原子力発電給水流量計校正のための高レイノルズ数実流校正設備* (設備の概要および特性)

古市 紀之^{*1}, 佐藤 浩志^{*1}
寺尾 吉哉^{*1}, 高本 正樹^{*1}

High Reynolds Number Facility for Calibration of Feedwater Flowmeter in Nuclear Power Plant (Overview and Characteristic of Facility)

Noriyuki FURUICHI^{*2}, Hiroshi SATO,
Yoshiya TERAOKA and Masaki TAKAMOTO

^{*2} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
National Metrology Institute of Japan Liquid Flow Standards Section,
Fluid Flow Division AIST Tsukuba Central 3, 1-1-1 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8563 Japan

Since 1990s, an uprate of the thermal output has been carried out in USA using a method of measurement uncertainty recapture called as MUR. The principle of the MUR method is based on reduction of the measurement uncertainty of the feedwater flow rate using an ultrasonic flowmeter with high accuracy. Since the measurement uncertainty of thermal output can be reduced using that flowmeter, the thermal output can be increased within the reducing value of the uncertainty. The ultrasonic flowmeter using in a feedwater loop should be calibrated under the same condition of a nuclear power plant because of the correction factor of it is strongly affected by the condition of the flow field such as Reynolds number. To realize an actual flow calibration of feedwater flowmeter used at nuclear power stations at Reynolds numbers of up to 18 million, a new test facility is constructed at National Metrology Institute of Japan (NMIJ). This very large Reynolds number is achieved at a flow rate of 12 000 m³/h and water temperature of 70°C in a 600 mm pipe. Then the pipe prover system for 750 m³/h is also constructed to confirm of the temperature effect on the flowmeters. This paper describes overview and characteristic of the new facility.

Key Words: Actual Flow Calibration, Flowmeter, High Reynolds Number, Nuclear Power Generation, Pipe Flow

1. 結 言

原子力発電所における増出力方法として、MUR (Measurement uncertainty recapture)と呼ばれる手法が1990年代よりアメリカにおいて行われてきている⁽¹⁾⁽²⁾。現在の原子力発電における熱出力の不確かさはBWRもPWRも一律2%と見込まれており⁽³⁾、これは米10CFR50のAppendix K⁽⁴⁾に基づく、ECCS解析の限界値とされる。したがって原子炉においては、計測の不確かさを踏まえて、定格出力の102%が熱出力の上限と考えられている。ここで、図1に示すように、この熱出力の計測の不確かさを減じることができれば、法体系の更新を行うことなく増出力を行うことができるというのが、MURの基本概念である。この手法はコスト面からもメリットが大きく、日本の原子力発電所においても導入が検討されはじめている⁽⁵⁾。

BWRの場合、熱出力は原子炉入口での給水と出口での蒸気を持つエンタルピーの差として算出される。そのため、前述の熱出力の不確かさ2%のうち、1.76%が給水流量の計測の不確かさとして見込まれている。この給水流量計測は、従来はフローノズルと呼ばれる差圧式の流量計を用いて行われてきており、1.76%という不確かさは1976年にGE社より発行されたGETAB⁽⁶⁾という解析コードに基づいたものである。MURは、現在使用されている流量計に対し、これらよりも不確かさが小さく見積もられている超音波流量

Fig.1 A concept of uprate by MUR method

* 原稿受付 2007年7月30日。

^{*1} 正員、産業技術総合研究所(☎ 305-8563 つくば市梅園 1-1-1 中央第三)。

E-mail: furuichi.noriyuki@aist.go.jp

計を用いて行おうとするものである。したがって、設備の大幅な更新も必要なく、流量計の新規の導入のみによって増出力が可能であると言える。このように非常に簡便かつコストメリットも大きい手法であるが、問題点が二つ上げられる。流量計の実流校正とトレーサビリティである。

