

ネットワークインフラを利用したリモート調整・監視システム

Remote Tuning Systems Utilizing Network Infrastructure

高木 康夫
TAKAGI Yasuo

飯野 穰
IINO Yutaka

永田 一衛
NAGATA Kazue

近年の通信インフラの発達により、世界中の情報をオフィスにいながらにして容易に入手できるようになった。同時に、この便利な通信インフラを使いこなすためのシステム機器も、ソフトウェア、ハードウェアの発達とデファクト標準の普及により、安価なパソコン(PC)などで実現されている。この通信基盤を、遠く離れた発電所や、数多く点在するエレベーターの点検などに応用すれば、現場に技術者を派遣することなく遠隔操作により調整や点検を行うことができる。

This paper describes remote tuning systems and their benefits. A large amount of worldwide information has become available as a result of the recent advances in communication infrastructure. Furthermore, systems using this infrastructure can be inexpensively realized with personal computers due to the de facto standard system prevailing throughout the world. Utilizing this infrastructure, remote tuning systems are being developed for power generation plants in distant locations and elevators all around the urban areas. These systems make it possible to adjust and to maintain plants and equipments without dispatching engineers to the site.

1 まえがき

インターネットや携帯電話の普及に代表されるように、近年の通信インフラの発達には、目を見張るものがある。これらのインフラのおかげでオフィスや工場に居ながらにして、世界中の情報を得たり、逆に自分の情報を送り出したりすることが可能となった。また、世界標準のOSの普及により、これを実現するシステムに汎(はん)用のPCを利用できることから、プラントやエレベーターなどの調整・保守・診断に応用すれば、安価で合理的なりモート調整・監視システムが構築できると予想される。

当社では、このような技術の流れののって、種々のシステムやプラントのリモート調整・診断システムの開発を進めている。ここでは、リモート調整・監視システムの概念(図1)を述べるとともに、具体的なシステムを紹介する。

2 リモート調整・監視システムの考えかた

リモート調整・監視システムは、遠隔地に所在し現地に赴くのが不便なプラントや、いたるところに多数散在しそのすべてを巡回するのに時間を要するシステム、例えば、エレベーターなどの監視・調整に適している。

さらに先を展望すると、通信インフラの利用により物理的な場所を超越した監視制御が可能となると予想され、無人化工場(バーチャルファクトリ⁽¹⁾)のための遠隔監視制御システムの実験もすでに行われている。一方、ここで開発しているシステムはそれを実用的なコストで実現する点に

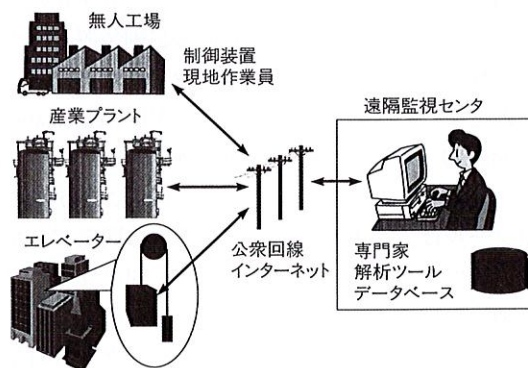


図1. リモート調整・保守・診断システムの構成概念 専門家、解析ツールと工場、プラントなどをネットワークで結ぶことにより、高度かつ効率的な調整・保守を実現できる。

Concept of remote tuning system

特長があり、バーチャルファクトリ実現のための第一歩と考えることができる。ただし、公衆回線を利用したインターネットなどの汎用ツールを使うので、現在のところ、リアルタイム制御などデータの誤送信や欠落が大きな影響を与えるシステムに使うには危険が伴う。そこで、データのモニタリングや調整の範囲に限定し、通信が正常に行われたかどうかを確認しながら進めることにより、公衆回線で十分な信頼性が得られるようにする必要がある。

さて、このようなシステムの技術的課題としては、通信そのものの信頼性や安全性の問題もさることながら、むしろシステムの上に乗せるチューニング支援ソフトウェアや監視ソフトウェアの信頼性・安定性が重要である。すなわ

ち遠隔地で動作するため、これらに安心して調整やモニタリングを任せられるものである必要がある。長年発電プラントやエレベーターなどを製作・納入してきた当社の経験を生かし、また、最新の異常監視アルゴリズム、システム同定手法などを取り入れることにより、信頼性の高いシステムを構築することができる。

3 調整・監視支援技術

現在、発電および産業プラントでは、制御装置調整および監視のためのさまざまなツールが使われており、一部においてはリモート化の概念を取り入れたものもある。ここでは、それらのツールの現状の機能について紹介する。

