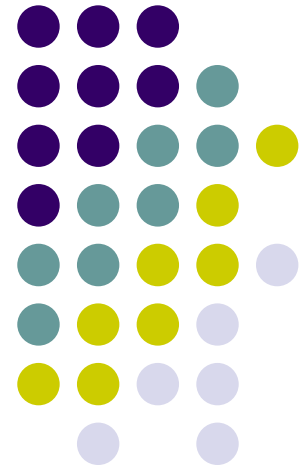


Methodologies for Determination of Instrument Set Points for Nuclear Plants (ISA 67.04)

Dr. Ramesh Shankar
Signatech Systems, Inc.

Solving Tomorrow's Energy Problems Today™

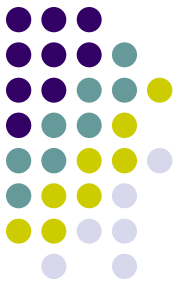




Overview

Provides guidance in

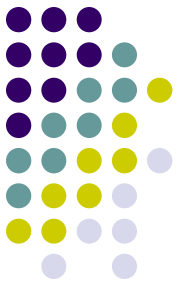
- calculating total channel uncertainty
- estimating uncertainties
- common practices
- sources & interpretation of data



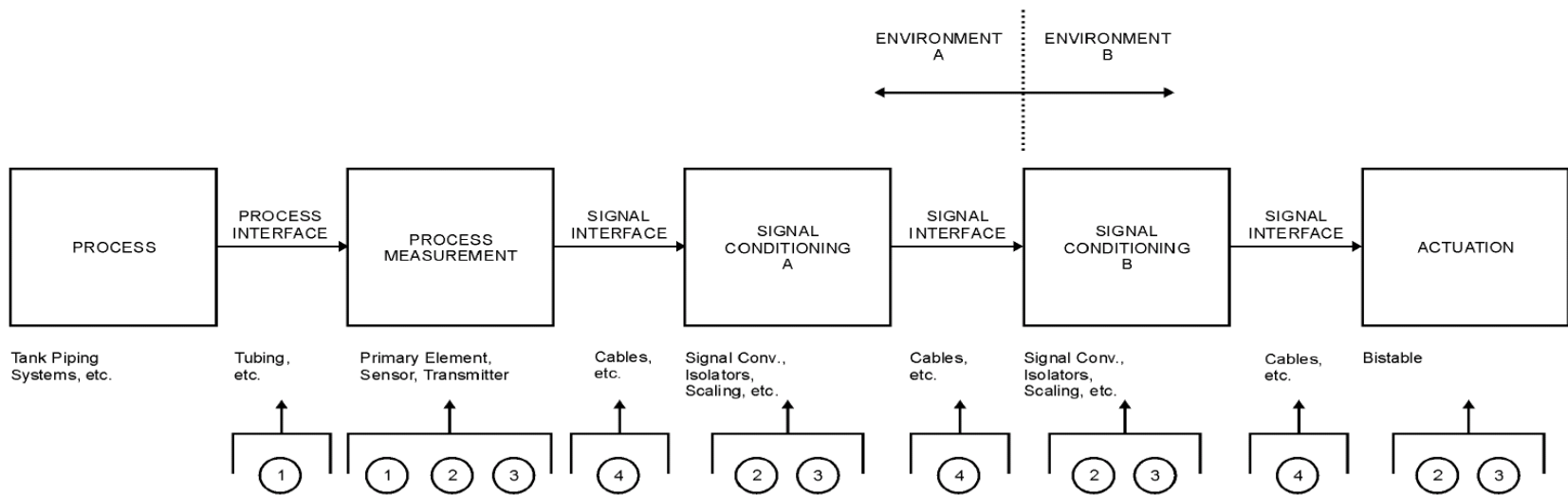
Overview 全般

ガイドの提供

- total channel uncertaintyの計算
- Uncertaintiesの推定
- 共通の手順
- 基とするデータとデータの解釈



Typical Instrument Channel Layout



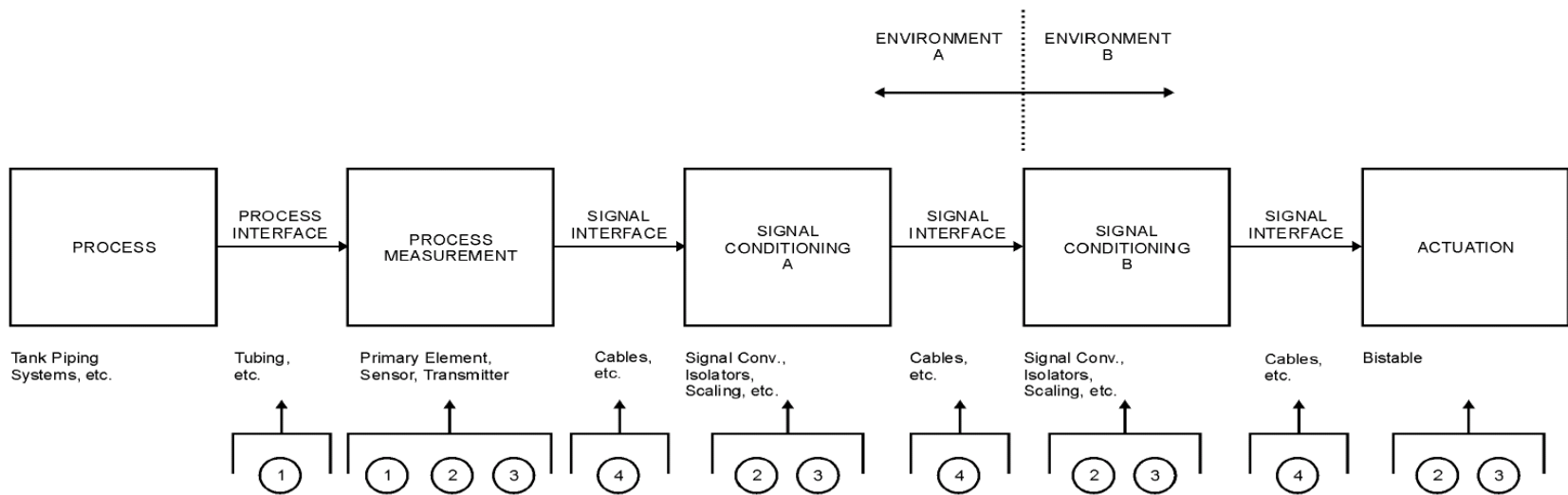
UNCERTAINTY ALLOWANCES

- 1 Process Measurement Effects
- 2 Instrument Uncertainty
- 3 Calibration Uncertainty
- 4 Other Uncertainties (IR, Leadwire Effects, etc.)

- Process
- Process Interface
- Process Measurement
- Signal Interface
- Signal Conditioning
- Actuation



