

目的指向センシングのためのモバイルセンサー機構

Movable Sensor Mechanism for Intentional Sensing

谷 宏樹, 竹井修輔, 高橋 信, 北村正晴

Hiroki TANI, Shusuke TAKEI, Makoto TAKAHASHI, Masaharu KITAMURA

Abstract: The concept of intentional sensing has been proposed and is now being evaluated utilizing the thermohydraulic test bench called DURESS(Dual Reservoir System Simulation). By using mobile sensors for obtaining additional information, the efficient diagnosis is expected to be realized for dynamically changing situation. In the present study, the mechanisms for movable and changeable sensor has been designed and constructed. A sensor is attached at the end-effector of robot manipulator which is capable of moving on the rails installed along with DURESS. Two types of sensors, a laser vibration sensor and an infrared temperature sensor, can be changed with each other using devised connection mechanism. Although the system integration is still on the way, the basic validity of the movable sensor mechanism has been confirmed through the experiments.

キーワード：目的指向センシング(Intentional Sensing), 移動センシング(Mobile Sensing), ロボットマニピュレータ(Robotmanipulator)

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学工学研究科 量子エネルギー専攻
北村研究室 谷宏樹, Tel/Fax:(022)217-7907, E-mail:tani@luke.qse.tohoku.ac.jp

1 背景

大規模・複雑系におけるシステムの状態を適切に把握することは、安全性確保の上で極めて重要な課題である。ここで問題を診断という領域に限ると、人工知能応用の初期の段階で試みられたエキスパートシステム型のアプローチから出発し、近年では人間・機械協調型のパラダイムの重要性が指摘されている。^[1] 診断手法に関しては、モデルベース推論や、事例ベース推論、ニューラルネットワークの応用等、様々な手法が提唱されており^[1]、それらの実環境への応用^[2]も行われつつある。このような、診断手法自体の高度化は重要な課題であることは言うまでもないが、対象に関する情報を獲得するための「センシング」自体の高度化についても、十分に検討する必要がある。これまでの固定計装系だけの状態監視では、設置できるセンサーの数や場所には限りがあり、起こりうる様々な状況を考えた場合、事前に最適な設置個所を決めることは困難である。これに対して、オペレータが設定する診断

の目的に対し、最適な計測対象及び計測手段を能動的に選択することができれば、診断効率の大幅な向上が期待できる。このような枠組みは、時間の進展とともに刻々と変化する動的な状況へも柔軟に対応可能であると期待できる。このようなセンシングの枠組みを、本研究では「目的指向センシング」と呼ぶ。

本研究室では、この目的指向センシングの考え方に基づく動的な状況認識の実現性を、より現実的な状況の下で検証することを目的としている。計測系としては、定点計測を担う固定計装計に加えて、可能性のある異常仮説を絞り込むために、多様な計測点を動的に計測する移動計装系を併用する。異常仮説の絞り込みのための対象システムの因果モデルとして、本研究ではベイジアンネットを用いている。ベイジアンネットを用いた異常仮説の絞り込みに関しては、シミュレーションに基づく実験を通じてその有効性を確認している。^[3]

本研究室においては、現在、小型熱流動テストベ

ンチを作成し、現実環境における目的指向センシングの有効性の検証を行っている。本報告では、移動計装系の実現に向けて行っているアーム型ロボットマニピュレータの並進機構と複数センサーの着脱機構について、開発の現状について述べる。

2 手法

2-1 DURESS(DUal REservoir System Simuration)

本研究における対象システムである、小型熱流動テストベンチ DURESS (DUal REservoir System Simuration) の系統図を Fig.1 に示す。DURESS は冗長な 2 つの給水系統の存在により、単純な給水 - 加熱システムに比べて異常事象生起時の原因同定及び対応操作が複雑なシステムとなっている。図中左の上流部タンクから、2 系統のポンプにより汲み上げられた水は各々 2 つの貯水タンクに注がれる。

貯水タンクにはヒーターが備え付けられており、バルブ及び貯水タンクヒーターを制御して、各貯水タンクの水温及び貯水タンクからの流出流量を定められた値に保つことが、本システムの制御目標である。元来このシステムのシミュレーションモデルは、インターフェースの分野における模擬対象として広く知られており、多くのシミュレーション例があるが^[4]、本研究プロジェクトではこれを実システムとして実現している。

