

ガスタービン定検合理化支援装置の開発

Development of Support Mechanism to
Rationalize Regular Inspection of Gas Turbine Combustor

技術本部 常 脇 寛*1

原動機事業本部 古 賀 勉*2

高砂製作所 片 岡 正 人*3

高菱エンジニアリング株式会社 屋 敷 忠 雄*4

次世代ガスタービンでは、コストダウンを目的とした部品点数の低減設計を実施している。また、複数部品一体（組立品）での分解、組立を行えば吊り上げ回数の低減が達成できる。この結果、燃焼器関係では1回の吊り上げ重量が大幅に増大するので、人力による引抜き、挿入がますます困難になってきている。このため、定検工期の短縮、危険作業の防止、省力化等をねらいとしたガスタービン燃焼器引抜き支援装置を開発した。本装置の特徴は、高負荷（可搬重量3500N）、高精度、安全性、操作性をコンパクトに実現した点にあり、わずかな配管の取外しで装置の取付けが可能となり、さらに着脱の位置決め操作が容易かつ自在である等、実用的な装置となっている。

For the next generation gas turbine we have adopted a design that reduces the number of parts in order to reduce costs. As well, we can decrease the number of times of carrying operation by dividing/composing per integrated parts (assembly parts). Consequently, the weight of the combustor parts at a time has increased substantially, so that removing and replacing it manually has become more difficult. Therefore, we have developed combustor removal and replace equipment for the next generation gas turbine combustor, aimed at reducing the periodical inspection period, preventing dangerous working, labor saving, etc. The features of this equipment are a high load (transportable weight 350 kgf), high accuracy, high safety and good, compact operability. The device can be used after removing only a small amount of piping and its positioning operation is easy and free, making this equipment very practical.

1. ま え が き

従来のガスタービンでは、燃焼器の引抜き、挿入は人力にて実施してきた。次世代ガスタービンの設計では、コストダウンを目的とした部品点数の低減設計を実施している。また、複数部品一体（組立品）での分解、組立を行うことにより、吊り上げ回数の低減を図っている。この結果、燃焼器関係では1回の吊り上げ重量が約900Nと従来のガスタービンの燃焼器重量の2倍ともなり、人力による燃焼器の引抜き、挿入がますます困難になり、燃焼器引抜き支援装置開発のニーズが高まった。

このニーズの高まりに応じて、当社では配管等がちゅう密に配置されている環境下で、燃焼器引抜き、挿入を容易に実現し得る燃焼器引抜き支援装置を開発した。本装置の開発コンセプトを以下に示す。

- ① ガスタービン周辺の配管等の構造物に干渉することなく、燃焼器引抜き、挿入位置まで移動できるようコンパクト化を図ったこと。
- ② 支援装置の軸構成は、支援装置の操作が直観的に把握できるように、燃焼器の移動方向と軸回転方向とが一致するように設定したこと。
- ③ ②の軸構成と操作性を重視して開発した操作ペンダントにより、燃焼器引抜き、挿入を容易に行うことができること。

また、ガスタービンの実物大（フルスケール）モデルにて、支援装置と配管等の構造物との干渉の有無の確認、及び支援装置による燃焼器引抜き、挿入性を確認した。さらに、支援装置の更なる操作性向上を目指し実施した操作性確認試験から抽出された改善項目に基づき、支援装置の改善を実施し、製品としての完成度

を高めた。

2. 燃焼器引抜き支援装置の全体構成

本燃焼器引抜き支援装置（以下、支援装置と略す）に要求される機能は、操作性の観点から、以下が要求される。

- ① 燃焼器の引抜き、挿入作業がロボットに関する専門知識を持っていない人でも容易に操作できること。

また、安全性の観点から、以下が要求される。

- ② 支援装置の位置決め後、ガスタービン本体から燃焼器を分離、接続する際には作業員が狭いガスタービン内部に入り、燃焼器の分離、固定作業をする必要がある。

このため、支援装置がガスタービン内部の作業員の意に反した動きをしないこと。

さらに、作業性の観点から、以下が要求される。

- ③ ガスタービン稼働時には、周囲が高温になるので支援装置をガスタービン本体に恒設することができず、取外しておくことになる。このため、支援装置使用時には、ガスタービン本体へ容易に設置できること、さらに支援装置使用後は保管場所へ容易に移設できること。