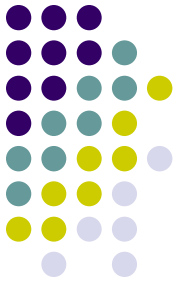
Typical Instrument Channel Layout



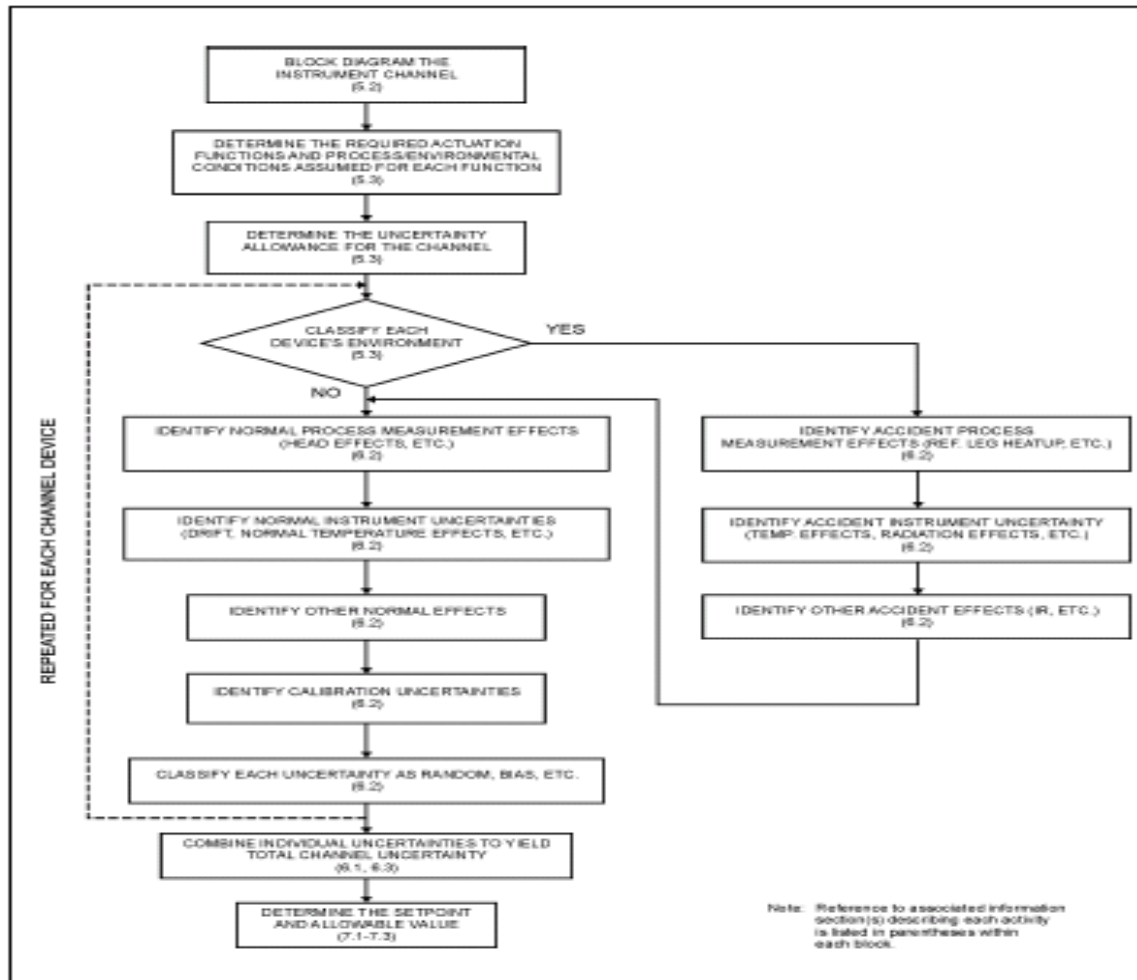
UNCERTAINTY ALLOWANCES

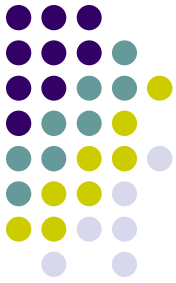
- ① Process Measurement Effects
- ② Instrument Uncertainty
- ③ Calibration Uncertainty
- ④ Other Uncertainties (IR, Leadwire Effects, etc.)

- Process プロセス
- Process Interface プロセスインターフェイス
- Process Measurement プロセス計測
- Signal Interface 信号インターフェイス
- Signal Conditioning 信号コンディショニング
- Actuation 作動

