平成１９年度　特許ビジネス市　社団法人発明協会

超音波振動切削によるCFRP積層体の高精度穴あけ加工

特願2005-340945　特願2007-132689

日　時：２００７年10月17日（水）
会　場：大阪国際交流センター

国立沼津工業高等専門学校
制御情報工学科
教　授　柳下福蔵

787
BOEING
DREAMLINER

航空機産業

B787 機体構造材料割合

複合材	50%	(B777 12%)
アルミニウム合金	20%	(B777 50%)
チタニウム合金	15%	
鋼	10%	
他	5%	

SECO

CFRPの特性

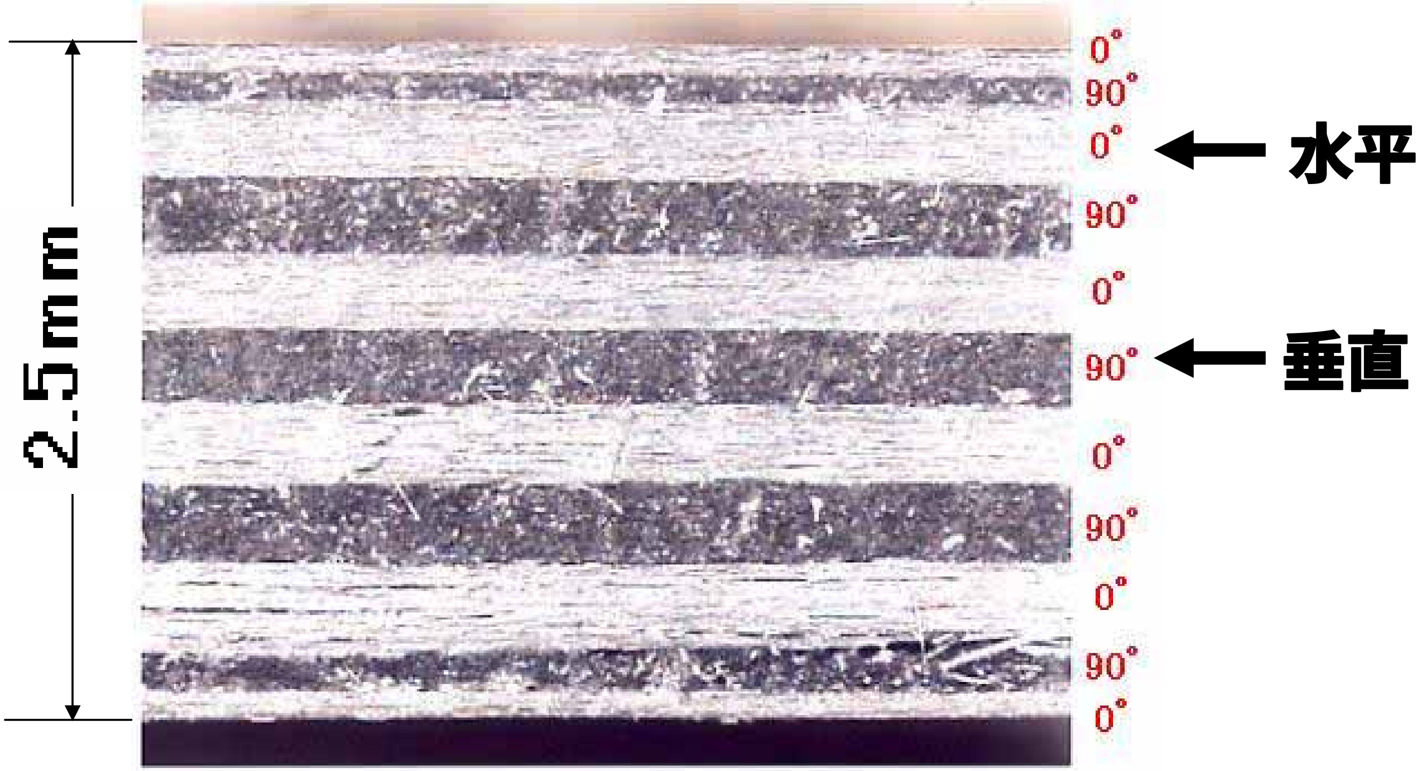
Carbon Fiber Reinforced Plastics

炭素繊維強化エポキシ樹脂

CFRPと金属材料の機械的特性の比較

材　料	引張強度[MPa]	比　重[g/cm^3]
CFRP	**2060**	**1.55**
アルミニウム	200	2.7
ステンレス	980	7.8
鋼	400	7.8