- ④ 支援装置を稼働させるために、専用のユーティリティ（大容量電源、空気等）を必要としないこと。

これらの要求仕様を満足させる支援装置のシステム概念を図1に、主仕様を表1に示す。

支援装置は図1に示すように装置本体、制御盤及び操作ペンダントから構成されている。以下に各構成要素の特徴を示す。

(1) 支援装置本体

支援装置の適応機種は501形ガスタービンで、適応対象は

*1 高砂研究所機器・自動化装置研究室

*2 原動機技術センタータービン技術部ガスタービン設計課

*3 タービン技術部ガスタービン設計課

*4 タービン設計部ガスタービン・風力設計課

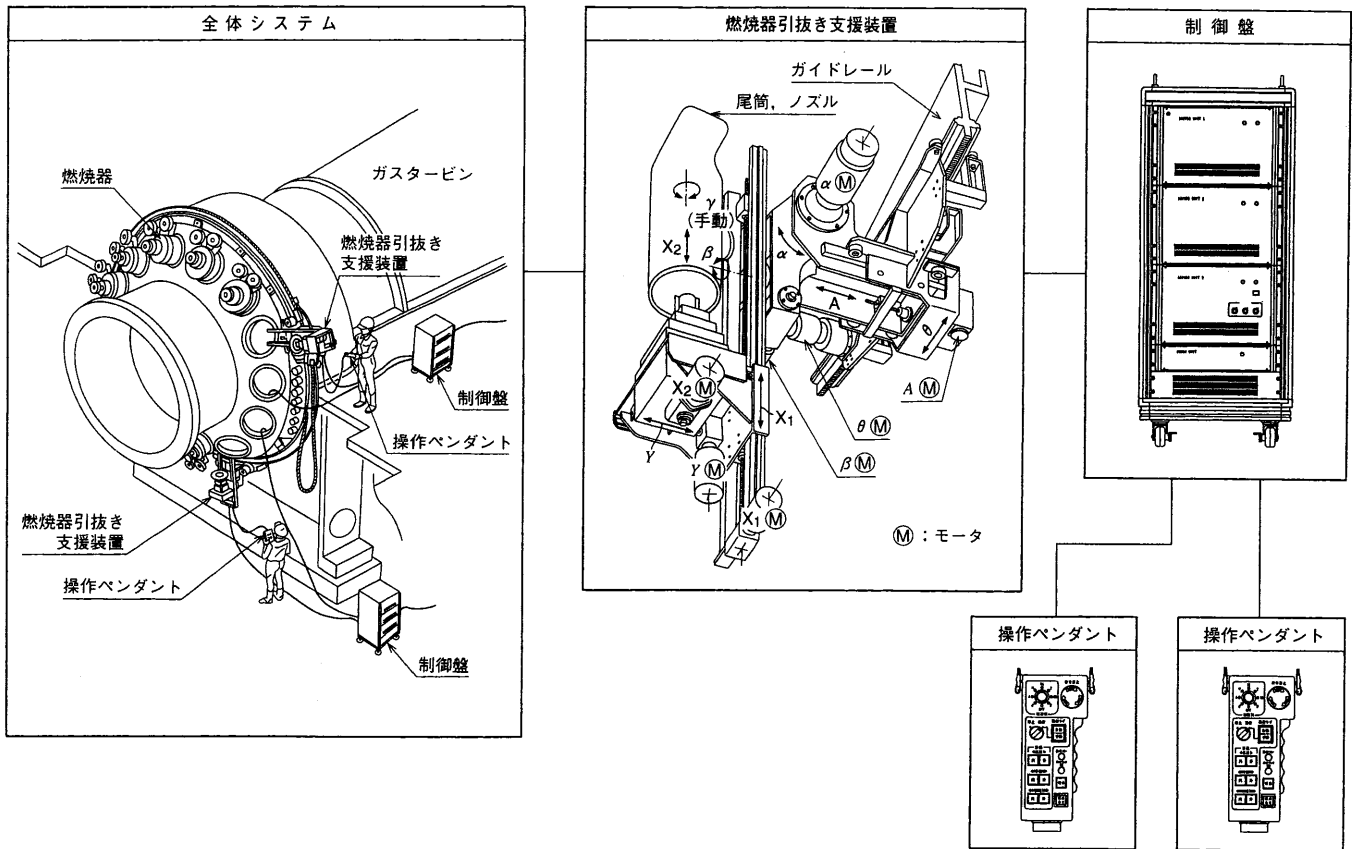


図1 システム構成 燃焼器引抜き支援装置の全体構成を示す。
Diagram of pulling-out support equipment for gas turbine combustor

表1 主要構成要素一覧
Specification of main actuator part of pulling-out support equipment

		θ 軸	A 軸	α 軸	β 軸	X ₁ 軸	Y 軸	X ₂ 軸	γ 軸
構 成		(注) G/H M E B	G/H M E B	G/H M E B	G/H M E B	G/H M E B	G/H M E B	M E B	手 動
基本仕様	動 体	旋 回	前 後	回 転	回 転	上 下	左 右	上下伸縮	旋 回
	ストローク	±90°	-80mm~+100mm	-0°~60°	±90°	1320mm	-50mm~+75mm	350mm	-15°~15°
