

コンバインドプラント用振動診断システム

Vibration Diagnostic System for Combined Plant

技術本部 梅村 直^{*1} 安田 千秋^{*2}
 高砂製作所 伊藤 良二^{*3} 小畑 順司^{*3}
 神戸大学 神吉 博^{*4}
 関西電力株式会社 木村 雅彦^{*5} 豊福 慎悟^{*6}

コンバインドプラントの信頼性及び稼働率の向上の観点からタービンの振動監視の強化が必要である。蒸気タービンに関しては、既に関西電力(株)との共同研究において振動診断装置が開発され実用に供されている。本研究では関西電力(株)姫路第一発電所5号ユニットを対象として、既開発の蒸気タービン用振動診断システムをベースにガスタービン用診断システムを新たに開発するとともに、蒸気タービン用振動診断システムと組合せることにより、コンバインドプラント全体を対象とした振動診断システムを開発した。

Recently, many combined power plants have been constructed or are being constructed in order to satisfy the various needs of electrical power generation. These combined power plants use jointly gas turbine generator systems and steam turbine generator systems. Therefore, the development of vibration diagnostic systems for the gas turbines used in the combined power plants is necessary in addition to the ones for the steam turbines which was developed a few years ago. This report presents a summary of the diagnostic systems for combined power plants which can monitor the vibration of the steam turbines and the gas turbines, and also detect plant failures and diagnose the causes of these failures at an early stage of the failure.

1. ま え が き

近年、発電効率の高いコンバインドプラントの建設が盛んである。コンバインドプラントでは、蒸気タービンとガスタービンを組合せることにより、通常の火力発電プラントに比べて大幅な効率の向上が達成できる。しかし、一方でプラント構成が複雑になるとともに、複数のタービンの協調制御技術を初めとする計装制御技術の確立が不可欠である。また、1ユニット当たりのタービンの台数が通常プラントに比べて多いため、トラブルや故障の発生頻度が高くなると予想される。さらに、蒸気タービンに比べて、ガスタービンはその構造(熱延び対策のための柔軟支持構造)及び運転条件(温度・起動時間)から振動異常が発生する可能性が高いと考えられる。

上記の状況から、コンバインドプラントの信頼性及び稼働率の向上の観点からタービンの振動監視の強化が必要である。蒸気タービンに関しては、既に関西電力(株)との共同研究において振動診断システムが開発され、宮津エネルギー研究所1号ユニット及び南港発電所1号ユニットに納入され実用に供されている⁽¹⁾⁽²⁾。このため、本研究では関西電力(株)姫路第一発電所5号ユニットを対象として、既開発の蒸気タービン用振動診断システムをベースにガスタービン用診断システムを新たに開発するとともに蒸気タービン用振動診断システムと組合せることにより、コンバインドプラント全体の振動診断システムを開発した。

2. 対象プラント

今回開発した振動診断システムは関西電力(株)姫路第一発電所5号ユニットであるコンバインドプラントを対象としている。姫路第一発電所5号ユニットは、定格出力258.6 MWの蒸気タービン1台と定格出力157 MWのガスタービン3台から構成され

る総出力670 MWコンバインドプラントである。

3. 基本構成

振動診断システムのハードウェアの基本構成を図1に示す。図に示すように、本システムは各タービン用に独立な4台の軸振動データ集録装置とガスタービン用燃焼振動データ集録装置及びホストコンピュータから構成される。これらは、4台のタービンにて計測される膨大なデータを高速に処理するため採用された自律分散型の処理システムを構成している。各データ集録装置はDSP(Digital Signal Processor)をベースとしたマイクロコンピュータシステムであり、ホストコンピュータはEWS(Engineering Work Station)をベースとしたシステムである。

一方、ソフトウェアの構成を図2に示すが、本装置の基本機能は以下の6機能から構成される。

- (1) 振動データ解析機能
- (2) 異常兆候検知機能
- (3) データの記憶機能
- (4) 振動状態表示機能(グラフィック表示)
- (5) 診断機能(異常原因の推定、対策表示)
- (6) 最適バランスウェイト計算機能