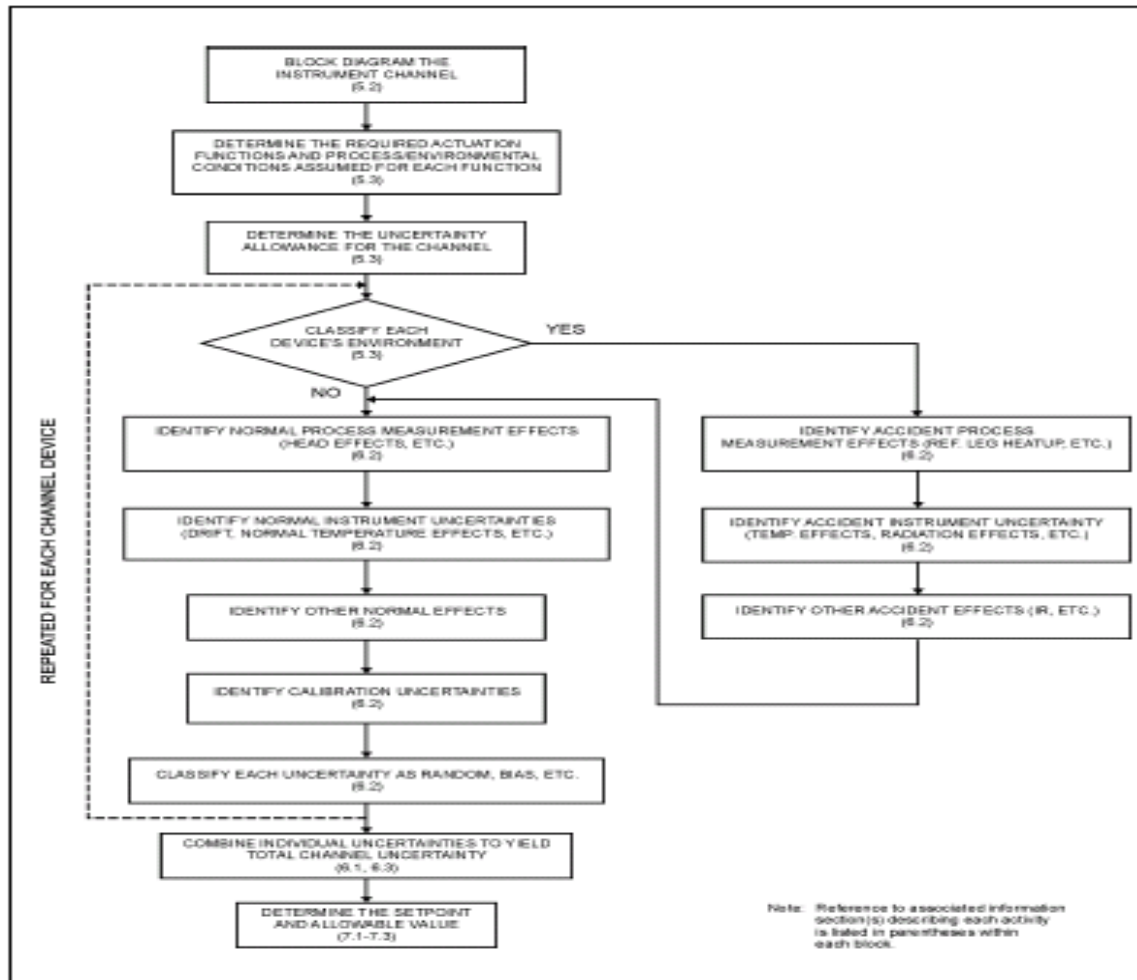


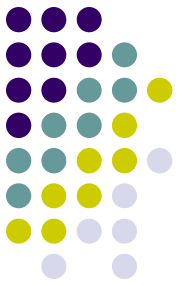
Setpoint Calculation Flow Chart





Setpoint Calculation Flow Chart





Uncertainty Equation

$$CU = \pm \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \pm \sum |F| + \sum L - \sum M$$

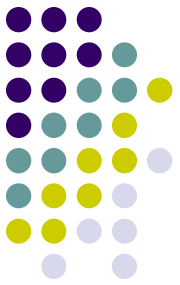
- A, B, C - Random and independent uncertainty terms. The terms are zero-centered, approximately normally distributed, and are indicated by a sign of \pm .
- F - Arbitrarily distributed uncertainties (biases that do not have a specific known direction). The term is used to represent limits of error associated with uncertainties that are not normally distributed and do not have a known direction. The magnitude of this term is assumed to contribute to the total uncertainty in a worst-case direction and is indicated by a \pm sign.
- L and M - Biases (terms that are not random) with known direction. The terms can impart an uncertainty in a specific direction and, therefore, have a specific + or - contribution to the total uncertainty.
- CU - Resultant uncertainty.



Uncertainty Equation (不確かさの式)

$$CU = \pm \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \pm \sum |F| + \sum L - \sum M$$

- A, B, C ⇨ ランダムな独立した不確かさの項、ゼロ中心でおよそ正規分布で±で表示される
- F ⇨ 不定に分布している不確かさ (特定の既知の方向を持たないバイアス)
) 本項は、正規分布をしておらず既知の方向を持たない不確かさに関連したエラーの限界値を代表する。この項の大きさは、最悪の方向に全体の不確かさがかかると仮定され、±で表示される
- L and M ⇨ バイアス (ランダムではなく) 既知の方向。この項は、特定の方向を持った不確かさを示す。従って、全体の不確かさに対して特定の+または-の影響を持つ
- CU ⇨ 全体の不確かさ



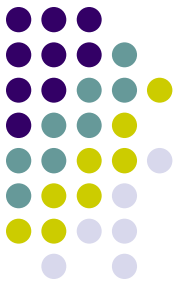
Maximum Positive Uncertainty

$$+ CU = + \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} + \sum |F| + \sum L$$

Maximum Positive Uncertainty 最大のプラスの不確かさ



$$+ CU = + \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} + \sum |F| + \sum L$$



Maximum Negative Uncertainty

$$-CU = -\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} - \sum |F| - \sum M$$

Maximum Negative Uncertainty 最大のマイナスの不確かさ



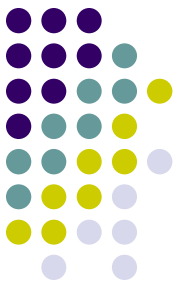
$$-CU = -\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} - \sum |F| - \sum M$$



Total Channel Uncertainty

$$CU = \pm \sqrt{PME^2 + PEA^2 + \text{Module } 1^2 + \dots + \text{Module } n^2} \pm \sum|F| + \sum L - \sum M$$

- PME - Random uncertainties that exist in a channel's basic process measurement.
- PEA - Random uncertainties that exist in a channel's primary element, if present, such as the accuracy of a flow orifice.
- Module 1, ..., n - Total random uncertainty of each module in the loop from Module 1 through Module n.
- $\sum|F|$ - The total of all arbitrarily distributed uncertainties. The magnitude is taken of each individual term because a specific bias direction is not certain.
- $\sum L$ - The total of all positive biases associated with a channel. This includes any uncertainties from PME, PEA, or the modules that could not be combined as a random term.
- $\sum M$ - The total of all negative biases associated with a channel. This includes any uncertainties from PME, PEA, or the modules that could not be combined as a random term.

