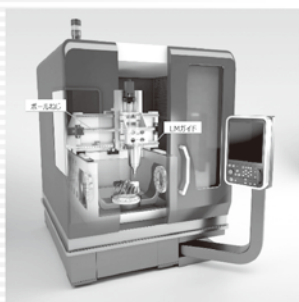


工作機械における 直動システムの最新動向



太田 智博

Tomohiro OTA

THK(株) 産業機器統括本部

技術本部 応用技術統括部 GE部 DS課

1. はじめに

工作機械の重要なニーズとして、高精度・高能率加工が挙げられ、5軸(多軸)化などによる複合加工機(題字横写真)の開発が進んでいる。

一方、中国や新興国の工作機械市場の拡大に伴い、高精度なハイエンド機種だけでなく、小型・エコノミー機種、ローエンド機種などの幅広いグレードの装置開発が進み、工作機械のニーズは多様化している。

当社では、これらの様々なニーズに対応した直動システムの開発を進めている。

2. 工作機械のトレンド

注目すべきトレンドについて、3例を紹介する。

一つ目は、自動化・高効率化・コンパクト化である。生産効率を追求する自動車部品製造では、ワークの工程間搬送を短縮するため、小型の工作機械を横一列

【著者問合せ先】

〒108-8506 東京都港区芝浦2-12-10

Tel.03-5730-3865 Fax.03-5730-3918

E-mail tom.ota@thk.co.jp

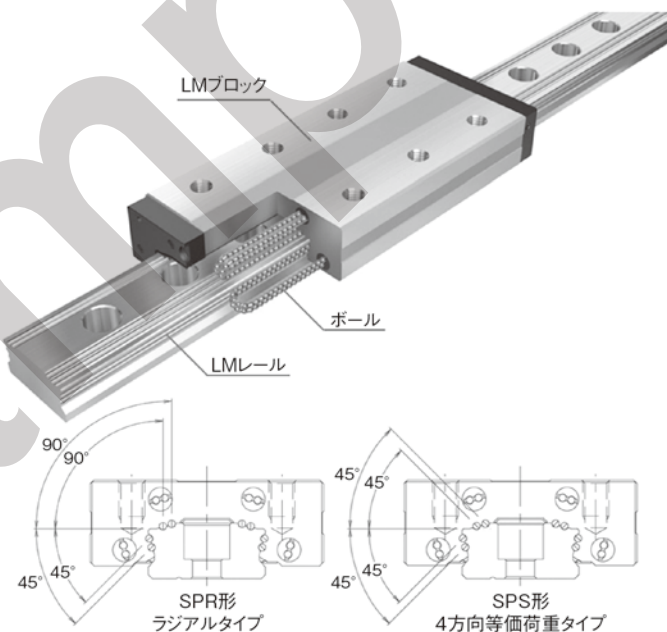


図1 8条ガイド構造

に並べ、製造ラインを構築する。その場合、部品製造メーカーが機械サイズや仕様を指定し、工作機械メーカーがニーズに合わせた装置を開発する。また、工作機械へのワーク投入、排出、搬送の高速化や人手不足を補うため、ロボット化が拡大している。

二つ目は、要素部品の統一化である。工作機械市場の拡大に伴い、工作機械

メーカーは、使用する要素部品を統一化することで品種を低減し、入手性や在庫管理などの効率化を進めている。

三つ目は、IoTやAIによるスマートファクトリー化である。工作機械の状態、加工ワークの状態を見える化し、機械停止時間を短縮することで、高効率で安定した製品の製造が可能となる。また、ビッグデータや工作機械の各種センサー

