

## 1. 地球温暖化への挑戦

気候変動の脅威が増大し、地球温暖化はもはや後戻りできないように思われることがあります。それでも、私たちには未来を守るためにできることが残されています。地球の未来を少しでも持続可能にし、次世代に受け継ぐため、環境負荷を劇的に減らす新技術が求められています。その一つの答えが、**ナノポンプ®技術**です。

**ナノポンプ®**は、驚異的に少量の潤滑油を正確に供給することができ、潤滑油の消費を大幅に削減する力を持っています。この技術が広く採用されることで、地球温暖化防止に向けた重要な一歩を踏み出せるでしょう。その理由は次の通りです。

### 1). 潤滑油の大幅削減

潤滑油の使用量が現在の100分の1以下に減れば、その製造・輸送・廃棄にかかる全ての過程で環境への負荷が劇的に軽減されます。特に、石油を原料とする潤滑油の製造過程では、大量のエネルギーが消費されているため、この削減は温室効果ガスの排出量を直接的に減少させます。

### 2). エネルギー効率の向上

**nl(ナノリットル)潤滑技術**は摩擦と摩耗を大幅に低減し、機械のエネルギー効率を向上させます。これにより、機械運転に必要なエネルギーが削減され、結果として二酸化炭素の排出も抑えられます。産業機械や車両への適用によって、世界中でのエネルギー消費が減少し、その影響は計り知れません。

### 3). メンテナンスと廃棄物の削減

より効果的な潤滑により、機械の寿命が延び、メンテナンスの頻度が減少します。これにより、修理や部品交換にかかる資源とエネルギーが削減されるとともに、廃棄物の発生も抑えられます。特に廃潤滑油の処理や廃棄は環境に悪影響を与えるため、その削減は重要な課題です。

### 4). 工場環境の改善

工場内での潤滑油の大量使用は、油ミストや排水汚染の原因となります。**nl(ナノリットル)潤滑技術**により油使用量が大幅に減ることで、工場の空気や水質汚染が抑えられ、作業環境の向上と従業員の健康リスクの軽減が期待されます。また、油回収設備やミストコレクターの使用が減るため、さらなるエネルギー削減にもつながります。

### 5). 持続可能な資源利用

限りある石油資源を保護することは、未来の世代に対する私たちの責任です。**ナノポンプ®技術**による潤滑油の使用量削減は、持続可能な資源利用の一環として、長期的に地球規模での資源枯渇のリスクを軽減します。

**nl(ナノリットル)潤滑技術**の普及は、直接的な潤滑油消費の削減にとどまらず、エネルギー効率の向上や廃棄物削減など、地球温暖化防止に向けた幅広い効果が期待されます。私たちがこの技術を推進することで、産業全体のカーボンフットプリントを大幅に削減する未来を描くことができるのです。

次に、**nl(ナノリットル)潤滑技術**が転がり軸受にどのように適用されるか、具体的な例をご紹介します。

## 2. 転がり軸受の潤滑油量削減による低トルク化への挑戦

- 1).長年にわたって転がり軸受の開発に携わる中で、わずかな回転損失の削減が産業全体に大きなメリットをもたらすことに気がきました。その気が、私たちを低トルク化という難題への挑戦へと駆り立てたのです。
- 2).軸受の回転トルクを詳細に分析した結果、回転損失を抑えるためには、内部の**転がり摩擦**と**滑り摩擦**を削減することが不可欠であることが明らかになりました。しかし、それを実現するには、単なる技術的改善にとどまらず、高品質を維持しつつも新たなアプローチを模索する必要がありました。
- 3).その結果、現在の潤滑油供給量が実際には過剰であり、適切なバランスを見出すことで、摩擦を最小限に抑えながら、潤滑不足や焼き付きのリスクを避けつつ、大幅な油量削減が可能であるという新たな可能性を発見しました。
- 4).この挑戦は、特に油量削減に先進的に取り組んでいる工作機械主軸スピンドルの軸受において、さらなる革新をもたらしました。私たちは、製品性能をさらに向上させるために、限界に挑む決意で油量削減に果敢に取り組んでいます。

