

ドライターボ真空ポンプ「スカイトール」

Dry Turbo Vacuum Pump

半導体製造装置での真空プロセスでは、油分の逆流、潤滑油のメンテナンス、安全性などの面から、ドライ真空ポンプの採用が進んでいる。ドライ真空ポンプは、数種の形式が製品化されている。その中で独自のターボ形式であるドライターボ真空ポンプ「スカイトール」は、ガス通路と軸受などの駆動部を分離した構造にすることによって、高度クリーン化を実現した。また、ターボ形の採用で、1台で大気圧から 10^{-2} Pa (10^{-5} Torr) までの排気を可能とした。コンパクト、省メンテナンス、低振動・低騒音などの特長も備えているスカイトールは、真空環境、特に質の高い真空作りに威力を発揮している。

西内 章* Akira Nishiuchi
真瀬正弘* Masahiro Mase
新井 一** Hajime Arai
長岡隆司*** Takashi Nagaoka

1 はじめに

半導体製造装置の中・低真空域排気用真空ポンプとしては、従来、油回転ポンプやメカニカルブースタポンプなどが用いられてきた。特に油回転ポンプは、構造も簡単で使い勝手が良く安価であることから、長い間あらゆる分野で大気へ排気できる粗引き用真空ポンプとして用いられてきたが、近年、半導体製造分野でガス通路部に油のないドライ真空ポンプのニーズが高まってきた。ドライ真空ポンプが必要とされる背景には、年々増していく半導体の集積度に伴う加工技術の微細化や歩留り向上の要求がある。特に薄膜生成工程での真空の清浄化や、エッチング工程での排気系真空ポンプのメンテナンス性向上といった課題が生じてきている。油回転ポンプを使用する限り、油蒸気による真空側の汚染、腐食性ガスや反応生成物による真空ポンプ内の油の早期劣化といった問題は解決できないため、ドライ真空ポンプを積極的に使おうとする傾向がある。

ここ数年の間に、各社からドライ粗引き真空ポンプが発売されているが、これらはすべてルーツ形、クロー形、スクリュウ形といった容積形の真空ポンプである。日立製作所では、圧縮機や水用ポンプなどの高速回転式流体機械の技術をベースに、まったく新しいタイプの粗引き真空ポンプである「スカイトール」を開発した。

スカイトールは、高速回転機構と非接触インペラ構造により、コンパクトでかつ他のドライ真空ポンプよりも約2桁(けた)低い 10^{-2} Pa台の到達圧力を得ることができる。現在は、半導体製造装置の中のドライエッチング装置やアッシング装置、CVD (Chemical Vapor Deposition) 装置を中心に、スパッタ

リング装置、イオンビーム応用装置、測長用走査電子顕微鏡へも適用範囲を広げつつある。

本稿では、スカイトールの概要とその用途について述べる。

2 スカイトールの構造

現在、各社から粗引き用ドライ真空ポンプが発売されているが、これらはすべて、ある容積の部屋にガスを閉じ込めて圧縮し、排気する容積形の真空ポンプである。ところがよく考えてみると、粗引き用真空ポンプの中の気体は、大気圧(10^5 Pa)から 10^2 Pa台の圧力域では粘性流の性質を示すもので、普通の圧縮機とみなすことができる。また 10^2 Pa以下で気体が粘性流とは若干物性の異なる中間流から分子流の性質を示す圧力域は、本来分子ドラッグポンプやターボ分子ポンプなどの非容積形真空ポンプが有効な領域である。ターボ形圧縮機は容積形圧縮機と比較すると、高速・小形・大容量化が容易である。この特徴を生かして、粘性流圧力域の部分にもターボ形(非容積形)のポンプ要素を適用して、オールターボ形としたものがスカイトールである。

スカイトールの外観を図1に、本体構造を図2に示す。排気されるガスは、吸気口から吸い込まれ、高速で回転しているロータで上段から順次各段で圧縮され、排気口から大気圧下へ排出される^{1),2)}。1軸縦形で転がり軸受をロータから下部に配置し、ガス通路部をオーバーハングさせる構造を採用した。これによって、吸気口側(真空側)の軸受をなくすことができ、クリーンな真空の実現がより確実になった。油回転ポンプとスカイトールの排気時でのポンプ上流の容器内残留ガ