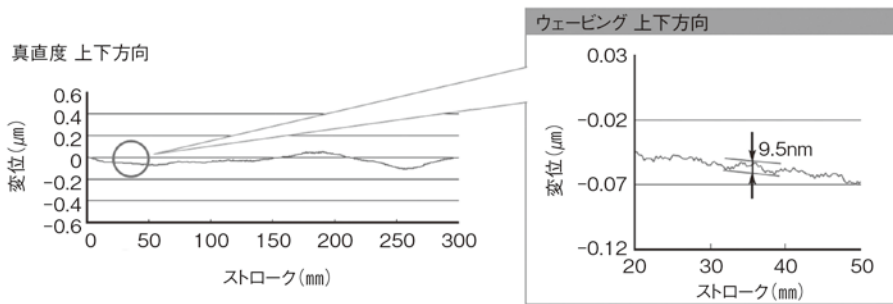


図2 ウェービング(上下方向)精度測定結果

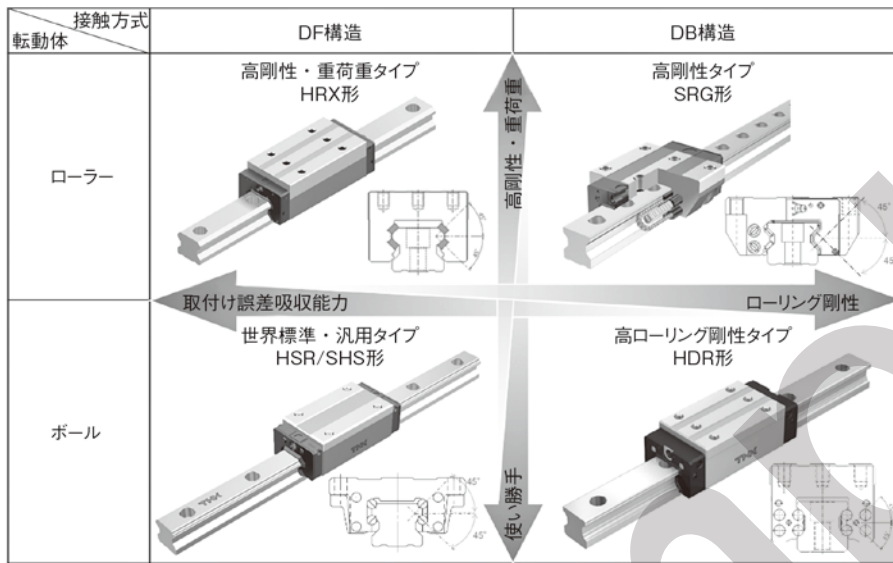


図3 直動転がり案内の種類と構造

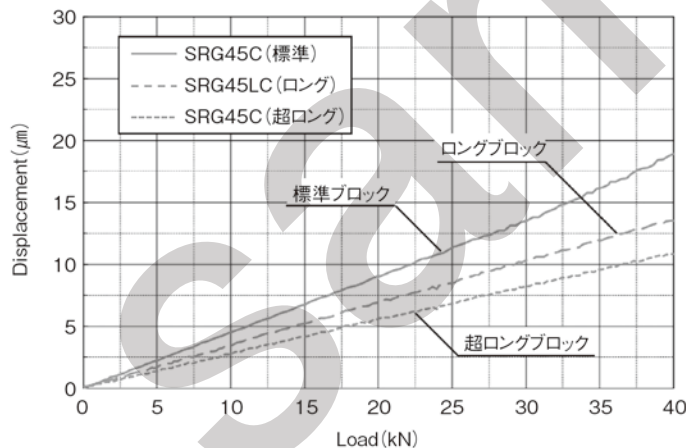


図4 SRG45形ラジアル剛性線図

からのデータをAIで処理し、最適条件下で加工することで、不良品の削減、高効率化を実現できる。

本稿では、工作機械のトレンドに向けて開発した直動転がり案内(LM(Linear Motion)ガイド)、ボールねじ、および新しいサービスについて紹介する。

3. 装置の高剛性、コンパクト化、多様化に貢献する直動転がり案内

工作機械用の直動転がり案内は、以下の性能が求められる。

- 高精度加工を実現する直線運動性
- 切削反力による変位やびびりを抑制する

る高剛性

- 高い定格荷重による長寿命性
- 組付けの容易性、コンパクト性
- 厳しい環境下におけるロバスト性
- 部品の入手性、互換性

これらを実現した直動転がり案内について解説する。

3-1 低ウェービング・高剛性を実現する8条ガイド

前述の要求性能を満足するため、ボール転動溝を8条列とし、小径ボールとロングブロックを採用した直動転がり案内(SPR/SPS形、図1)を開発した。

有効ボール数が増え、ボール循環による微小な姿勢変化(ウェービング)の抑制(図2)と各ボールへの負荷荷重の低減により、高剛性を実現した。

転がり案内でありながら静圧案内に匹敵する性能を有しており、金型加工機や超精密加工機などの工作機械の最高上位機種に採用されている。

3-2 進化するローラーガイド

ローラーガイドは、転動体にローラー(ころ)を採用した直動転がり案内であり、ニーズに合わせて後述の製品を開発した。

高剛性・超ロングブロックタイプの開発

高剛性タイプの直動転がり案内(SRG形、図3右上)のラインナップに超ロングブロックを追加した。ブロック長を伸ばし、定格荷重増加・高剛性を実現した(図4)。超ロングブロックを使用することで、現行形番からのサイズダウンができ、同等の性能を保ちつつも、装置のコンパクト化が可能となる。

DF(正面組合せ)構造を採用した高剛性・重荷重タイプの開発

新興国での市場拡大による工作機械の多様化に対応するため、ローラーガイド(HRX形、図3左上)を開発した。転動体にローラーを採用し、高剛性、重荷重を実現した。一方で、接触方式をDF(正面組合せ)構造とし、取付け誤差吸収能力を高めて、使いやすさを兼ね備えた直動転がり案内とした。

