

国産最大級ポンプ駆動用ガスタービン装置 CNT-4002MN の開発

Development of One of the Most Powerful Domestic Pump Drive Gas Turbine Units in its Class CNT-4002MN

樽井真一	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	チーム長
小島秀樹	新潟原動機株式会社	生産センター品質管理グループ	グループ長
渡辺総栄	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	
内野孝	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	
植村敏幸	新潟原動機株式会社	技術センター製品開発グループ	

新潟原動機株式会社 (NPS) は、出力 2 942 kW (4 000 PS) の CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置を開発し、2010 年に販売を開始した。この装置は、出力 1 471 kW (2 000 PS) の 2 軸式ガスタービン 2 台を、減速機を介して 2 機 1 軸化したもので、ポンプ駆動用 2 軸式ガスタービン装置としては、国産最大級の出力となっている。近年、豪雨や台風への対策の重要性が増しており、小型で大出力といった特長を備える本ポンプ駆動用ガスタービン装置は、都市部の雨水排水ポンプ施設として適用できる。

Niigata Power Systems Co., Ltd. (NPS) developed the CNT-4002MN gas turbine unit for pump drives with an output of 2 942 kW (4 000 PS), and launched it in 2010. This unit consists of two dual shaft gas turbines with outputs of 1 471 kW (2 000 PS) each, to one output shaft through reduction gears. As a pump-driven dual shaft gas turbine system, it is classified among the most powerful gas turbine units in the domestic market. In recent years, while the importance of measures against flooding is increasing, this small yet powerful gas turbine pump drive unit can be applied as a drainage water pump in urban areas.

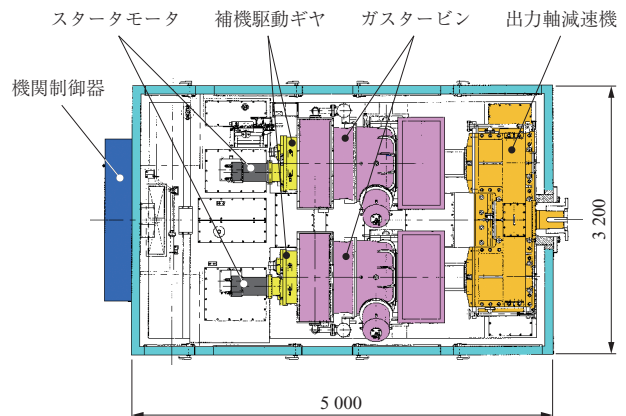
1. 緒言

近年、河川流域の市街化が広がる一方で、異常気象などによる局所的な集中豪雨も増える傾向がみられることから、都市部では排水施設の増設や排水ポンプの大型化が求められてきている。

このような背景のなか、新潟原動機株式会社 (NPS) は、出力 2 942 kW (4 000 PS) の CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置を開発し、2010 年に販売を開始した^{(1)~(3)}。NPS では、自社製の出力 1 471 kW (2 000 PS) の NGT2BM 型 2 軸式ガスタービンを原動機とする CNT-2002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置を 2001 年から製造、販売している。今回開発した CNT-4002MN は、この NGT2BM 型 2 軸式ガスタービン 2 台を、減速機を介して 2 機 1 軸化することで 2 倍の出力にしたものであり、ポンプ駆動用横型 2 軸式ガスタービン装置としては、国産最大級の出力となっている。

本稿では、このポンプ駆動用ガスタービン装置の主要性能や特徴、開発試験内容について紹介する。

第 1 図に装置平面図、第 1 表に装置主要目を示す。



第 1 図 CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置 平面図 (単位: mm)

Fig. 1 Plane view of a CNT-4002MN pump drive gas turbine unit (unit: mm)

2. CNT-4002MN の特徴

ポンプ駆動用原動機としては、ディーゼルエンジン、1 軸式ガスタービン、2 軸式ガスタービンがある。都市部において、主に台風や豪雨時などの非常時に利用される排水ポンプの原動機としては、① 軽量 ② コンパクト ③ 低騒音 ④ 低振動、で設置場所の自由度が高いガスタービンが