* 日立製作所 土浦工場 ** 日立製作所 電機システム事業本部 *** 日立製作所 機械研究所

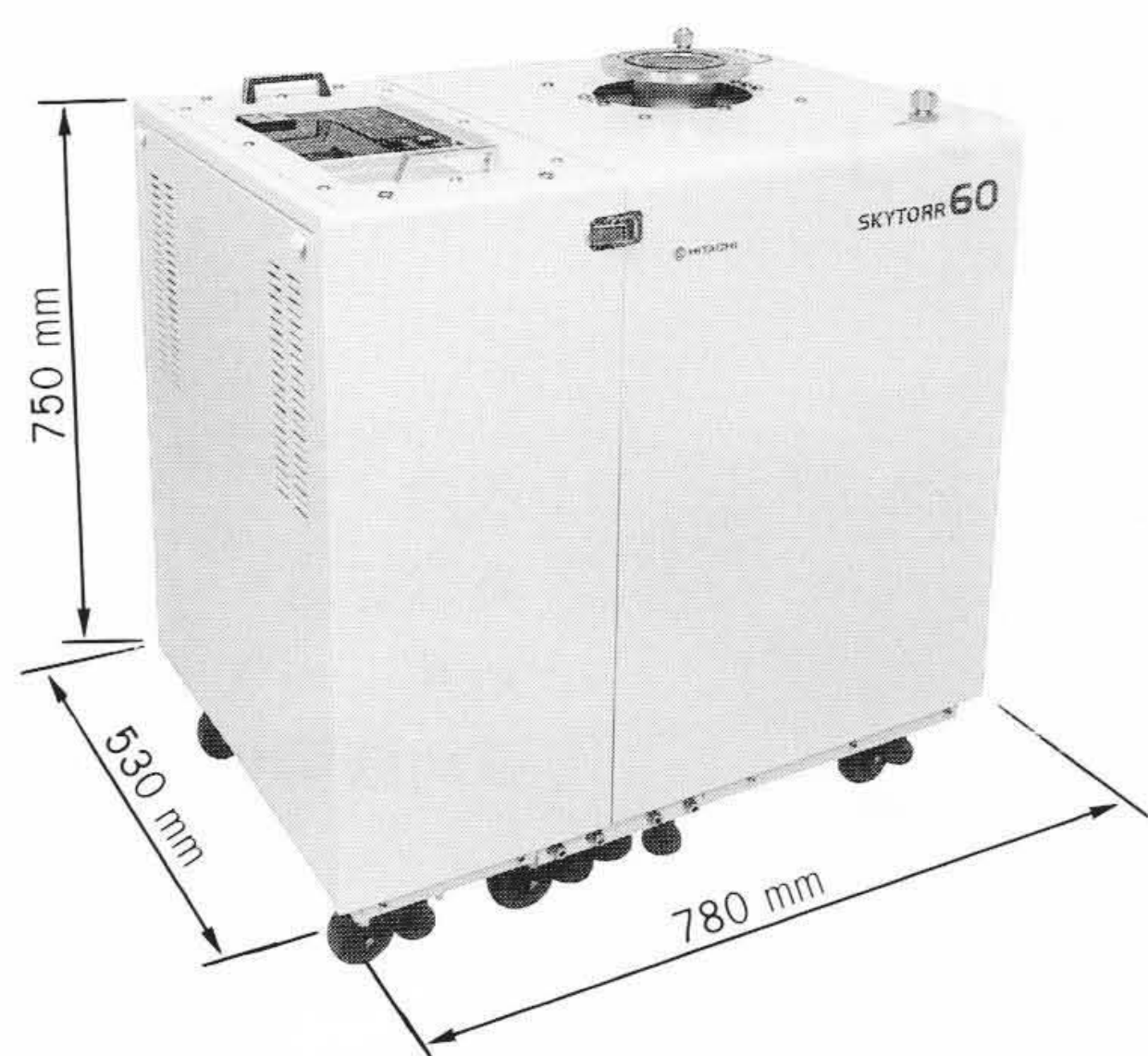


図1 スカイトールの外観 ポンプ本体とインバータ盤を一体にしてパッケージ化してあるが、必要に応じて分離できる構造となっている。

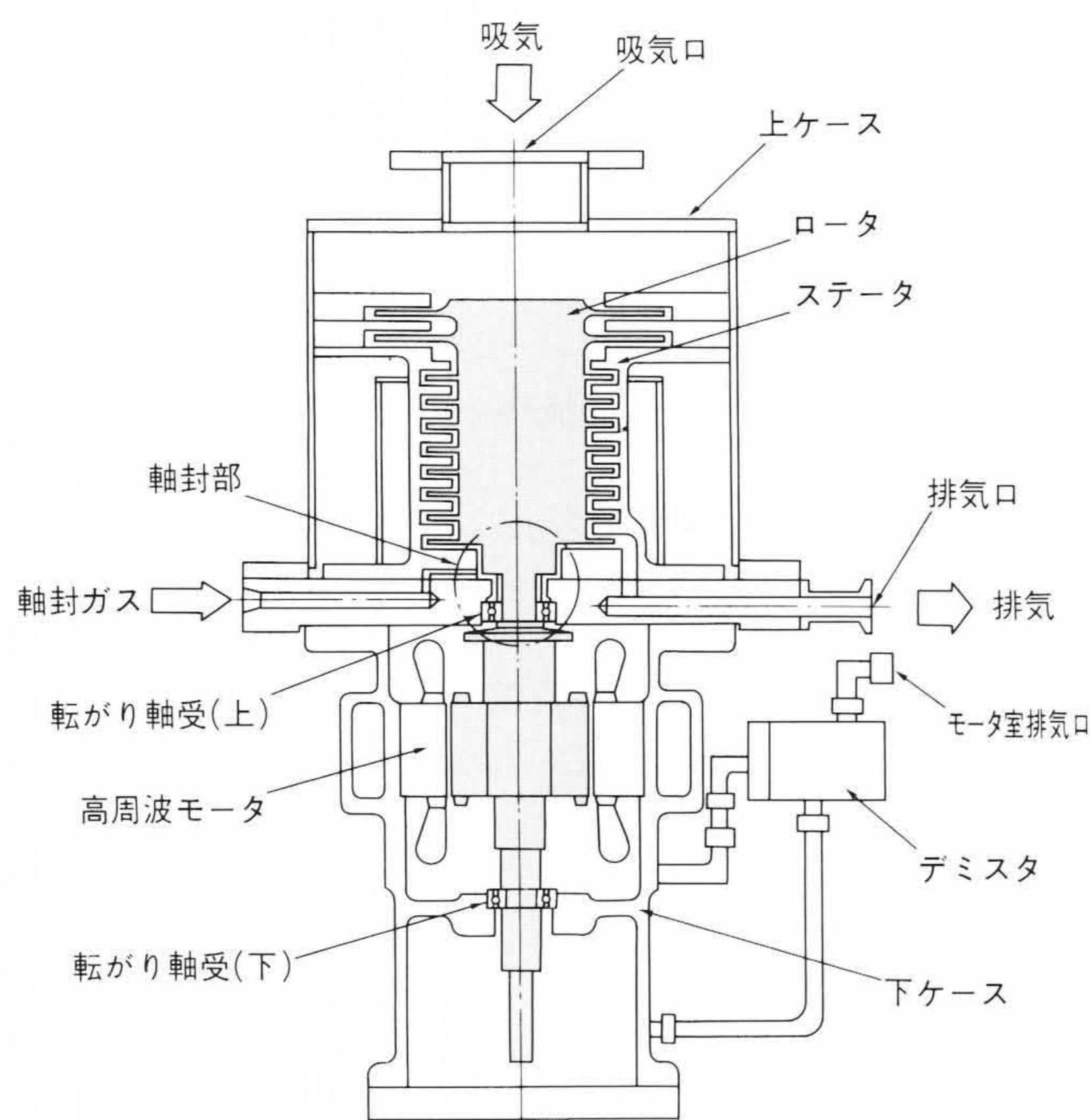