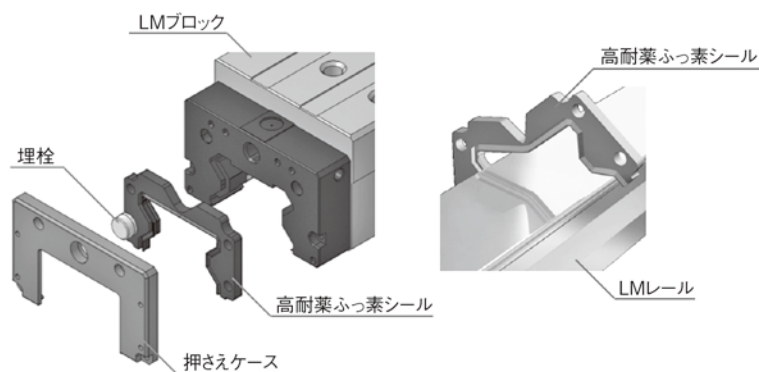


図5 高耐薬ふっ素シール構造

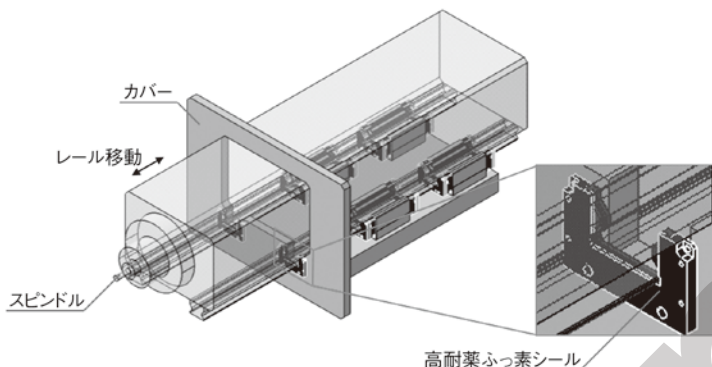


図6 高耐薬ふっ素シール使用例

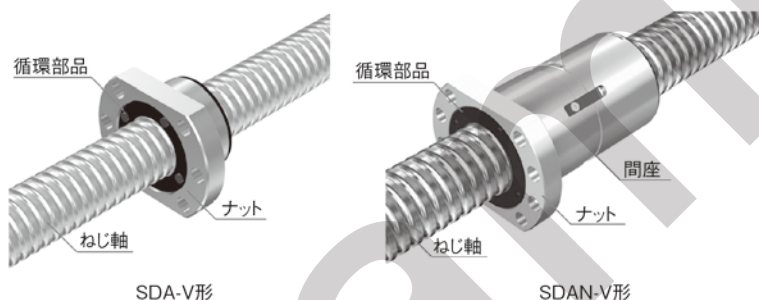


図7 高速コンパクトボールねじ

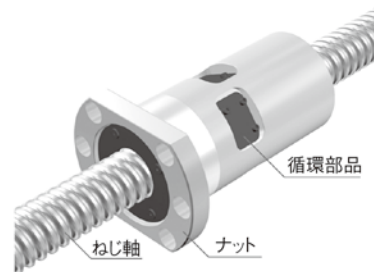


図8 工作機械用高速ボールねじ (BSM形)

省スペース化により、多軸平行使用から1軸使用を採用する場合がある。DB構造を採用し、Mc(ローリング)モーメント方向の高い負荷能力および高い剛性を有する、1軸使用に適した高ローリング剛性タイプ(HDR形、図3右下)を開発した。

Mcモーメント荷重に対するブロック上面の変位角は、DF構造と比較すると約50%低減される。また、レール上面ではなく側面に転動面を設けることで、加工粉などの異物が堆積しても、影響を受けにくい構造としている。

3-4 入手性と在庫管理の効率化

産業の急激な発展により、部品入手性や在庫管理が喫緊の課題となっている。当社は、グローバルな生産体制と部品供給を目指し、工作機械メーカーの在庫部品点数削減に対応するため、ブロック/レールの個別での販売が可能な互換性製品をラインナップしている。同サイズのブロックやレールを相互に組み合わせることができ、仕様違いの装置においても部品の共通化が可能となる。また、設計変更によるブロックの追加や変更の対応、交換用ストックの削減も見込める。

4. 装置の高速化、コンパクト化に貢献するボールねじ

工作機械や工程間搬送装置のさらなる生産性向上や高タクト化に伴い、ボールねじのより一層の高速化が求められている。これに対応するため、高速・高剛性でコンパクトなボールねじ(SDA-V形SDAN-V形、BSM形)を開発した。

ボールリテーナー入り高速コンパクトボールねじ(SDA-V形、図7左)は、ボールを接線方向へすくい上げる循環構造の

防塵オプションの充実化でロバスト性を向上

新たな加工分野において、加工効率の向上、難削材の加工を実現するため、高圧クーラントの使用やドライ加工を行う場合がある。このような環境は、直動システムに対して非常に苛酷で、耐久性が低下するケースがある。当社では、苛酷環境に向けて様々な防塵オプションの選択を可能とし、高いロバスト性を実現している。

プロテクターは、循環部品やシール全体を金属で覆う構造を採用し、各種部品間からのクーラント・異物の浸入を低減できる。

高剛性タイプの直動転がり案内(SRG形)では、従来のエンドシールより耐クーラント性を向上させた高耐薬ふっ素シール(図5)の選択が可能である。レール上面より取付けが可能のため、組付け後にシール装着ができる。また、装置側にシールを取り付けること(図6)により、高い防塵効果を持たせることができる。

3-3 DB(背面組合せ)構造を採用した高ローリング剛性タイプ

直動転がり案内は、多軸平行使用が一般的である。多軸間の取付け誤差を吸収し、スムーズな動きを得るために、多くの直動転がり案内はDF(正面組合せ)構造を採用している(図3左下)。

