

超音波カッティング技術を用いた断面観察用試料作製の効率化 ー界面抵抗低減による切断面の品質向上ー

Promoting efficient sample preparation for cross-sectional observations using ultrasonic cutting technology

- Improving the quality of cut surfaces by reducing interfacial resistance -

三田 恭宏（装置事業部 超音波技術グループ）

Yasuhiro MITA (Electronics Equipment Dept. Ultrasonic Equipment Group)

従来、高度な加工技術が必要とされてきた断面観察用試料の作製を、誰でも容易に行うことができる断面観察用超音波カッティング装置 CSX-100Lab を開発・商品化し、販売を行っている。この装置の特長として、超音波振動を援用した切断により、ブレードと試料間の界面抵抗を低減することが挙げられる。この特長により、脆性材や複合材等の難切材でも容易に切断が可能となり、切断によるダメージが少ない切断面を観察することができる。本稿では、超音波振動がもたらす切断面への影響について検証を行った。また、装置に付帯するアプリケーションについても紹介する。

We have developed, commercialized, and launched the sale of the CSX-100Lab ultrasonic cutting device for making cross-sectional observations. It facilitates the preparation of samples for cross-sectional observations, which previously required operators having high processing skills. The device features a cutting mechanism using ultrasonic vibration, which reduces interfacial resistance between blade and sample. This feature makes it easy to process difficult-to-cut materials such as brittle or composite materials, enabling observations of cut surfaces with damage from cutting reduced. This report verifies the influence of ultrasonic vibration on cut surfaces. Besides, related applications of the device are presented.

1. はじめに

現在、加工が困難とされている硬脆材料の SiC のダイシング（個片化切断）工程において、当社独自の両端支持機構に超音波振動を付加したスピンドルを用いて切断することによって、従来の加工方法に比べ、高速度化・高品質化を達成できた¹⁾。この結果が得られた理由として、超音波カッティングの効果である以下の3つが挙げられる。

- ・破碎効果（ハンマリング作用）
- ・クリーニング効果（目詰まり防止）
- ・断面研磨効果（断面の品質向上）

この3つの効果の中の「断面研磨効果」に着目し、断面観察用試料の作製に特化した装置が「断面観察用超音波カッティング装置 CSX-100Lab（図1）」である。この装置では、超音波振動を援用して切断と同時に切断面を研磨する PolishCut®（ポリッシュカット）技術を応用することで、誰でも容易に試料作製が可能となった。

また、先に述べた3つの超音波カッティングの効果により、脆性材や複合材等の難切材でも、試料に与えるダメージが少ない状態で切断ができる。そのため、試料内部に存在する欠陥の状態を維持したままの切断面を得ることが可能である。



図1 超音波カッティング装置 CSX-100Lab（外観）

2. 超音波カッティングによる切断面への影響検証

2.1 実験概要

1章の中で「試料に与えるダメージが少ない状態で切断ができる」と述べたが、超音波の振動振幅の有無によって切断面状態にどの程度の違いが生じるのか、BGA（Ball Grid Array）パッケージを切断して、半田ボール接合部の Cu バリ量を比較した。また、超音波スピンドルが受ける切断負荷についても、QFP（Quad Flat Package）パッケージ切断中のスピンドルモータの電流値を測定することで、定量的に検証した。

2.2 実験方法

実験には、図2に示す当社独自の両支持回転体構造スピンドルを用いた。このスピンドル構造は、特殊ブレードホーン両端面が強固にホルドされており、高剛性・高い機械安定性を実現している。また、超音波振動は振動方向変換体理論²⁾に基づいてR-L変換され、ブレード径方向へ振動振幅を伝搬させる構造となっている。実験は、このブレードホーンにダイヤモンドを砥粒とした電鍍ブレードを取り付けて行った。

図3に実験の模式図を示す。UVテープに貼り付けた試料を切断テーブルの上に載せ、真空吸着して固定した。Cuバリ量の比較実験条件を表1に示す。超音波の振動振幅の影響を確認するため、ブレード径方向の振動振幅に比例する超音波出力の設定を超音波出力 OFF の0%（無振動）と超音波出力 ON の40、70、100%（MAX値）の4条件とし、切断実験を実施した。

スピンドルモータの電流値測定は表2に示す実験条件で行った。ブレードのダイヤモンド砥粒径の影響について確認するため、砥粒はSD#600とSD#2000の2種類を使用した。