第 1 表 CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン 装置主要目
Table 1 Main specifications of a CNT-4002MN pump drive gas turbine unit

装置区分	項目	単位	仕様
ポンプ駆動装置	型式	-	CNT-4002MN
	定格出力	kW (PS)	2 942 (4 000)
	回転速度	min ⁻¹	1 000
	始動時間	s	60
	再始動時間	s	60
	燃料	-	A 重油, 軽油, 灯油
ガスタービン	型式	-	NGT2BM-T
	圧縮機	-	遠心 2 段
	燃焼器	-	単筒缶型
	ガス発生機タービン (GGT)	-	軸流 2 段
	出力タービン (PT)	-	軸流 1 段
	GGT 定格回転速度	min ⁻¹	22 000
	PT 定格回転速度	min ⁻¹	22 000
減速機	構成	-	2 機 1 軸式
	減速比	(-)	1 : 22
	高速側歯車	-	遊星式
	低速側歯車	-	平行式

(注) 周囲条件
 ・温度: 40℃
 ・高度: 150 m

適している。また、排水ポンプ駆動用としては、低回転高トルク、クラッチ不要、回転速度変更によるポンプ流量制御が可能などの特長をもつ 2 軸式ガスタービンが有利である。1 軸式と 2 軸式のガスタービンの特徴比較を第 2 表に示す。

CNT-4002MN 型ポンプ駆動用 2 軸式ガスタービン装置の特徴を以下に述べる。

2.1 自社開発純国産ガスタービン

日本国内における、大型のポンプ駆動ガスタービンとしては、航空転用型ガスタービンを利用する事例が多いが、本装置は、実績のある NPS 製 NGT2BM 型ガスタービン 2 台を適用した純国産ガスタービン装置であり、日本国内において充実した保守点検などのアフタサービスが可能である。

2.2 小サイズ大出力

出力 1 471 kW (2 000 PS) のガスタービン 2 台を並列

第 2 表 ポンプ駆動用ガスタービン装置 1 軸式と 2 軸式の比較
Table 2 Comparison of one shaft and two shaft pump drive gas turbine units

項目	1 軸式	2 軸式
回転速度可変運転	流体継手必要	ポンプ直結可能
低速トルク特性	クラッチ・流体継手必要	クラッチ不要
部分負荷効率	低負荷効率低い	低負荷効率高い
構造・部品点数	シンプル構造	部品点数多い
負荷投入・遮断特性	慣性大、回転変動小	負荷追従性劣る

配置した 2 機 1 軸式とすることで、装置パッケージの軸方向の全長を短くし、また装置幅は国内の輸送制限以内の寸法に納め、設置条件の厳しい都市部にも適する装置サイズを実現している。

2.3 高い始動信頼性

始動時に 2 機のガスタービンを個別に燃料制御できるよう燃料制御弁を 2 台装備し、柔軟なガスタービン始動調整を可能にしている。始動時間は 60 s、また停止動作中の再始動要求に対しても 60 s で再始動可能であり、局所的な集中豪雨が発生した場合においても排水ポンプ駆動用として迅速で確実な始動性をもつ。

2.4 高機能制御装置

フルデジタルコントローラの採用および NPS が非常用ガスタービンで培った機関制御のソフトウェア技術によって、定常運転のほか、始動や負荷変動に対しても、安定した運転制御が可能になっている。

3. ガスタービン機関の特徴

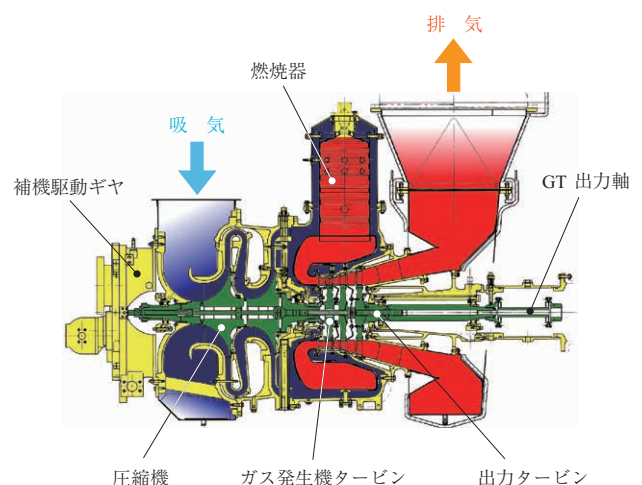
CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置の原動機である NGT2BM 型ガスタービンの断面図を第 2 図に示す。以下に各構成部品の特徴を述べる。

