

機関番号：34310

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19560128

研究課題名(和文) 超高速スピンドル搭載工作機械のプリント基板穴あけ用 CAM システムに関する研究

研究課題名(英文) Study on CAM System for Drilling Machine Tools for Printed Wiring Boards with an Ultra-high Speed Spindle

研究代表者

廣垣 俊樹 (HIROGAKI TOSHIKI)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：80275172

研究成果の概要(和文):本研究では,16万rpm以上の回転を可能とする超高速スピンドルで,直径200 $\mu$ m以下のマイクロドリルによる超高密度回路LSIプリント基板の穴あけに取り組んだ.本条件下で高い加工能率を維持するためには,送り軸の送り加速度を考慮しながら時間TSP(巡回セールスマン問題)を穴あけ順の決定に応用する手法が有効であることがわかった.さらに,加工時の蓄熱を考慮した穴の周辺温度のモニターにより,適当なドリル加工条件を見いだすこともできることがわかった.これらの結果より,本手法は新しい高速ドリルCAMシステムに有効であり,その導入により高密度プリント基板の高速で高品質なマイクロドリル加工を遂行できることを示した.

研究成果の概要(英文):This study dealt with micro-drilling, less than diameter 200 micron, with an ultra-high speed spindle, more than sixteen thousand rpm, in the high density LSI printed wiring boards. In order to achieve the high efficiency in this kind of micro drilling, it was effective to apply the time scale TSP (travelling salesman problem) considering the acceleration of the feed drive on the determination of the drilling order. Moreover, the suitable drilling condition was found out by monitoring the temperature around the drilled hole considering the thermal storage. As a result, the proposed methods are found out to be effective for a novel high speed drilling CAM system, and make it possible to conduct the high speed and quality micro-drilling in the high density printed wiring boards.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：生産加工・工作機械

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：工作機械, CAM, ドリル, 知能機械, 位置決め制御, プリント基板, システム

## 1. 研究開始当初の背景

プリント基板業界向け工作機械メーカー各社が,超高速回転エアスピンドルを搭載し超高加速減速送り軸性能を具備した最新鋭の工

作機械を開発している.しかしながら,これらの工作機械の性能を十分に生かすCAMシステム技術に関する研究は殆どなされていない.

## 2. 研究の目的

電気・電子機器製造は IT, 家電, 通信機器, 自動車産業などを支え, 現代社会の中心的な役割を果たす代表的な基幹技術である. 電気・電子機器を支えるのは, 「産業のコメ」と呼ばれる半導体産業である. その両者を接続するのが電子回路で, その製造 (プリント基板製造) 技術の高度化が不可欠となる (図 1 参照). 本研究では, プリント基板の製造のために開発された最新鋭の超高速プリント基板穴あけ用工作機械 (図 2 参照, 主軸エアスピンドル回転数が 160krpm 以上, 送り軸加速減速加速度が 1.5G 以上の性能を有する) を中心とした次世代の生産技術・新しい CAM システムの構築を目指すものである.

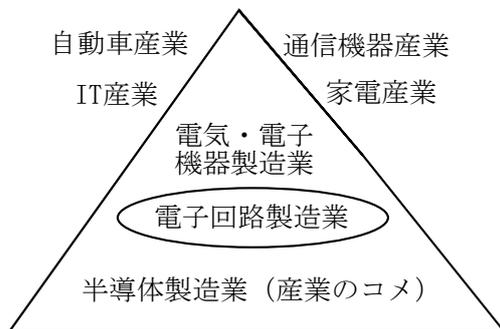


図 1 電気・電子機器の業界構造



図 2 超高速スピンドル搭載の工作機械

## 3. 研究の方法

プリント基板上に配置される回路接続用の穴の配置は, (1) ランダム穴配置 (回路設計において立体配線により決まるもの) (2) 格子状穴配置 (LSI 部品などが実装される箇所) に規則正しく配置されるものに大別される. プリント基板用 CAM においては与えられた品質確保の制約条件下において, 穴あけ順およびドリル加工時の送り速度の決定法が最重要な課題である. そこで, 前者の問題に対しては時間問題としての TSP 手法を提案する. 後者の問題に対しては加工穴周辺の蓄熱現象に着目した手法を提案する. さらに, 超

高速スピンドルの回転に同期して, 工作機械の送り軸の運動にも高い応答性が求められるが, そのサーボ系にも大きな負荷が予想される.