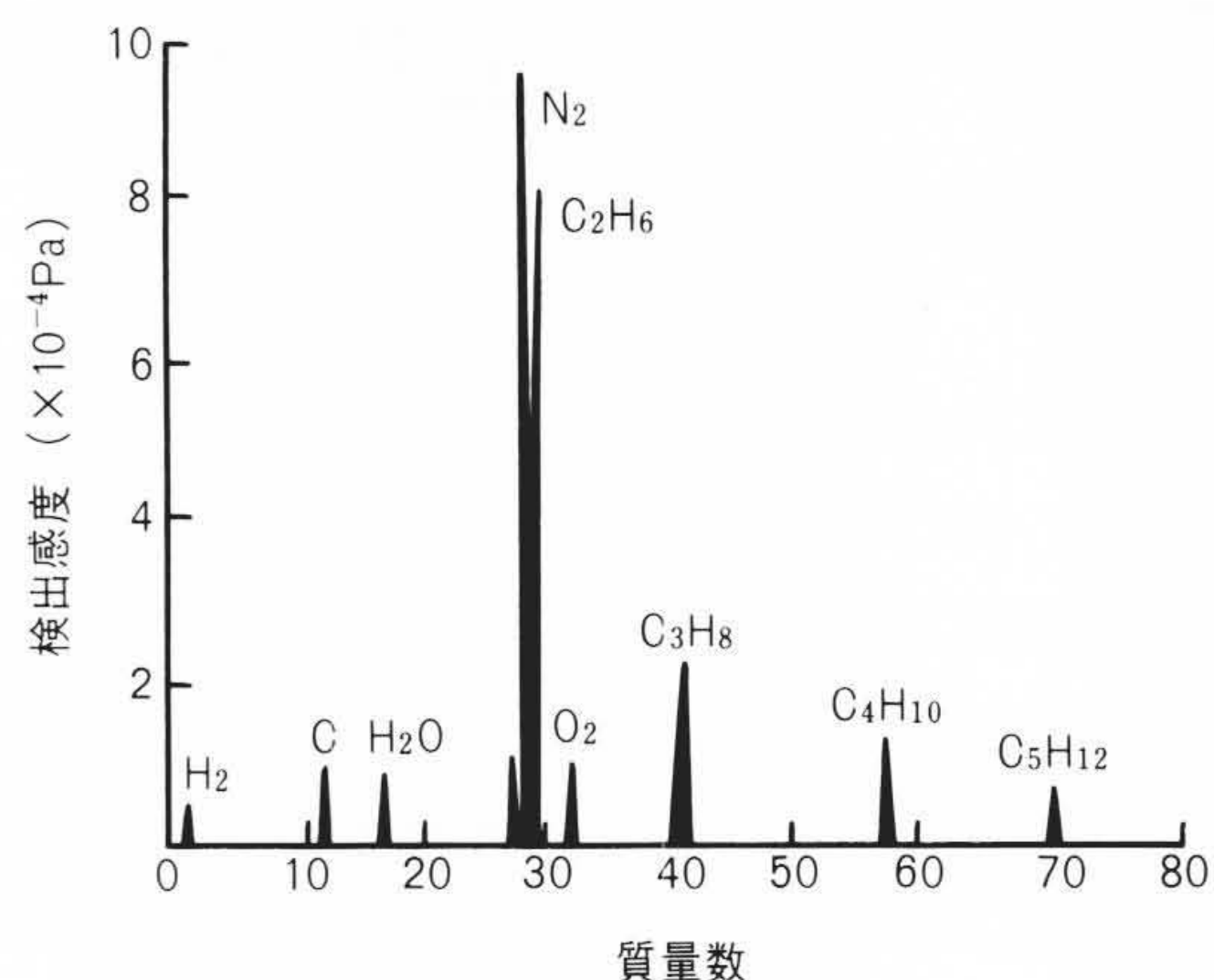
図2 スカイトールの本体構造 排気されるガスは吸気口から吸い込まれ、高速で回転しているロータで上段から順次各段で圧縮され、排気口から大気圧下へ排出される。

スの質量分析測定結果を図3に示す。油回転ポンプでは、質量数40を超える炭化水素を示すピークが認められるのに対し、スカイトールではそのピークがなく、クリーンな真空が得られていることがわかる。

