

コンプレッサプラント運転訓練シミュレータの最新鋭化

Advancement of Compressor Plant Training Simulator

技術本部 河野 進^{*1} 鈴木 健治^{*2}
 機械事業本部 伊崎 進^{*3}
 広島製作所 景山 靖夫^{*4}
 MHIターボテクノ株式会社 広本 肇^{*5}

当社広島製作所内風力機械トレーニングセンタでは、開設以来、国内外の客先より1600名余りの訓練生を受入れ、シミュレータを用いた運転訓練を実施してきた。近年のコンプレッサプラントの技術の進展に合せたシミュレータ能力の一層の強化の要望にこたえるため、最新技術を導入して本シミュレータ設備の更新を行った。従来の機能に加え、蒸気タービン制御用電子ガバナ装置のシミュレータシステムへの組み込み、監視制御装置に実機同様のDCS装置を導入しCRTオペレーションによる中央操作と現場模擬盤による現場運転操作の融合を図った。また、ドライガスシール方式やガスタービン駆動コンプレッサプラントなどの最近のプラント構成の運転訓練にも対応できるようにした。

We have accepted over 1 600 trainees since opening the Turbo Machinery Training Center. As a part of training program, the simulator has been utilized for effective operation training. However, since it became old fashioned, we developed an advanced compressor plant training simulator in order to comply recent control system's requirements. The new simulator features (1) a steam turbine model and electronic governor operation, (2) real DCS control and CRT operation, and (3) training capability in dry-gas sealing and gas turbine drive compressor plants.

1. ま え が き

近年のコンプレッサプラントはプラント構成機器の高信頼化により長期間の連続運転を行う傾向にある。このような中で、運転員がプラントの起動/停止や異常時の対応操作を行う機会が減少してきている。

そのため、運転員のスキルの維持・向上のためにも実機同様のシミュレータ設備による訓練の要求はますます高まっている。また当社としても、客先への対応と協力を充実させるために、スーパーバイザや現地試運転要員の増強が不可欠である。

当社広島製作所内の風力機械トレーニングセンタでは、センタ開設以来、国内外の客先より、多数の訓練生を受入れ、訓練シミュレータによる効果的な運転訓練を実施し高い評価を得てきた⁽¹⁾。

しかしながら、設備の旧式化に伴い最近のコンプレッサプラントの技術の進展に合わせるため、運転訓練シミュレータの最新鋭化を図った。

主な機能の追加は次の(1)～(4)などである。

- (1) 制御装置のデジタル化
- (2) ドライガスシール系統の訓練への対応
- (3) ガスタービン駆動コンプレッサへの対応
- (4) 実機同様の電子ガバナとタービンモデルをシステムへ組み込み

図1に当訓練シミュレータ設備の外観を示す。

本報では当訓練シミュレータシステムのシステム構成、主要機能、運用形態等について紹介する。

2. 対象プロセス

当コンプレッサプラント運転訓練シミュレータは、当社広島製作所が製品として取扱っている遠心式コンプレッサを用いたガスプロセス系統とその駆動装置系統及び潤滑油系統・シール系統を中心とした運転操作の訓練を主目的とするものである。表1にシミュレーション対象の系統と機器を示す。ガスプロセス系統はメイクアップガスプロセス系統と冷凍プロセス系統、駆動装置は蒸気タービン・ガスタービン・電動モータ、シール系統はオイルフィルムシール系統とドライガスシール系統を選択可能である。図2に示すようにこれらを組合せて8パターンのプラント構成を模擬できるようになった。今回新たに、ガスタービンとドライガスシール系統を追加した。最近は、信頼性の向上したガスタービンが駆動装置として採用されるケースが増えている。また、ドライガスシール方式は、ガスのリーク量が少ない、オイルによるプロセスガスの汚染がない、構成機器が少なくコストや保守で有利であるなどの利点から、最近の主流となっている。