以上の機能のうち、(1)~(4)の各機能は常時実行されているが、(5)診断機能はタービンに異常が発生したとき、又はオペレータが要求したときに実行される。また、(6)バランス計算機能はオペレータの要求により、必要なときに実行される。各機能の実行の流れは、図2に示すとおりであるが、(5)診断及び(6)バランス計算が実行されても、(1)~(4)の機能は並行して実行される。

3.1 データ集録装置

データ集録装置は前述のように基本的に軸振動データ処理装置と燃焼振動データ処理装置の2種に分類される。各データ集録装

*1 高砂研究所主管

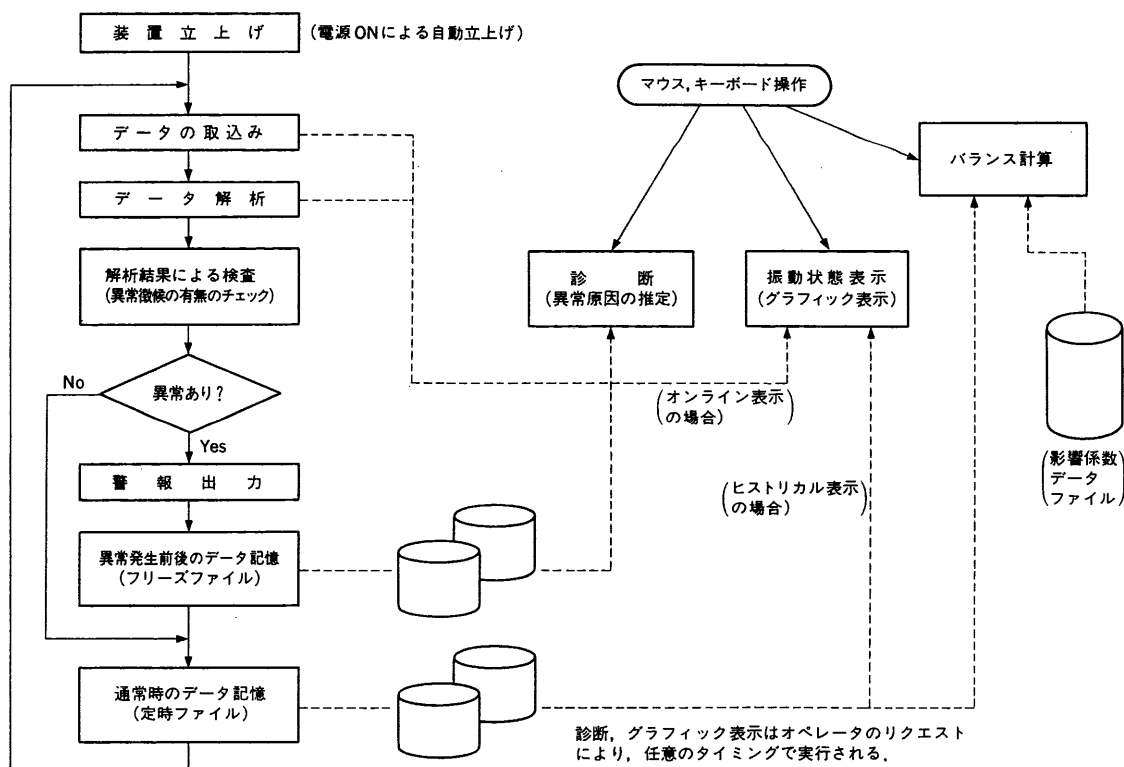
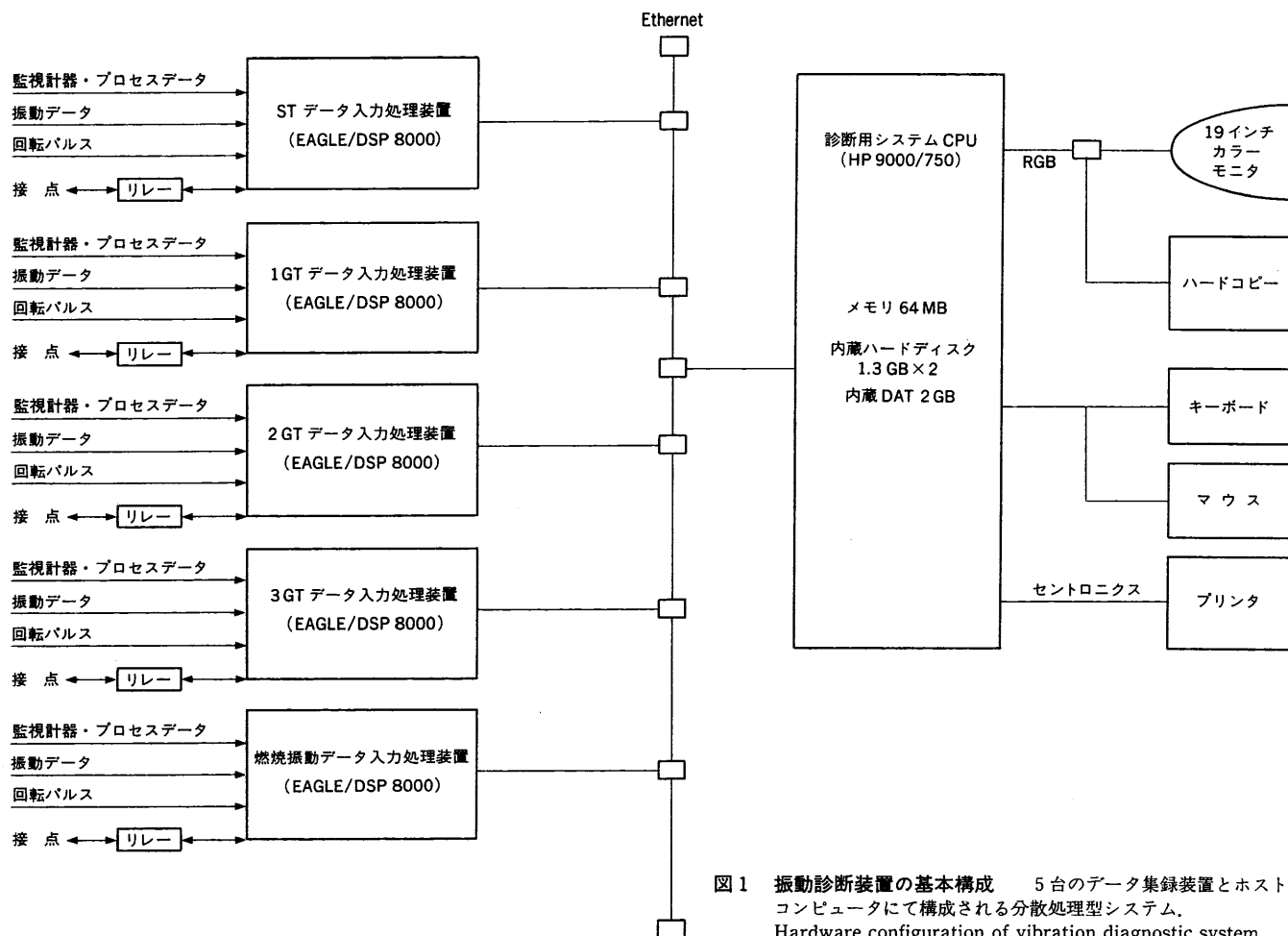
*2 高砂研究所振動・騒音研究室主務 工博

