

ヨーロッパにおける超精密加工技術の現状

Status of Ultra-Precision Machining Technology in Europe

谷 泰 弘*

Yasuhiro TANI

1. はじめに

アルミニウムや無酸素銅などの軟質金属を中心とした軟質材料をダイヤモンド工具を使用して鏡面切削する、超精密加工技術は、日本においてはアルミニウム磁気ディスク基板、レーザプリンタ用のポリゴンミラー、複写機用の円筒形ミラー、印刷ロールのような民生品においてよく使用されている。これに対して、アメリカやヨーロッパにおいては、これら民生品のほかに宇宙関連分野や核融合関連分野における大型反射ミラーの製作のための需要も大きいようである。

このようなヨーロッパにおける超精密加工技術の現状を探るために、著者が日本学術振興会特定国派遣研究者として超精密加工で有名な英国のクランフィールド工科大学精密工学研究所に10ヶ月間滞在することを機会に、イギリス・西ドイツ・オランダの超精密加工に関連する研究機関を訪問し調査を行った。以下にその概要について説明する。

2. イギリスにおける超精密加工技術

現在イギリスにおいては、国立物理学研究所NPLを中心として、ナノテクノロジー国家プロジェクトが進められている。このプロジェクトは、英国通商産業省DTIと科学技術研究評議会SERCの援助のもとに進められており、5年間で2000万ポンド(約50億円)の予算の規模である。このプロジェクトは、内容として超精密加工、超精密位置決めおよび制御、超精密工学技術、超精密構造、表面処理および分析、X線光学および超平滑平面、高密度記録媒体および装置の各分野を含んでいる。

NPLでは、このプロジェクトにのっとなって、従来から進められてきているX線干渉計とその応用としてのX線顕微鏡の開発、高精度触針式表面形状測定器ナノサーフの改良^{1),2)}が行われているが、これと同時に図1のような四面体構造工作機械³⁾の開発が行われている。

この機械は、立軸正面研削盤の形態をしており、カップ型ダイヤモンド砥石を取り付ける垂直軸のスピンドルは、空気軸受により支持されている。一方、工作物は逆

V形のガイドで案内された水平軸のテーブル上に固定されている。四面体構造をとっているために、この機械の静剛性は1 kgf/nmと高く、固有振動数も1 kHzを越えるそうである。

イギリスには、超精密ダイヤモンド旋盤を専門に製作している、プライアンサイモン社という工作機械メーカーがあるが、この旋盤のベッドには人造グラナイトが使用されている。この人造グラナイトをスイスの研削盤製造メーカーであるスチューダ社とともに開発したのが、著者が10ヶ月間滞在したクランフィールド工科大学精密工学研究所CUPEである。

このCUPEの紹介については他誌⁹⁾⁻¹¹⁾に譲るが、図2の大型ダイヤモンド旋盤⁹⁾を開発したことでヨーロッパにおける超精密加工の中心的研究所としての地位を得たCUPEは、主として精密機械および精密機械の機械要素の開発を行っている。また、現在CUPEではガラスのダイヤモンド切削、セラミックスのダイヤモンド研削の研究が行われている。

ガラスのダイヤモンド切削の研究については、サリー大学物理系のプティック教授が先駆的な仕事をされている¹⁰⁾。図3のような独特の形態の加工機械を使用して軟らかい石灰ガラスの加工を行い、微小切込み領域でクラックのない切削溝と流れ型の切り屑を得ている。

こうした超精密加工を実際使用している会社の一つとして、ブリティッシュエアロスペース社が挙げられる。

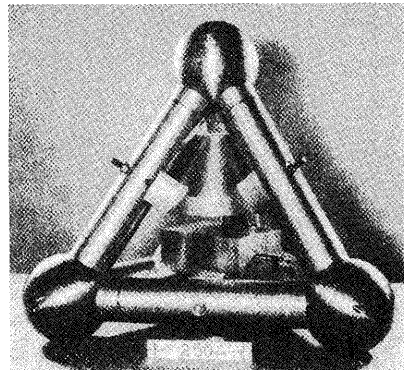


図1 NPLの四面体構造工作機械

*東京大学生産技術研究所 第2部

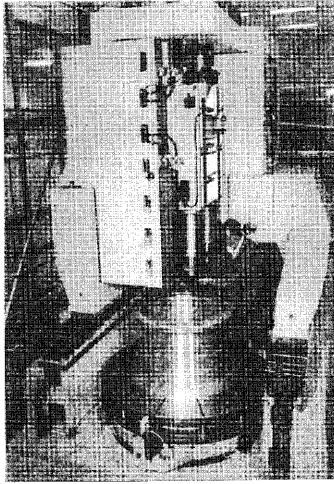


図2 CUPEの大型ダイヤモンド旋盤

この光学技術部門では、ニューモプリジジョン社のダイヤモンド旋盤を使用して、種々の光学レンズやミラーの製作が行われている。

3. 西ドイツにおける超精密加工技術

西ドイツにおいては、アーヘン工科大学生産技術研究所IPTにおいて超精密加工機および加工技術の研究が行われている¹¹⁾。図4に示される、ここで製作された超精密旋盤は、その製造時点までに各国で開発・試作されている超精密加工機の特徴を分析し、変形の有限要素解析を行った後、最も優れた性能を持つと思われる機械要素を組み合わせて製作されたものである。