3. システム構成

次に、本訓練シミュレータシステムの構成について説明する。

図3に運転訓練シミュレータ設備の構成を示す。

(1) 現場模擬盤

大型パネルに機器及び実体配管図を描き、現場計器・ランプ・スナップスイッチ・ボリュームスイッチ等を組込んだものであり、これにより現場機器の運転操作を模擬する。

*1 広島研究所制御システム研究室長 工博

*2 広島研究所制御システム研究室

*3 プラント事業センターエンジニアリング部機械設計グループ主席

*4 原動機・風力機械技術部主席

*5 広島支社技術部課長代理

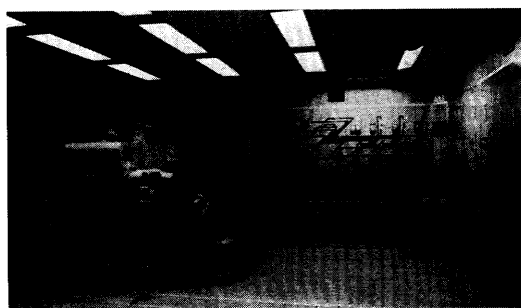


図1 コンプレッサ運転訓練シミュレータ外観
コンプレッサ運転訓練シミュレータ設備の蒸気タービンモデルと現場模擬盤外観を示す。
Compressor plant training simulator

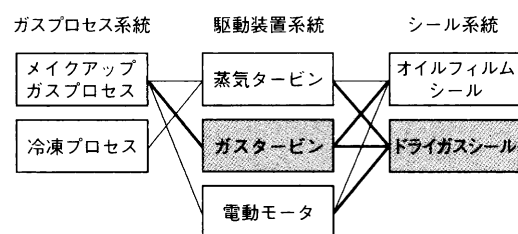


図2 コンプレッサプラント構成パターン 網掛け部は新規開発部分で、組合せにより8パターン
のプラント構成を模擬可能。
Compressor process pattern selection

表1 シミュレーション対象の系統と機器
Simulated process equipment

系統分類	系統名	系統名略称	系統概要	モデル化対象機器
ガスプロセス系統	メイクアップガスプロセス系統	G1	分解ガス5段圧縮	コンプレッサ本体、ガスクーラ、ガスセパレータなど
	冷凍プロセス系統	G2	エチレングス3本サイドストリーム型	コンプレッサ本体、サクションドラム、クーラ、レシーバタンクなど
駆動装置系統	蒸気タービン系統	G3	抽気復水タービン	タービン本体、復水器、エゼクタ、復水ポンプ（蒸気タービン駆動、モータ駆動）、主塞止弁（TTV）、主蒸気調整弁（GV）、抽気圧調整弁（ECV）、ターニングモータ、プロセストリップ回路など
	電動モータ系統	GM	電動モータ	電動モータ本体
	ガスタービン系統*	GT	ガスタービン	ガスタービン本体
潤滑油系統	潤滑油系統	G4（一部）	コンプレッサ及び駆動装置用潤滑油	オイルリザーバ、潤滑油ポンプ（蒸気タービン駆動・モータ駆動）、オイルフィルタなど
シール系統	オイルフィルムシール系統	G4（一部）	シールオイル供給（高圧・中圧・低圧）	オイルクーラ、シールオイルポンプ（蒸気タービン駆動・モータ駆動）、オイルフィルタ、シールオイルヘッドタンク、オイルトラップなど
	ドライガスシール系統*	G5	シールガスとセパレーションガス	ガスシール本体、ガスフィルタ、シール差圧調整弁など

