

LM6000 ガスタービンパッケージ組立工期短縮活動

Shortening the Work Period of LM6000 Gas Turbine Package Assembly

鳩 雄一郎 航空宇宙事業本部生産センター呉第二工場 GT 製造グループ
渡 邊 裕 人 航空宇宙事業本部生産センター呉第二工場 GT 製造グループ
安 部 裕 志 エネルギー・プラントセクターエネルギーシステムセンター原動機プロジェクト統括部

LM6000 ガスタービンパッケージの販売拡大を受けて、従来 60 日掛かっていた組立工期を 30 日に短縮する目標を掲げ改善活動を実施した。すなわち、設計、生産管理、生産技術、製造が一体となって、四つの改善活動（部品配膳の仕組みづくり、部品納入のジャスト・イン・タイム、配管・機器の部分組立化、計装配管の事前曲げ）を推進した。この結果、呉第二工場のスペース、作業員、設備の拡充を行うことなく LM6000 ガスタービンパッケージの組立工期 30 日を達成できた。

In order to keep up with the increasing LM6000 gas turbine sales, it was necessary to shorten the fabrication period given the current facilities, workers and equipment in the Kure Aero-Engine & Turbo Machinery Works. As a solution, four methods: preparation manufacturing parts system, Just-In-Time parts delivery, sub-assembly piping and equipment, and pre-formed instrument tubes, were planned and carried out by the Design Dept., the Manufacturing Control/Manufacturing Engineering Dept. and the Manufacturing Dept. to shorten the fabrication period from sixty days to thirty days per LM6000 gas turbine unit. As a result of the four methods implemented in the Kure Aero-Engine & Turbo Machinery Works, the fabrication period was shortened and it became possible to manufacture a LM6000 gas turbine in thirty days.

1. 緒 言

LM6000 ガスタービンパッケージ（以下、GT PKG）の販売拡大を受けて、呉第二工場では生産能力の増強が求められていた（第 1 図）。このため、現状で 60 日を要している GT PKG 組立工期を限られたスペース、人員、設備のままで半分の 30 日にすることを目標に掲げた改善活動（GT30）を 2012 年から開始した。

主な改善活動として、① 部品配膳の仕組みづくり ② 部品納入のジャスト・イン・タイム ③ 配管・機器の部分組立化 ④ 計装配管の事前曲げ、の 4 項目を実施した。ま



第 1 図 LM6000 ガスタービンパッケージ
Fig. 1 LM6000 gas turbine package

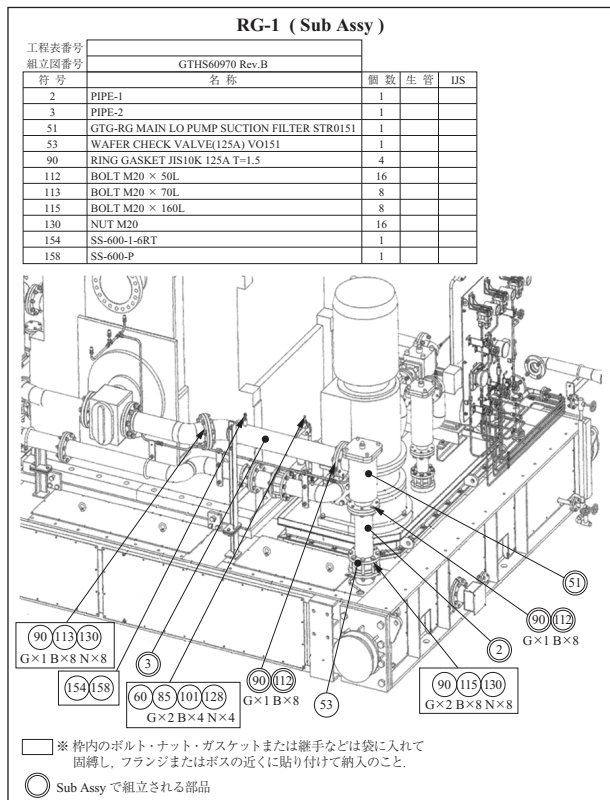
た、本改善活動は設計、生産管理、生産技術、製造、調達、品質保証の各部門が一体となって推進し、並行して工事ごとにおける改善提案フィードバック会議も継続的に行った。本稿では、その活動内容と成果について紹介する。