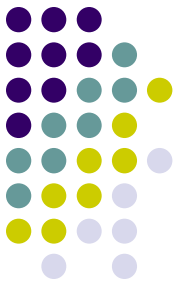


Total Channel Uncertainty

チャンネル全体の不確かさ

$$CU = \pm \sqrt{PME^2 + PEA^2 + Module 1^2 + \dots + Module n^2} \pm \sum |F| + \sum L - \sum M$$

- PME \Rightarrow ランダムな不確かさで、一つのチャンネルの基本プロセス計測に存在する
- PEA \Rightarrow ランダムな不確かさで、一つのチャンネルの基本ユニットに存在するもの。もし存在する場合にはフローオリフィスのようなもの。
- Module 1, ..., n \Rightarrow モジュール 1 からモジュール n までのそれぞれのモジュールに存在する全体のランダムな不確かさ
- $\sum |F|$ \Rightarrow すべての不定に分布する不確かさの全体。大きさは、それぞれの個々の項でとられる。なぜなら特定のバイアスの方向は不明。
- $\sum L$ \Rightarrow 一つのチャンネルに関係するプラスの方向のバイアスの全体。これには、PME、PEAの不確かさを含むかまたは、ランダムな項として合算されていないモジュールの不確かさを含む。
- $\sum M$ \Rightarrow 一つのチャンネルに関係するマイナスの方向のバイアスの全体。これには、PME、PEAの不確かさを含むかまたは、ランダムな項として合算されていないモジュールの不確かさを含む。

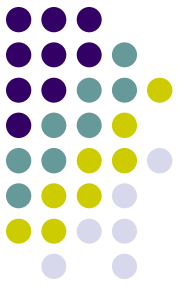


Sensor Uncertainty (Module 1)

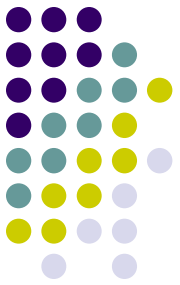
$$S = \pm \sqrt{SA^2 + SD^2 + STE^2 + SH^2 + SNR^2 + SPS^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2 + SMTE^2} \\ \pm \sum |SF| + \sum SL - \sum SM$$

Sensor Uncertainty (Module 1)

センサーの不確かさ(モジュール1)



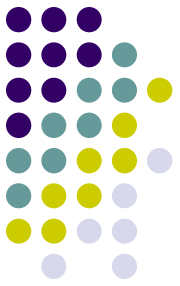
$$S = \pm \sqrt{SA^2 + SD^2 + STE^2 + SH^2 + SNR^2 + SPS^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2 + SMTE^2}$$
$$\pm \sum |SF| + \sum SL - \sum SM$$