ベッドにはグラナイトが使用され、スピンドルには両端半球型の空気軸受が用いられている。正面旋盤で工具を横方向に送るためのXスライドは、トルクモータを用いた摩擦駆動装置により駆動され、空気軸受で案内されている。一方、工具の切込み方向のZスライドは、ローラねじで駆動され、ニードルベアリングにより支持され

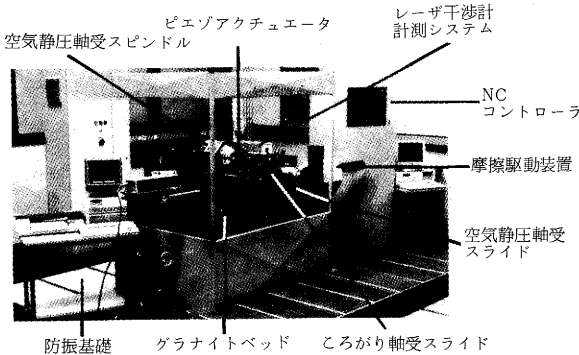


図4 アーヘン工科大学の超精密旋盤

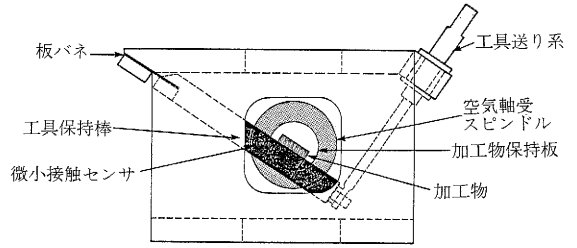


図3 サリー大学のガラスの加工旋盤

ている。これらの両軸はレーザ干渉計により10nmの分解能でクロズド制御されている。

測定器の製造メーカーとして有名なカールツァイス社において、光学レンズやミラーを製作するために図5のような超精密ダイヤモンド旋盤A400が開発された¹²⁾。この旋盤は直径700mm、長さ400mmまでの非球面の加工物を形状精度0.2μm以下、表面粗さ10nm以下の精度で加工できるような仕様となっている。

加工物を固定する空気軸受スピンドルAは、2軸の空気軸受案内のスライドの上に置かれている。これらの軸は静圧ねじにより駆動される。その位置制御にはレーザ干渉計が使用されており、2nmの最小分解能で位置計測が行われている。一方、円柱状の工具ホルダーBは、回転テーブル上に固定されている。

4. オランダにおける超精密加工技術

ダイヤモンド工具を製造しており、またガラスの高温状態でのダイヤモンド切削で有名となったフィリップ社では、COLATHと呼ばれる超精密旋盤を開発している¹³⁾。また、最近では非鉄材料の切削のために、図6のマイクロマティックと呼ばれる旋盤を開発している。COLATHでは、スライドの移動およびスピンドルの回転のために油圧が使用されており、これは剛性を高めるためとねじのような周期的な変化の影響を取り除くためであった。