DURESS には、Fig.1 に示すように、固定式センサとして配管の流量を計測する流量計、貯水タンクの

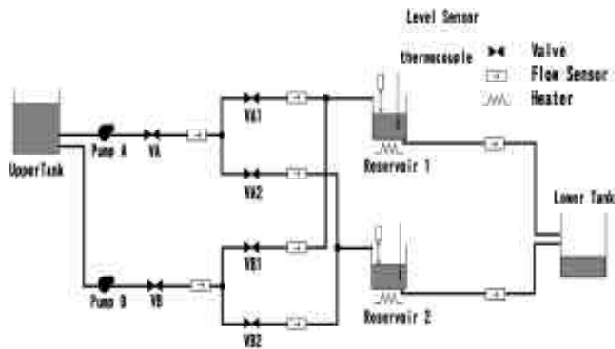


Fig.1 DURESS 系統図

水温を測る熱電対、水位を測る超音波センサーの 3 種類のセンサーを備えている。制御装置としては、配管部分に手動及び電動バルブ、貯水タンクにヒーターを備え、DA変換ボードを通じて計算機から操作可能となっている。

- ・流量計 (KOFLOC RS101)
- ・温度計 (KIETHLEY SmartLink)
- ・超音波センサ (KEYENCE UD-300)
- ・DA変換ボード (National Instyument AT-A0-10)
- ・ソフトウェア LabView5.01 (National Instrument)

2-2 モバイルセンシング

本研究では、前述の固定計装系で測定可能な量に加えて、モバイルセンサーにより付加的な情報を獲得することにより、効率的な異常の絞込みを可能にすることを目的としている。

モバイルセンシングにより獲得されると考える有知な情報^[5]としては、補完情報と補強情報がある。補完情報とは、センサが設置されていないために固定計装では獲得できない情報であり、補強情報とは、固定計装においても測定されている情報であるが、モバイルセンシングによる冗長な計測を行うことにより情報の確信度を高めることができる。このような 2 種類の情報を状況に診断の目的に応じてモバイルセンシングにより獲得することで、より効率的な状況把握・原因同定が実現できると期待できる。

たとえば、DURESSにおいてポンプの下流の流量が下がった場合、流量計の情報だけでは「ポンプ下流での漏洩」か「ポンプ上流でのAIRの混入」かわからない。このような場合、レーザー変位センサーをポンプの位置まで移動させ、ポンプの振動を計測することにより、この 2 つの異常を弁別することが可能となる。また、貯水タンクの水温度が上昇していると計測された場合、センサ故障等の可能性を考