*3 高砂製作所プラント技術部制御システム設計課

*4 工学部機械工学科教授 工博

*5 堺港発電所電気係課長

*6 本店 原子力・火力本部火力設計課



このループはすべて自動にて常時行われる。
(オペレータの介入不要)

図 2 ソフトウェアの構成 各データ集録装置のデータ集録・監視ソフトとホストコンピュータの診断・表示ソフトの構成と流れ。
Software configuration

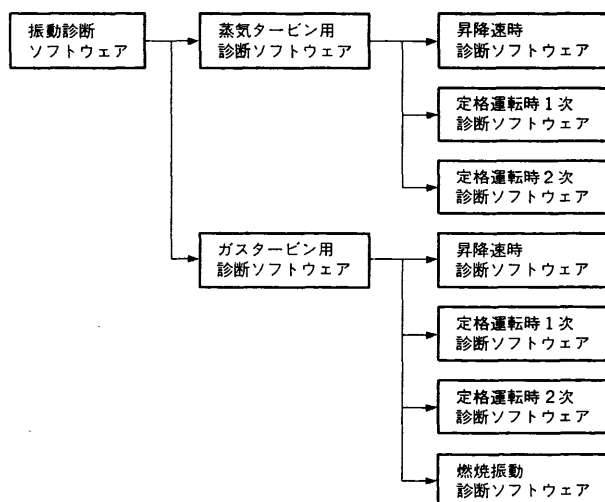


図3 診断ソフトウェアの構成 蒸気タービン軸振動診断、ガスタービン軸振動診断及び燃焼振動診断から構成され、軸振動診断に関しては簡易・高速な一次診断と詳細・高度な二次診断に分類される。
Diagnostic software