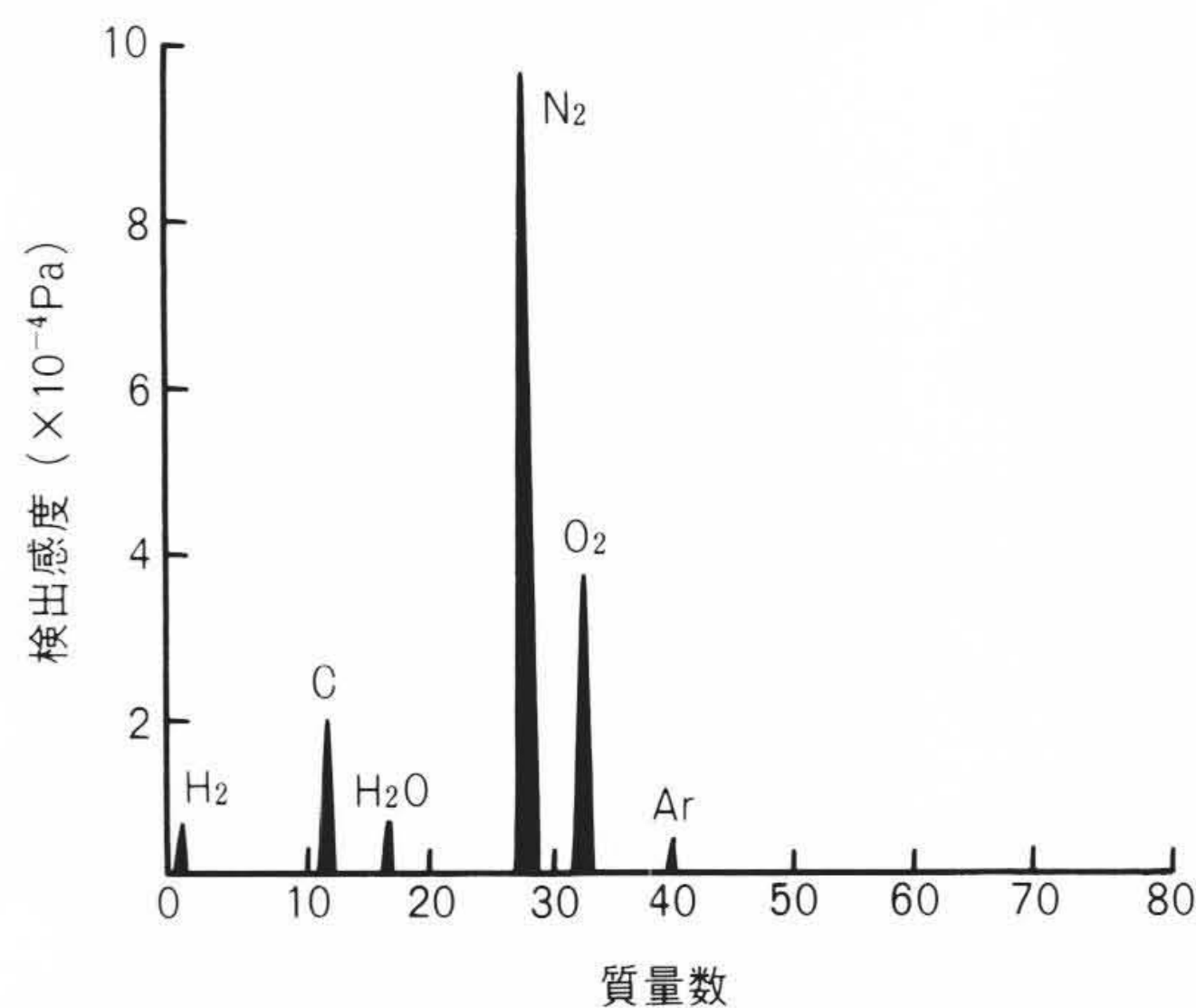
3 スカイトールの特長

(1) 1台で 10^{-2} Pa (10^{-5} Torr)の高真空が得られる。

スカイトールは1台で 10^{-2} Paの高真空を得ることができる。従来、メカニカルブースタポンプと油回転ポンプの2台必要であった排気系を、スカイトールは1台で置き換えが可能であり、シンプルな排気系の構成となる。そのうえ、従来のメカニカルブースタポンプは到達圧力が 10^{-1} Pa (10^{-3} Torr) 台な



(a) 油回転ポンプ



(b) スカイトール

図3 容器内残留ガスの質量分析比較 油回転ポンプでは、質量数40を超える炭化水素を示すピークが認められるのに対し、スカイトールではそのピークがなく、クリーンな真空が得られていることがわかる。

のに対し、スカイトールは1桁から2桁到達圧力を下げることができる。容器(チャンバ)を真空排気した際、ベース圧が従来よりも低くなるということは、膜付け装置では膜質の向上、エッチング装置では反応の再現性向上が図れる。また、排気特性に示すように、スカイトールは約133 Pa (1 Torr)以下の圧力の低い領域での排気速度が大となる(図4参照)。これは、容積形の真空ポンプが約133 Pa以下の圧力領域で排気速度が低下するのと対照的であり、プロセス反応終了からベース圧へ真空排気する際に、スカイトールのほうが短時間で減圧できるメリットがある。

(2) 排気時に脈動がなく、振動・騒音が小さい。

真空ポンプの振動・騒音の原因には種々の要因がある。容積形の真空ポンプの場合、ある容積の部屋にガスを閉じ込めては圧縮し、排気する工程を繰り返す排気原理であるため、どうしても脈動が発生し、それが振動・騒音の一つの要因となっている。スカイトールは、ターボ形で連続排気となるため脈動がなく、振動・騒音が小さい。スカイトールの騒音を測定して、等音線図に表すと図5のようになる。機側1 mでは