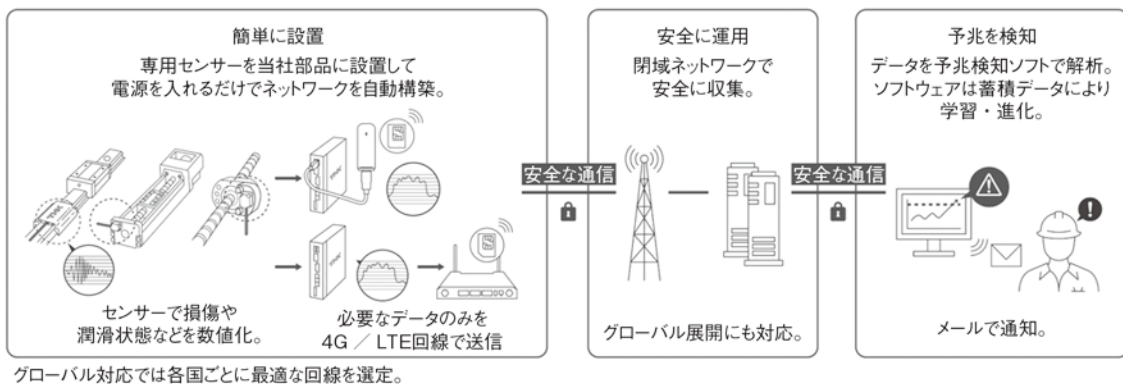


図9 OMNIedgeシステム構造図

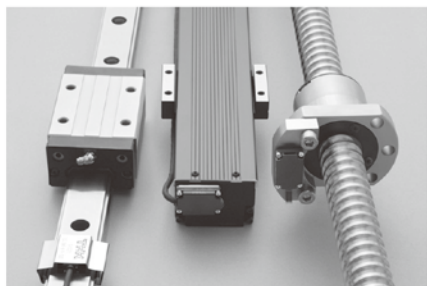


図10 予兆検知サービスに特典を追加

採用により、ボール循環部品への負担を小さくすることで、DN値は従来比で約1.2倍の向上を実現した。また、ナット形状をDIN規格に準拠したコンパクト設計で、軸径φ10～50mm、リード4～50mmの全62のラインナップを揃え、工作機械だけでなく産業機械にも採用されている。

ボールリテーナー入り高速コンパクトボールねじ(SDAN-V形、図7右)は、2個のSDA-V形のナット間に間座を挟んで予圧を与えており、ダブルナットの採用により軸方向剛性の向上を実現した。

工作機械用高速ボールねじ(BSM形、図8)は、新循環方式によりフルボールタイプでDN値170000(従来比1.3倍)を実現し、高速送りへの対応を可能とした。また、転動溝の最適設計と2条溝構造により高負荷能力と高剛性を実現した。循環構造を工夫してナット外形をスリム化しており、装置駆動部の高剛性化と省スペース化に貢献する。

5. IoT技術を活用したサービス

IoTやAIの活用によるスマートファクトリー化の取組みが世界規模で活発になっている。各工場の加工機をネット

ワークに接続し、製品の品質や生産状況、加工機の稼働や状態をリアルタイムで監視できるようになり、生産性向上や、トラブルの早期発見と解決に期待が寄せられている。

一方、装置アラームによる状態監視のため、故障部分の診断には熟練者の勘やスキルに頼る傾向があり、装置復旧に時間を要してしまう。当社では、機械要素部品の状態診断・予兆検知を目的とした製造業向けIoTサービス(OMNIedge)を2020年度から提供している。

予兆検知サービス

同予兆検知サービスは、機械要素部品(直動転がり案内、ボールねじ、アクチュエーター)をセンシングし、異常を「見える化」して、知らせるシステムである。

データ収集用センサーは、すでに稼働中の機械要素部品に取付け可能であり、独自のアルゴリズムによって収集したデータを解析し、部品の損傷・潤滑状態を数値化、可視化できる。人手によらず定量的に要素部品の状態を把握し、適切なタイミングで保全を実施可能となり、突然機械が停止するリスクを低減する(図9)。

一方で、要素部品が破損した際の代替用製品の入手性や、万一、予兆検知機能が働かず要素部品が破損した場合の交換・修理費用に対する不安がある。これらの課題に対し、新たなサービスとして「製造ゼロ待ちチケット」と「IoTリスク補償」の提供を開始した(図10)。

製造ゼロ待ちチケットは、センサーを取り付けた機械要素部品の不調・異変に

より交換が必要となった際、優先的に待機時間を置かず、当社工場に交換部品の製造を手配できるもので、納期の心配をせずに代替用製品が手配可能となる。

IoTリスク補償は、予兆検知機能が働かず、センサーを取り付けた要素部品が破損した場合にかぎり、機械要素部品の価格と交換にかかる作業費を補償する。

当社は、これらのサービス拡充により、機械要素部品の状態基準保全の普及促進に努め、製造現場における持続的な生産性向上の実現を目指している。

6. おわりに

工作機械の注目すべき技術トレンドと、貢献しうる直動システム製品技術、サービスについて述べた。

当社では、要素部品の継続課題である高荷重、高剛性、高精度、コンパクト、悪環境における高ロバスト性などの製品(ハード)面の開発と、IoTやOMNIedgeサービスなどのアプリケーション(ソフト)面の開発を進めている。機械要素部品に様々なサービスを付加し、価値の高い製品を提供することで、今後の豊かな社会づくりに一層貢献してまいりたい。

金属加工装置から発生する オイルミストの対策と効果



福森 幹太
Kanta FUKUMORI

三機工業(株) R&Dセンター 建築設備開発部

1. はじめに

自動車部品や電子部品などの金属加工工場では、加工精度の維持や工作治具と加工部位の冷却を目的として切削油(クーラント、洗浄剤)が使用され、物理的な接触やせん断による液滴化、摩擦熱による蒸発によって霧状の油滴、オイルミストが発生する。発生したオイルミストは周囲環境(温度、湿度、気流)によって凝縮と再蒸発を繰り返しながら、粒子径を変化させて生産現場の環境に滞留する。これらのオイルミストは作業環境の不良や不安全、動力盤などの汚濁、作業従事者に健康影響を与え、空調設備をフル稼働させても十分な改善効果が得られにくい。本誌2020年10月号では、実際の生産現場に滞留するオイルミストはナノサイズのもが多く換気による軽減が難しいこと、対策として多く利用される集塵機の捕集機構の違いによる除去特性を示した。