3.1 発電機制御装置調整ツール

火力発電所の発電機は、ボイラで発生した高温高压の蒸気を動力に変えるタービンと、その動力を電力に変換する発電機がセットとなって電力を発生させる。その制御装置はタービンの出力を制御するタービンガバナと、発電機の電圧を制御する励磁制御装置からなる(図2)。

励磁制御装置の中の制御関数の調整は制御技術に関する高度な知識を要し、従来、現地に専門技術者が赴いて調整を行っていた。ここで紹介する発電機制御装置調整ツールは制御関数の調整用である。現場に設置した支援ツールにより、電圧をフィードバック制御するAVR(Automatic Voltage Regulator)と電力系統の安定度を確保するPSS(Power System Stabilizer)などの調整を容易に行うことができる。

調整ツールは、基本的に動的システムの同定ツールと制御系の設計ツールから構成されている。同定ツールは、発電機の動的な特性を数理的な方法により自動的に正確に求めるもので、電圧などのステップ応答データから対象特性の動的モデル、例えば、AVRの調整時には発電機単体、PSSの調整には電力系統を含むシステム全体を試行錯誤なく同定する機能をもつ。ベースとなっている技術はARX(Auto-Regressive eXogenous)モデル⁽²⁾を用いた最小二乗同定法である。これに対して設計ツールに関しては、画一的

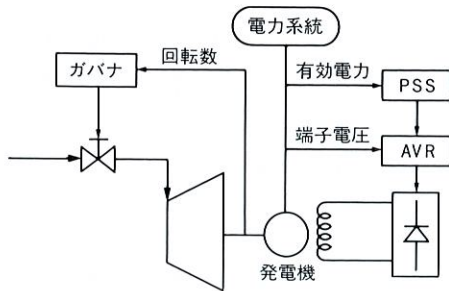


図2 発電機制御装置の構成 発電機制御装置はガバナやAVRなどで制御されることを示す。

Configuration of generator control system

な方法での対応が難しいため、それぞれの制御ブロックに応じて、あらかじめ指定した理想の応答になるように制御関数を調整するモデルマッチングや最適パラメータの繰り返し探索といった設計方法を適宜採用している。

図3には、PSSのチューニングを行う際の画面を一例として示す。画面右上の“Tuning”を選択するだけで、自動的にその周波数応答特性が評価され、所定周波数でのゲイン特性仕様値を満たすパラメータ値が探索計算により求められる。

システム同定技術や制御系のチューニング技術を駆使することにより、制御対象の深いノウハウを必要とすることなく、発電機制御系の調整を短時間に行うことができ、工期短縮などに貢献するものと思われる。

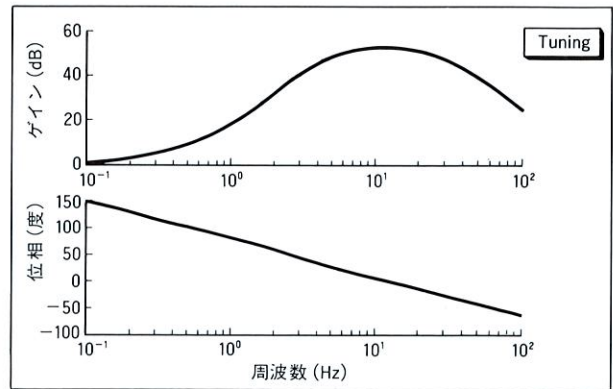


図3 PSSチューニングシステムの画面 PSSのチューニングをボード線図を用いて行うことを示す。

User interface of PSS tuning system

3.2 火力発電プラントPID制御チューニングツール

火力発電プラントのボイラ、タービン周りの制御系には100ループ以上のPID(比例・積分・微分)制御器が使用されている。現在、このPID制御ループは熟練調整員が試行錯誤で調整を行っているため、多くの作業量と時間が必要とされている。これに対し、調整作業の効率化、調整時間短縮をねらったPID制御系調整支援システムの開発を進めている^{(4),(5)}。

このシステムでは、プラント制御装置の各応答データの収録や制御パラメータ設定をオンライン、実時間で行うことができる。データ収録機能(データ収録ソフトウェアPSME: Plant Status Monitoring Equipment)の代表画面を図4に示す。

また、PID制御系調整機能では、対象プラントの時系列解析法によるシステム同定(モデリング)と周波数モデルマッチング法⁽³⁾による制御関数の調整、さらに調整後の制御系のシミュレーションおよび実機応答による評価などを行