3.1 圧縮機

圧縮機は遠心式の 2 段インペラから構成され、NPS 製 1 600 kW 非常用ガスタービンとして多くの製造実績のある NGT2B-S 型ガスタービンと同じインペラ翼形状を採用し、共通化を図り品質を保持している。

3.2 燃焼器

燃焼器は単筒缶型のシンプルな構造で、ライナ内壁面には遮熱コーティング (TBC) を施工し耐久性を高めている。



第 2 図 NGT2BM 型ガスタービン本体 断面図
Fig. 2 Cross sectional view of an NGT2BM gas turbine

3.3 燃料噴射ノズル

燃料噴射ノズルは、着火用の圧力噴霧式ノズルと、負荷運転用の気流微粒化式ノズルの2系統から成る構造で、始動時の確実な着火性と運転時のクリーンスモークを実現している。

3.4 タービン

ガス発生機タービン (GGT) は軸流2段タービン、出力タービン (PT) は軸流1段タービンの構成になっている。

GGTの第1段静動翼には空冷翼を採用し耐久性を高めている。

4. 補機駆動ギヤおよび出力軸減速機

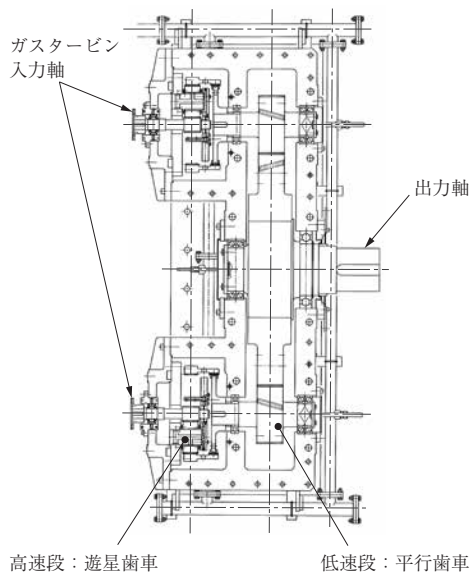
4.1 補機駆動ギヤ

ガスタービンの吸気側には、始動装置、燃料ポンプおよび潤滑油ポンプを駆動する補機駆動ギヤが2機のガスタービンにそれぞれ1式ずつ装着されている。

4.2 出力軸減速機

出力軸減速機は、今回の開発に当たり新規設計をしたものである。高速で回転する2台のガスタービンからの入力を受け、ポンプ駆動に適する回転速度まで減速し、1軸で出力するものである。歯車は遊星歯車と平行歯車によって構成されている。軸方向寸法を可能な限り短くし、ポンプ駆動装置パッケージの全長を抑えるとともに、潤滑油の給油ラインは、ケーシングに内蔵する(外部配管を極力省く)ことで、①構造の簡素化②部品点数の削減③組立作業工数の低減を図っている。