本稿は、昨年に引き続き調査、検討、検証したものである。生産現場におけるオイルミスト対策は、①オイルミストの発生源を抑えること、②日常的な計測と管理の2点が重要と考える。発生源を封じ込めることができれば、換気や空調で

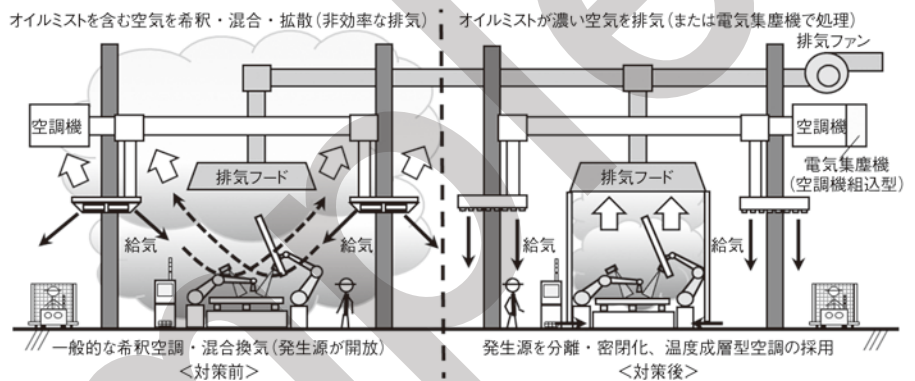


図1 オイルミスト対策の事例

表1 計測機器

測定項目	名称(型番)	性能
個数濃度 (パーティクルカウンター)	光散乱式粒子計数機 (Palas 社製 welas digital 2000)	粒子径0.2~40μm (200~4000nm)
	電気移動度式粒子計数機 (TSI 社製 EEPS Model 3090)	粒子径5.6~560nm
質量濃度	ピエゾバランス式粉じん計 (Kanomax 社製 Model 3521)	濃度0.01~5mg/m ³

処理する必要が少なくなる。また、濃度管理を日常的に行うことができれば、作業環境の「見える化」となり生産状況や時間的な変動、季節による傾向などが把握でき、計画的な換気量・排気量を調整することで省エネルギー対応や、空調設備の更新や増強を効果的に行うことができる。しかし、常設型のオイルミスト濃度センサーは一般的ではない。

「ミスト対策が進んだ工場でのオイルミスト計測結果」、既存工場の「加工装置オイルミスト漏洩の対策事例」、日常的なミスト濃度管理「常設型オイルミストセ

ンサーの現場検証」について紹介する。

2. ミスト対策が進んだ工場でのオイルミスト計測結果

オイルミストは工場内に滞留し、照明などの光の散乱によって霧がかかる状況が見られる。対策の一例として、温度成層型空調を採用し、床からFL=2500mm程度を優位に空調し、熱とオイルミストなどの汚染物質を上方に押し上げる方法の検証を行った。作業従事者のいる高さまでを「空調エリア(空調機によりオイルミストを除去し温調された給気)」とし、

【著者問合せ先】

〒242-0007 神奈川県大和市中央林間7-10-1
Tel.046-276-3911 Fax.046-276-5824
E-mail kanta_fukumori@eng.sanki.co.jp

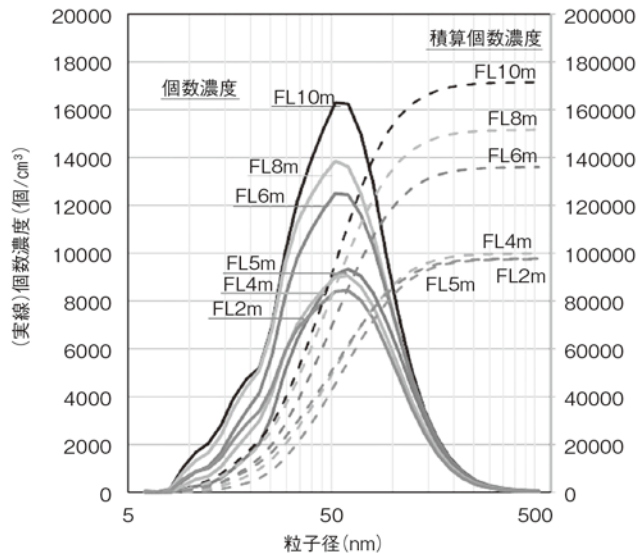


図2 個数濃度(ナノサイズ粒子)

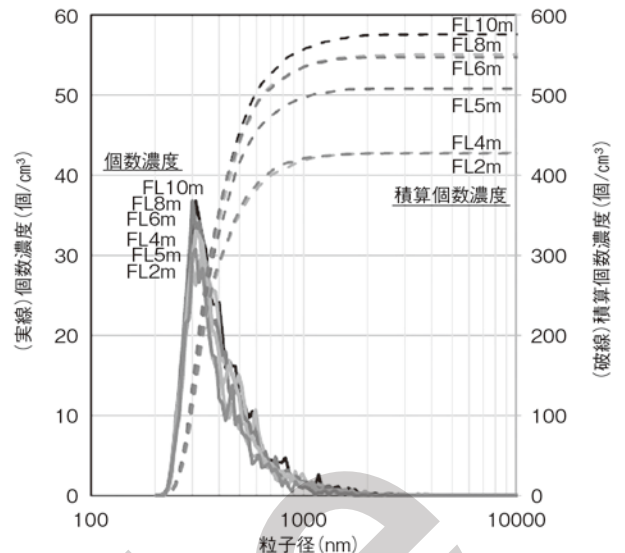


図3 個数濃度(マイクロメートルサイズ粒子)