CFRP積層体の例



被削材は水平方向と垂直方向に炭素繊維が交互に直交する11層から成る

板厚2.5mmのCFRP積層体

研究目的

複数のCFRP板材を組み立てるために、

ボルトまたはリベットで締め付けなければならない！！

多数の穴あけ作業が必要！

↓

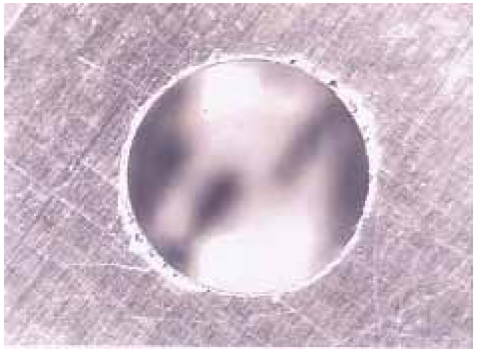
経済的かつ高精度な穴あけ加工技術の開発

- ✧ CFRP積層体の切削機構について考察
- ✧ 超音波ねじり振動の効果を検証

CFRP (縦編み) 10穴目

超硬ファイバードリル

超硬普通ドリル

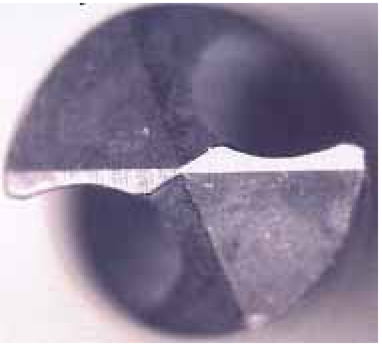


