を行った。

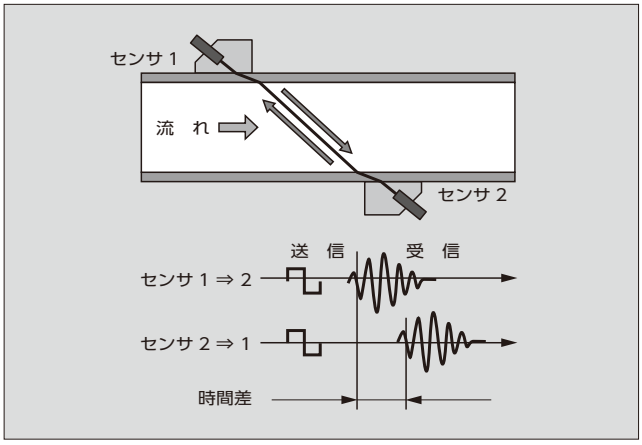

図2　伝搬時間差法

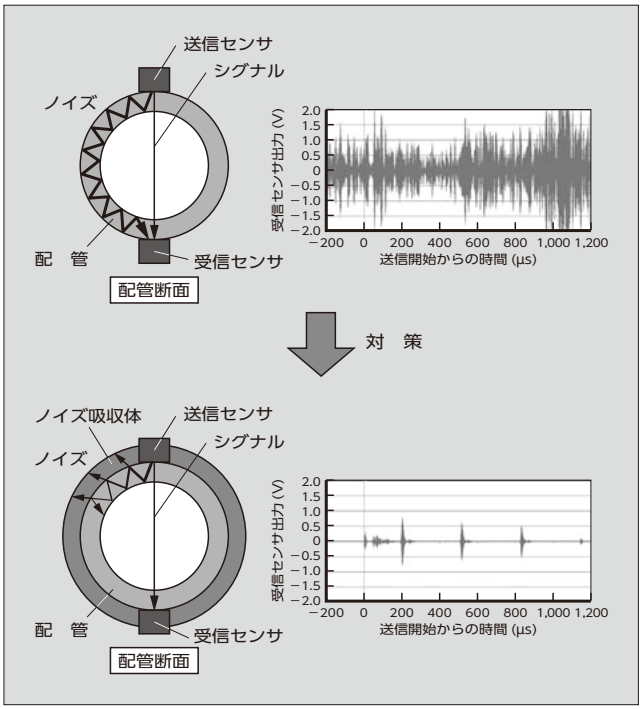

図3　S/N 対策

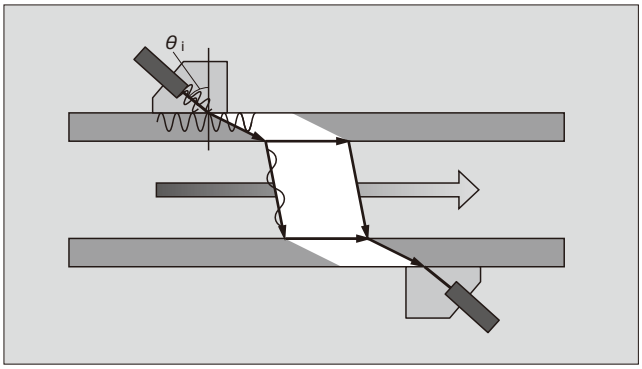

図4　板波の励起条件

測定に使用する波は液体で使用していた縦波ではなく，板波（ラム波）を利用している。板波から伝搬した流体中の音線は広く分布するため，感度が大きく，また飛沫に対しても強いなどの特徴がある。

板波は，位相速度と楔（くさび）音速と入射角が式⑴を満たすとき励起される。

$$C_p = \frac{C_i}{\sin\theta_i} \quad \cdots\cdots(1)$$

C_p：板波の位相速度
C_i：楔の音速
θ_i：楔の入射角

楔音速と入射角から板波の位相速度を求め，分散曲線から測定するモードを選定し，配管の横波音速と配管厚さから振動子の周波数を求めて，センサ構成を決定する（**図4**）。