流量計の実流校正については、流量計の専門家の統一の見解として、取り付けられた流量計の精度が安全上重要であるのであれば、その流量計は設置される配管内流れと同等のレイノルズ数において実流校正が必須であると考えられている。しかしながら、例えば福島第二発電所の給水配管では、3000 t/h の流量かつその水温が 210 °C であり、そのためレイノルズ数は 10^7 まで達する。このように高いレイノルズ数において流量計を校正する設備は世界に存在しないため、従来のフローノズルに関しては、その流出係数を外挿によって求められているのが実情である。これらは ASME[®] に基づいて製作されており、ここで外挿を許していることに起因する。なお、この ASME には精度の担保としてのトレーサビリティや不確かさのバジェットについての記述はない。これは GUM[®] のような不確かさの概念が確立される前の指針であるからであると言える。一方、超音波流量計は特に補正係数が流速分布に強く依存するため、ISO[®] では、超音波流量計の実流校正を必須としており、もし 70% 程度までの実流校正試験ができないのであれば流量計の不確かさに 0.15%、40% であれば 0.3% 加えることとしている。

計測機器のトレーサビリティの重要性については、給水流量計も例外ではない。国家標準からのトレーサビリティを確保し、設置する流量計の不確かさを明確にすることは、その性能の発展を明確にするだけではなく、安全確保のためにも重要である。上記のように外挿によって求められた流出係数は、その外挿の元になるデータがトレーサビリティを確保していても、それを確保できているとは言えない。

そこで産業技術総合研究所・計測標準総合センター (NMIJ : National Metrology Institute of Japan) では、原子力発電所の給水配管をレイノルズ数の観点から模擬できる実流校正設備を構築してきた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。本設備は 600A 配管において、 10^7 オーダーのレイノルズ数における流量計校正を可能にしており、このような設備は世界的に例を見ない。また、従来から存在する液体流量の国家標準設備を拡張することにより構築された設備であることから、トレーサビリティが確保されている。したがって、この設備において校正された流量計は、国家標準にトレーサブルであるといえる。そのた

め給水流量計のみならず、高レイノルズ数における流量計校正の観点から、非常に広範囲な目的に使用される。本報告では、設備を詳細に報告した後、設備の性能評価についても報告するものとする。

2. 記号

I	: パルス数
K	: K ファクター [Pulse/L]
M	: 秤量タンクにおける水の質量 [kg]
n	: 校正の繰り返し数
Q	: 流量 [m^3/h]
t	: 秤量タンクにおいてダイバータがタンク側に切替わっている時間、または循環運転における計測時間 [s]
T	: 温度 [$^{\circ}\text{C}$]
U	: 校正の拡張不確かさ
V	: 管内流速 [m/s]
V_s	: 基準体積 [m^3]
ρ	: 密度 [kg/m^3]
σ	: 標準偏差
添え字	
A~D	: A~D の各ラインにおける値
DUT	: 被試験流量計における値
WT	: 秤量タンクにおける値
a	: 空気の数
b	: バルクの数
f	: 計測開始後の値
i	: 計測開始前の値
rms	: rms 値
w	: 水の値
z	: 流れ方向座標

3. 高レイノルズ数実流校正設備概要

3.1 設備概観 図 2 に設備の全体像を示す。本校正設備は、NMIJ に既存の液体流量 (水) に関する国家標準設備を拡張したものである。図中のオーバーフローヘッドタンクと 50 t 秤量タンクが既設である。従来は 400A 配管において 3000 m^3/h を最大としており、そのためレイノルズ数は 10^6 程度であった。この設備を拡張する形で循環ループを構築した。この循環ループはヘッダー、循環ポンプ 4 台 (330 kW) およびそれに付随したライン (以下 A-D ライン)、各ラインに設置された実用参照標準流量計 (以下 WS) 試験部、戻り管、ブルーバー等によって構成されている。

本設備を使用した校正は、基本的に WS の流量を標準とする比較法により行われる。WS は図のようにポ

Fig.2 Overview of high Reynolds number facility

Fig.3 Schematic diagram of feedwater mode

ンプ下流側に設置されている。WS および WS 設置位置の配管は 400A となっており、上流側には管内径の 20 倍の直管長さが取られている。また、10 倍上流の位置には整流板を設置した。なお、温度および圧力は WS すぐ下流において、ライン毎に測定される。WS は、原理の異なる流量計 2 台からなる。上流側から順に電磁流量計（以下 EMF）、超音波流量計（以下 UFM）となっている。電磁流量計は Krohne 社製 OPTIFLUX であり、超音波流量計については同社製 ALTOSONIC V を使用している。特に UFM については、5 本の測定線を持つものであり、精度および繰り返し性については、非常に高いスペックを持つ。