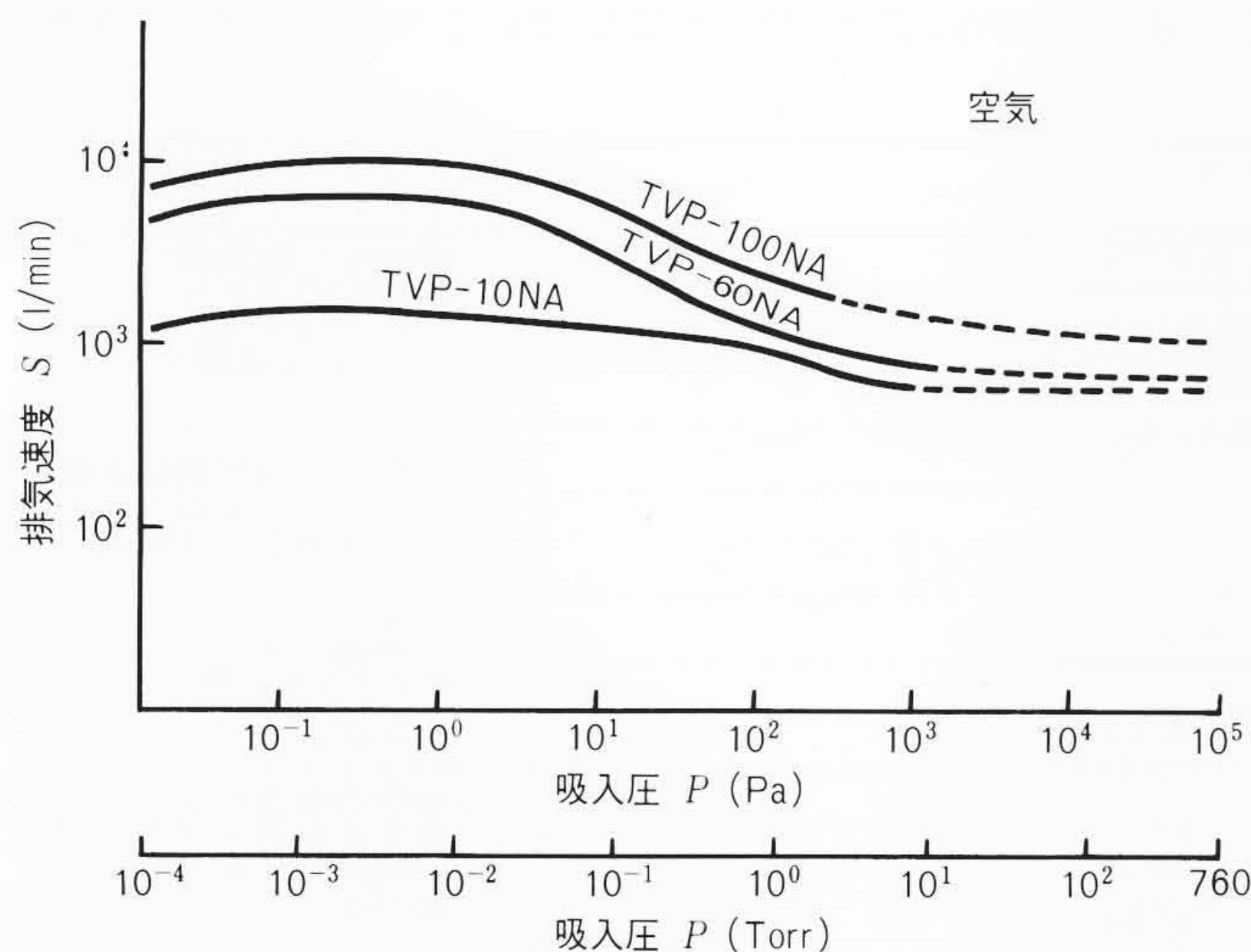


図4 スカイトールの排気特性 約133 Pa (1 Torr)以下の圧力の低い領域での排気速度が大となるので、プロセス反応終了からベース圧へ真空排気する際に、短時間で減圧できるメリットがある。