2. 活動内容

2.1 部品配膳の仕組みづくり

部品配膳とは、部品置き場において組立工程ごとに必要な部品を事前に仕分けおよび識別する段取りのことである。従来はそのような仕組みがなかったため、組立作業者が工程ごとに必要な部品を部品置き場から一つずつ探し出し、すべて揃えてから組立作業を行っていた。このため、部品探しおよび運搬のために多くの時間を費やしていた。そこで、工程ごとに配膳すべき部品のリストおよび組付け場所を図示した配膳リスト（第 2 図）を作成し、配膳する作業者が一目で必要な部品を分かるようにした。このように、組立工程ごとに必要な部品を配膳する仕組みを取り入れたことで、部品探しの時間を大幅に短縮できた。

一方、ボルト・ナット・ガスケットなどの小部品の部品配膳は、数が多くまとめて部品メーカーから納入されるため、仕分けに時間を要した。このため、設計部門が小部品



(注) RG: 減速機

第2図 配膳リスト
Fig. 2 Assembly order list

を手配する際に使用する部品集計表を配膳リストごとに細分化することで、部品供給メーカが小分けして納入できる仕組みを確立した。これによって部品配膳の作業時間も短縮することができた。

以上の結果、部品探しおよび仕分けの時間が削減され、7日間の組立工期短縮につながった。

2.2 部品納入のジャスト・イン・タイム

従来は、組立開始からGT PKGが出荷されるまでの組立工程が大まかであり、組立開始1か月前にすべての部品を作業エリアへ納入していた。この結果、作業エリアに組立部品があふれ、必要な部品を作業エリア全体から探す必要があった。また、作業工程に必要な部品と不必要な部品が混在していたため、作業者が必要な部品を確認しながらの作業になり時間が多く掛かっていた。

このような状況を改善するため、組立に必要な部品を適切な時期に作業エリアへ納入する仕組みづくりを目指した。まず組立工程を可能な限り細分化し、作業者と十分に確認しながら日単位の組立日程表を作成した。次に1日の作業に必要な部品を洗い出し、配膳リストに反映することで1日分の部品一式を取りそろえること(キット化)を行った。

同時に、部品ごとに入荷してから段取り、作業エリアへの納入日などの情報を日程表に明記した(第1表)。このようにきめ細かく管理することで、組立工程が始まる1日前に必要な部品を確実に準備ができるようになり、部品のジャスト・イン・タイムの実現ができた。

この結果、組立作業者が日程表を参考することで組立工程ごとに必要な工具などを事前準備ができるようになった。このことで3日間の短縮につながった。

第1表 日程表
Table 1 A schedule

工程	内 容	配膳リスト番号	配膳リスト名	日程																					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
				金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金
010	GT マウント事前準備																								
		HL-011	フロントマウント																						
		HL-012	リアマウント																						
020	排気ディフューザ保温工事前準備																								
		HL-021	排気ディフューザ																						
030	吸気スクロール保温工事前準備																								
		HL-031	吸気スクロール																						
	架 台 納 入																								
040	RG 架台タンク内部点検																								
050	吸気スクロール保温工事																								
060	排気ディフューザ保温工事																								
070	架台レベル出し																								
290	GT グレーチング仮搭載																								

(注) ■ : 素材倉庫へ納入
 ■ : 受入検査
 ■ : 部品配膳
 ■ : 現場 Sub Assy

2.3 配管・機器の部分組立化

従来の配管や機器の組立方法は、部品一つずつを本体の機上で組み立てていた。したがって、組み立てる物量の多さから組立時間は全体の6割を占める工程になっていた。そこで、この工程の組立時間を短縮するために、ある範囲の機器・配管類の一部を工場納入前にあらかじめ組み立て（以下、Sub Assy）、工場では Sub Assy として搬入される機器類と本体との取合い配管のみを施工するという組立方法に変更した。第3図に Sub Assy 中の配管の様子を示す。この Sub Assy によって組み付けの時間が短縮され、全体工期を短縮することができた。

この Sub Assy の推進において課題となったのが、組立精度の確認方法と Sub Assy を吊り上げる際に必要な重心位置の算出であった。Sub Assy の寸法確認は、主要寸法の精度を簡単に確認できる寸法ゲージを製作し、これを使用することにした。また、重心位置の算出に関しては、設計部門と協力した。すなわち、GT PKG は三次元 CAD によってフルモデル化されており、Sub Assy の範囲やゲージの形状および基準点となるデータを用いることで、迅速にかつ精度良く自動的に算出が可能になった。

現在、Sub Assy 化は全体の80%まで適用が進んでいる。この結果、本体の機上で一つずつ配管の組み付けを行っていた従来方法よりも、10日間の工期短縮につながった。