WS の下流側において、それぞれのラインからの配管が合流する。合流後の配管は 600A となっており、これより管内径の約 60 倍の直管長さを取ることがで

きる。この直管部は、200A 程度から 600A 程度の配管に対応することができる。試験部は合流部より管内径の 50 倍下流（600A 配管の場合）としており、この位置に被試験流量計（以下 DUT）を設置する。試験部の下流側にも温度計、圧力計を設置した。なお、試験部についてのみ、屋内設備となっている。

試験部より下流側において、送水経路は 50t 秤量タンクへのラインと戻り管への配管に分岐する。分岐後、それぞれに流量調節弁および遮蔽用のバルブが 2 台設置されている。これはリークチェックのためである。なお、戻り管は 1100～1300A、ヘッダーは 2000A の配管となっている。また、ブルーバーは、この循環ループからは独立して設置されている。

3.2 送水運転試験 本設備では、オーバーフローヘッドタンクおよび 50t 秤量タンクを使用した送水試験を行うことができる。この 50t 秤量タンクについては日本における流量の国家標準となっていることから、これを使用して校正された流量計または流量校正設備は、トレーサビリティを持つことを意味する。

送水運転時の送水経路を図 3 に示した。オーバーフローヘッドタンクからヘッダーを通過、各ラインから

Fig.4 Schematic diagram of circulation mode

試験部を通過し、50t 秤量タンクへ流入する。この際、戻り管への配管はダブルバルブにより遮蔽されており、バルブからのリークチェックを行うことができるようになっている。

流量は最大 3000 m³/h までであり、基本的にはひとつのラインからの送水となる。系全体の圧力はヘッド圧によりおよそ 0.2 MPa、また、循環ポンプの吐出圧より、試験部ではおよそ 0.5 MPa となる。水温に関しては 30 °C までの試験を行うことができる。

この送水運転による試験は、主に WS の校正を目的とする。下記は A ラインの WS を校正した時の K ファクター算出式である。

$$K_A = \frac{I_A \cdot \rho_w(T_A) \cdot t_{WT} \cdot (1 - \rho_A / \rho_w(T_{WT}))}{1000 \cdot t_A (M_f - M_i)} \quad (1)$$

なお、本校正は ISO17025 に準拠して行われるものである。この試験において校正された WS は、配管から取り外されることなく以下の循環による試験に用いられる。一般に、流量計の取り外しが行われる場合には不確かさが增大するが、本設備ではそれが不必要であり、結果として設備の不確かさを小さくすることが可能となっている。

3.3 循環運転試験 循環運転モードの送水経路を図 4 に示す。循環運転では、平行に並んだ 4 台の循環ポンプにより流れを発生させる。ポンプ 1 台あたりの最大流量は 3000 m³/h であり、各ラインの合流後の最大流量は 12000 m³/h となる。

この循環運転時は膨張タンクにより、系の圧力が送水運転時同様 0.2 MPa に保たれている。ポンプの吐出圧から、WS 近辺における圧力はおよそ 0.6 MPa、試験部ではおよそ 0.5 MPa となる。なお、運転時の圧力変動は小さいことを確認している (±0.01 MPa 以下)。

水温は、常温から 70 °C における試験を可能としている。水温の制御は地下貯水槽の水を低熱源とした熱交換によって行われ、高温時の試験温度は 70±2 °C の範囲で制御が可能であるが、1 試験サイクルを 1 時間

Fig.5 Temperature dependence of same type flowmeter of WS

程度とした場合、±0.2 °C 程度で運転が可能となっている。なお、水温が 70 °C、流量 12000 m³/h の条件のもと、600A 配管 (スケジュール 20S) では、最大レイノルズ数 1.8×10⁷ を達成することができる。

DUT の校正は、この循環運転により行われ、WS との比較法により、下記の式により K ファクターが算出される。

$$Q_{DUT} = \frac{1}{t} \left(\frac{I_A}{K_A} + \frac{I_B}{K_B} + \frac{I_C}{K_C} + \frac{I_D}{K_D} \right) \quad (2)$$

$$K_{DUT} = \frac{I_{DUT}}{Q_{DUT}} \quad (3)$$

ここで、WS の K ファクターは試験時の水温に影響を受ける。したがって、常温時は 3.2 節において得られた値を使用するが、高温時は別途、値を算出する必要がある。この値を算出する方法は別報⁽²⁾にて詳細に記述する。