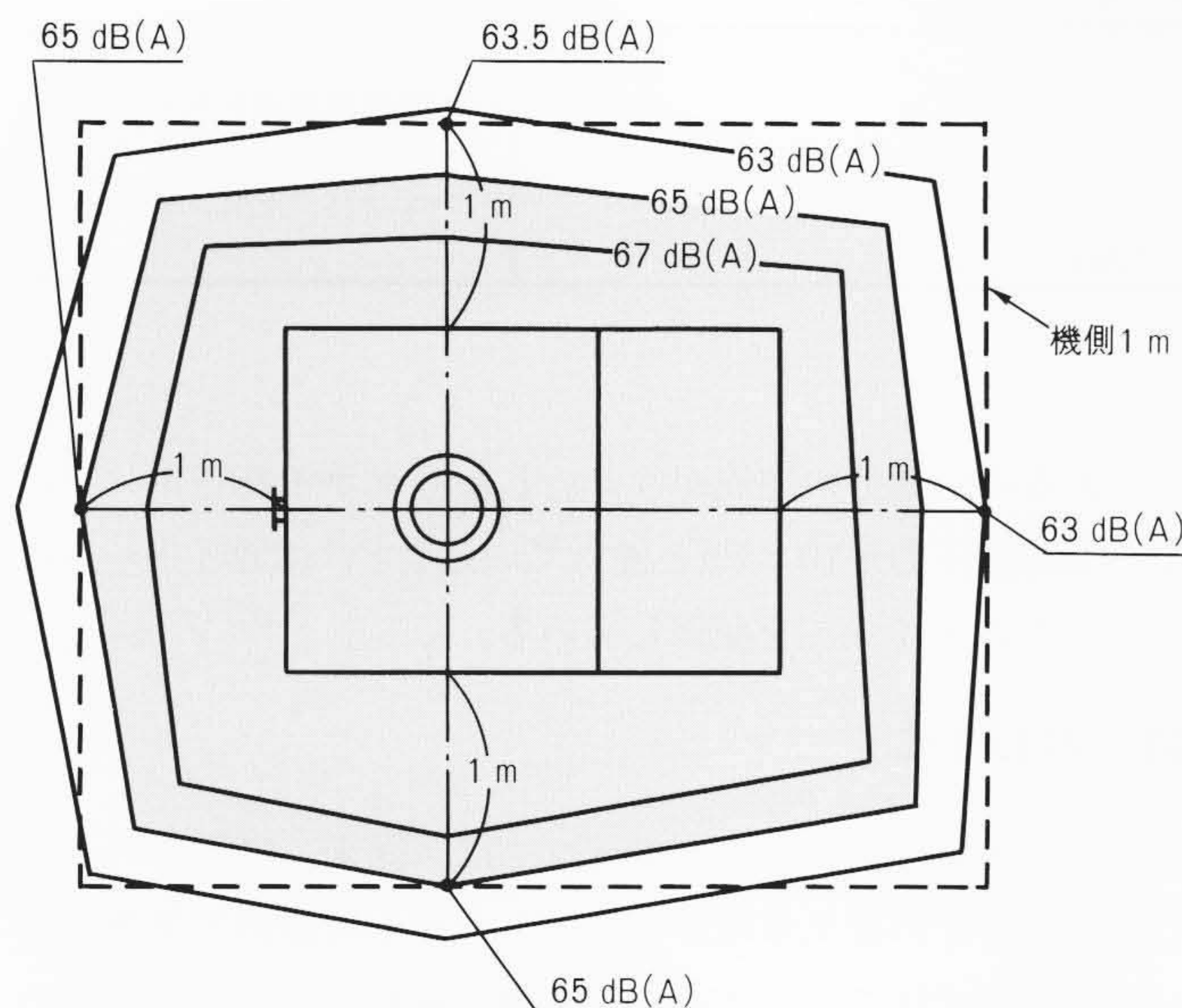


図5 スカイトールの騒音の等音線図 機側で1 mで65 dB(A)に入っており、場所によっては63 dB(A)以下とかなり静かなものになっている。

65 dB(A)に入っており、場所によっては63 dB(A)以下とかなり静かなものになっている。

(3) 1軸の縦形構造でコンパクト

スカイトールは、1軸の縦形構造を採用しており設置スペースを小さくすることができる。既存の油回転ポンプをドライポンプ化するにあたって、設置スペースが限られている場合や、最近の半導体製造装置にみられるマルチチャンバ方式のように、1台の装置に複数のドライ真空ポンプを使用する場合などには、図6の外形寸法図に示すG形やS形のポンプ本体とインバータ盤とを分離して設置するタイプが有効である。