それよりも上方は「非空調エリア(冷房であれば冷やさない、空調の還気と排気)」とした。温度成層型空調の特徴として、混合・希釈よりも効率良く換気と排気を行うことができ、居住者(ここでは作業従事者)に対して温熱快適性を向上させる狙いがある。空調方法の工夫のほかに、生産設備は密閉化と集塵機の設置を徹底し、対象エリアの空調機には電気集塵機を設置している(図1)。操業中の工場内における高さ方向でのナノサイズとマイクロメートルサイズのオイルミストについて測定した。

今回の測定機器を表1に示す。一般的なパーティクルカウンターと同じ「光散乱方式」による粒子径200nm(0.2 μ m)以上の計測と、粒子径5.6~560nmのナノサイズを計測する「電気移動度式」による計測の2方式で個数濃度(粒子径ごとの個数)を評価した。サンプリングは工場内の代表点で床上高さ2m、4m、5m、6m、8m、10mとした。図2に示すナノサイズの中心粒子径は60nm前後、図3に示すマイクロメートルサイズでは300nm(0.3 μ m)となって、高さ方向での粒子径分布の傾向に違いは見られなかった。ナノサイズでは床上高さ5mまで変化が小さく、6m以上では上方ほど個数濃度が増えた。マイクロメートルサイズは高さ方向での変化が小さく同程度だったが、積算個数濃度では上の方が高い傾向と

なった。

また同時に質量濃度(単位容積当たりの重量)をピエゾバランス式粉じん計を用いて計測した結果、平面分布24地点(FL=1500mm)の平均値は0.07mg/m³、最大値は0.13mg/m³、最小値は0.03mg/m³であった。オイルミスト対策ができていないほかの事例では、質量濃度は0.3~0.9mg/m³が多く、計測場所や時間変動により1mg/m³を超えることもあったが、本案件は数値が示すとおり低濃度でミストによる汚れが少なく、クリーンな作業環境だった。

3. 加工装置のオイルミスト漏洩の対策事例

オイルミストの発生源は、加工装置の排気に含まれるものや開口部と装置のすき間から漏れ出るもの、被加工物が加工装置内から取り出される際に同伴するもの、保管している部品の表面から蒸発するものなどがある。

最新の加工装置では集塵機と一体になったのが見られる。加工装置内で発生したオイルミストを集塵機で除去し、そのクリーンになった空気を開口部の上部からエアカーテン状に給気して、自己完結型のミスト処理、漏洩防止の工夫をしている。「オイルミストの発生源を封じ

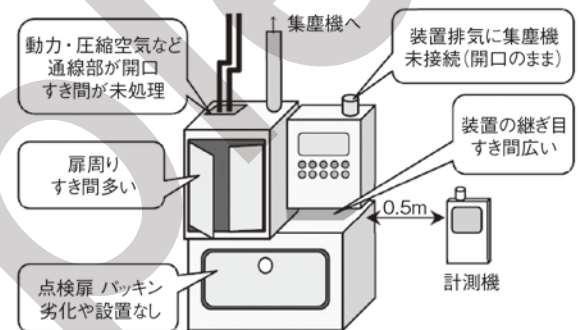


図4 対象機器の課題(例)

込める」ことがメーカーとエンドユーザーの共通認識で、メーカーの技術力と作業環境への配慮が具現化されている。ここでの対策事例は既設の加工装置で、数年または十数年間使用しているものでオイルミストが目に見えるほど漏れ出ているものを対象とした。

加工装置のうち集塵機を設置している場合でも、開口部やすき間が大きく装置の負圧が充分ではないため、オイルミストが漏れ出たり、集塵機の入口濃度が低いため除去効率が上がらないといった問題がある。事例を図4に示す。ここでは、開口部やすき間を可能なかぎり封止し、未接続の排気口に集塵機を接続するなど対策を2段階で実施した。1回目は大きなすき間で漏洩が目視できる部分だけを封止(対策①)、2回目は開口部とすき間をすべて封止し排気口に集塵機を接続(対策②)した。これらの評価のため、装置の近傍0.5mでパーティクルカウン