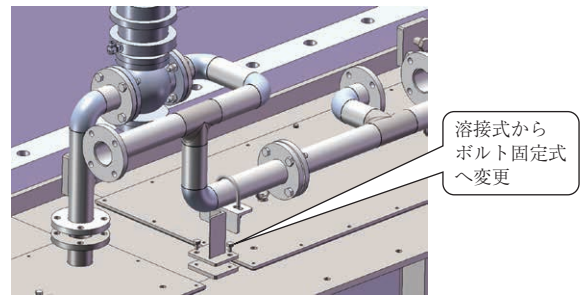
なお、今後は Sub Assy に組み込まれた機器据付けの支持部品（以下、サポート）を溶接式から取付座にボルトなどで固定する分割構造に設計変更することで、サポートごとの Sub Assy を可能にし、組立時間のさらなる削減を図る予定である（第4図）。

2.4 計装配管の事前曲げ

従来の GT PKG 内の計装配管施工では、大まかなルートのみが示された図面を基にして、作業員自身が実際の



第3図 配管 Sub Assy
Fig. 3 Piping subassembly



第4図 ボルト固定式サポート
Fig. 4 Bolted support

ルートを考えて長さや曲げ半径などを実測し、その実測データに合わせて作業エリアで計装配管の曲げ加工をして組み付けていた。また、計装配管と取り合う機器などの製作公差によって、取合位置を現物に合わせて調整する必要があり、時間を要する作業になっていた。さらに、作業員によって施工方法に差があり品質のばらつく課題があった。

この作業時間の短縮や品質向上のため、計装配管の事前曲げに取り組んだ。すなわち、すべての計装配管を図面展開し、事前に曲げた計装配管を工場へ搬入することで、作業員は取合部分の微調整をするだけで組み付けができるようにした。

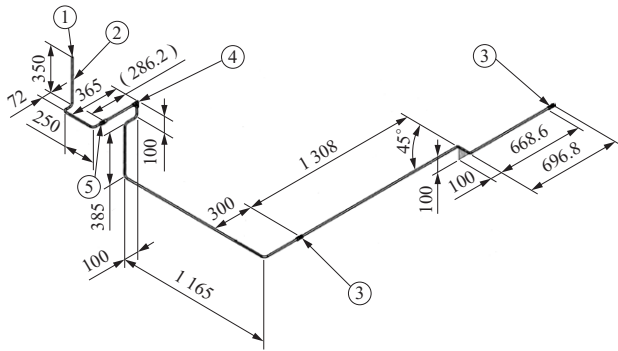
ここでも Sub Assy 化の取組みと同様に三次元 CAD モデルが有効となった。二次元図面では、計装配管のような複雑な形状の設計検討に時間を要していた。また、類似形状の計装配管も多く、取付位置を分かりやすく図面化することも困難であった。一方、三次元 CAD モデルを用いた場合、容易かつ短時間に設計が可能であり、干渉チェックも容易である。また、取付位置も一目瞭然となり、必要な継手類の個数の管理も容易になった。第5図に計装配管の三次元モデルを示す。

これらの活動の結果、計装配管の品質問題を解決することができ、かつ実際の機器と製作物に合わせて一本一本曲げ加工した方法よりも6日間の工期短縮につながった。

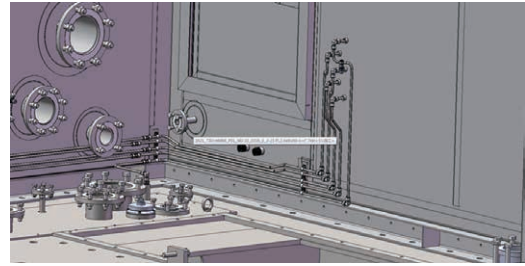
2.5 改善提案フィードバック会議

数々の工事案件を計画どおりに進めていくうえで問題となっていたのが、工場に搬入される配管や機器の品質不適合である。不適合が発生すると状況の伝達、対応の決定、改造指示および追加購入といった複雑なプロセスを踏む必要があり、工程の遅れの要因となる。この不適合を低減させるため、再発防止に向けて、組立終了後に工事案件ごとに不適合状況と改善提案をまとめた写真付リストを回覧していた。第6図に改善リストを示す。

(a) チューブフックアップ図



(b) 三次元モデル図



第 5 図 三次元モデルの計装配管 (単位: mm)
Fig. 5 3D model of an instrumentation tube (unit: mm)