(4) 瞬時停電にも対応できるインバータ盤

半導体製造装置の中でも特にバッチ処理方式の装置は、一

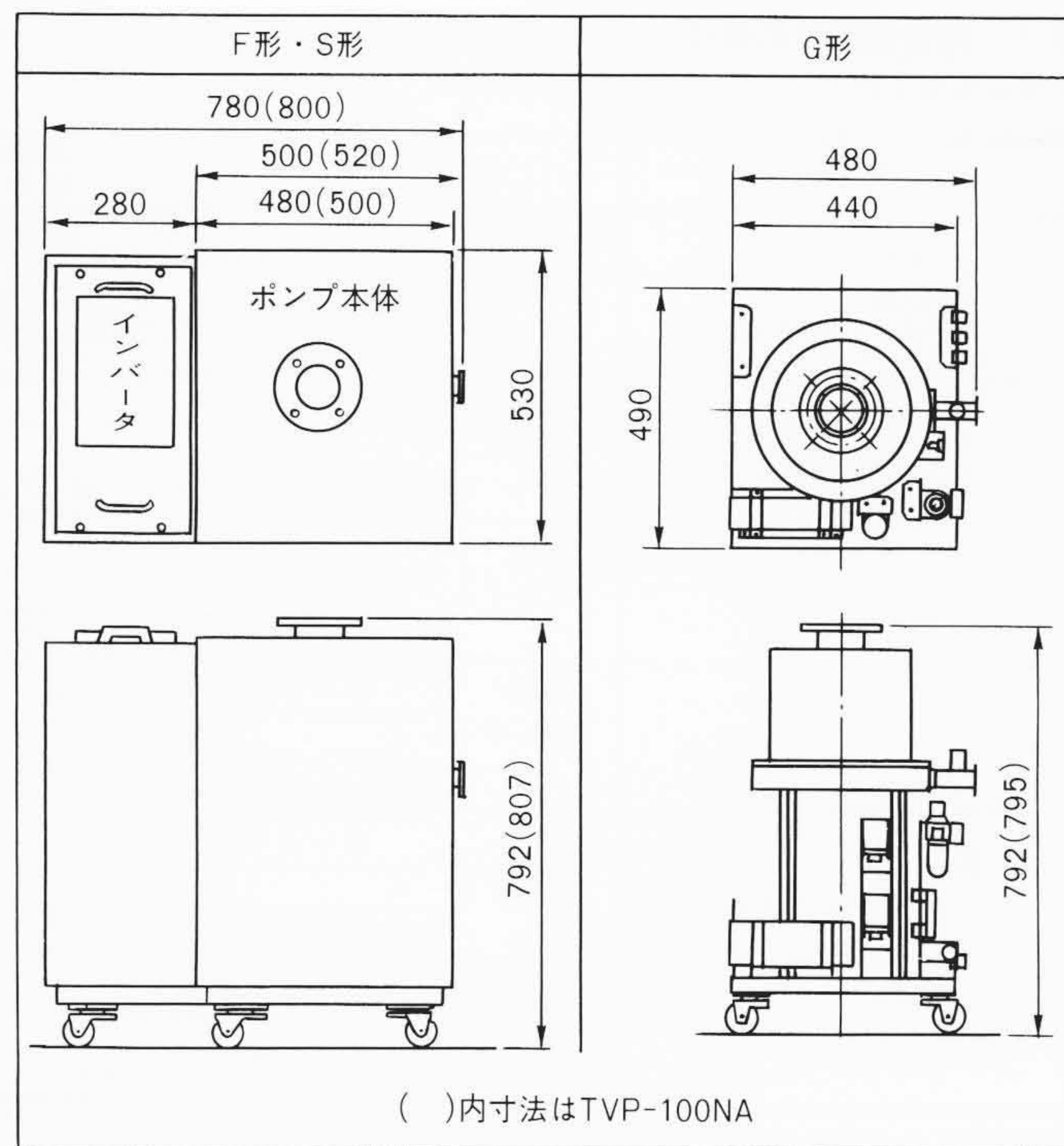


図6 スカイトールの外形寸法図 設置スペースが限られている場合には、ポンプ本体とインバータ盤を分離して設置するS形やG形が有効である。

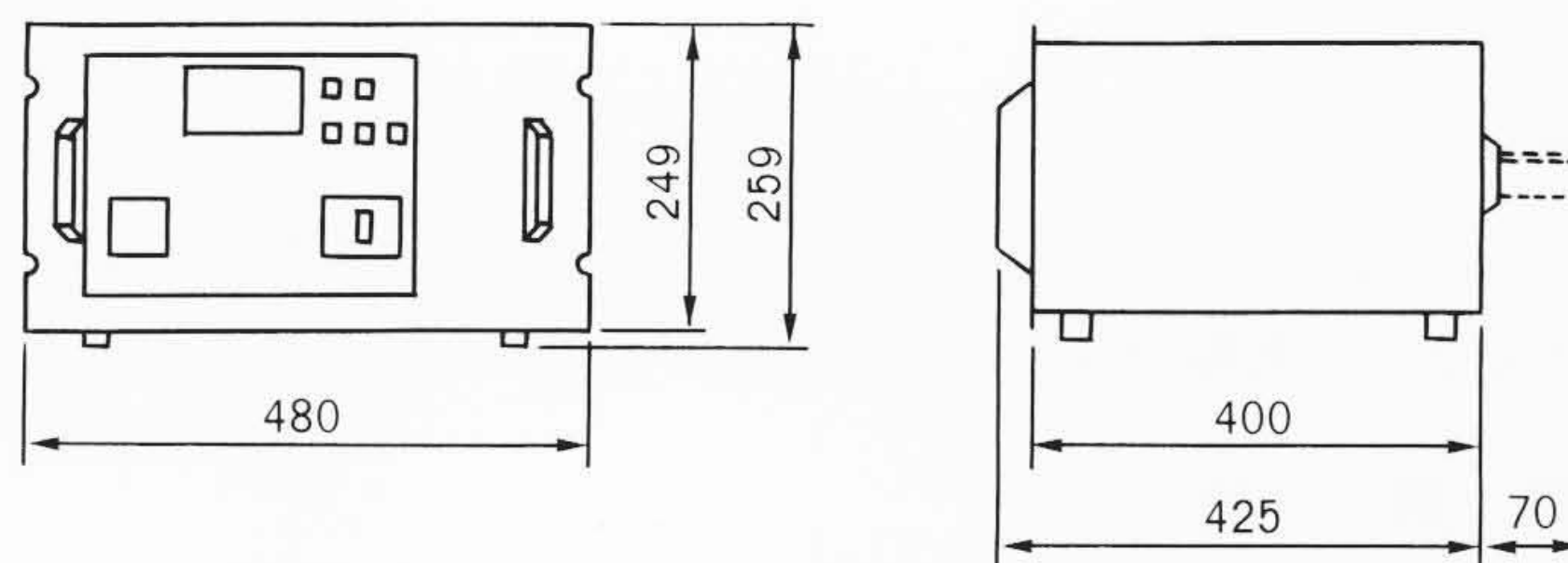


図7 インバータ盤外形寸法図 設置方法は、デスクトップとJISラック収納の両方に対応できる。

表1 スカイトールの仕様 排気速度で1,500 l/min, 6,000 l/minおよび9,000 l/minの3機種があり、到達圧力はいずれも 1.2×10^{-2} Pa (9×10^{-5} Torr)以下である。