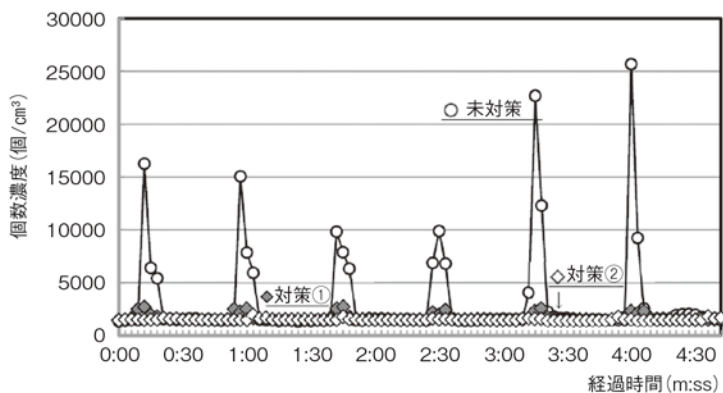


図5 個数濃度 経時変化

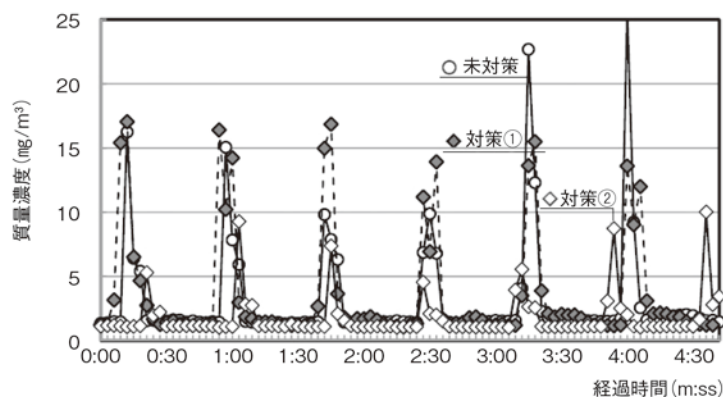


図6 質量濃度 経時変化

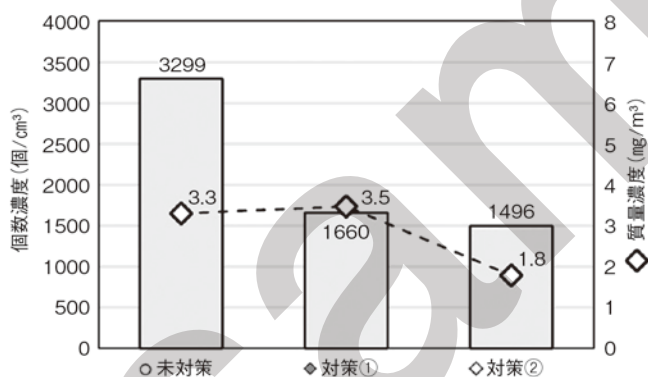


図7 計測結果

ター(表2)を用いて計測した。

当該の加工装置は電子機器で使用される部品を研磨する工程で、1回の加工が40秒サイクルで行われ、周囲には同一の加工装置が数メートル間隔で約100台が設置されている。対策した加工装置で個数濃度と質量濃度を計測した。個数濃度は二つの対策ともに加工タイミングでのピークがなくなった(図5)。次に質量濃度は、加工時のピーク値は対策①での減少量が小さく、対策②では半減が確認された(図6)。5分間(3秒×100回)の平均

値を比較した結果でも、個数濃度が大きく減少するものの、質量濃度は密閉を徹底した対策②で効果が見られた(図7)。これらの結果から、加工装置を密閉化し、集塵機(または排気ファン)を接続して装置を負圧にすることでオイルミストの漏洩を大幅に抑え、作業環境の改善につながることが分かる。

4. 常設型オイルミストセンサーの現場検証

一般に空調設備の制御や環境の常時計

表2 計測機器

測定項目	名称(型番)	性能
質量濃度 個数濃度	光散乱式粒子計数機 (TSI 社製 OPS Model 3330)	粒子径0.3~10 μ m

表3 常設型オイルミストセンサー

測定項目	名称(型番)	性能・仕様
質量濃度	光散乱式粒子計数機 (A社評価機)	濃度0~2.5mg/m ³ =DC4-20mA

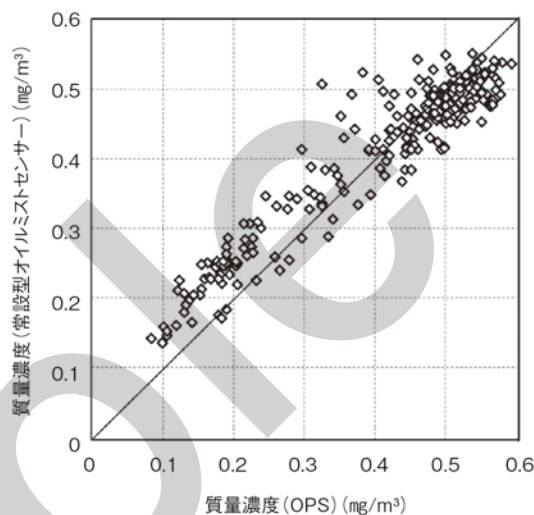


図8 質量濃度の相関性

測に利用でき、廉価でかつ長期的に安定した計測精度を持つオイルミストセンサーはない。半導体製造用のクリーンルームなどで利用される計測機は、生産管理や製造環境の調査や監視が目的である。そこで空気清浄機などに組み込まれる粉塵センサーモジュールを流用し、オイルミスト環境下での計測・監視の用途で、設置工事を考慮した機器構成で常設型オイルミストセンサーの仕様を検討した。

試験に利用したパーティクルカウンター(表2)と常設型オイルミストセンサー(表3)で質量濃度を比較し、同等の計測精度が得られることを確認した(図8)。オイルミストセンサーは光源と受光部があり、ミスト環境下では汚れによる計測精度への影響や短周期でメンテナンスする必要が想定され、さらにセンサー自体の寿命が短いことが懸念される。このセンサーの中長期における精度を確認するため、東北以北にある金属加工工場