## 3. ナノポンプ®の技術革新

- 1).産業用ポンプは一般的にリットル (L) やミリリットル (ml) 単位での吐出が主流です。さらに少量のポンプはマイクロリットル ( $\mu$ l) やピコリットル (pl) 単位のものがあり、特にインクジェットプリンターで使われていますが、ナノリットル (nl) 単位の吐出に対応するポンプはほとんど存在しませんでした。このギャップを埋めるため、私たちは**ナノポンプ®**を開発しました。
- 2).転がり軸受の潤滑油量を削減する際の判断基準は 2 つあります。①潤滑油を供給した際に回転の乱れや攪拌抵抗が発生しない最低限の油量を供給すること、②軸受内部の滑り摩擦部が破損しないような潤滑量を保つことです。ピコリットル単位ではこのバランスを保つことが難しく、ナノリットル単位が最適とされ、独自の**ナノポンプ®**がその課題を解決しました。
- 3).**ナノポンプ®**は、10nl から 90nl という非常に少量の液体を正確かつタイムリーに吐出できる、画期的な技術です。この技術により、従来の潤滑システムで頻繁に発生していた潤滑油の過剰供給を防ぎ、油量の削減を実現します。これにより、効率的かつ環境に優しい潤滑が可能となり、持続可能な工業プロセスに大きく貢献します。
- 4).図 1 は、**ナノポンプ®**の外観を示しています。このポンプは非常に小型で、指先に乗るほどのサイズでありながら、数十ナノリットル単位の精密な液体供給が可能です。これにより、**ナノポンプ®**は必要な時に必要な量だけを供給する「ジャストインタイム」ポンプとして機能し、SDGs に貢献する小型ながらパワフルな技術です。

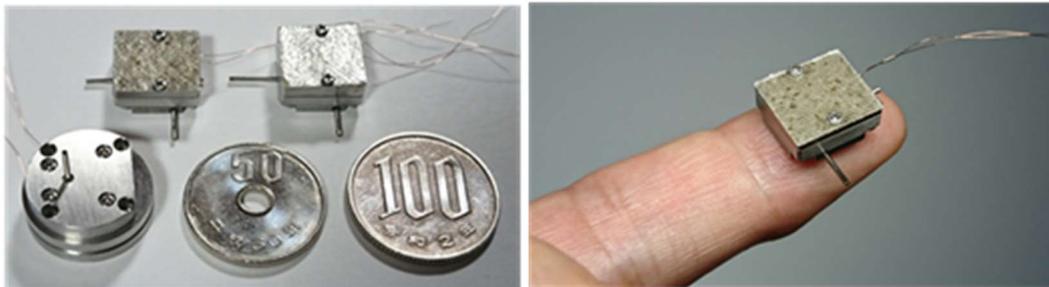


図 1 ナノポンプ®

5).表 1 には**ナノポンプ®**の主な特徴を示しています。このポンプは独立した極少油量の吐出が可能で、吐出間隔を調整することで供給量を自在にコントロールできます。ただし、ポンプ内部は極めて小さな油路で構成されているため、油に浮遊する微小な異物や気泡が入ると油路をふさぎ、吐出が停止する可能性があります。使用時にはこの点に十分な注意が必要です。

表 1 **ナノポンプ®**の主な特徴

特徴	1. 極小サイズで、供給箇所に容易に設置可能
	2. 目的箇所にノズル直接供給
	3. 1 回吐出量は、およそ 10nl から 90nl
	4. 1 回独立吐出
	5. 必要量は、吐出間隔で設定
	6. 電気代は、連続 1 年使用で、約 0.1 円以下
弱点	1. ろ過した清浄な液体しか吐出不可
	2. エア噛みすると吐出不可

6).**ナノポンプ®**を供給箇所の近くに設置できない場合、図 2 の**ナノポンプ®ユニット**を用いることで、フレキシブルなチューブを使って遠隔から潤滑油を供給することが可能です。実際には、このユニットを用いた方が設計の自由度が高く、機械に対する潤滑設計が容易になるため、今後の主流となる可能性があります。