4　適用事例

4.1　適用事例 1（殺菌設備）

某 A 工場の殺菌設備で使用している蒸気について，蒸気超音波流量計を使って熱収支分析を行い，省エネ診断のフィールドテストを行った。

この事例の設備において，蒸気は熱交換器の温水を加熱する入熱として利用され，蒸気流量計はその蒸気入口に設置した（**図 5**）。さらに，温度センサや液体用超音波流量計なども設置し，収集したデータを遠隔・リアルタイムで監視できるように社内評価用サーバに接続するシステムとした。

蒸気の熱量は製品が持ち出す熱量のほか，冷却水排熱，ドレン・廃温水による熱ロスなどによって消費される。

フィールドテストの結果，次のことが分かった。

(a)　製品出口温度が設計値より 5 ℃以上高い。

(b)　排温水から約 30 kW のフラッシュ蒸気が発生する。

(c)　設備停止中も蒸気による入熱がある。

そこで，これらの事象の原因を分析した。製品出口温度が設計値より高いのは，熱交換器の経年劣化により回収熱量が設計値より低下していることが原因であった。また，フラッシュ蒸気は 0.3 MPa (G) の高圧水から 0.0 MPa (G) の配管に流れたことで発生していたため，フラッシュタンクで分離回収して利用し，廃温水はヒートポンプなどで排熱回収利用できることが分かった。

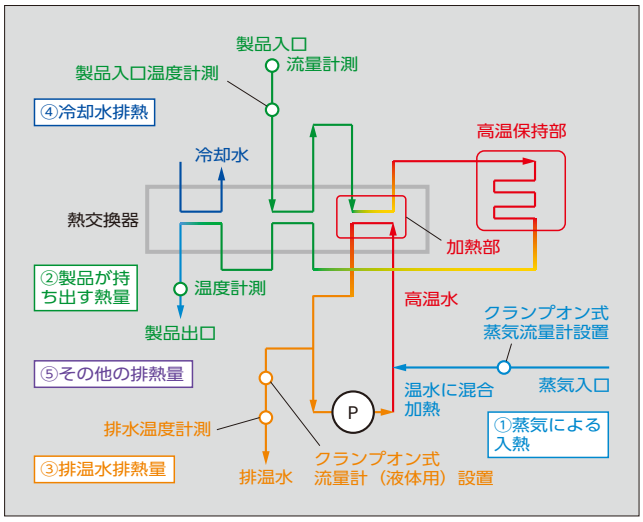

図 5　殺菌設備の熱交換器図

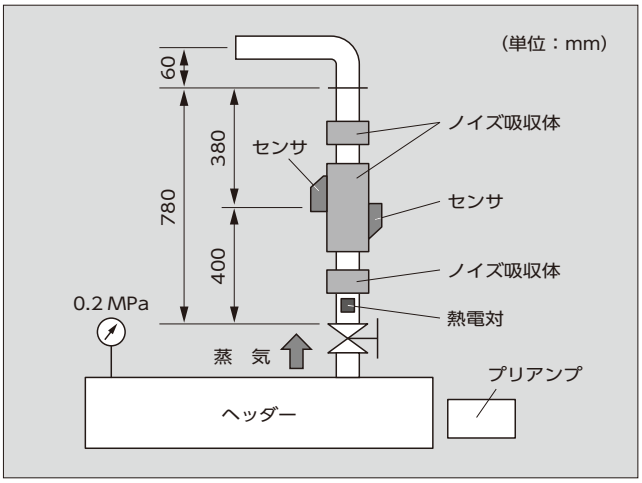

図 6　配管設備図

4.2　適用事例 2（ボイラ設備）

某 B 工場のボイラ設備では今まで蒸気流量を測定したことがなかった。そこで，蒸気流量計を設置して無駄な消費が発生していないかを調査し，省エネ対策を立案することを目的とした。

設置場所は周囲を含めて十分な空間がなかったが，**図 6** のようにヘッダー直後の垂直配管にセンサを取り付けた。

約 2 週間測定した結果，人がいない夜間や休日でも常時 4 m^3/h の蒸気が流れていることや，休日の決まった時間帯に突発的に大量の蒸気が流れるなど無駄な消費があることが分かり，ボイラの稼動条件を見直した。

これらの事例から分かるように，本製品は蒸気の省エネ対策機器として有効である。

発売時期

2019 年 6 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
パワエレシステム インダストリー事業本部オートメーション事業部システム営業技術部
電話（03）5435-7021

（2020 年 1 月 23 日 Web 公開）

富士電機

Innovating Energy Technology

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。