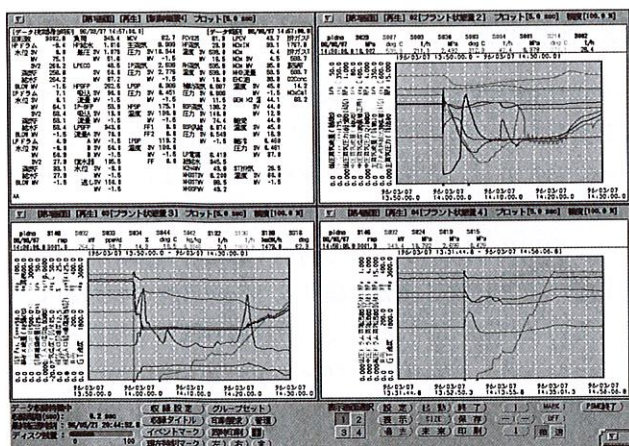


図4. データ収録ソフトウェアPSMEのユーザー画面例 PSMEの主なインターフェース画面を示す。

GUI of real-time data acquisition software PSME

う。特に、システム同定機能は、制御系を働かせてプロセスの安定性を確保しながらの同定試験（閉ループ同定）を行う機能を持ち、高信頼性が要求される制御系調整作業に適した方式になっている。また、新規開発した周波数モデルマッチング法は、高度な現代制御理論に基づき厳密に設計された最適コントローラを、周波数領域での低次元化手法により汎用的なPIDコントローラに最良近似する手法で、最適性を保存したPID制御系が容易に得られる利点がある。図5に具体的な調整作業のフローを示す。

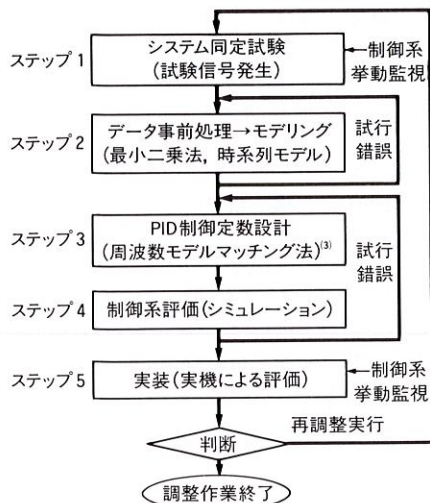


図5. 制御系調整の手順 PID定数の調整手順を示す。 Flowchart of control system tuning

3.3 エレベータの異常診断支援ツール

ネットワークインフラの整備により多量のデータが実時間で収集可能になると、データベース技術とともにそれら

を有効利用するデータ処理・解析技術が重要となる。その例として、エレベーターシステムの異常診断における高度信号処理技術の応用例を紹介する。

エレベーターシステムは、現状では定期的な現地訪問による保守作業が行われている。また、エレベーター故障時は熟練した保守技術者が計測器を駆使し、原因究明と復旧作業を実施するが、多くの時間と労力を費やす例も少なくない。そこで、①異常原因の早期究明と迅速な復旧、②現地作業負荷の低減と効率化、などが要求されている。

当社および東芝エレベータ(株)では、エレベーターのリモート監視・保守技術の実用化を推進している。そのコア技術の一つとして、エレベーターかご内加速度信号データを用いた異常診断を遠隔・自動で行う技術を開発した⁽⁶⁾。

図6に代表的なエレベーターシステムの構造を示す。エレベーターの異常現象の一例に、シーブなどの回転部品の摩耗による偏心や、ガイドレールのひずみ、モータのトルクむらなどの原因による、かご内の異常振動が挙げられる。

リモート保守診断では、センサ信号だけに基いた診断技術が前提となる。そこで、かご内に取り付けた加速度センサの信号解析に基づいた診断方式を検討した。

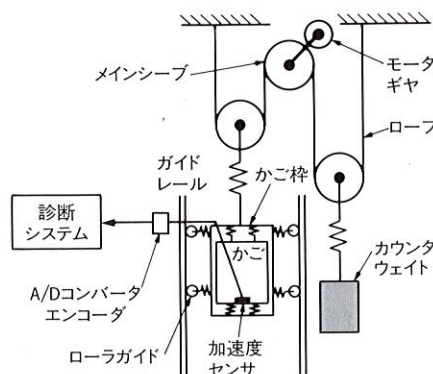


図6. エレベーターシステムの構成 エレベーターはかごのほかにカウンタウェイト、それをつなぐロープなどから構成される。 Configuration of the elevator system

また、エレベーターの診断では、①移動距離の短いエレベーターでの加速・減速による過渡的な異常データ、②走行経路の傷などによるパルス状の短い異常データ、などの非定常信号データを扱う必要があり、信号の定常性を前提とした従来型信号処理技術（フーリエ解析法など）の適用には限界がある。そこで非定常信号解析に有効な“Wavelet変換法”を用いた異常診断手法を開発した。フーリエ変換が正弦波の基底関数を用いた信号変換であるのに対し、Wavelet変換は“wavelet=さざなみ”の意味から時間的、周波数的に孤立した基底関数を用いた信号変換である。利点とし