図 2 **ナノポンプ®**ユニット

#### 4. 転がり軸受の潤滑方法の進化

1).転がり軸受に使用される各種の油潤滑方法について、表2にまとめました。この中でも特に注目すべきは、少量の潤滑油で高速軸受を潤滑する「オイルエア潤滑」です。工作機械の主軸スピンドルでよく使われるこの潤滑法には課題があり、その解決策をここで紹介します。

表 2 油潤滑方法の種類と内容 (No.1 から 7 が現行潤滑方法, No.8 が **nl(ナノリットル)潤滑方法**)

	名称	内容	適用	油量	適用例	備考
1	油浴潤滑	軸受を油に浸し運転する方法で最も簡単	低中速	多	変速機,ギヤボックス,攪拌機,一般産業機械	構造簡単 低コスト, 高速不向き
2	滴下給油	給油器を用いた滴下潤滑	高速・中荷重	中	コンプレッサー,ファン,ブロー	簡単で経済的 油量調整が難
3	飛沫給油	油のはねかけ給油	中速・中荷重	多	内燃機関,ギヤボックス	構造簡単 高速不向き
4	強制循環	ポンプにより強制的に給油	高速・高荷重	多	タービン,発電機,コンプレッサー	付帯設備が複雑
5	ジェット給油	ノズルから一定圧の油を噴射させて給油	高速・高温	多	ガスタービン,航空機エンジン	設備が高価
6	オイルミスト潤滑	オイルミスト発生装置で霧状の油を給油	高速	少	ホイラー,ガス圧縮機,特定の高速スピンドル	空気供給設備,霧化設備等の導入コスト高
7	オイルエア潤滑	油滴を狭い管の内壁に沿って運び給油	高速	少	工作機械スピンドル,半導体製造装置	構造複雑で制御難
8	<b>nl(ナノリットル)潤滑</b>	<b>細管ノズルで潤滑が必要な個所に給油</b>	<b>中高速</b>	<b>極少</b>	<b>工作機械スピンドルから展開開始</b>	<b>ナノポンプ®ユニットとコントローラーのみ</b>

2).図 3 は、高速回転する軸受の側面に形成される「**空気の壁**」のイメージです。例えば、軸受の内輪が高速で回転すると、周囲の空気を巻き込んで軸受の側面に強力な「**空気の壁**」を作り出します。これは良く知られた現象で、この空気の壁が潤滑剤の軸受内部への到達を妨げる大きな原因となっています。