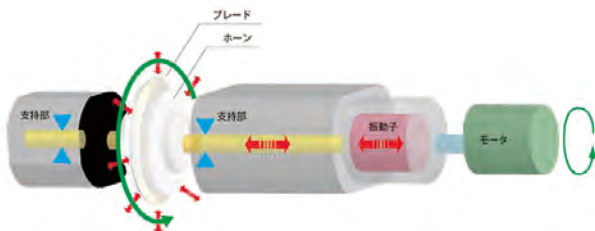


図2 両支持回転体構造スピンドル概略図

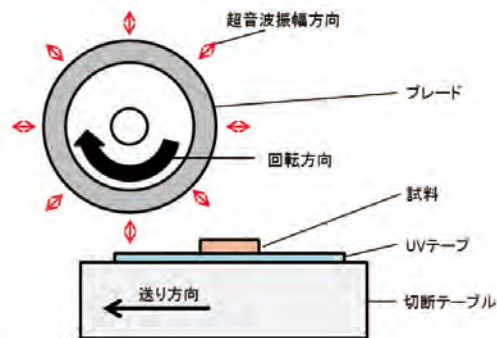


図3 実験模式図

表1 Cuバリ量の比較実験条件

試料	種類	BGA パッケージ
	寸法	23×23×4.60mm
ブレード	砥粒	SD#600
	外径	113 mm
	刃厚	0.40 mm
スピンドル回転数		1000 rpm
切断速度		0.05 mm/s
超音波出力設定		0, 40, 70, 100 %

表2 スピンドルモータの電流測定実験条件

試料	種類	QFP パッケージ
	寸法	20×20×4.18mm
ブレード	砥粒	SD#600, SD#2000
	外径	103 mm
	刃厚	0.15 mm
スピンドル回転数		8000 rpm
切断速度		0.05 mm/s
超音波出力設定		0, 40, 70, 100 %

2.3 実験結果および考察

図4にCuバリ量の定義を示す。Cuバリ量は、Cu基準厚み(a)からCuが延びた厚み(b)と定義した。実験で得た厚み(a)、(b)を式(1)に代入し、Cuバリ量の増加率を算出した。

$$\text{Cuバリ量の増加率} = \frac{(b)}{(a)} \times 100 \quad (1)$$

超音波出力とCuバリ量の増加率の関係を図5に示す。図5より、超音波出力設定40%の場合、Cuバリ量の増加率が超音波出力設定0%の場合と比べ約40%減少している。また、超音波出力を増加させると、Cuバリ量の増加率が更に減少する傾向が確認された。

図6にBGA切断面観察写真を示す。超音波振動の効果により、切削水による冷却作用が効率的に働き、切断時のブレードと試料間に生じる摩擦熱を抑制し、摩擦熱によって発生した半田ボール上部の黒ずみが軽減されていることが分かる。

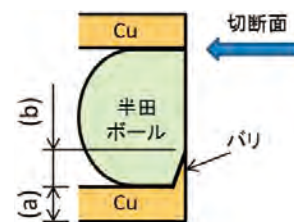


図4 Cuバリ量の定義

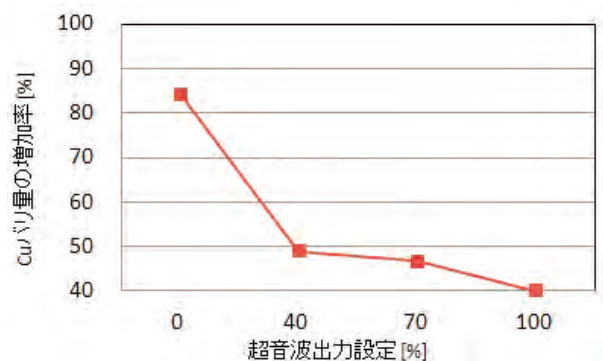
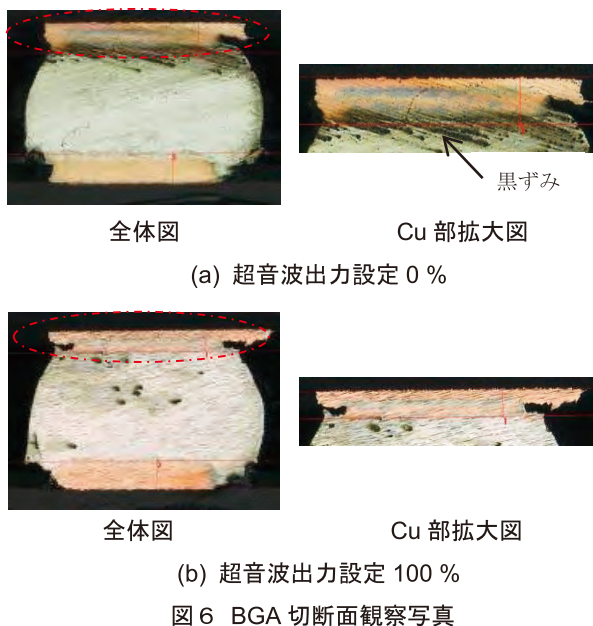