改-1 減速機吊部の幅を広くしてほしい。

ワイヤが入ったものの、取り外す際に困難であった。

ワイヤ掛け部分は返しは必要ないため、最初からなくて問題ない。

写真と事象を合わせて記載

改-2 溶接ノック部分の塗装はしないで納入してほしい。

溶接ノック部分は、塗装を削って溶接するため、塗装をはがす時間を削減するため最初から溶接ノック部分は塗装なしが良い。

第 6 図 改善リスト
Fig. 6 Kaizen list

しかし、リストで伝える情報には限度があり、読み手の解釈によって誤解が生じるなど、なかなか不適合を減らせずにいた。

そこで、GT PKG の出荷後まず工場生産管理、生産技術、製造、品質管理、関係会社が集まり、組立中に発生した不適合の分析と改善提案の意見交換を行い、それを踏まえたうえで上流部門である設計、調達、品質管理の部門とフィードバック会議を行い、不適合発生の原因と工場の要望を詳細に伝えることにした。

この会議によって、各部門が活動の詳細を理解してアクションを明確にすることができた。

また、工場からの改善提案を設計が積極的に検討し、標準図面に反映するなどの改善の PDCA (Plan・Do・Check・Action) サイクルが早く回るようになり、さらなる不適合低減のブラッシュアップができた。

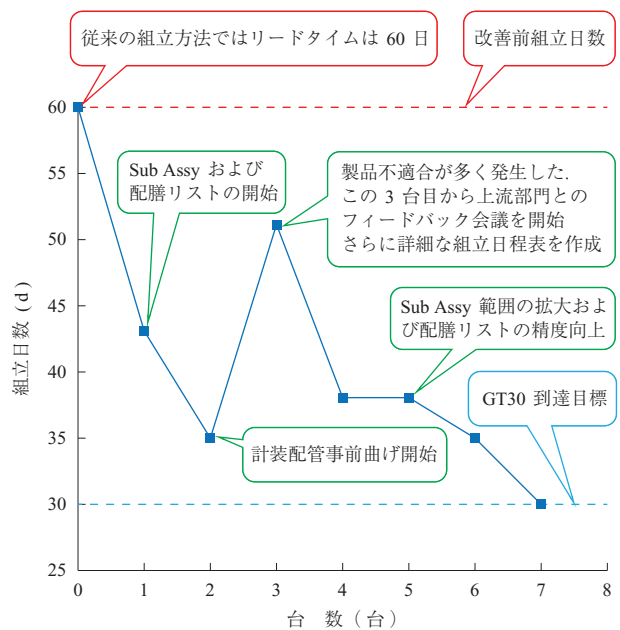
これらの取組みによって、組立現場での不適合対応件数が 55%削減され、不適合発生による工事の作業待ち期間を 4 日間削減できた。

3. 結 果

前項の改善を順次進めることによって、改善前は 60 日要していた GT PKG の組立工期を 7 台目で、目標の 30 日まで短縮することに成功した (第 7 図) 。

目標を達成できた要因を、以下にまとめる。

(1) 目標達成のためには、どこに手をあてなければい



第 7 図 LM6000 ガスタービンパッケージ組立工期を 60 日から 30 日に短縮

Fig. 7 Shortening the LM6000 gas turbine package fabrication period from sixty days to thirty days

けないか明確にし、その実現のための PDCA を回し続けた継続的な改善活動にしたこと。

- (2) 製造現場だけでなく、設計、調達、品質保証などが一体となって改善活動を実施したこと。
- (3) それぞれの改善活動に上流部門である設計部門も参加することで、組立から出荷までの一連の流れを効率的にする視点での工期短縮に有効な改善ができたこと。

4. 今後の課題

本改善活動 (GT30) によって、組立工期 30 日を達成することができたが、改善活動に終わりはなく、さらなる工期短縮に向けて引き続き活動に取り組んでいる。今後の課題としては、事前準備も含め 3 日から 7 日の日数を要している下記の課題に対して工程短縮に注力する所存である。

(1) 現合配管

大型構造物同士に配管を組み付ける際、公差の影響で取合いにずれが生じる。そのような部分の配管

にはすでに点溶接がされており調整が終わった後、本溶接に出される。本溶接とその後の工程 (酸洗い、検査など) で多くの時間を要している。

(2) 機器類の芯出し

芯出しには構造物のレベル出しから始まり、仮芯出し、本芯出しと続いていく。いずれも機器を組み立てる際の重要な作業であるが、事前準備、作業に多くの時間を要している。

(3) フラッシング

フラッシングは、配管などを組み付けた後、配管内を洗浄する作業である。この作業を実施するのに潤滑油の補充からジグの取り付けと、段取りに多くの時間を要している。

— 謝 辞 —

本活動に当たっては、ご協力いただいた LM6000 新規製作工事関係者ならびに GT30 を達成するために意見や知恵を出していただいた関係各位に対して、ここに記し、深く感謝の意を表します。