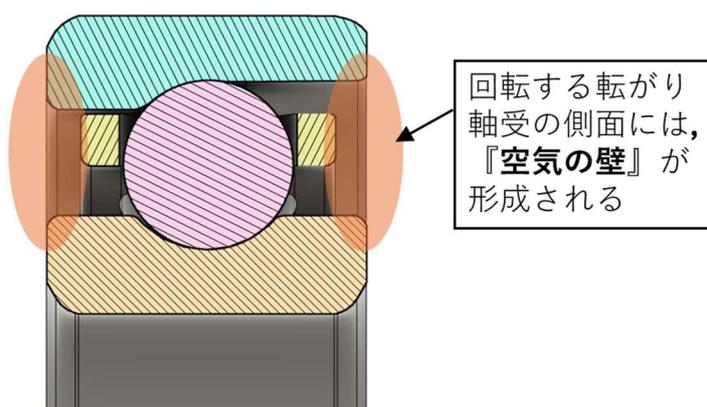


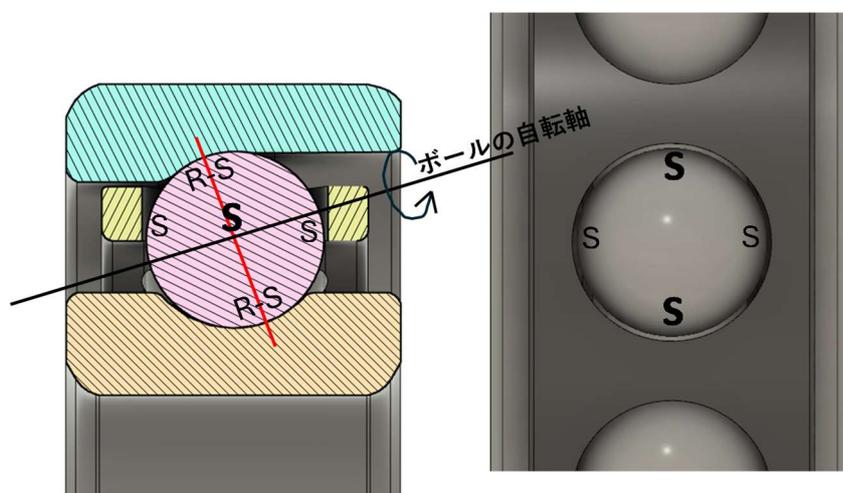
図 3 高速回転軸受の側面に形成される『**空気の壁**』

- 3).現在、この「**空気の壁**」に対する最適な対策はまだ確立されていません。一般的には、潤滑油を運ぶための空気の圧力や流量を増やす方法や、潤滑油そのものの量を増やして、無理に軸受内部へ到達させる方法が採られています。
- 4).しかし、これらの対策には大きな欠点があります。オイルエア潤滑の効率が悪化し、過剰に供給された油が空気の壁に吹き飛ばされてミストとなり、飛散してしまうのです。この結果、90%以上の油が潤滑に使われずに無駄に排出されることも珍しくありません。

5).この「空気の壁」という根本的な問題を解決するために、私たちは**ナノポンプ®**を提案します。**ナノポンプ®**は、必要な最小量の潤滑油を正確に供給できるため、無駄なく効率的に軸受を潤滑できる革新的な技術です。

## 5. 摩擦の本質とナノポンプ®の適用

- 1). 工作機械主軸スピンドルで広く利用されているアンギュラ玉軸受の内部には、「**転がり摩擦**」と「**滑り摩擦**」という 2 種類の摩擦が存在します。この摩擦が、軸受の効率と寿命に大きな影響を与えています。そして、この 2 つの摩擦を低減するために、**ナノポンプ®技術**がどのように役立つかを説明します。
- 2). 図 4 では、軸受内部で摩擦が発生する主な箇所を示しています。R は「Rolling contact」(転がり摩擦)、S は「Sliding contact」(滑り摩擦)を指しています。**転がり摩擦**は、軸受のボールやローラーが転がる際に発生し、**摩擦係数が低い(0.001~0.005)**という特徴があります。一方、**滑り摩擦**は、保持器や内外輪との間で発生し、**摩擦係数が高く(0.1~1 以上)**、特に高速回転時に軸受の故障の原因となることがよくあります。
- 3). 図 4 の赤線は、ボールが内外輪の軌道と接触して転がっている箇所を示し、黒線はボールの自転軸です。ボールは、自転しながら軌道上を公転しています。自転軸に近い部分では、ボールと保持器の接触は弱い滑り接触になりますが、保持器窓部では強い滑り接触が発生します。これが摩擦を引き起こし、軸受のパフォーマンスに悪影響を与えます。
- 4). 滑り接触の中でも特に摩擦が大きいのが、保持器のボールガイド部です。図 5 に示すように、潤滑状態が悪化すると保持器に過剰な応力がかかり、青色で示した楕円形の摩耗が発生します。この摩耗が進むと保持器が破損し、軸受全体の故障に至ることがあります。