3.4 ブルーバー設備および試験 一般的に流量計は温度特性を持ち、水温により K ファクターが変化する。図 5 に本設備の WS と同じタイプの流量計 (ただし口径は 200A) の水温を変化させた場合の校正結果を示す。この結果はスウェーデン SP において校正された結果である。縦軸は、20 °C における平均値により正

Fig.6 Detail of Prover system

Fig.7 Schematic diagram of calibration by Prover

規化している。また、エラーバーは 2σ (σ : 繰返し測定の標準偏差)を意味する。

UFM の場合は、明瞭な温度依存性が観測されており、温度が高くなるほど K ファクターが小さくなる傾向にある。しかしながら、EMF についてはその逆で、温度が高くなるほど K ファクターが大きくなる傾向にある。また、EMF については 30°C の再現性試験の結果は良好とは言えないが、これは 30°C から 70°C へ昇温するのに必要とした時間(12時間程度)と、 70°C から 30°C へ水温変更する時間(水の入替え時間として3時間程度)から、水温変化に対して十分な慣らし時間を持たなかったことに起因していると考えられる。本試験では行っていないが、流量計の配管材の膨張係数による補正がよく行われる。しかしながら、この補正だけでは十分に温度変化に関する特性を知ることが難しく、また流量計によってもその特性が異なることが、これらの結果から分かる。

以上のことから、WS についても実際の温度特性について確実に求める必要があるため、流量計の校正設備として一般的なブルーバー(図6)を設置した。ブルーバーは、秤量タンクのように系を大気に開放することなく運転することができるため、高圧・高温条件下における流量計の校正を行うことができる。ブルーバーは全長約20mで、基準体積が約 2 m^3 、最大流量は $750\text{ m}^3/\text{h}$ の設定となっている。なお、ディテクタ間隔は最大流量時に約10sとなる。

Fig.8 A characteristic of WS of B-line

ブルーバーの試験時における送水経路を図7に示す。このブルーバーは通常は循環ループには接続されていない。校正試験を行う場合のみ、DUT 設置位置より下流側に連絡配管を設置し、通水させるものとしている。

4. 設備性能試験

4.1 WS 特性(常温) 各ラインのWSの校正結果のうち、代表的な結果としてBラインの校正結果を図8に示す。エラーバーは 2σ (σ : 連続した n 回の測定の標準偏差)を意味し、Test #1とTest #2は、異なった日に行われた測定結果を示す。本設備におけるWSの連続した試験における繰返し性は非常に良く、UFM については標準偏差で0.02%程度、また、EMF についても0.015%程度である。日を変えた再現性(日間変動)についても良好で、分散分析では、試験結果のばらつきから分離することができない。

本結果にも明瞭に現れているが、流量計の特性は流量またはレイノルズ数に強く依存する、低流量の結果からの外挿は必ずしも実態を反映できるものではない、本結果からも流量計の実流校正が不可欠であることが分かる。

次に、秤量タンク法と比較法(送水運転試験と循環運転試験)の校正結果の妥当性を検討する。図4中のDUTの位置に、WSと同タイプの流量計(ただし口径は600A)を設置し、この流量計を秤量タンク法および比較法による校正を行い、それぞれから K ファクター

Fig.9 Comparison between weighing tank and comparison method

を算出した。Bラインから送水した場合の結果を図9に示す。それぞれの手法による校正結果はほぼ一致していることが分かる。図中 En 値は、下記の式から算出される。

$$En = \frac{|K_w - K_c|}{\sqrt{U_{WT}^2 + U_{CM}^2}} \quad (4)$$

ここで、校正の拡張不確かさ U_{WT} (秤量タンク法) および U_{CM} (比較法) は以下のように算出する。

$$U = 2 \times \sqrt{u_{CMC}^2 + \frac{\sigma^2}{n}} \quad (5)$$

u_{CMC} はそれぞれの設備 (校正方法) の標準不確かさであり、秤量タンク法では 0.027%⁽¹³⁾、比較法では 0.028%⁽¹²⁾ である。En 値は一般的に、1 以下であればそれぞれの結果が拡張不確かさの範囲で一致していることを意味する指標であるが、本設備では B ライン以外からの送水も含めて、測定流量範囲で 0.3 以下であった。以上のことから、本設備における WS および、これを用いた比較法による校正が適正に行われることが示された。