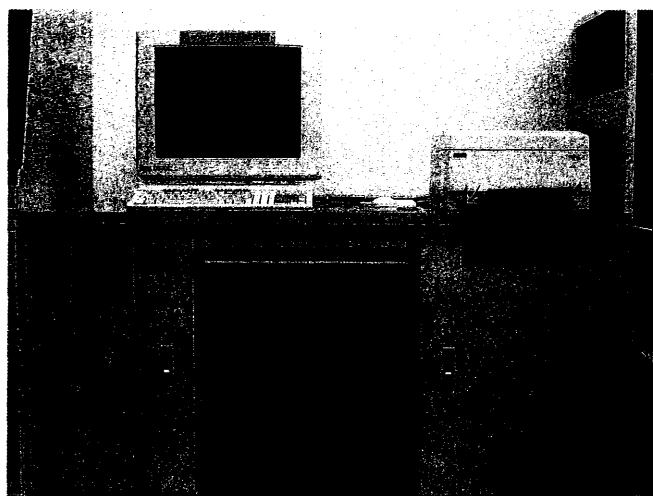


図4 コンバインドプラント用振動診断システム マンマシンインタフェース部の全景であり、机上左側がグラフィック CRT で右側がハードコピー。
Overview of vibration diagnostic system for combined power plant

表1 診断ソフトウェアの機能
Functions of diagnostic software

分類	ソフトウェア名称	内容	データ
蒸気タービン	昇降速時診断	タービン起動・停止時の変速運転中に発生した警報に対して診断を行うソフトウェア。	警報発生時及び警報直前の振動・プロセスデータ
	定格運転時一次診断	タービンが定格回転数にて運転しているときに発生した警報に対して診断を行う。ただし、短時間にて診断結果を提示させるため簡易的な診断ルールを用いている。	警報発生時及び警報直前の振動・プロセスデータ
	定格運転時二次	定格運転時一次診断と同様に定格運転時の警報に対して診断を行うが、一次診断に比して高度で詳細な診断を実施する。	警報発生時及び警報直前・直後の振動・プロセスデータに加えて効果ベクトルデータとシミュレーションデータも利用
ガスタービン	昇降速時診断	蒸気タービンの昇降速時診断と同様であるが、燃焼振動診断のルールも含んでおり燃焼振動の診断が可能。	警報発生時及び警報直前の振動・プロセスデータ
	定格運転時一次	蒸気タービンの定格運転時一次診断と同様であるが、燃焼振動診断のルールも含んでおり燃焼振動の診断が可能。	警報発生時及び警報直前の振動・プロセスデータ
	定格運転時二次	蒸気タービンの定格運転時二次診断と同様であるが、燃焼振動診断のルールも含んでおり燃焼振動の診断が可能。	警報発生時及び警報直前・直後の振動・プロセスデータに加えて効果ベクトルデータとシミュレーションデータ
	燃焼振動診断	試運転時において燃焼振動モニタが動作中に発生した燃焼振動関連の警報に対して診断を行う。	燃焼振動の警報発生時及び警報直前の圧力脈動・燃焼器関連のプロセスデータ

置は各々以下のとおりである。

(1) 各タービン用軸振動データ集録装置の構成

各タービンの軸振動データ集録装置では、振動データ及びプロセスデータ（温度、圧力、起動モード等の状態量）を各タービンのタービン監視計器等、従来の監視設備からアナログデータとして直接集録される。また、プロセスデータの一部はプラントコンピュータから通信回線を介して集録される。

(2) 燃焼振動データ集録装置の構成

燃焼振動データ集録装置では、3台のガスタービンの各々16本の燃焼器にて計測された圧力脈動信号をアナログデータとして直接集録する。また、プロセスデータについては、タービン用軸振動データ集録装置から通信回線を介してデジタルデータとして集録する。