図5 超音波出力とCuバリ量の増加率の関係



次に、超音波出力とスピンドルモータ電流値上昇率の関係を図7に示す。スピンドルモータ電流値上昇率は、実験で得た無負荷時のスピンドルモータ電流値 A と切断中の最大電流値 $A_{\max}$ を式(2)に代入し算出した。

$$\text{スピンドルモータ電流値上昇率} = \frac{A_{\max}}{A} \times 100 \quad (2)$$

砥粒径 SD#600, SD#2000 のいずれにおいても、超音波振動を与えて、なおかつ振幅を大きくすることで、スピンドルモータの電流値上昇が抑えられている。これは、超音波振動の振幅を大きくすることによって、ブレードが試料を断続的に切削することで、ブレードと試料の隙間に切削水が流入しやすくなり、効果的に切削屑の排出が行われ、切断負荷が低下したためと考えられる。

また、砥粒径 SD#2000, 超音波出力設定 100% の場合のスピンドルモータ電流値の上昇率は、砥粒径 SD#600, 超音波出力設定 100% の場合の値と同程度であった。

一般的に、ダイヤモンド砥粒径が小さいほど、仕上げ面は綺麗になるが、ブレードに切削屑が詰まるため、切削能力は低下する。また、ブレードに切削屑が詰まると、ブレードに対する負荷が増えて、最終的にはブレードが破損する恐れがある。

今回の実験結果より、超音波振動を付加したスピンドルを用いることで、小さなダイヤモンド砥粒径を有するブレードでも、目詰まりを抑制し、ブレードと試料間の界面抵抗を緩和した状態で切断できることを実証した。

そして、ダイヤモンド砥粒径が小さいブレードで断続的に試料を切削することで、Cu のような延性の高い金属試料を引き伸ばすことなく切断でき、樹脂や金属の界面を、鮮明に観察することができる(図8)。

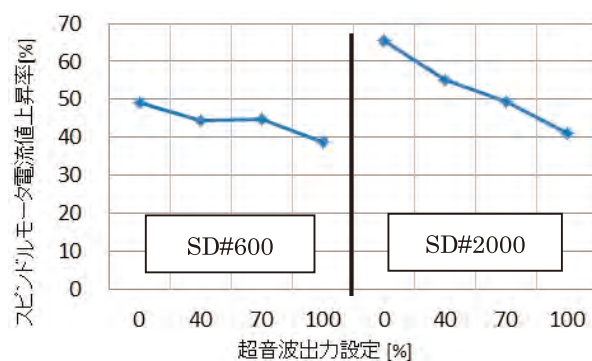


図7 超音波出力とスピンドルモータ電流値上昇率の関係

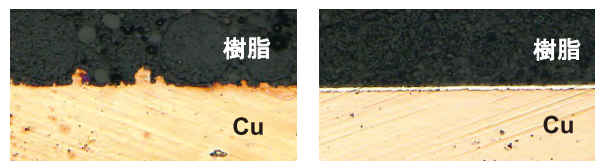


図8 ダイヤモンド砥粒径による切断面の違い
(左側：SD#600 切断面，右側：SD#2000 切断面)

3. CSX-100Lab による切断実施例

本章では切断面の事例を基に超音波切断の効果について述べる。図9に CSX-100Lab でスマートフォンを切断した事例を示す。切断が困難な強化ガラスが内部に実装されている複合材でも切断可能であり、様々な材質の電子部品の接合面状態も鮮明に観察することができる。

図10に切断方法の比較として、携帯電話内蔵カメラモジュールの切断面を示す。CSX-100Lab を用いた切断では、前章で述べた超音波振動の効果により、樹脂封止することなく、空隙への切削屑混入やバリ発生が少ない状態の切断面が得られた。それに対し他の切断方法では図10(b), (c)に示すようにモジュール内の空間を樹脂封止しなければ、形状変形無く切断することは一般的に困難である。