4.2 流速分布および乱れ強さ分布 試験部において、偏流や旋回流が存在するような場合は、流量計の校正精度に著しく影響をおよぼす可能性がある。本設備では被試験流量計まで管内径の 50 倍の直管長さを確保しており、発達した流れとするには十分な長さと考えられるが、校正流量点によっては、合流部において A・B 側と C・D 側からの流量が均等にならない。例えば、流量 9000 m³/h にて試験を行う場合は、A・B・C の各ラインから 3000 m³/h 流し、D ラインからは送水しない。また、単一のラインからの送水も想定され、偏流や旋回流の発生の可能性を否定できない。そのため、試験

Fig.10 Velocity profile at test section

Fig.11 Turbulent intensity at test section

部における流動状態を把握するために、流速分布と乱れ強さの分布を計測した。

本試験は、超音波流速分布計 (UVP) を用いて行った。超音波トランスデューサを流れに対して 30° の角度にて挿入できる配管を試験部に設置した。超音波トランスデューサの基本周波数は 0.5MHz である。また、本計測器には液体中に反射体が必要となるため、管内径の 12 倍上流から微細気泡を混入した。微細気泡の発生には NIKUNI M50S を使用した。本装置により発生するとされる平均気泡径は、およそ 30μm である。主配管からポンプにて作動流体を引き出し、空気を混入後、再び主配管に混合された微細気泡とともに戻すシステムとなっている。空気は、ポンプのサクション側における負圧により吸引される。混入される空気と配管中の作動流体の流量比は約 0.3% を目安とした。なお、このように試験部上流側にて、ポンプによる吸い出し吸い込みを行うことによる影響は、ポンプの流量を減じた場合、また、流量比を高くした場合においても流速分布が変化しないことから、それが無いことを確認した。なお、測定を行った流量は 3000 m³/h、レイノルズ数にして 2.25×10^6 である。

流速分布を図 10 に示す。UVP では、測定線に沿った流速成分が計測されるため、半径方向流速成分は流

れ方向成分に比して十分に小さいものとして、計測された成分を $\cos 30^\circ$ にて除したものを使用した。結果として、いかなるライン選択のパターンによっても、 r/D が 0.5 付近（管壁から約 200 mm）まではべき乗則によく一致し、中心付近ではおよそフラットになるという流速分布となっている。なお、特に中心部付近で完全にフラットな速度分布になっていないことについては、UVP による計測の特性上、超音波の反射等による定在波がこの領域に存在するような状態になり、これを打ち消すだけ十分な信号が計測できなかったことによる影響と考えられる。

乱れ分布について図 11 に示す。本計測では測定体積が比較的大きいこともあり、特に中心部よりの乱れ強さに関しては一般的な発達乱流からすると小さめに出ている。しかしながら、その分布自体については、特に異常は観測されていないと考えられる。以上のことから、本設備の試験部においては、旋回流や偏流のない、十分に発達した流れ場であるといえる。

4.3 流量変動 一般的に流量変動が流量計の校正結果におよぼす影響については、校正対象の流量計に依存するところが大きく、一概に定量化はできない。しかしながら、ポンプを 4 台使用して循環運転を行うことから、大規模な脈動が発生する可能性があるため、流量変動を確認した。試験部に Krohne 社製の ALTOSONIC V 600A (WS と同型) を設置し、そのパルス周波数をアナライザ（横河製 DL750）により解析した。ほぼ、瞬時の流量が計測されていると考えられる。

代表的な流量変動の例を図 12 に示す。最大流量点近くの約 $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ の試験結果である。本流量計にて計測された流量に関してはきわめて安定しており、計測時間（10 分；1 回の校正にかかる時間に相当）の間に大規模な脈動は発生していない。最大流量においても、ほぼ同様の結果が得られると考えられる。なお、この結果における流量変動は標準偏差で 0.4% 程度である。

同様の試験を、流量とライン選択を変えて行っている。その結果として、流量がもっとも低い場合（ $750 \text{ m}^3/\text{h}$ ）では、約 1.2% 程度の流量変動が発生するが、それよりも大きい流量では、0.4～0.6% 程度と、よく安定している。また、ライン選択のパターンごとに流量変動の規模が大きく異なることがないことも確認できた。