## 4. 研究成果

加工対象は  $\phi 0.2\text{mm}$  以下の極小径ドリルを用いた電気接続用の穴あけである. そのような極小径穴が多数配置されたプリント基板回路では穴間距離も極めて短く, 工作機械に求められる性能としては加工能率の向上のために送り軸の加速度の向上が不可欠であることがわかった. 特に穴がランダムに配置されているような場合 (例えば図 3 に示す携帯電話用の基板の穴あけ) に, 送り軸加速度の向上と時間問題 TSP (加速減速時間も考慮して最短時間問題として定式化する手法) による穴あけ順の決定を組み合わせる手法が有効であることがわかった.

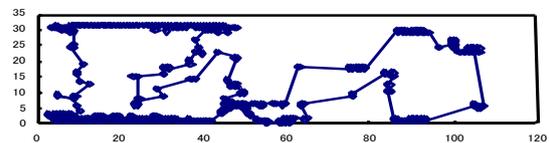


図 3 時間問題 TSP 手法による穴あけ順解析

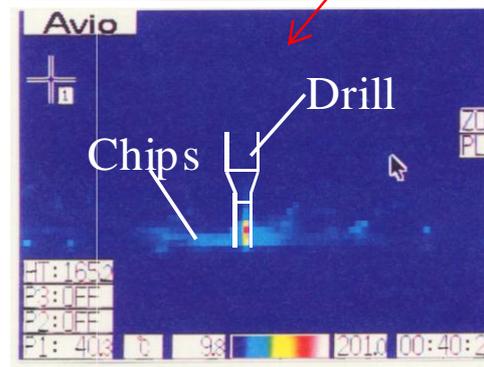
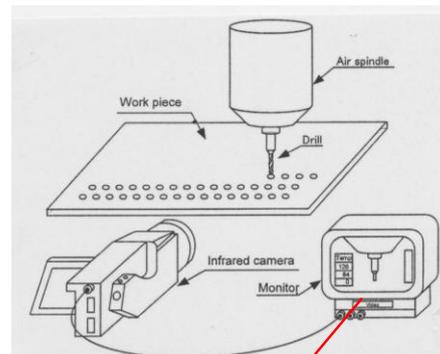


図 4 赤外線サーモグラフィによる加工温度モニターの様子

一方, 多数の穴が格子状に配置されている場合, 時間問題 TSP では最適な穴あけ順が決定できない. そこで加工時の穴周辺の温度を

一定化する基準を設けることで、最適な穴あけ順を決定する手法を考えた。すなわち、加工箇所の鉛直上方 45～60 度から赤外線カメラで穴周辺の温度をモニターする手法を考案した(図4参照)。

それらの結果と連続穴あけ時の蓄熱の現象をFEMシミュレーションで予測する手法を併用して、基板母材の樹脂の変質温度(しきい値)を超えないように穴あけ条件を設定することで、加工能率と穴品質の両立が可能な条件設定ができることを示した。図5は、シミュレーションによる穴周辺の温度と蓄熱の解析例である。

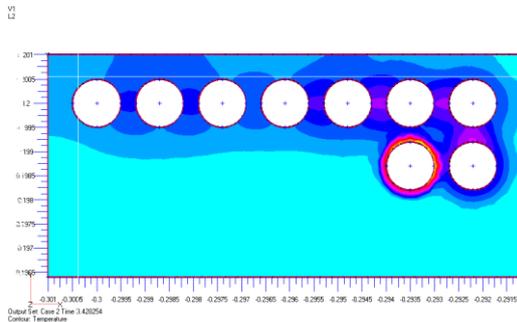


図5 格子状配置穴の穴あけ温度解析

最後に、工作機械の送り軸モータの累積負荷をモニターし、スピンドル回転に同期して高加減速の繰り返し運動が必要とされる直進 X,Y,Z 各軸の負荷を分散する手法を提案した。その結果、トータルでの加工時間をロスすることなく、系全体で無理のない CNC 指令を決定するシステム化におけるサーボ系の制約条件を明確にできた。本手法により、工作機械の送り軸サーボ系にも無理のない最適な穴あけ条件を自動決定するシステムが構築できることが確認された。