入口

出口

加工前

10穴加工後



加工前

10穴加工後

実験方法

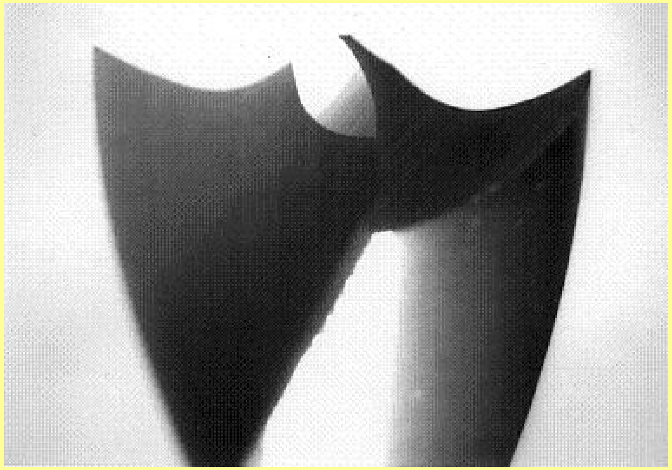
直径3mmの**超硬ファイバードリル**に

周波数27kHz、両振幅22.5μmの**超音波ねじり振動**を・・・

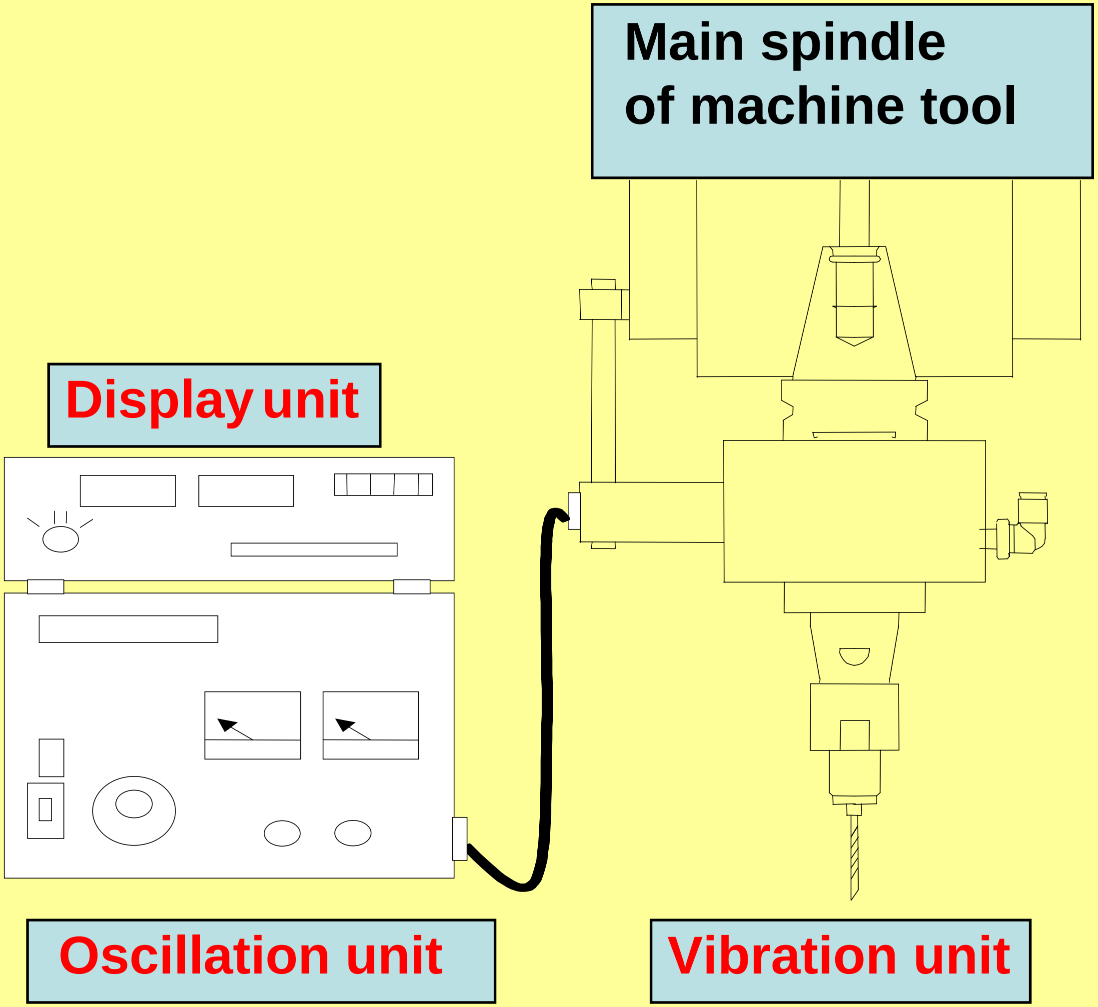
- 付加した場合
- 付加しない場合

のそれぞれについて、CFRP積層体の穴あけ加工試験を行った。

超硬ファイバードリル



Drilling Experimental Setup assisted by Ultrasonic Torsional Mode Vibration