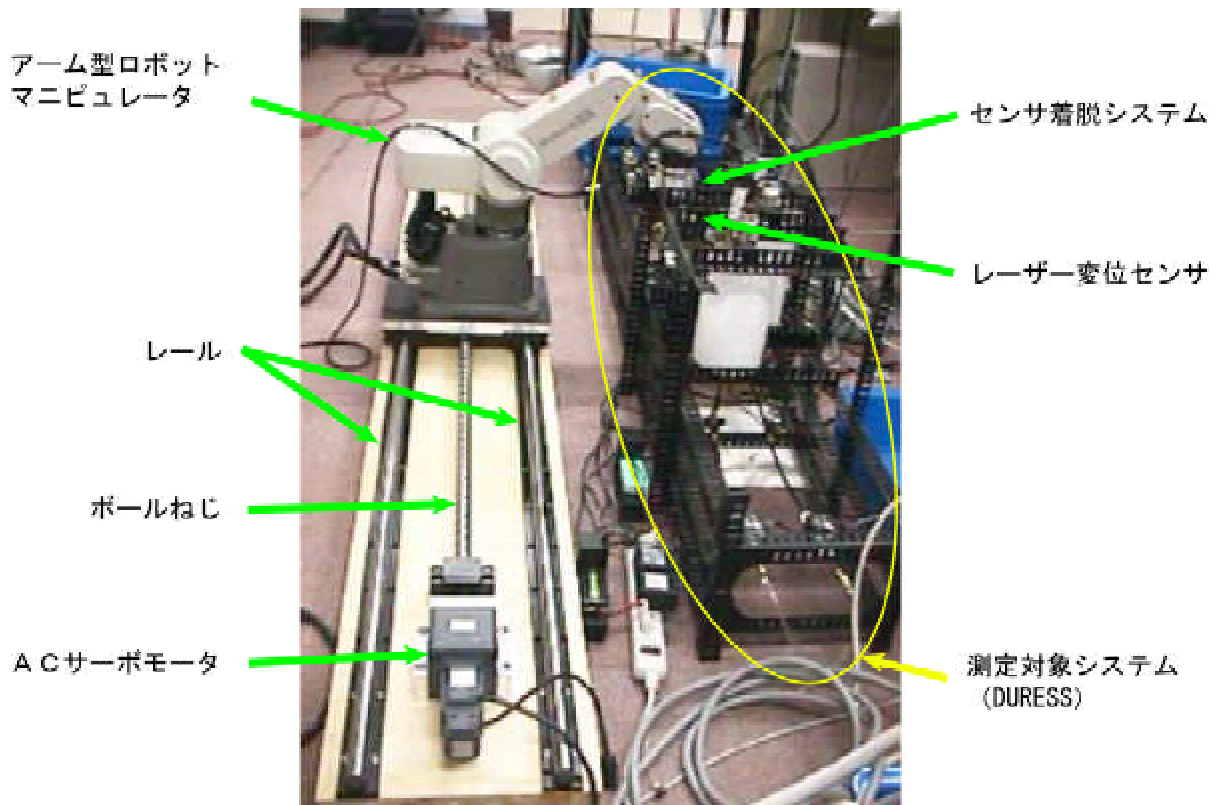


Fig.2 ロボットマニピュレータを用いた移動計測

えると、確かに水温が上昇しているのかを補強情報により確認する必要がある。このような場合、赤外線放射温度計をタンク付近まで移動させ、測定を行うことにより異なる測定原理による温度情報を獲得することができ、これにより温度の上昇という事象に関して確信度を高めることができる。

このようなモバイルセンシングによる補完・補強情報の獲得は、人間手動で行われても十分意味のあることではあるが、本研究では対象の因果モデルに基づき、状況を絞り込むための計測点をシステム側が決定する点に大きな特徴がある。したがって、本システムにおいては、複数のセンサーを取り替えながら、DURESSのシステム全体を計測できるモバイルセンシングシステムが必要となる。

3 実装

本章では、DURESS全体を測定対象とするためのセンサーの移動機構及び着脱機構について述べる。

Fig.2にシステムの全体の写真を示す。写真右側がDURESS本体であるが、計測対象機器及び配管が横長に配置されているためマニピュレータ自体を床面に固定した形態ではアーム先端に取り付けられたセンサーを可能性のある全ての計測ポイントに到達させることは不可能である。自由度という観点からは、自走式のロボットの導入が最終的な解決策と考えられるが、本研究では第一段階として、マニピュレータ自体をレールの上に載せ移動させることで、計測範囲の拡大を実現することを目指した。

3-1 移動機構

Fig.2に示すように、幅350mm×長さ2400mmの板の上に2本のレール、そしてレールの間にボールねじを設置し、レール上をスライドする台にボールねじのフランジを固定し、この台の上にアーム型ロボットマニピュレータを設置した。ボールねじは、位置決め機能内臓のACサーボモータにより駆動され、計算機により0.001mmまで制御が可能となっ

ている。また、台の稼動範囲は約180mmであり、端から端までを約20秒で移動可能である。特定の測定点へアーム先端のセンサーを近づけるためには、ロボットマニピュレータ自体の動きと並進動作を協調的に制御する必要があるが、現時点では、並進位置と測定点を単純に対応付けることにより、この問題に対処している。これらのロボットの位置制御は、PC上のソフトウェア環境LabView5.1Jを通じて行う。

- ・ レール (OZAK GTC-25)
- ・ ボールねじ (OZAK KBS2525-2020)
- ・ ACサーボモータ (MITSUBISHI MELSERBVO-J2-C)
- ・ ロボットマニピュレータ (MITSUBISHI MOVEMASTER EX)

3-2 着脱機構

本研究では、能動的に計測するセンサとして、振動を非接触で計測するレーザー変位センサー、温度を非接触で計測する赤外線放射温度計を用いており、必要に応じて自動的にこれらのセンサを交換する機構が必要となる。