項目	形式	TVP-10NA	TVP-60NA	TVP-100NA
排気速度(空気)	l/min	1,500	6,000	9,000
到達圧力(空気)	Pa(Torr)	1.2×10^{-2} (9×10^{-5})		
排気圧力	—	大気圧		
運転時電動機入力	kW	約2.8		
入力電圧	V	3相 AC200/220 $\pm 10\%$		
周波数	Hz	50/60 $\pm 5\%$		
電源容量	kVA	7.5		

度に処理するウェーハ枚数が多いだけに、瞬時停電によって万一真空ポンプがダウンすると大きな損害が発生する。スカイトールのポンプ本体を制御しているインバータ盤は、0.2秒までの瞬時停電に対しては対応できる。また、インバータ盤外形寸法図(図7参照)に示すように、JISラックへの取り付けを考慮した寸法にしてあるので、複数台の設置や他の制御装

表2 真空排気系の構成例 各種半導体製造装置に実績があり、各用途で(1)油の逆流がないこと、(2)1台で 10^{-2} Pa(10^{-5} Torr)の高真空を実現できることなどのメリットがある。

用 途	到達圧力〔Pa(Torr)〕				スカイトールにした ときのメリット
	大気圧	10(10^{-1})	10^{-2} (10^{-4})	10^{-5} (10^{-7})	
ドライエッチャ (酸化膜 ナイトライド膜)	従来	ロータリポンプ メカニカルブースタ			(1) 煩わしい油交換が不要 (2) 油分の逆流がない。 (3) 今まで2台必要であった のが1台で実現でき、コ ンパクト
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」				
ドライエッチャ (アルミ)	従来	ロータリポンプ ターボ分子ポンプ			(1) 煩わしい油交換が不要 (2) 粗引きポンプのメンテ ナンス回数の大幅減少
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」			ターボ分子	
CVD (ポリシリ膜) 酸化膜	従来	ロータリポンプ メカニカルブースタ			(1) 油分の逆流がなくウェーハ の歩留り向上 (2) 今まで2台必要であった のが1台で実現でき、コ ンパクト
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」				
スパッタ	従来	ロータリポンプ クライオポンプ			(1) 油分の逆流がない。 (2) クライオポンプの負荷 が低減し、再生寿命が 延びる。
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」			クライオポンプ	
各種装置 ロードロック室用	従来	ロータリポンプ			(1) 油分の逆流がない。 (2) 圧力を下げることによっ てメインチャンバの汚 れを低減
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」				
配管、容器の排気用	従来	ロータリポンプ			(1) 油分の逆流がない。 (2) 圧力を下げることによっ て、いっそうのクリーン化
スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」				
一 般	従来	ロータリポンプ		メカニカルブースタ	(1) 油分の逆流がない。 (2) 1台で 10^{-2} Pa(10^{-5} Torr) の真空状態を実現でき、 コンパクト化が図れる。
		ルーツ式ドライポンプ		メカニカルブースタ	
		スクリー式ドライポンプ		メカニカルブースタ	
	スカイトール	日立ターボ形「スカイトール」			

注：略語説明 CVD (Chemical Vapor Deposition)

置と一括してJISラックに収納することができる。万一スカイトールに異常が発生した場合には、その原因が容易に判定できるように故障内容を個別に表示できるようにしてある。

4 用 途

スカイトールの仕様を表1に示す。スカイトールは排気速度で1,500 l/min、6,000 l/minおよび9,000 l/minの3機種があり、それぞれ形式をTVP-10NA、TVP-60NA、TVP-100NAと呼んでいる。TVP-10NAは、ターボ分子ポンプの粗引き用ポンプとして主に使用する。TVP-60NAとTVP-100NAは、メカニカルブースタポンプ+油回転ポンプをこれら1台で置き換える場合に使用する。TVP-60NAは主にエッチング装置で、TVP-100NAは主にCVD装置で使用されている。

また、スカイトールは、先の図6の外形寸法図にあるようにGタイプ、SタイプおよびFタイプの3タイプがある。Gタイプは、装置筐(きょう)体の中へ組み込んで使う場合に多く、外観や騒音をあまり問題としない場合に使われる。Sタイプは、既設の油回転ポンプのドライポンプ化や設置スペースが狭い場合など、省スペース化が重視されるケースに使われる。またFタイプは、新規に導入する装置や設備など、ポンプ本体とインバータ盤が一体になっていて取り扱いやすさを重視した場合によく使われる。

スカイトールを用いた真空排気系の構成例を表2に示す。各種半導体製造装置に実績があり、各用途でドライ真空ポン

プであるので油分の逆流がなく、しかもドライ真空ポンプの中でも到達圧力が 10^{-2} Paと優れているなど、スカイトールにしたときのメリットを発揮している。

5 おわりに

中・低真空域排気用の真空ポンプは、従来、容積形のものしかなく、その排気原理からではおのずと性能面で限界があった。本稿ではスカイトールが1軸の縦形多段、オールターボ形とした新しいコンセプトのもとに開発したドライポンプであり、排気原理が従来と異なることによる特長や用途について述べた。

ドライ真空ポンプの歴史は浅く、ここ1、2年で半導体業界を中心に急速に使われ始め、その用途も拡大している。微細プロセス技術にとって真空は必要不可欠な要素であり、質の高い真空を提供するという点で、今後ともドライターボ真空ポンプ「スカイトール」の果たす役割は大きくなっていくものと思われる。

参考文献

1) 真瀬，外：ターボ形ドライポンプ，真空，第33巻，第7号，627～630(1990-7)
2) 長岡，外：オイルフリーターボ真空ポンプの開発，日立地方講演会講演論文集(共催 日本機械学会・精密工学会)，184～186(1988-9)