	速 度	0.87°/s (42mm/s)	10mm/s	7°/s	4°/s	22mm/s	10mm/s	17.5mm/s	—
位置分解能		2.3×10 ⁻⁴ mm (4.9×10 ⁻⁶)	2.4×10 ⁻⁴ mm	8.4×10 ⁻⁵	3.0×10 ⁻⁵	2.4×10 ⁻⁴ mm	2.4×10 ⁻⁴ mm	3.1×10 ⁻⁴ mm	—
使用機器	モ ー タ	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	ACサーボモータ ブレーキエンコーダ付	—
	減速機 構成	サイクロ減速機 ラックアンドピニオン	減速機 ボールネジ	サイクロ減速機 ラックアンドピニオン	サイクロ減速機 ウォームホイール	減速機 ボールネジ	減速機 ボールネジ	カサ歯車 ボールネジ	—
	位置検出器	エンコーダ	エンコーダ	エンコーダ	エンコーダ	エンコーダ	エンコーダ	エンコーダ	—
	オーバーラ ベル検出	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	ホールセンサ×2	—

(注) G/H:減速機 M:モータ E:エンコーダ B:ブレーキ

PACK (メインノズル+スワラ支持筒+外筒 重量: 3 500 N) 及び燃焼筒 (重量: 900 N) である。燃焼器引抜き、挿入の際、ガスタービン本体に敷設されている配管と支援装置との干渉が問題となる。この問題を解決するために、配管レイアウトの検討及び軸構成の検討を実施したので、以下にその詳細を述べる。