第3図に出力軸減速機の断面図を示す。



第3図 出力軸減速機 断面図(平面図)
Fig. 3 Cross sectional view of the reduction gear

5. ポンプ駆動ガスタービン装置パッケージ

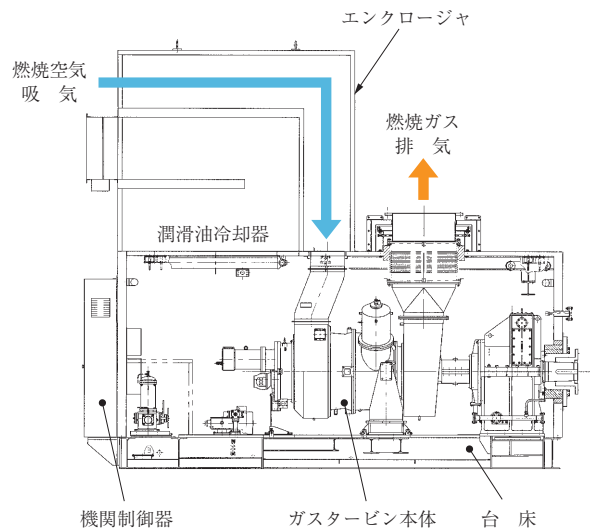
5.1 パッケージ概要

2台のガスタービンと出力軸減速機を台床に据え付け、防音エンクロージャを上から被せたパッケージとなっている。第4図にポンプ駆動装置パッケージの側面図を、第5図に装置外観を示す。

ポンプ駆動装置パッケージは、小型・軽量のガスタービンの特長を生かして軽量・コンパクトにまとめることで、設置スペースを節減、また、周囲1mでの騒音は85dB(A)以下を標準としている。

5.2 ガスタービン制御装置

本装置では、始動時には2台のガスタービンの燃料流量を個別に制御できるように燃料制御弁を2台装備している。これによって、2台のガスタービンの機差によって始動時の加速に差が生じるような場合でも、個別に最適な燃料加速スケジュールを行うことで機差を補い、確実に安定



第4図 ポンプ駆動装置 側面図
Fig. 4 Side view of the pump drive unit

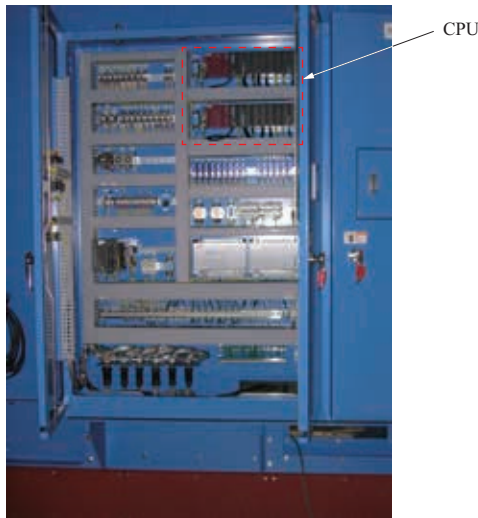


第5図 ポンプ駆動装置 外観
Fig. 5 External appearance of the pump drive unit

した始動を実現している。

機関制御装置には高性能 PLC (Programmable Logic Controller) を採用し、フルデジタルコントロールによってフレキシブルな燃料制御を可能にし、良好な始動性能や負荷追従性を実現している。第 6 図に機関制御器外観を示す。

また、制御信頼性・冗長性向上のためのオプションとして、CPU (Central Processing Unit) の二重化やセンサ二重化にも対応可能になっている。



第 6 図 機関制御器 外観
Fig. 6 External appearance of the gas turbine control panel

6. 開発試験

6.1 試験概要

CNT-4002MN 型ガスタービンポンプ駆動装置の開発試験においては、① 新設計となった出力軸減速機の振動や潤滑油流量・温度の確認 ② 新たに取り組んだ 2 機 1 軸式の 2 軸ガスタービンの運転制御 ③ 装置内の温度分布やエンクロージャ周囲での騒音計測、などを中心に設計検証を行った。