As-Found As Left Uncertainty

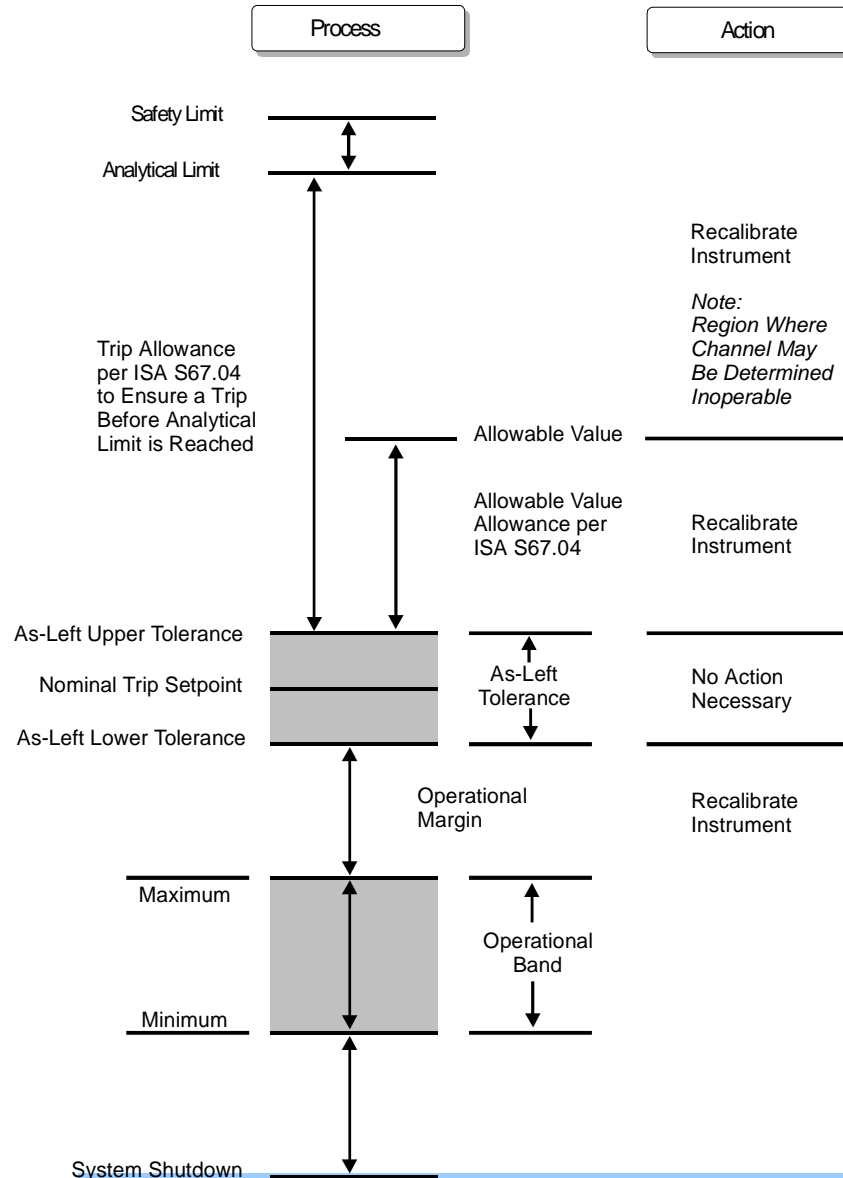
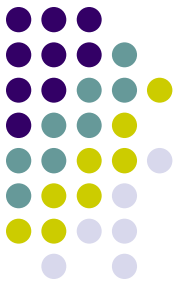
- S - Uncertainty of sensor.
- SA - Sensor reference accuracy specified by the manufacturer.
- SD - Drift of the sensor over a specific period. This has historically been the drift specified by the manufacturer.
- STE - Temperature effect for the sensor; the effect of ambient temperature variations on the sensor accuracy.
- SH - Humidity effect for the sensor; the effect of changes in ambient humidity on sensor accuracy, if any.
- SNR - Radiation effect for the sensor; the effect of radiation exposure on sensor accuracy.
- SPS - Power supply variation effects; the uncertainty due to instrument power supply variations.