*は新規開発

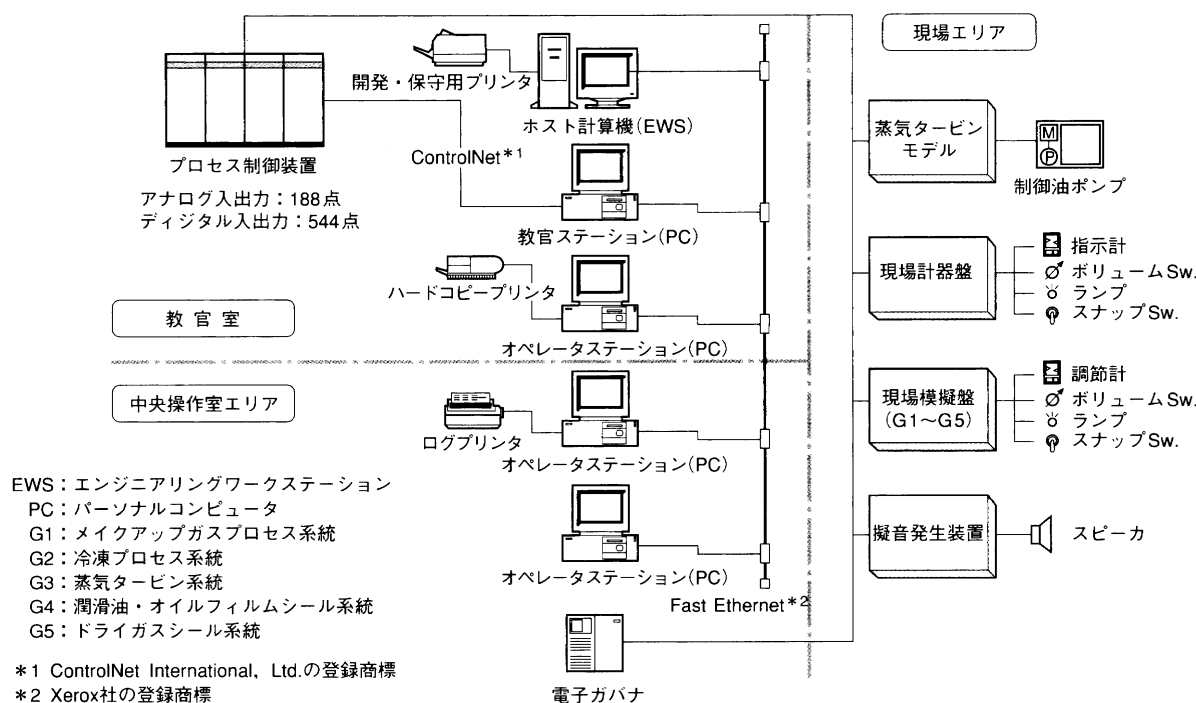


図3 運転訓練シミュレータ設備構成 コンプレッサ運転訓練シミュレータ設備の機器接続図を示す。
Configuration of compressor plant training simulator system

ドレン弁のように全開／全閉のいずれかの状態の運転しか考慮しなくてもよいものはスナップスイッチのON/OFFで、手動調節弁のように中間開度を取る弁についてはボリュームスイッチで模擬する。現場調節計として実物のワンループコントローラが設置されており、制御信号の自動／手動調整や制御定数の調整訓練が可能である。メイクアッ

プガスプロセス（G1）、冷凍プロセス（G2）、蒸気タービン系統（G3）、潤滑油・オイルフィルムシール系統（G4）、そして新たに追加されたドライガスシール系統（G5）の5系統の現場機器操作を模擬することができる。

(2) 現場計器盤

コンプレッサ駆動装置の手動停止やターニングモータの

起動／停止などのスイッチ類，プロセス値の指示計器・警報表示装置等の機器が装備されている。

(3) 蒸気タービンモデル

蒸気タービンの制御機構の模型であり，実プラントと同様に TTV [Trip and Throttle Valve：主そく（塞）止弁]，GV (Governing Valve：主蒸気調整弁)，ECV (Extraction Control Valve：抽気圧調整弁)，コントロールレバー，トリップ用電磁弁等を有し，制御油により実機同様の EH (Electro-Hydraulic) アクチュエータ及びリンク機構が駆動される構成になっている。EH アクチュエータは，電子ガバナの制御信号で動作し，そのリフト値はプロセス制御装置を介してホスト計算機にフィードバックされ蒸気タービンの回転数計算等が行われる。

(4) 電子ガバナ

実プラントと同様の電子ガバナ装置を装備している。ホスト計算機から蒸気タービン速度・抽気圧力などのプロセス値を取込み，GV，ECV の EH アクチュエータへ制御信号を出力する。蒸気タービンモデルのコントロールレバーと合せて保守要員のレバーセット調整実習も可能としている。

(5) オペレータステーション

CRT タッチオペレーションを可能とした実プラントの中央操作室に設置されているものと同等の運転員用の監視・操作端末である。系統監視・操作画面，コントローラ画面，アラーム監視画面，インタロック監視画面，ヒストリカルトレンド画面，コンプレッサ性能曲線表示画面などが表示可能である。メイクアップガスプロセス及びドライガスシール系統の監視画面の例を図4，図5に示す。

(6) プロセス制御装置

実機に採用されているものと同等のデジタル制御装置であり，現場模擬盤や現場計器盤，タービンモデルなど現場装置の弁・ポンプなどの操作信号やホスト計算機からのプロセス値信号を取込み，各種計器へ必要な制御情報信号を出力する。入出力点数はアナログ入出力 188 点，デジタル入出力 544 点となっている。このプロセス制御装置を通して現場模擬盤やタービンモデル，擬音発生装置，ホスト計算機，オペレータステーション，教官ステーションとの信号の授受を実行している。