6.2 出力軸減速機検証試験

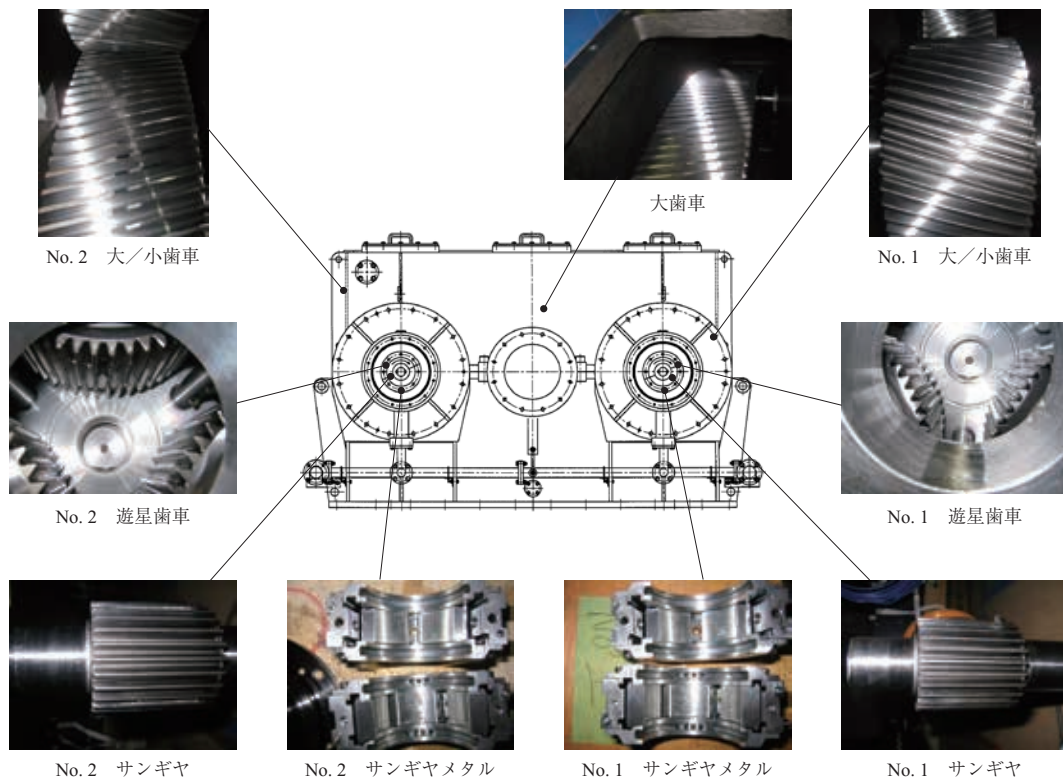
出力軸減速機の振動値は、無負荷から全負荷において NPS 管理値 (ISO 規格を基に独自制定) 内であり、また潤滑油の油量、温度、圧力も管理値内で安定して運転できることを確認した。

開発試験では、負荷運転試験のほか、実運用時の管理運転や無負荷での待機運転を想定し、無負荷にて 50 h 程度の連続運転試験も実施した。

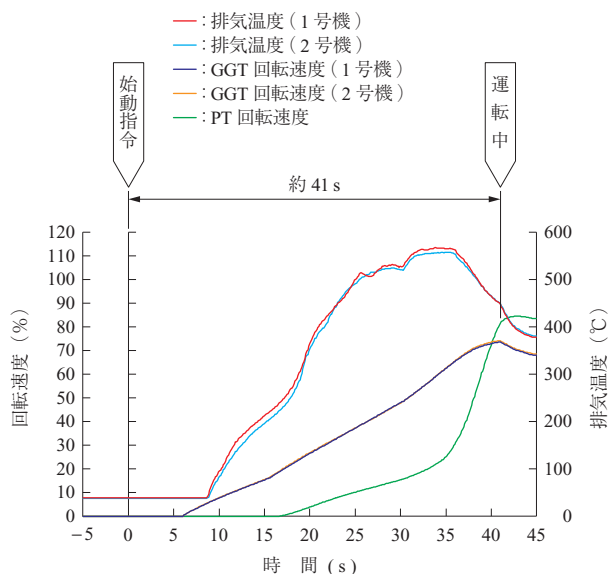
試験後に開放点検し、歯車およびスプラインの歯面、軸受などに、磨耗、疲労、フレッチングなどの異常がないことを確認した。第 7 図に出力軸減速機の点検結果を示す。