- SPE - Static pressure effects for the sensor; the effect of changes in process static pressure on sensor accuracy.
- SOP - Overpressure effect; the effect of over ranging the pressure sensor of a transmitter.
- SST - Calibration setting tolerances for the sensor; the uncertainty associated with calibration tolerances.
- SMTE - Maintenance and test equipment effect for the sensor; the uncertainties in the equipment utilized for calibration of the sensor.
- SF, SL, SM - Biases associated with the sensor, if any.

As-Found As Left Uncertainty (As Found As leftの不確かさ)

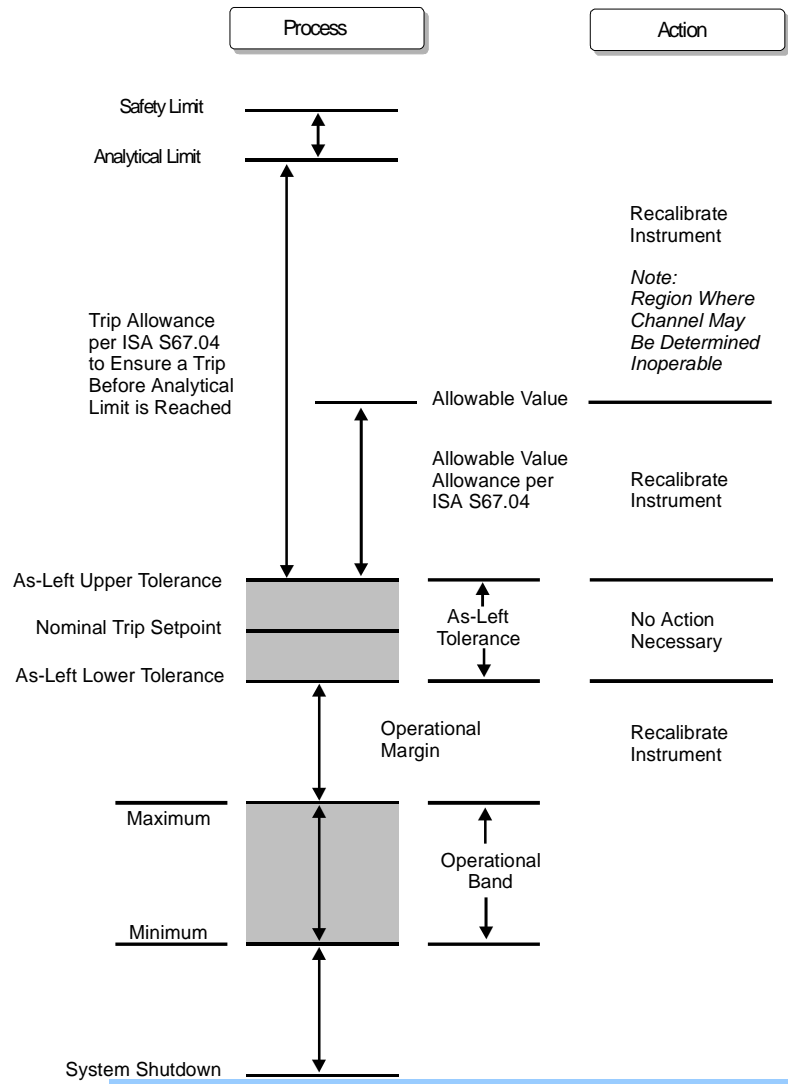
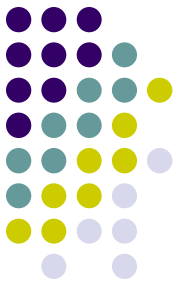