3.2 ホストコンピュータ

ホストコンピュータは各データ集録装置から転送されてくる測定データの記録、解析、表示、診断を実施する診断システム本体であり、基本的にはEWSベースの計算機システムである。各データ集録装置とホストコンピュータの間はEthernet LANにて接続されておりソケット通信によるデータ転送とプログラムが実行される。

4. 診断機能

従来の蒸気タービン用診断システムでは蒸気タービンの軸振動診断システムのみであったが、コンバインドプラント用の診断システムでは基本的に以下の3種の診断機能に拡張している。

(1) 蒸気タービン用軸振動診断

蒸気タービン発電機軸系にて発生する軸振動異常の原因推定と対策表示

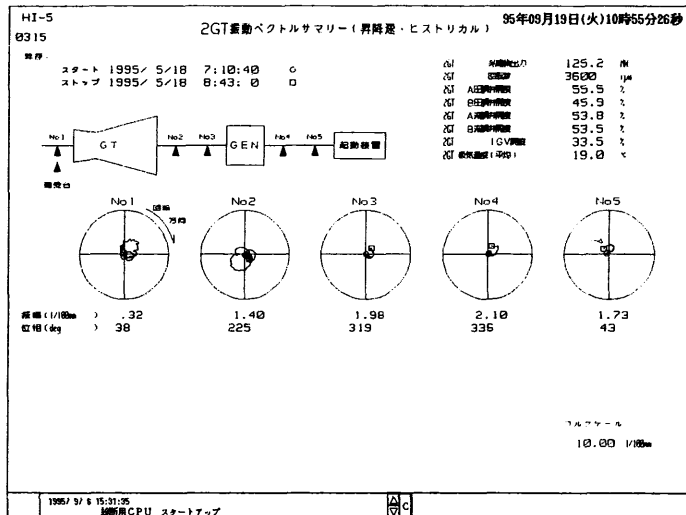
(2) ガスタービン用軸振動診断

ガスタービン発電機軸系にて発生する軸振動異常の原因推定と対策表示

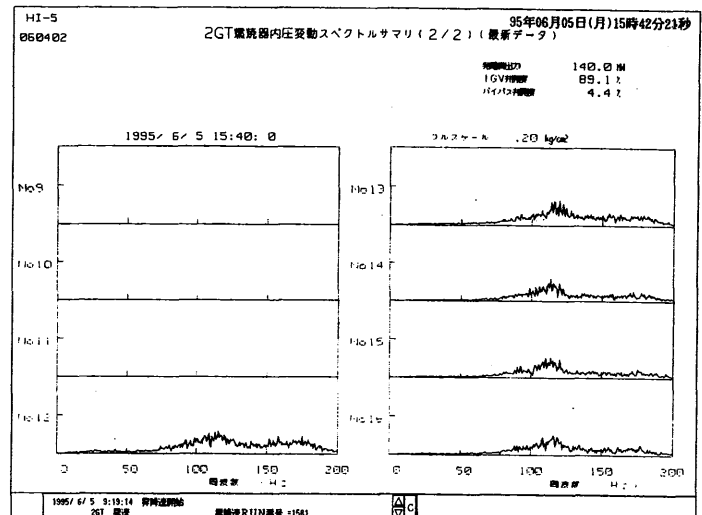
(3) ガスタービン用燃焼振動診断

ガスタービンの燃焼器にて発生する燃焼振動（圧力脈動）の原因推定と対策表示

(1)と(2)は従来の蒸気タービン用振動診断システムの拡張であり、各々、異常発生時に測定データのみを利用した高速・簡易な一次診断と測定データに加えて詳細な解析データ及び影響係数データベースを利用した詳細な二次診断から構成される。診断のアルゴリズムは従来の蒸気タービン振動診断システムと同様にルール駆動型であり、基本的にはFT (Fault Tree) 図に基づく診断



(a) ガスタービン軸振動のベクトル表示例



(b) ガスタービン燃焼器の圧力脈動スペクトル例

図5 診断システムの出力例 診断システムの出力例であり、本例は蒸気タービン及びガスタービンの事例である。
Diagnostic result example of vibration diagnostic system