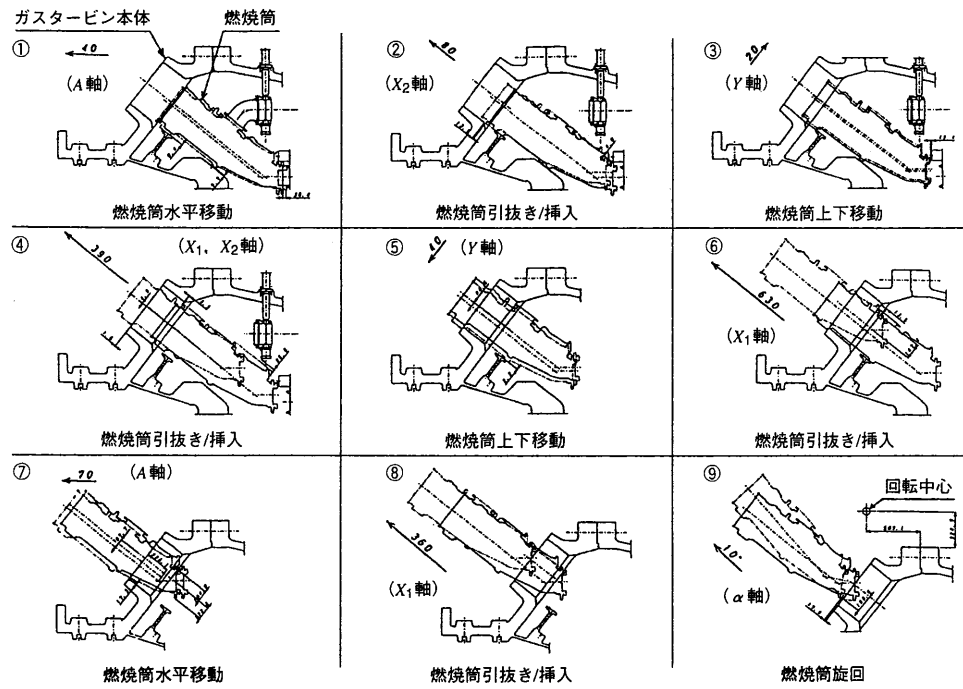
① 配管レイアウトの検討

支援装置の通過空気及び作業空間を確保するため、ガスタ

ービン本体側に設置される配管に関し、ガスタービン本体の性能に支障のない範囲で圧縮機抽気配管、ロータ冷却空気配管、燃焼マニホールド配管のレイアウトの変更を実施した。

② 軸構成の検討

支援装置の軸構成を設定する際、図2に示すような燃焼筒の引抜き、挿入のシミュレーションを実施し燃焼筒の引抜き、挿入に必要な軸数及び駆動方向を選定した。尚、図の①~⑨



①→⑧ 燃焼筒引抜き作業手順 ⑨→① 燃焼筒挿入作業手順

図2 燃焼筒引抜き、挿入シミュレーション結果 燃焼筒引抜き及び挿入シミュレーション結果を示す。
Simulation analysis of combustor removal and replace

に、燃焼筒の引抜き作業手順を示す。また、挿入作業手順はその逆となる。本図から明らかのように、燃焼筒の引抜き、挿入作業には水平移動軸 (A 軸) (図 2-①, ⑦参照)、燃焼筒引抜き・挿入軸 (X₁軸, X₂軸) (図 2-②, ④, ⑥, ⑧参照)、燃焼筒上下移動軸 (Y 軸) (図 2-③, ⑤) 及び燃焼筒回転軸 (α 軸) (図 2-⑨参照) の計 5 軸が必要であることが判明した。また、PACK 及び燃焼筒の位置決めにはガスタービン本体回転軸 (θ 軸)、燃焼筒の姿勢調整回転軸 (β 軸) の計 2 軸が必要である。以上の検討結果から、支援装置の軸構成を表 1 に示すように電動 7 軸及び燃焼筒の微調整のための手動 1 軸の計 8 軸構成とする。なお、各電動軸の動作方向は燃焼筒引抜き、挿入動作が直観的に把握できるように設定した。

(2) 操作ペンダント

支援装置の位置決め及び燃焼筒の分離、固定作業時に、作業員が支援装置に挟まれることを確実に防止するインタロック機能を有している。

(3) 制御盤

本制御盤は操作性の観点から、現場で電源を投入すればロボット等に関する専門知識がなくとも操作できるように、オートスタート機能を有している。

また、支援装置の信頼性の観点から、駆動軸のオーバーラベル等の異常が発生した場合、支援装置本体あるいは配管等の周辺機器に干渉しないよう急制動が掛かる機能を有している。

最後に現場での取扱い性の観点から、現場で専用の電源を設置することなく、標準の電源から支援装置の電源が賚る機能を有している。

3. 燃焼器引抜き支援装置の設計

以上の検討結果に基づき設計した支援装置の主要構成を以下に示す。

(1) 支援装置本体

支援装置では微妙な位置決めが容易にできるように、モータ及び減速機から構成されるアクチュエータに関し、各軸の定格速度に達するまでの立ち上がり時間 (時定数) を 100 ms と設定した。次に各軸に最大定格負荷が加わった状態で、前述の時定数を満足し得るアクチュエータ系を設計した。本設計に基づき選定された支援装置の主要構成機器一覧を表 1 に、支援装置の外観を図 3 に示す。