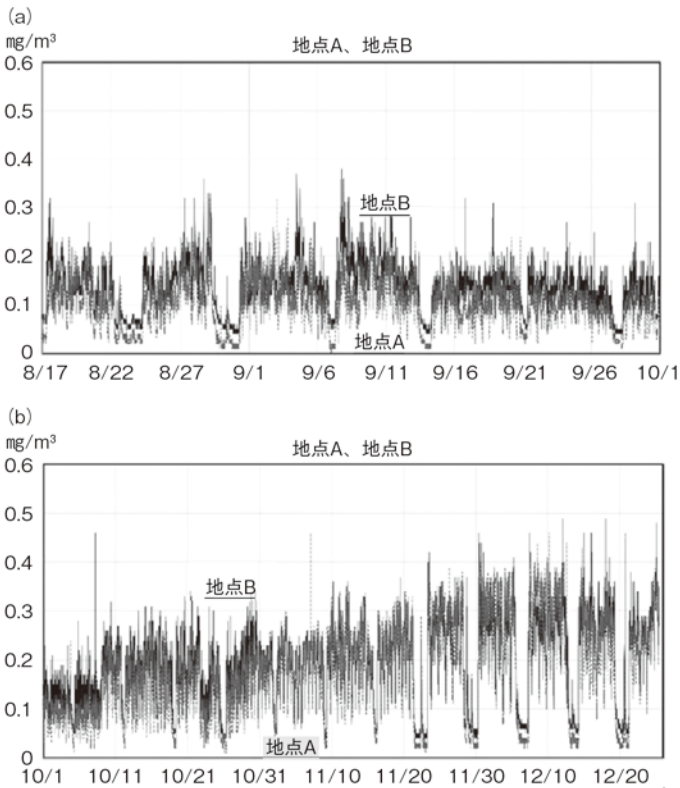


図9 (a) 平面分布 FL1.5m(8月17日～10月1日)
(b) 平面分布 FL1.5m(10月1日～12月28日)

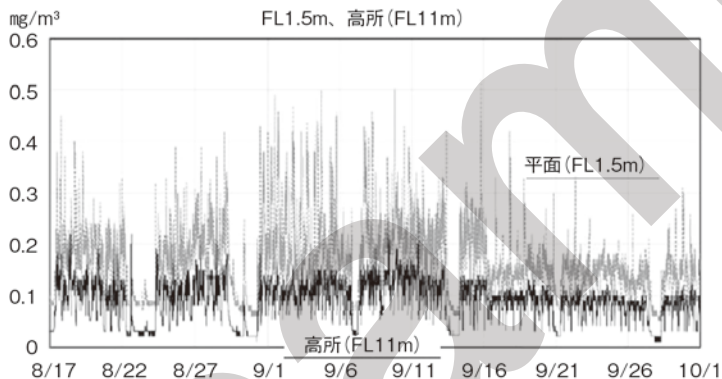


図10 平面(FL1.5m) 高所(FL11m)

夏期が外気冷房で、冬期は工場内の内部負荷と暖房で対応している環境である。常設型オイルミストセンサーは、平面(FL1.5m)16地点と、平面と同一エリアの高所にある空調設備が設置された位置(FL11m)の4地点、合計20カ所に設置し、データロガーを接続した。平面のうち代表の2カ所で8月中旬から12月末にかけて計測した結果を図9(a)、(b)に示す。夏期の外気冷房は冷涼な外気を工場内に導入する方法のため、日中は0.2mg/m³前後となった。10月以降は外気の導入量を段階的に制限し暖房負荷が増え始

めるため、空調機による循環風量が多くなることから質量濃度の暫増が見られた。特徴として、週末などの操業がないタイミングでは質量濃度の低下がみられ、これらの計測値は8～12月にかけてほぼ変わらなかった。

次に平面と同一地点の上方にあたる高棟での測定結果を図10に示す。平面FL1.5mでの質量濃度は高い値を示し、高棟FL11mでは平面の半分程度の値を示した。この結果から、高所の方が小さな粒子が舞い上がり、比較的大きな粒子は下方で滞留や沈降していると考えられ

る。検証後、常設型オイルミストセンサーの内部を確認し、センサー(光源および受光部)に汚れや劣化がみられなかった。

5. まとめ

本稿では、現場での計測や対策検討、常設型オイルミストセンサーの検証を通じて、以下の知見を得た。

- オイルミストは高所ほど粒子径が小さくなる傾向がみられる。工場内の霧はナノサイズのオイルミストによる光の散乱と考えられる。
- オイルミスト対策は発生源を抑えることが重要で、空調設備や排気設備の調整や改修よりも優先順位を高くして対応する必要がある。
- 常設型オイルミストセンサーは中長期の利用ができ、日常管理に活用できる。質量濃度により空調設備との連動や排気ファンの運用タイミングの最適化などが想定される。

6. おわりに

オイルミストの対策は“発生源を抑える”、“封じ込める”ことが優先すべき課題であり、空調設備や排気設備は補助的な位置づけである。ガス漏れや水漏れのような重大事故が発生すれば、漏れを止めてから換気や拭取り清掃が必要となるように、オイルミストも漏洩を放置するのではなく、いかに密閉化しエリアを封じ込められるかが対策のカギになる。そうした一連の対策を実施した上で、空調設備や排気設備をどのように運用し、空調機組込型集塵機と合わせて活用するかが次の対策となる。

今後も、オイルミストの少ない健康な作業環境を提供するための調査や対策提案を続けたいと考える。