以上の結果より、直径 200 $\mu$ m 以下の極小径ドリルを超高速回転スピンドル(回転数 16 万 rpm 以上)で保持して、超高速でプリント基板の穴あけを遂行する工作機械に向けた CAM システムに関する基本的な技術的な指針が解明できた。プリント基板は樹脂材をベースにしているため蓄熱・昇温による加工穴の劣化が著しい。したがって、加工温度を基準にしながら、送り軸の加減速度を考慮した時間 TSP 手法および送り軸駆動サーボモータの累積負荷の 3 点を考慮した、システム化が重要であることが判明した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 青山栄一, 廣垣俊樹, 小川圭二, 野尻啓史, 竹田豊, Effect of Rapid-feed

Step-drilling and Super-high-speed Spindle for High-speed Micro Drilling in Printed Wiring Boards, Key Engineering Materials (Advances in Precision Engineering), 448 巻, 査読あり, (2010), 836-840

- ② 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 大川剛史 Study on CAM System for Drilling in Printed Wiring Boards (Optimization of Stacking Sheet Considering Drill Processing Temperature), Proc. of Int. Electronic Packaging Technical Conf., ASME, 査読あり, IPACK2009-89060, (2009), 1～9
- ③ 野尻啓史, 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 大塚剛史, Thermal Damage of Micro Diameter Hole Drilled by Super-High Speed Spindle in PWB, Key Engineering Materials, 390 巻, 査読有り, (2008), 55～60
- ④ 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 大塚剛史, 野尻啓史, 超高速スピンドルを用いたプリント基板における極小径ドリル加工穴の熱損傷と最適加工条件の考察, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有り, 74 巻, (2008), 1894～1900
- ⑤ 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 松村光孝, 住田誠太, プリント基板用 CAM システムに関する研究(基板温度モニタリングに基づく穴あけ順の考察), 精密工学会誌, 査読有り, 74 巻, (2008), 713～718

[学会発表] (計 5 件)

- ① 竹田豊, 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 超高速スピンドルを用いたプリント基板の極小径ドリル加工(高速微小送りステップ運動の効果), 精密工学会秋季大会学術講演会, 2010 年 9 月 29 日, 名古屋大学(名古屋市)
- ② 青井達也, 青山栄一, 廣垣俊樹, 小川圭二, 大川剛史, プリント基板のマイクロドリル加工時の加工温度と工具摩耗, 2010 年度砥粒加工学会学術講演, 2010 年 8 月 27 日, 岡山大学(岡山市)
- ③ 竹田豊, 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, 野尻啓史, プリント基板の極小径ドリルの高速ステップ加工に関する研究, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2009 年 9 月 10 日, 神戸大学(神戸市)
- ④ 大川剛史, 青山栄一, 廣垣俊樹, 小川圭二, プリント基板用 CAM システムに関する研究(加工温度を考慮した重ね枚数の決定法), 精密工学会関西支部学術講演会, 2008 年 7 月 29 日, 堺市産業振興センター(堺市)
- ⑤ 廣垣俊樹, 青山栄一, 小川圭二, マイクロドリル加工穴周辺の温度モニターに基づく

く加工現象の診断, エレクトロニクス実装  
学会講演会, 2008年3月18日, 東京大学  
本郷キャンパス (東京都)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: プリント基板の穴あけ方法

発明者: 廣垣俊樹, 青山栄一

権利者: 同志社大学

種類: 特願 (特許)

番号: 2009-168820

出願年月日: 2009年7月17日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

廣垣 俊樹 (HIROGAKI TOSHIKI)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 80275172

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者 なし