また、燃焼筒の支援装置への着脱が、ボルトの締結で片手で容易にできるワンタッチ接続機構を設けている。

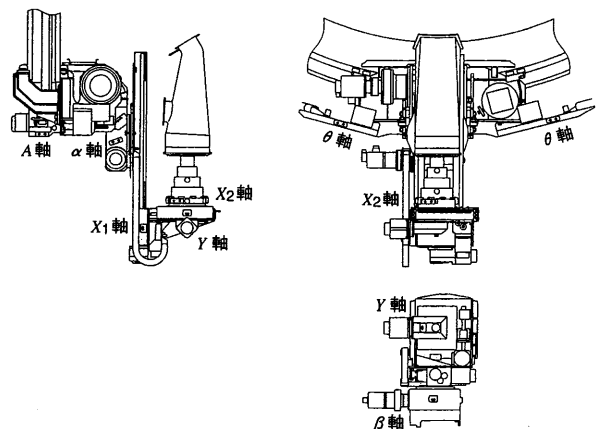


図3 支援装置外観 燃焼筒引抜き支援装置の全体構成を示す。
Outline of pulling-out support equipment for gas turbine combustor

(2) 操作ペンダント

ガスタービン外部及び内部の狭い空間で作業する作業員が支援装置と配管等の他の構造物との挟まれを防止し得るインタロック機能を有する操作ペンダントを開発した。本操作ペンダントのインタロック機能は、次の 2 機能である。

① 安全スイッチと動作スイッチとを同時に押さないと、支援装

置が動作状態にならない機能。

- ② ガスタービン内部及び外部の作業者が同時に支援装置を動作状態にできない機能。

(3) 制御盤

本制御盤はロボットに関する専門知識がなくても操作できるように、現場で電源投入後、自動で制御盤に組込んだ制御用計算機の立ち上げ、サーボアンプのサーボフリー状態への設定、保持ブレーキの固定状態への設定という一連の支援装置の初期化作業を行なう。

また、支援装置の信頼性の観点から、駆動軸にオーバトラベル等の異常が発生した場合、支援装置本体あるいは配管等の周辺機器に干渉する前に、駆動軸を止めなければならない。このため、制御用計算機がこれら異常を検出した場合、自動で駆動軸にダイナミックブレーキ及び制動ブレーキによる急制動を掛け、他の構造物等との干渉を未然に防止する。

最後に現場での取扱い性の観点から、現場で専用の電源を設置することなく、標準の電源から支援装置の電源が賅えることが必要である。支援装置の電源供給を標準の電源で賅うためには、制御盤の電源突入時の投入電流を小さくする必要がある。このため、本制御盤は制御機器（サーボアンプ）に順次電源を投入する機能を有している。

4. 支援装置作業手順

燃焼器の引抜き作業手順を以下に示す。なお、燃焼器の挿入作業手順については、引抜き作業の逆手順にて実施できるので割愛する。

- ① 図4に示すように、支援装置2台を設置した状態の上半可搬レールを据付け台から吊り上げる。次に、この上半可搬レールとガスタービンに恒設されている下半レールとを連結し、ガスタービン本体に設置する。
- ② 支援装置と制御盤間のケーブルを接続、配線する。
- ③ 支援装置の各軸原点合せを実行し、支援装置を燃焼器引抜き姿勢にする。
- ④ 支援装置を燃焼器引抜き位置まで移動させる。
- ⑤ 前述のワンタッチ接続機構にて燃焼器を支援装置に把持する。
- ⑥ 燃焼器をガスタービン本体から分離する。