R-S : 転がり-滑り接触  
S : 滑り接触  
S : 強い滑り接触

図 4 軸受内部の摩擦発生箇所

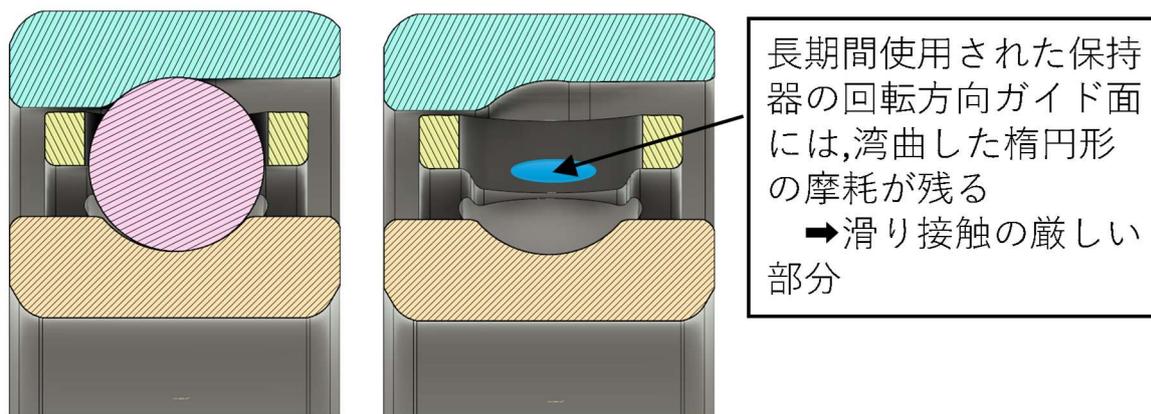


図 5 滑り摩擦が大きい保持器のボールガイド部

- 5). ここで、**ナノポンプ®**を活用した解決策を説明します。図 6 に示すように、**ナノポンプ®**のノズルは、軸受の側面に形成される『**空気の壁**』を突破し、ボールの自転軸近くまで接近させます。ノズル先端はボールに接触しないギリギリの位置に設置するため、潤滑油は『**空気の壁**』の影響を受けずに、直接ボールに転移します。
- 6). この潤滑油は、ボールの自転と公転によってボール表面全体に広がり、保持器や軌道面に展開されます（図中オレンジ色で示す）。これにより、摩擦が発生しやすい部分にも十分な潤滑が行き渡り、摩擦の低減が実現されます。
- 7). **ナノポンプ®**のノズルから供給される潤滑油は、周速が最も低く、遠心力が小さい部分で供給されるため、潤滑油の約半分が効率よく潤滑に使用されます。この技術によって、転がり摩擦と滑り摩擦の両方を効率的に低減し、軸受のパフォーマンスを最大限に引き出すことが可能です。