6.3 始動性能試験

第 8 図に通常の始動時における状態量推移を示す。



第 7 図 出力軸減速機の点検結果
Fig. 7 Inspection photographs of reduction gear



第 8 図 始動時における状態量推移
Fig. 8 Trends of status changes during startup

2 機のカスタマーには機差によって、若干の排気温度差が生じているものの安定して加速し、仕様の始動時間 60 s に対して 40 s 程度で始動完了（アイドル回転に到達）となり、十分な余裕をもつことを確認した。

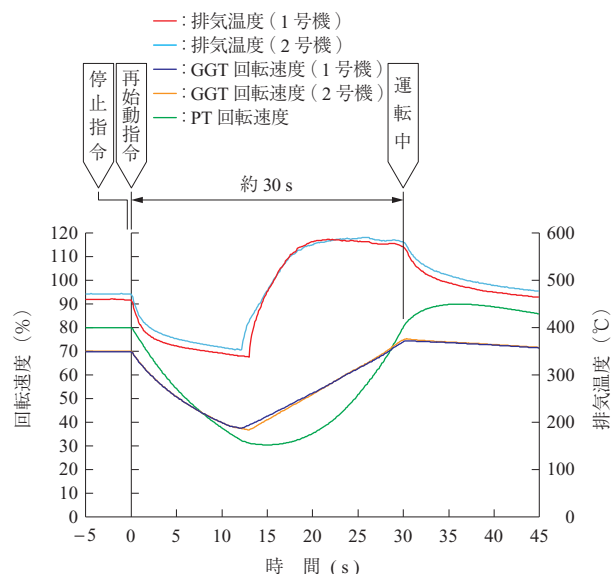
また、機関停止操作中に、再度始動指令が入った場合でも、仕様の 60 s で再始動できることを実証した。この再始動システムのポンプ駆動用装置への適用は業界初となる。第 9 図に再始動時における状態推移を示す。ガスタービン機関停止中の再始動の場合は、2 機のカスタマーの再着火タイミングに若干のタイムラグが生じているが、その後の燃料制御にて安定して加速し、約 30 s での始動完了を確認した。通常始動および再始動がいつでもできるため、降雨量増加に備えた待機運転時間を短くできるなど、運用上の利点となっている。

6.4 パッケージ検証試験

パッケージの検証試験として、エンクロージャ内部の温度分布を計測し、エンクロージャ内に配備された使用機器類の温度が許容値以内であることを確認した。またエンクロージャ周囲 1 m での騒音は 85 dB (A) 以下であることを確認した。

7. 結 言

CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置は、都市化が進む河川周囲地域における非常時の排水施設として、近年の社会的ニーズに適する大型の 2 軸ガスタービン装置である。



第 9 図 再始動時における状態量推移
Fig. 9 Trends of status changes during rapid re-startup

本装置の開発によって、NPS のポンプ駆動ガスタービン装置は、出力 735 ~ 2 492 kW (1 000 ~ 4 000 PS) の範囲に対応可能になった。既存機では、信頼性の面で高い評価をいただいております。今回新しくラインナップに加わったポンプ駆動用装置がさらに多くのお客さまにご活用いただけるものと期待しています。

— 謝 辞 —

本装置の補機駆動ギヤおよび出力軸減速機の開発に当たっては、株式会社 IHI 回転機械 (ICM) で設計、製造を、また、据付けから試運転まで多大なるご助言とご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 樽井真一：NIIGATA CNT-4002MN ポンプ駆動用ガスタービン装置（新製品紹介） 日本ガスタービン学会誌 第 39 巻 第 5 号 2011 年 9 月 pp. 350 - 351
- (2) 齊藤雅昭, 渡辺総栄, 畑本拓郎, 住吉雅史：非常用ガスタービン設備の現状と開発動向 日本ガスタービン学会誌 第 40 巻 第 1 号 2012 年 1 月 pp. 15 - 20
- (3) 樽井真一, 渡辺総栄, 内野 孝：CNT-4002MN 型ポンプ駆動用ガスタービン装置の開発 日本ガスタービン学会定期講演会論文集 40 巻 2012 年 10 月 pp. 249 - 253