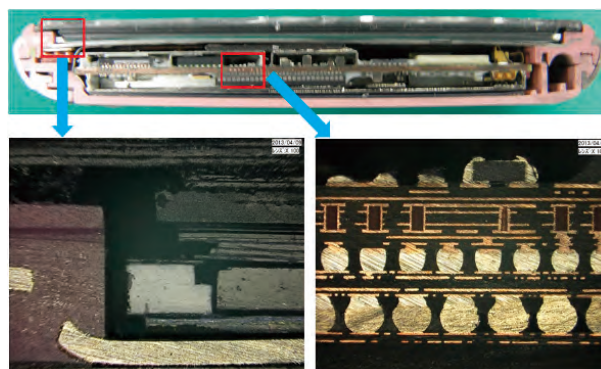
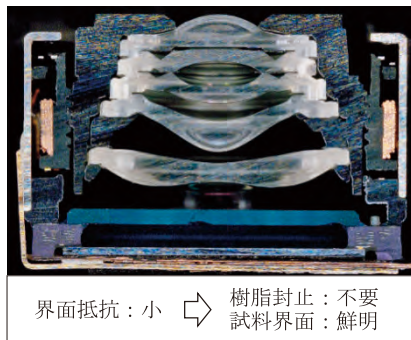
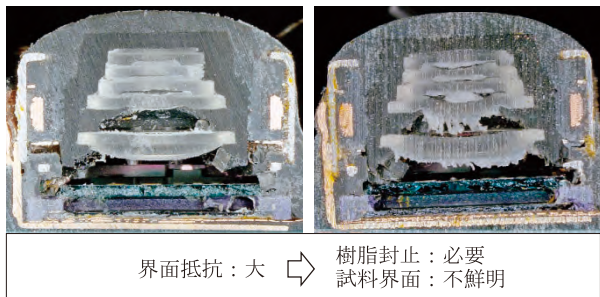


図9 スマートフォン切断事例
(切断後断面：機械研磨無し)



(a) 超音波カッティング装置 CSX-100Lab 切断面



(b) ホイールソー切断面 (c) ワイヤソー切断面

図 10 切断方法の比較（切断後断面：機械研磨無し）

4. アプリケーションの紹介

CSX-100Lab に付帯するオプションとして、装置に組み合わせて使用することで、更に切断面の品質を向上させ、様々なユーティリティ環境にも対応できるアプリケーションの開発事例を紹介する。

4.1 研磨用レベルホールド治具（特許出願中）

電子顕微鏡（SEM）等を用いて、CSX-100Labで切断した試料の切断面を観察する場合、図 11 に示す研磨用レベルホールド治具を用いて、切断面を数分間研磨することで、平坦な切断面を崩すことなく、観察可能な断面の仕上げが容易に行える。

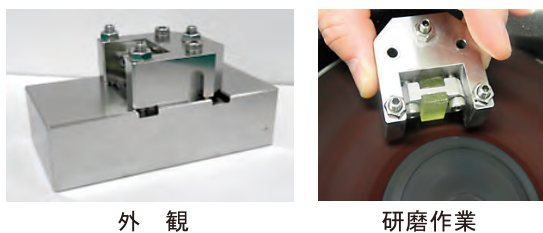


図 11 研磨用レベルホールド治具

4.2 切削水循環ユニット WRF-100CR

WRF-100CR（図 12）はCSX-100Labに切削水を循環使用するユニットである。回収した切削水の排水に含まれる切削屑などのパーティクルをフィルタ濾過により除去し、切削水を繰り返し供給するため、切削水の使用量を大幅に削減することが可能となる。また、ポリタンクでの給排水を実現したことにより、給排水設備のない設置環境でもCSX-100Lab を使用することができる。



図 12 切削水循環ユニット WRF-100CR（外観）

5. おわりに

本研究では、超音波カッティングが及ぼす切断面への影響を検証し、以下の結論が得られた。

- (1) 超音波振動を切断加工に付加することで、延性の高い金属に対しても、材料を伸ばすことなく切断することができ、Cu バリ量が約 40%減少した。
- (2) 超音波振動の振幅を大きくすることによってスピンドルモータの負荷上昇を低減できた。
- (3) 砥粒径 SD#2000, 超音波出力設定 100%の場合のスピンドルモータ電流値の上昇率は、砥粒径 SD#600, 超音波出力設定 100%の場合の値と同程度であり、ダイヤモンド砥粒径が小さいブレードでも、ブレードと試料間の界面抵抗を低減した状態で切断できた。
- (4) 切断の困難な強化ガラスを内部に実装した様々な材質の電子部品の接合面を鮮明に観察することができ、空隙がある試料に対しても、空隙への切削屑混入やバリ発生が少ない状態の切断面を得られた。

また、超音波カッティング装置と組み合わせて使用することで、更に切断面の品質を向上させ、様々なユーティリティ環境にも対応できるアプリケーションの開発を行った。

今後も、難切材を含む様々な試料の超音波カッティング加工に取り組み、超音波カッティング技術の更なる可能性を追求していく。

参考文献

- 1) 森本竜広：超音波を利用した硬脆材料の精密研削加工に関する考察，高田技報，Vol.24，pp4-9，(2014)
- 2) 伊藤勝彦，森栄司：振動方向変換体の研究（R-L 変換体），日本音響学会誌 29 巻 5 号，pp.307-314，(1973)



三田 恭宏 Yasuhiro MITA
(株)高田工業所 装置事業部
超音波技術グループ