て、時間軸と周波数軸に対する二次元的スペクトル解析ができる。例として、モータ軸偏心異常で生じた非定常な加速度信号を図7に、その wavelet 変換による解析例を図8に示す。また、かご速度やかご位置と振動周波数の相関関係を解析するために、解析データに一種の非線形変換を施す拡張 Wavelet 変換法⁽⁶⁾を開発した。この方法により、モータ軸の偏心異常を数%の精度で検出できるようになった。

また、加速度信号は細かいサンプリング周期により膨大なデータ量になり、そのままのデータ伝送は好ましくないが、この手法による解析結果だけを伝送すれば、ネットワーク負荷を抑えたりモータ監視、保守が可能となる。

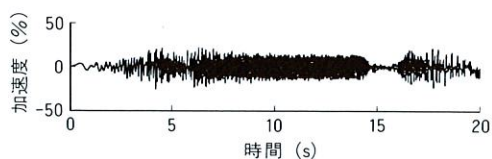


図7. エレベーターかご内の加速度信号データ モータ軸の偏心異常時にかご内で測定された加速度信号データ。時間あるいはかごの位置とともに信号の特徴が変化していく非定常信号であることが確認されている。

Acceleration data in an elevator car

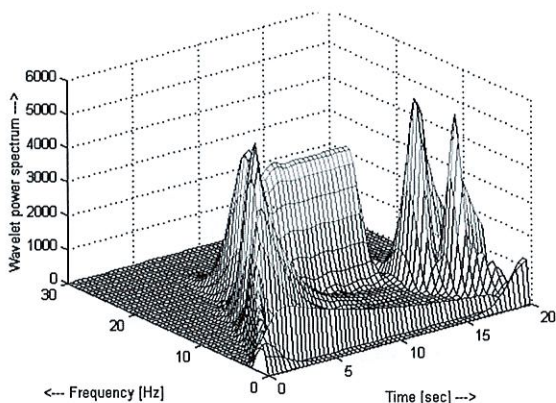


図8. Wavelet 変換法を用いた解析結果 図7の非定常信号を Wavelet 解析した結果の Wavelet スペクトルのプロット。各時刻の瞬時的なスペクトル周波数分布を調べることができる。

Result of wavelet analysis method

4 あとがき

今後期待されるリモート調整・監視システムに対応できる具体的なエンジニアリングツールを3例紹介した。これらのシステムは、在来のネットワーク技術と、対象の専門知識やシステム理論に基づいた解析技術を結合することにより、実用的なツールとして活用できる。公衆回線の利用を想定すると、試行錯誤を繰り返すと応答性に課題が生ずることが予想される。そこで、数理的な調整手法を採用することにより、作業手順をワンスルーとする応答性の改善が見込める。

さらに、今後のネットワーク技術の急速な進歩により、現在課題とされているデータ転送速度や信頼性の向上が実現すれば、より使いやすいリモート調整・監視システムが実現していくものと予想される。

文献

- (1) 藤井 進, 他. シミュレータ統合による分散型仮想工場構築に関する研究. 第40回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集, 1996.
- (2) 自動制御ハンドブック. 計測自動制御学会, 1983, p.80.
- (3) 千田有一, 他. 周波数領域でのモデルマッチングによるPID制御系の設計. 第17回 Dynamical System Theory シンポジウム, 201/204, 1994.
- (4) 行友雅徳, 他. 火力発電プラント向けPID制御系設計支援システム(1), (2). SICE'98 予稿集掲載予定, 1998.
- (5) 松浦泰則, 他. アドバンス制御の火力発電所への適用. 東芝レビュー, 52, 7, 1997, p.15-18.
- (6) 飯野 稯, 他. Wavelet 変換を用いたエレベータ異常診断方式(1), (2). 電気学会産業応用部門全国大会, 1997.



高木 康夫 TAKAGI Yasuo

電力・産業システム技術開発センター 電力システム制御担当主幹。燃料電池のシミュレータの開発、発電プラント多変数制御技術の開発に従事。計測自動制御学会、電気学会、システム制御情報学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



飯野 稯 IINO Yutaka

電力・産業システム技術開発センター 電力システム制御担当主査。多変数プロセス制御技術、オートチューニング技術などの研究・開発に従事。計測自動制御学会、電気学会、IEEE 会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



永田 一衛 NAGATA Kazue

火力事業部 火力制御システム技術開発担当主幹。火力プラント監視制御システムのエンジニアリング業務に従事。ガスタービン学会、火力原子力協会会員。

Thermal Power Systems Div.