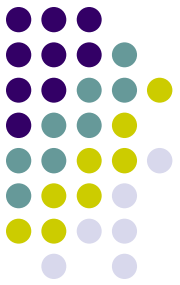
- S ⇒ センサーの不確かさ
- SA ⇒ メーカー指定のセンサーの参照精度
- SD ⇒ 規定期間におけるセンサーのドリフト。これは歴史的にはメーカー指定の値
- STE ⇒ センサーの温度効果、センサー周りの周囲温度変化のセンサー精度への影響
- SH ⇒ センサーの湿度効果、センサー周りの湿度変化のセンサー精度への影響
- SNR ⇒ センサーの放射線効果、センサーへの線量のセンサー精度への影響
- SPS ⇒ 電源変動の影響、計器の電源変動の不確かさ
- SPE ⇒ 静的圧力のセンサーへの影響、プロセスの静圧のセンサー精度への影響
- SOP ⇒ 過大圧の影響、トランスミッタの圧力センサーのレンジを越えた圧力の影響
- SST ⇒ センサーのキャリブレーションセット許容幅、キャリブレーションの許容幅に関連した不確かさ
- SMTE ⇒ 保全と試験機器のセンサーへの影響、キャリブレーションに用いる機器の不確かさ
- SF, SL, SM ⇒ センサーに関連したバイアス

Setpoint relationships per ISA 67.04



Setpoint relationships per ISA 67.04 (ISA 67.04に従ったセット値の関係)



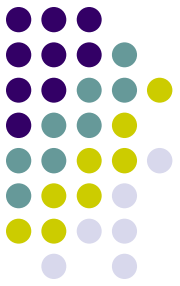


Trip Setpoint

$$TS = AL \pm (CU + Margin)$$

- TS - Trip setpoint.
- AL - Analytical limit.
- CU - Channel uncertainty, or trip setpoint uncertainty.
- Margin - An amount chosen, if desired by the user, for conservatism.
Note that when the trip setpoint is very close to the system's normal operating point, the margin might be very small or zero.

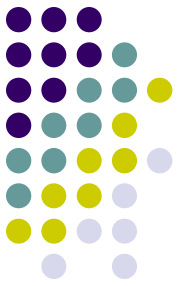
Trip Setpoint (トリップセット値)



$$TS = AL \pm (CU + Margin)$$

- TS ⇨ トリップセット値
- AL ⇨ 解析リミット
- CU ⇨ チャンネル不確かさ、トリップセット値不確かさ
- Margin ⇨ 選択された量、ユーザーが望む場合、保守性のため
トリップセット値が通常運転点に非常に近い場合、マージンは小かゼロとなる
。

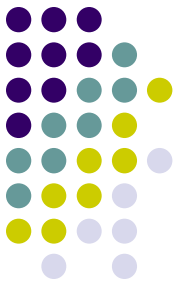
Instrument Drift and Uncertainty



$$S = \pm \sqrt{SA^2 + SD^2 + STE^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2 + SMTE^2}$$