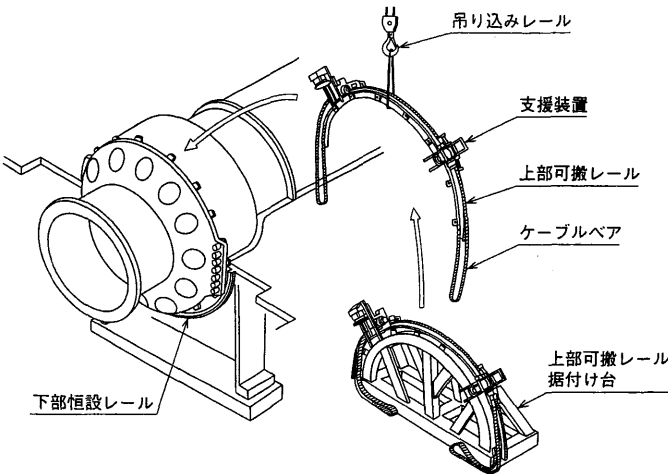


図4 支援装置設置概念図 燃焼器引抜き支援装置の据付け台からガスタービン本体への設置概念を示す。 Schematic view of setting pulling-out support equipment for gas turbine combustor at gas turbine

- ⑦ 分離した燃焼器を支援装置にて引抜く。
- ⑧ 燃焼器を把持した状態で、支援装置をクレーン等の揚重設備が使用できる場所まで移動させる。
- ⑨ 燃焼器をクレーンに預け、支援装置から分離した後、クレーンにより保管場所まで移動させる。

5. 支援装置機能確認試験

開発した支援装置の機能確認試験は、中部電力(株)との別途共同研究にて製作した501G型ガスタービンのモックアップを使用して実施した。本モックアップにて、燃焼器の引抜き、挿入試験を前述の手順で実施し、実機製作に向けた改善項目を抽出した。本試験状況を図5に示す。

さらに、本モックアップ試験結果から得られた改善項目に基づき支援装置を改造した。この改造した支援装置にて燃焼器の引抜き、挿入試験を実施したところ、燃焼器の引抜き、挿入作業の所要時間はそれぞれ9 min, 12 minであった。これにより、5日間作業が短縮できる。本モックアップ試験結果から、支援装置の有効性を確認できた。

さらに、中部電力(株)にも支援装置による燃焼器の引抜き、挿入試験を実施頂き、高い評価を得ることができた。

なお、本支援装置は現在、当社高砂製作所のコンバインドサイクル発電プラント実証設備に設置されているガスタービンの燃焼器の引抜き、挿入に使用している。

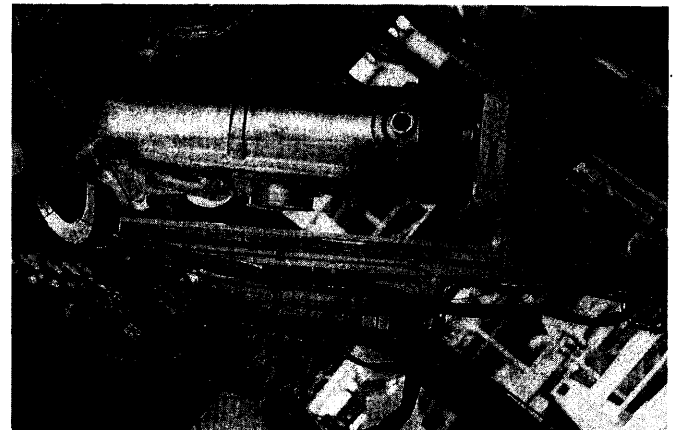


図5 機能確認試験状況 燃焼器引抜き支援装置のモックアップ試験状況を示す。 Operation of pulling-out gas turbine combustor

6. ま と め

最新の大容量高温ガスタービンの定検合理化を支援する設備として、燃焼器の引抜き支援装置を開発・製作し、501G形ガスタービンのモックアップにて燃焼器引抜き、挿入作業の機能確認試験を実施し、この有効性を確認できた。今後、本燃焼器引抜き支援装置を他のガスタービンにも適用できるようにシリーズ化を図り、適用範囲の拡大を図っていきたい。

謝 辞

本支援装置の機能を確認するため、501G形ガスタービンのモックアップを使用させて頂いたのみならず、支援装置の更なる機能向上に関し貴重な意見を頂いた中部電力(株)に深く感謝いたします。