利用しているロボットマニピュレータのハンド

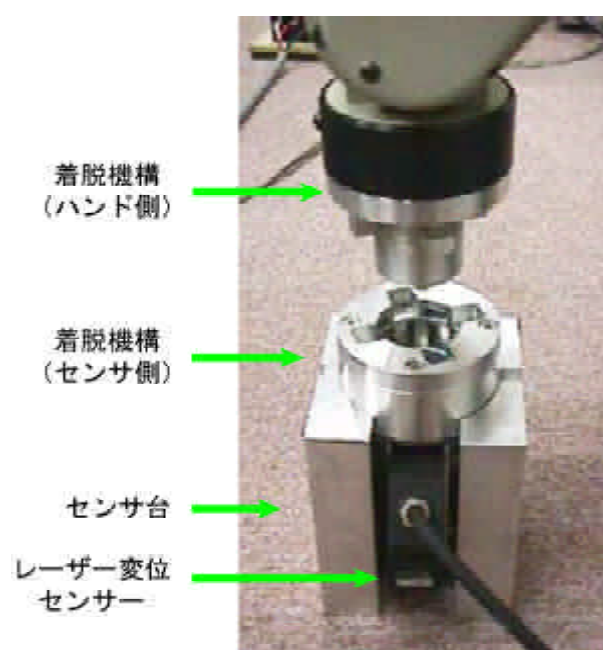


Fig.3 着脱機構とセンサ台

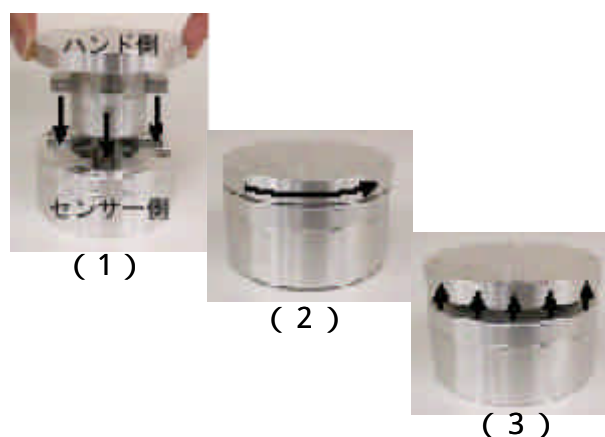


Fig.4 着脱機構の詳細図

は、X,Y,Z方向と回転方向のみに動作可能で、複雑な着脱機構は実現が難しいが、センサー側からの要求として、測定時はマニピュレータ本体とセンサーは高剛性で連結している必要がある。そこで本研究では独自にセンサーの着脱機構を設計し、製作した。

Fig.3に着脱機構の全体構成を示す。上部がマニピュレータ側で、下部のレーザー変位センサーはセンサ台に置かれた状態となっている。マニピュレータが上部から接近し、センサー部に連結される機構となっている。Fig.4(1)-(3)に、着脱機構のみの状態での連結のプロセスを示す。ハンド側の爪の位置とセンサ側の台の溝の位置を合わせて接近させる(1)。ハンド側をセンサ側に押し付けることにより、ばねによって固定されている内板が下に下がり(2)、その状態でハンド側を45度反時計回りに回転させることで連結が行われる(3)。現時点では機構的な連結の妥当性を確認した段階であるが、最終的には連結の指令を送ることで、自動的にセンサーの着脱が行えるようにする予定である。

- ・ レーザー変位センサー (KEYENCE LK-2000)
- ・ 赤外線放射温度計 (HORIBA IT-550)

3-3 制御・操作

本研究では、前節で述べたような移動及び着脱機構を制御・操作する方法として、以下の3つのモー

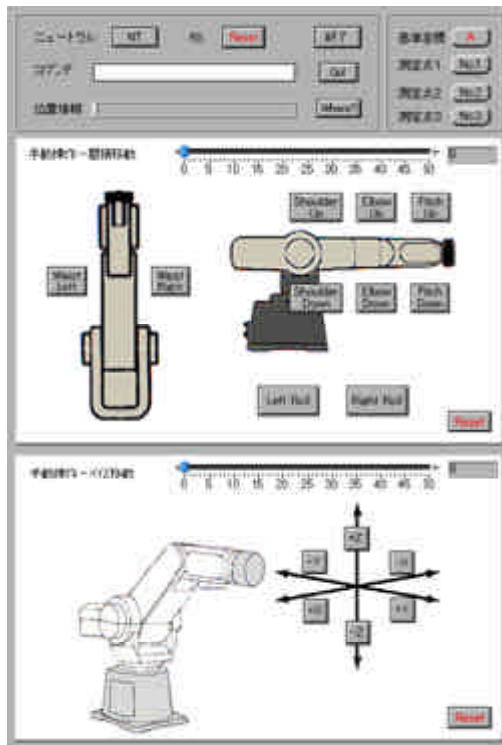


Fig.5 インタフェース

ドを予定している。

Full Auto Mode

Supervisory Mode

Full Manual Mode

このモードでは、全てのモバイルセンシングの制御・操作・計測を計算機が自動で行うものである。ベイジアンネットによって、異常仮説の絞込みに必要な計測センサ、計測部位を決定し、自動でセンサの着脱・計測点まで移動・計測を行う。