方法を採用している。ただし、ガスタービン診断用の知識ベース構築のため、現地における加振試験と運転時の振動応答計測試験を実施した。

一方、(3)はガスタービン用燃焼振動診断は排ガス規制に伴い問題となってきた燃焼器にて発生する異常燃焼に起因する圧力脈動を監視及び診断する機能であり、新規に開発した機能である。圧力センサの保護のため燃焼器内の圧力脈動を直接測定する燃焼振動データ集録装置は通常、試運転期間のみ運用される。このため、ガスタービン用燃焼振動診断機能は燃焼器内の圧力脈動を直接測定する燃焼振動データ集録装置からのデータを診断する機能と、ガスタービンの軸振動の監視のみによる診断の2種の診断機能から構成される。

(1) 試運転用燃焼振動診断

ガスタービンの試運転時に発生する燃焼振動の監視と診断を実施するソフトウェアである。具体的には、燃焼振動データ集録装置にて計測される燃焼器の圧力脈動データ及び燃焼器関連のプロセスデータの連続監視により、燃焼振動の発生を検知するとともに燃焼振動発生時にはその原因を診断する。また、燃焼調整は連続監視機能を利用して実施する。

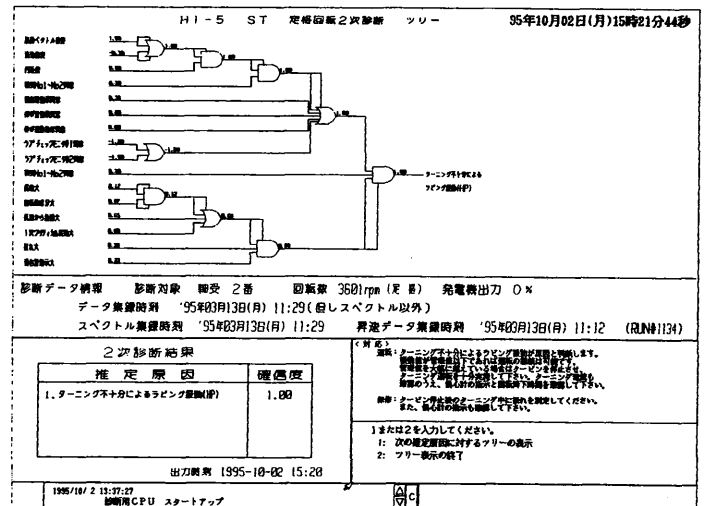
(2) 通常運用時燃焼診断

通常の営業運転時に発生する燃焼振動の監視と診断を実施するソフトウェアである。本機能は基本的にはガスタービンの軸振動診断機能の一部として実現される。すなわち、通常運用時には燃焼診断モニタが作動していないため、本機能では燃焼振動を軸振動により検出する。診断に関しては、軸振動の診断ルールの中に燃焼振動診断ルールを内在させることにより燃焼振動診断を可能とする。

以上の診断ソフトウェアの構成と機能を図3と表1に示す。

5. 開発した診断システム

開発されたコンバインドプラント用振動診断システムのマンマシンインタフェース部を図4に示す。基本的には通常のEWSで



(c) 蒸気タービンの診断結果例

ありグラフィックCRT上にマルチウィンドウを活用した視認性の良い各種表示が可能である。

画面の例を図5に示すが図中(a)がガスタービンの軸振動の回転数同期成分のベクトル表示であり、(b)が燃焼器の圧力脈動のスペクトル表示である。また(c)は診断結果の一例であり、本例では蒸気タービンにおいて発生した“ターニング不十分によるラビング振動”の例である。図中上半部が診断に適用されたFT図であり、左下部が診断結果、右下部が対策・処置画面である。

6. まとめ

本診断システムは現在、プラントの営業運転開始に伴い実運用に入っており、今後関西電力(株)姫路第一発電所5号ユニットの信頼性と稼働率の向上に貢献するものと期待されている。

参考文献

- (1) 安田ほか、回転機械の振動による異常診断システム、三菱重工技報 Vol.24 No.5 (1987)
- (2) 安田ほか、タービン振動診断エキスパートシステム、三菱重工技報 Vol.28 No.2 (1991)