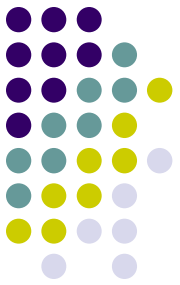
- SA - $\pm 0.5\%$, manufacturer's stated sensor reference accuracy
- SD - $\pm 1.5\%$, manufacturer's stated sensor drift over period of interest
- STE - $\pm 0.5\%$, manufacturer's stated temperature effect
- SPE - $\pm 0.5\%$, manufacturer's stated sensor static pressure effect
- SOP - $\pm 0.0\%$, manufacturer's allowance for overpressure effects
- SST - $\pm 0.5\%$, sensor setting tolerance
- SMTE - $\pm 0.25\%$, measurement and test equipment uncertainty

Instrument Drift and Uncertainty 計器のドリフトと不確かさ



$$S = \pm \sqrt{SA^2 + SD^2 + STE^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2 + SMTE^2}$$

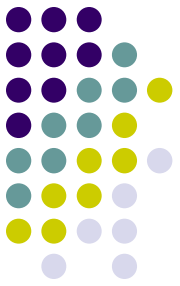
- SA - $\pm 0.5\%$, メーカー提供のセンサーのレフェレンス精度
- SD - $\pm 1.5\%$, メーカー提供のセンサーの一定期間内のドリフト値
- STE - $\pm 0.5\%$, メーカー提供の温度効果
- SPE - $\pm 0.5\%$, メーカー提供の静圧効果
- SOP - $\pm 0.0\%$, メーカーの過剰圧許容値
- SST - $\pm 0.5\%$, センサーセット値の許容幅
- SMTE - $\pm 0.25\%$, 計測、テスト機器の不確かさ



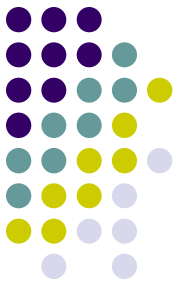
Instrument Drift

$$S = \pm \sqrt{0.5^2 + 1.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.0^2 + 0.5^2 + 0.25^2} = 1.82\%$$

Instrument Drift 計器のドリフト



$$S = \pm \sqrt{0.5^2 + 1.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.0^2 + 0.5^2 + 0.25^2} = 1.82\%$$



AFAL Analysis

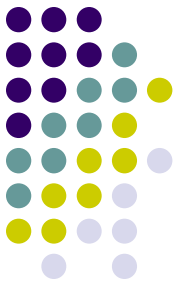
Suppose that a plant-specific AFAL analysis for these transmitters showed that they are expected to drift by no more than $\pm 1.35\%$ with a worst-case bias of $+0.07\%$. In this case, it might be possible to substitute the plant-specific value of transmitter drift, $\pm 1.35\%$, for the terms SA, SD, and SMTE in the above expression because the value of drift obtained by as-found minus as-left calibration data analysis includes the effects of these three terms. The expression for uncertainty appears as follows in this case:

$$S = \pm \sqrt{D^2 + STE^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2}$$

$$S = \pm \sqrt{1.35^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.0^2 + 0.5^2} = 1.60\%$$

AFAL Analysis

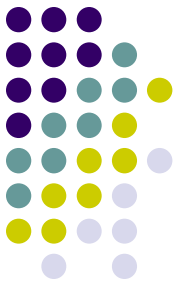
AFAL解析



- プラント固有のAFAL解析結果、このトランスミッタのドリフトが1.35%以下、最悪のバイアスが0.07%であったとする。
- すると1.35%をSA, SD, SMTEの代わりにDとして代入すればよいことになる。
- AFAL解析結果は、これらの項を代表すると考えられるため。
- 不確かさの式は、次のようになる。

$$S = \pm \sqrt{D^2 + STE^2 + SPE^2 + SOP^2 + SST^2}$$

$$S = \pm \sqrt{1.35^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.0^2 + 0.5^2} = 1.60\%$$

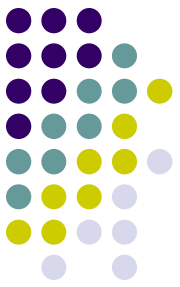


Conclusions

- The setpoint could be changed. This might be desired if the margin between the setpoint and the normal system operating point was very small.
- The setpoint could remain the same with the lower sensor uncertainty resulting in additional margin between the setpoint and the safety limit.
- Basis for not changing setpoints for longer refueling cycles, i.e., from 12 months to 18 months

Conclusions

(結論)



- セット値の変更は可能。 セット値と通常運転点の間のマージンが非常に小さい場合には、望ましい。
- セット値はそのまま同じにしてもよい。 その場合、センサーの不確かさが少なくなると、セット値と安全制限の間のマージンが大きくなる。
- 長期運転サイクルにおいてセット値を変えなくてよいベース、すなわち、たとえば12ヶ月から18ヶ月へ。