このモードでは、オペレータが固定計装系で測定した結果を見て判断し、次に測定すべき測定量及び部位を決定し、測定対象システムのP&ID図が表示されたインタフェース上の測定点をマウスで指示することにより、自動的にセンサ着脱・計測点までの移動・計測を行う。

このモードでは、測定量及び部位の決定、マニピュレータの測定点への移動等を、操作員が全てマニュアルで行うモードである。センサの着脱に関してはタスクレベルでの指示で半自動的に行うことを予定している。このモードは、今後導入を予定しているCCDカメラ等による視覚による検査において

利用される可能性がある。

現時点では と の一部が含まれたインタフェース (Fig.5) を LabView 5.1 (National Instruments) を用いて実装しており、並進動作を含まない場合に関してはその動作を確認している。

次に、ハードウェアに関して述べる。ロボットマニピュレータやACサーボモータとのコマンドの送信・受信等のやり取りは、シリアル接続RS-232Cを介して行う。また、移動計装系で使うセンサからのデータ収集は、PCがAD変換ボードを介して行う。

レーザー変位センサーによる計測に関しては、センサーと計測部位との間の距離が $2\text{cm} \pm 2\text{mm}$ の間になければならないという制約条件がある。この範囲に入っていないと正確な測定はできない。レーザー変位センサーの制御ユニットには、その時点での距離がFar(遠すぎる)であるがNear(近すぎる)であるかを示すLogic出力がある。本研究では、このLogic出力をAD変換ボードを通じて計算機側に取り込み、センサーの位置を正確に所定に位置に移動させるシステムを実現し、その動作を確認している。これにより、及び のモードでレーザー変位センサーにより振動の計測を行う場合は、単に測定部位のみを指定するだけで、センサーが自動的に適切な位置に移動し計測を行うことが可能となっている。

- ・PC (DOS/V 互換機、OSはWindowsNT4.0)
- ・制御・測定ソフトウェアにLabView5.01 (National Instrument)

4 結言

本研究は現在進行中であるが、現時点では以下のような進捗状況となっている。

- ・ロボットの並進機構の製作が完了。制御システム

は現在構築中。

・センサーの着脱機構に関しては、設計・製作が完了し、ロボットに装着し着脱試験中。

自動着脱に関しては現在アルゴリズムを検討中。

また、モバイルセンシング機構を操作するインタフェースについては、現段階ではLabView上で作成されたP&ID図ベースの2次元的なものであるが、将来的にはDURESSの物理的構造を3次元のCGモデル化し、その対象システム上をポイントすることによる測定点への移動・計測を可能とするインタフェースを検討中である。

現時点では、モバイルセンシングのためのセンサーとしてはレーザー変位センサーと放射温度計の二つのみが実装されているが、今後は漏洩検出のための超音波マイク、視覚的監視のためのCCDカメラ等を導入し、より多くのモダリティーでの監視・診断を実現する予定である。

参考文献

[1]北村正晴 他：進化する診断技術，人間・機械強調の新しいパラダイムを目指して，日本原子力学会誌 Vol40, No.9 , pp.652-683 (1998) .

[2]東川他；原子力設備の監視支援システム，火力原子力発電，No.481，Vol.47，pp.1068-1084 (1996) .

[3]竹井修輔：動的センシングによるプラント状態監視の実験研究，計測自動制御学会 東北支部 35周年記念学術講演会 予稿集，pp.33-34 (1999)

[4] Vicente,K.J.,Supporting Operator Problem Solving Through Ecological Interface Design,IEEE Trans. Syst.ManCyber.,Vol.SMC-25,No.4,pp.529-545,1995.

[5]鷲尾 他；機器・センサ多重故障に関する定量的高信頼性診断手法，人工知能学会誌，Vol.9,No.5 (1994) .