コンプレッサプラントの主な制御系としては，サクションドラムレベル制御，コンプレッサ入口及び出口圧力制御，ガスクーラ温度制御，コンプレッサアンチサージ制御などが挙げられる。

(7) 教官ステーション

教官室に設置し，訓練における教官が使用する端末であり，シミュレーション対象プラント構成パターンの選択，初期条件設定，ラン／フリーズ（訓練開始／一時停止），マルフアンクション（プラント異常状態）の発生などを行う。

(8) ホスト計算機

シミュレータシステムのタスク管理，プラント全体の数式モデル演算，教官ステーションからの要求処理，プロセス制御装置とのデータ通信等の処理を実行している。プロ

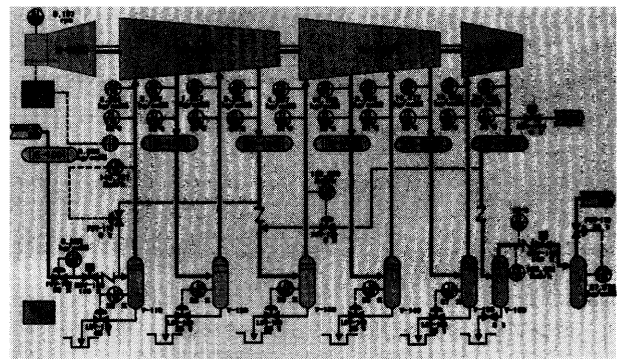


図4 メイクアップガスプロセス系統監視操作画面 定格運転時のメイクアップガスプロセス系統監視画面を示す。
Make-up gas process monitoring graphic display in rated condition

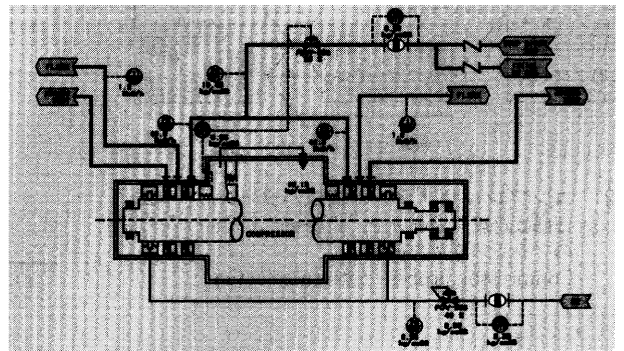


図5 ドライガスシール系統監視操作画面 定格運転時のドライガスシール系統監視画面を示す。
Dry gas seal system monitoring graphic display in rated condition

セス制御装置を通したオペレータステーションや現場模擬盤からの操作入力に応じたプラントの挙動の計算を行っている。

(9) 擬音発生装置

プラントの運転状態に合わせてコンプレッサ駆動装置や補機ポンプなどの効果音を発生させる。現場模擬盤，蒸気タービンモデル，天井に合計5個のスピーカを設置し，11種類の効果音を発生させ，現場操作の臨場感を盛上げている。

4. シミュレータ機能

(1) プロセス応答モデル

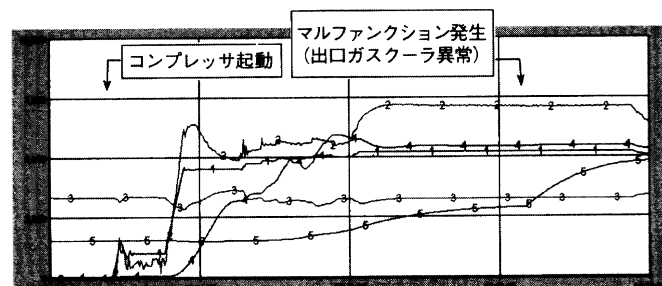
運転操作に対するプラントの応答を演算する。プラントメーカーとしての当社独自ノウハウによるシミュレーションモデルを構築している。プラントの起動／停止や異常状態の発生等の運転訓練を実施するのに必要な精度と，実時間性を同時に実現している。シミュレーション対象の系統と機器を表1に示す。従来のプラントモデルに加え最近の主流となっているドライガスシール系統やガスタービンのシミュレーションモデルを追加し最近のプラント構成にも対応可能としている。