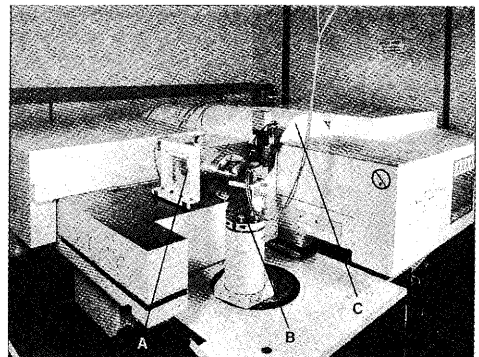


図5 カールツァイス社の超精密旋盤

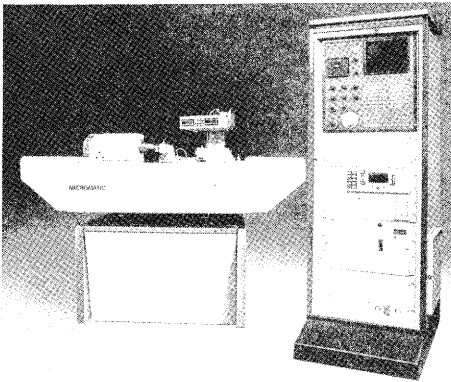


図 6 フィリップ社のマイクロマティック

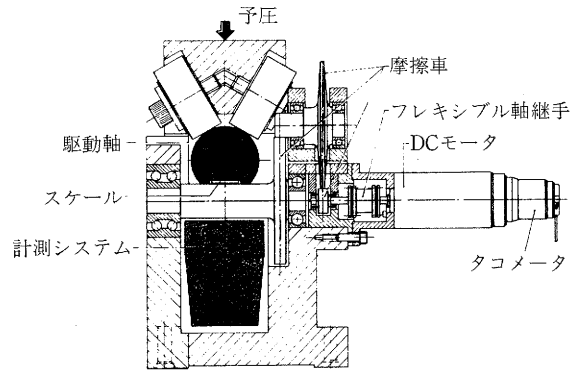


図 7 フィリップ社の摩擦駆動装置

一方、最近開発された超精密加工機のマイクロマティックおよびサブマイクロマティックでは、軸受としてはCOLATHと同様に油静圧軸受を用いているが、図7のようなDCモータで駆動された摩擦駆動装置をスライドの駆動に使用している。また、スピンドルには、空気静圧軸受が使用されている。これらの超精密機器は、ごく最近EPTという会社を通して外販されるようになったようである。

このフィリップ社から援助を得て、アイントホーヘン工科大学機械工学科生産技術・自動化部門では、機械の観点から超精密切削の基礎研究が進められている。

5. お わ り に

実際に調査を行ったのは、1年以上前にさかのぼるため、内容が少し古いものとなっている。しかし、以上のように、ヨーロッパにおいてもダイヤモンド工具を使用した超精密加工技術に関する研究・開発は、従来にもまして活発になってきている。これにあわせて、昭和63年5月には参考文献11にあるような「超精密技術に関する国際会議」が西ドイツのアーヘン工科大学にて開催された。また、昭和64年9月にはカリフォルニアにおいて第5回国際精密工学セミナーが開催される予定となっている。この分野におけるますますの発展が期待される。

最後に、分野としては少しはずれるが、NPLのフランス博士が紹介されたナノテクノロジーの夢を紹介しよう。これは、図8¹¹⁾のようにDNAを微小走査トンネル触子により原子レベルで並べ換えしようとするものである。この夢が実現するときがくるのだろうか。

この調査は、財団法人生産技術研究奨励会より昭和62年度三好研究助成金を頂戴して行ったものである。関係各位に御礼申し上げます。

(三好研究助成報告書 1988年11月4日受理)

参 考 文 献

1) A. Franks: Nanotechnology, NPL News, 367

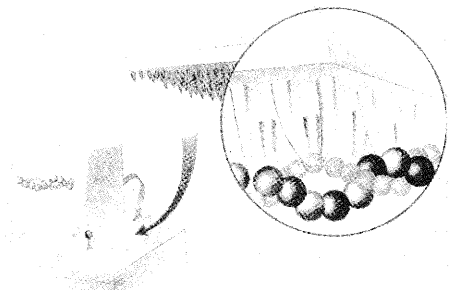


図 8 フランス博士の夢の装置

(1987) 3.
 2) K. Lindsey et al: Sub-nanometer Surface Texture and Profile Measurement with 'Nanosurf 2', Annals of the CIRP, 37-1 (1988) 519.
 3) 谷 泰弘: クランフィールド工科大学滞任記①, 応用機械工学, 29-1 (1988) 168.
 4) 谷 泰弘: 同②, 応用機械工学, 29-3 (1988) 150.
 5) 谷 泰弘: 同③, 応用機械工学, 29-5 (1988) 140.
 6) 谷 泰弘: 同④, 応用機械工学, 29-7 (1988) 164.
 7) 谷 泰弘: 同⑤, 応用機械工学, 29-9 (1988) 154.
 8) 谷 泰弘: 同⑥, 応用機械工学, 29-12 (1988) 136.
 9) W.J. Wills-Moreen et al: Some Aspects of the Design and Development of a Large High Precision CNC Diamond Turning Machine, Annals of the CIRP, 31-1 (1982) 409.
 10) K.E. Puttick: Single Point Diamond Turning of Glass, University of Surrey Annual Report, (1984).
 11) M. Weck et al: Limits of Workpieces Accuracy Caused by the Geometrical and Dynamical Behaviour of Ultraprecision Diamond Turning Machines, Ultraprecision in Manufacturing Engineering, Springer-Verlag (1988) 153.
 12) Optical Surfaces from New Machines, Industrial Diamond Review, 48-525 (1988) 69.
 13) T.G. Gijsbers: COLATH, A Numerically Controlled Lathe for Very High Precision, Philips Technical Review, 39-9 (1980) 229.