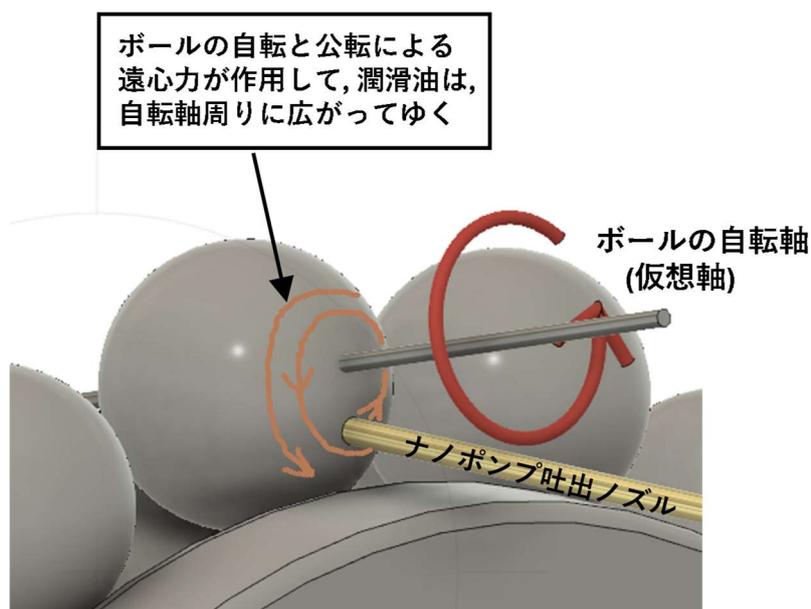


図 6 ナノポンプ®による nl(ナノリットル)潤滑の仕組み

## 6. ナノポンプ®の潤滑効果

- 1). 実際の高速回転スピンドルに**ナノポンプ®**を適用した実験結果をご紹介します。この実験では、極少量の潤滑油で軸受を潤滑することに成功しました。従来の潤滑システムに比べて、大幅に性能を向上させ、無駄を省くことができる画期的な結果です。
- 2). 表 3 に示す通り、**nl(ナノリットル)潤滑**試験の結果は非常に優れたものです。試験 No.1 では、1 回 50nl を 30 秒間隔で吐出した結果、1 時間あたりわずか 0.006ml の潤滑油でスピンドルの潤滑が可能となりました。また、最も吐出量を絞った試験 No.4 では、1 回 20nl を 120 秒間隔で吐出し、1 時間あたりの使用量はたった 0.0006ml です。
- 3). これに対し、現在広く使用されているオイルエア潤滑システムでは、カタログに記載されている 1 時間あたりの吐出量は 5ml から 30ml が一般的です。1 時間あたり 1ml 以下の潤滑量を実現するにはメーカーと特別に相談する必要があることが多い現状です。仮に、オイルエア潤滑システムの最低限の吐出量を 0.1ml/h と設定した場合でも、**ナノポンプ®**は 1/17 から 1/167 の潤滑油量で同様の効果を得られるという驚異的な効率を示しています。

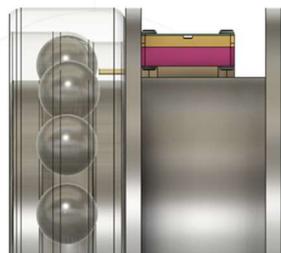
表 3 **nl(ナノリットル)潤滑**の高速回転試験結果例

No	1 回吐出量 nl	吐出周期 s	1hr 吐出量 ml (0.1ml/hr との比)	1 年吐出量 ml	フロント軸受	リヤ軸受	回転数 rpm
1	50	30	0.006 (1/17)	52.56	7008	7006	20,000
2	50	40	0.0045 (1/22)	39.42	7008	7006	20,000
3	45	120	0.00135 (1/74)	11.826	7008	7008	40,000
4	20	120	0.0006 (1/167)	5.256	7008	7008	40,000

- 4). 以上の結果から、**ナノポンプ®**による**nl(ナノリットル)潤滑**は、従来のオイルエア潤滑の課題であった「**空気の壁**」を克服しながら、潤滑油の使用量を大幅に削減できることが実証されました。この技術革新により、従来の潤滑方法に比べてコスト削減や環境負荷の軽減が可能となり、持続可能な未来への道が開かれることが期待されます。

## 7. その他への応用拡大の可能性

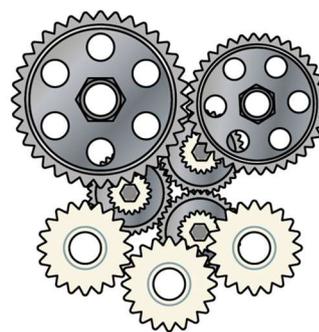
- 1). **ナノポンプ®**の技術をグリース潤滑に応用することで、以下のような大きなメリットが期待できます。①低トルク化、②低騒音化、③温度上昇の抑制、④高速化など、多くの面で性能向上を実現できる可能性があります。
- 2). この**ナノポンプ®技術**は、工作機械の主軸スピンドルだけでなく、他の軸受や多様な機械装置にも適用可能です。特に、回転機器や滑り摩擦が問題となるシステムに応用することで、さらなるエネルギー効率の改善や持続可能性の向上が期待されます。**ナノポンプ®**は、あらゆる回転機械における潤滑課題を解決する革新的な技術として、今後ますます重要な役割を担うでしょう。



転がり軸受



クロスローラー軸受



ギヤ

図 7 ナノポンプ®の適用可能性

以上