(2) プロセスパターン選択

ガスプロセス・駆動装置系統・シール系統の組合せにより8パターンのプラント構成に対応している。

表2 トレーニングプログラム例
Example of training curriculum

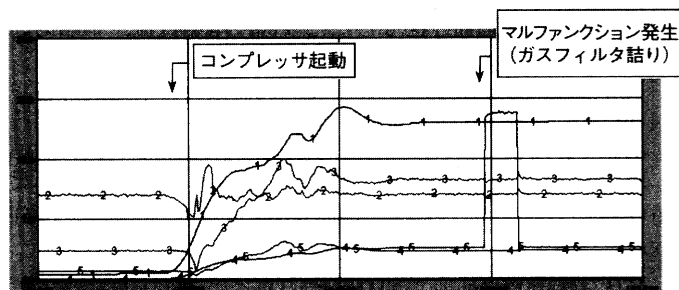
項 目	内 容	方式・期間
コンプレッサ・蒸気タービンの基礎理論	遠心式コンプレッサ，潤滑・シールシステム，蒸気タービン，ガバナなどの基礎理論，構造，性能，保守	講義，4日間
シミュレータによる運転訓練	シミュレータによるコンプレッサプラントの運転実習，起動停止・異常時対応操作など	講義・実技 4日間
コンプレッサ・蒸気タービン性能計算	コンプレッサ・蒸気タービンの性能計算演習	講義・演習 1日間
トラブルシューティング	トラブル事例解析	講義，1日間



No.	プロセス変数名	単位	Min.	Max.
1	コンプレッサ回転数	rpm	0	10,000
2	コンプレッサ入口ガス流量	kNm ³ /h	0	200
3	コンプレッサ入口ガス圧力	kgf/cm ² G	-1	3
4	コンプレッサ出口ガス圧力	kgf/cm ² G	0	70
5	コンプレッサ出口ガス温度	℃	0	150

図6 メイクアップガスプロセス系統トレンドグラフ
メイクアップガスプロセス系統の主要プロセス値のトレンドグラフで，コンプレッサ起動後にコンプレッサ出口ガスクーラの異常発生（マルファンクション）によりガス温度が上昇している。

Trend graph of make-up gas process in start-up and malfunction operation



No.	プロセス変数名	単位	Min.	Max.
1	ガスシール圧力	kgf/cm ² G	0	30
2	ガスシール差圧	kgf/cm ² G	0	1
3	シールガス流量A	Nm ³ /h	0	100
4	ベントリック流量A	Nm ³ /h	0	10
5	ガスフィルタ差圧	kgf/cm ² G	0	2

図7 ドライガスシール系統トレンドグラフ
ドライガスシール系統の主要プロセス値のトレンドグラフで，コンプレッサ起動後にガスフィルタ詰り（マルファンクション）が発生し，ガスフィルタ差圧が上昇，対応操作として予備フィルタ側への切替により正常復旧している。

Trend graph of dry gas seal system in start-up and malfunction operation

ける起動時及びマルファンクション発生時のトレンドグラフを示している。図6はメイクアップガスプロセス系統の起動時及びマルファンクション発生時のトレンドグラフである。コンプレッサの回転数の上昇に伴い，コンプレッサ出口ガス圧力が上昇している様子が分かる。コンプレッサ起動後約30 minで定格運転に達している（定格時コンプレッサ出口圧力：37 kgf/cm²G，コンプレッサ入口ガス流量：145 kNm³/h，コンプレッサ回転数：5 200 rpm）。その後，マルファンクション機能のコンプレッサ出口のガスクーラ能力低下異常を発生させたことにより，コンプレッサ出口ガス温度が高くなる異常が発生している。このようなマルファンクションに対し運転員異常箇所を確認し必要があれば，冷却水量の増加やコンプレッサ回転数の低下などの対応操作を行う。図7はドライガスシール系統の起動時及びマルファンクション発生時のトレンドグラフである。コンプレッサ起動後，マルファンクション機能のガスフィルタの詰り異常が発生したことによりフィルタ差圧が上昇するが，対応操作として予備側フィルタに切替操作を行ったことで，正常復旧している様子を示している。

5.2 運用例

表2に典型的なトレーニングプログラム例を示す。典型的