4.4 ブルーバー性能試験 ブルーバーによる流量計の K ファクターは以下の式により行われる。

Fig.12 Trend of flowrate at test section

Fig.13 Schematic diagram of volume calibration

$$K_{\text{DUT}} = \frac{I_{\text{DUT}}}{V_S} \quad (6)$$

パルス数に関する誤差はほとんどないことから、基準体積を正確に求めることが、ブルーバーの精度を高めることになる。ブルーバーの体積は通常、基準体積タンクとの比較で行われるが、本設備では、ブルーバーと国家標準である 50t 秤量タンクを配管で結ぶ事ができる特徴をいかすことにした。この方法で行う方が、不確かさを減じることが可能である。しかしながら、ブルーバーの基準体積は約 2 m^3 であることから、秤量タンクとの容量差が大きく、直接比較することは難しい。そこで、図 13 に示すように、トランスファースタンダード（図中 TS200；以下 TS）を用い、いったんこの流量計を 50t 秤量タンクにて校正し、K ファクター（ K_{TS} ）を求める。その後、この校正された K ファクターを用い、ブルーバーの基準体積を逆算する手法を採用した。基準体積は、ほぼ設計値通りの 2 m^3 が得られ、またこの校正により得られる体積の平均値の再現性については 0.01% 以下であった。この基準体積の不確かさ評価の詳細については別報⁽¹²⁾にて述べるが、ここでは結果のみとして、約 0.3% であったことを述べる。

ただ、このブルーバーを用いた流量計の校正においては、繰返し性が 0.06～0.1% と若干大きくなっている。これは、ブルーバーの基準体積部の配管長さが約 9 m と短く、ディタクタをたたくタイミングのばらつきが、相対的に大きく観測されてしまうためと考えら

れる。今後内面コーティング状況やディタクタセンサの調整により軽減を目指す、設備の不確かさ評価では、現状により評価している。

なお、本手法による基準体積の校正により、このブルーバーは流量の国家標準にトレーサブルであると言えることを付記する、

5. 結 言

原子力発電所給水流量計の実流校正を行うことを主たる目的として、高レイノルズ数実流校正設備を開発・構築した。本設備は給水配管をレイノルズ数の観点から模擬することができ、水温 70 °C、流量 12000 m³/h により、その最大レイノルズ数 1.8×10^7 (600A 配管の場合) を達成した。このレイノルズ数領域での実流量校正設備は世界でも例を見ない。

設備の性能として、被試験流量計を設置する近傍での流速分布を計測し、偏流や旋回流がないこと、また十分に発達した流れであることを確認した。また流量変動についても、大規模な脈動等がなく、流量計の校正に十分な性能を持つことを確認した。

また、本設備の流量の標準となる実用参照標準流量計の流量に対する特性および再現性を示し、非常に高い精度にて流量校正が可能であることを示した。また、実用標準流量計の温度特性について検証するためのブルーバーの性能試験も行い、十分な精度を持っていることを示した。

以上のように、高レイノルズ数における実流校正設備が構築された。別報⁽¹²⁾において、設備の不確かさ評価について報告するものとする。

謝 辞

本研究は経済産業省電源特別会計によって行われた。ここに謝意を記す。また、スウェーデン SP における試験では、Dr. Anders Anderson, Dr. Krister Stolt に多大なる尽力をいただいた。合わせて謝意を記す。

文 献

- (1) Power uprate for nuclear plants, Nuclear Power Plant Fact Sheets, NRC (2004)
- (2) Status report on power uprates, SECY 03-0190, NRC (2003)
- (3) Federal Register Notice June 1, 2000, RIN 3150-AG26 (2000)
- (4) NRC Regulations 10 CFR Part50
- (5) Okamoto, K., Kikura, H., NPP power uprates using ultrasonic flowmeter, *J. At. Energy Soc. Japan*, Vol.49, No.1 (2007), pp.39-44
- (6) General Electric BWR Thermal Analysis Basis (GETAB) : Data, Correlation and Design Application, General Electric, NEDO-10958-A (1977)
- (7) Performance Test Code 6 on Steam Turbine, ASME PTC 6 (1996)
- (8) Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO (1995)
- (9) ISO/CD 17089 (2006) (to be published)
- (10) Sato, H., et al, *Proceedings of FEDSM2006*, Miami, FL, (2006)
- (11) Furuichi, N., et al., *Proceedings of ICONE15*, Nagoya, (2007)
- (12) Furuichi, N., et al., *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B* (to be submitted)
- (13) Terao, Y., et. al, *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers*, 36, 1 (2000)