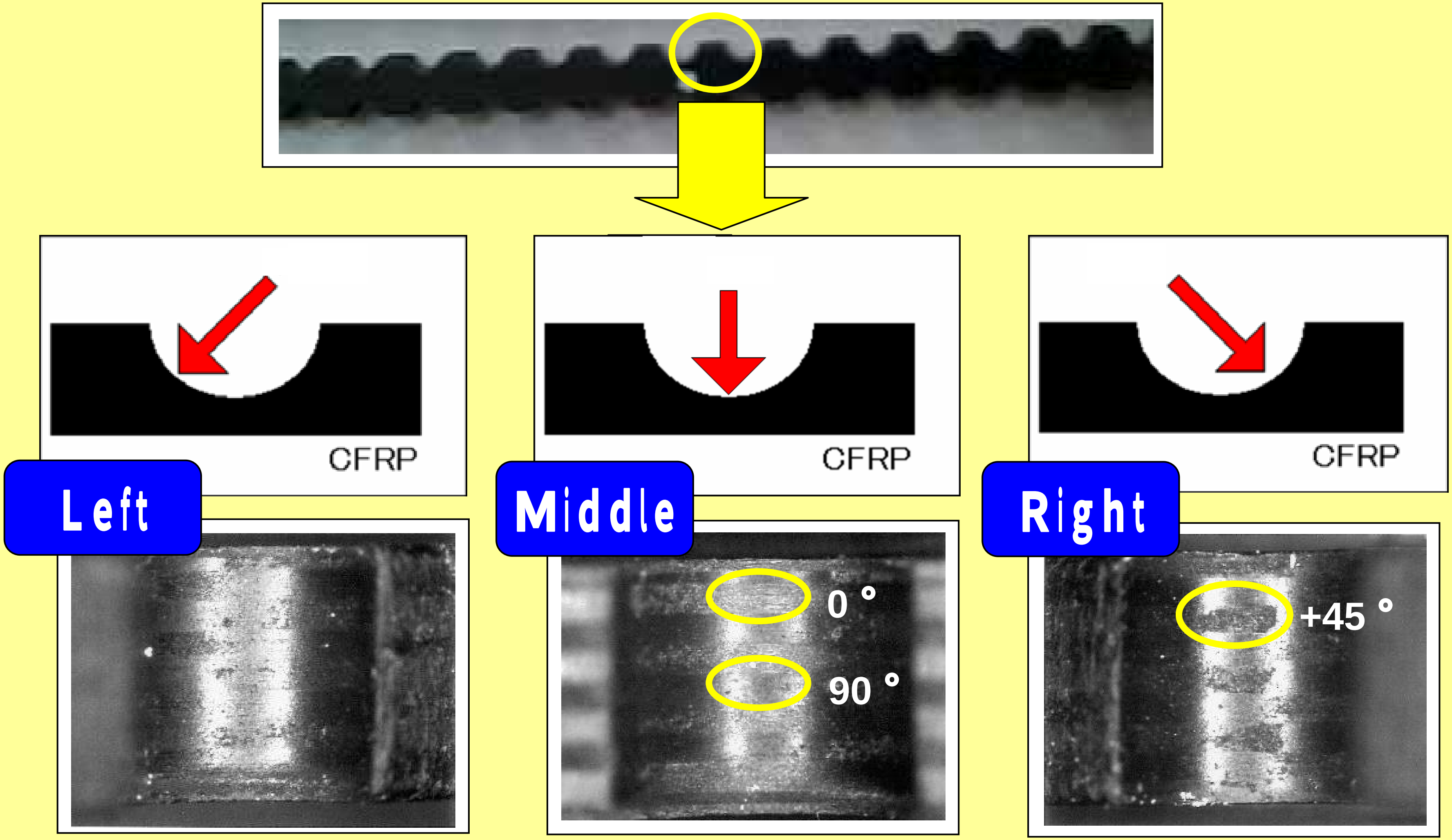


実験方法

切 削 条 件

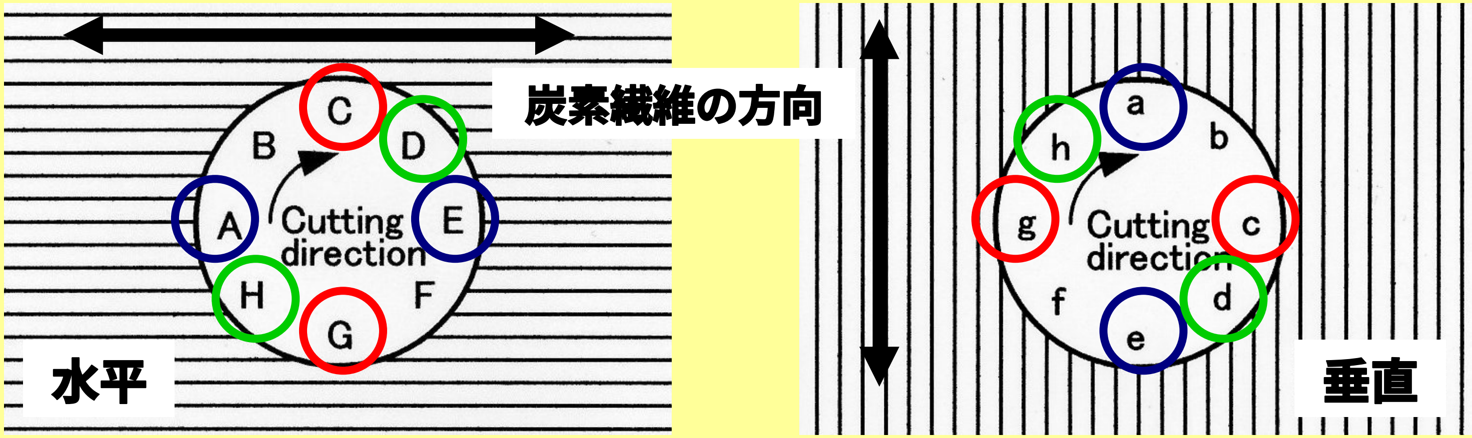
被　　削　　材	CFRP積層体　板厚2.5mm(11層)
使　用　ド　リ　ル	超硬ファイバードリル ϕ3mm　L=36mm
主 軸 回 転 数	1480rpm (13.9m/min)
送 り 速 度 (送 り 量)	60mm/min　(0.04mm/rev)
超音波ねじり振動の周波数	27kHz
ドリル外周の円周方向両振幅	22.5μm (V_{max}= 114 m/min)

穴内面の観察方法

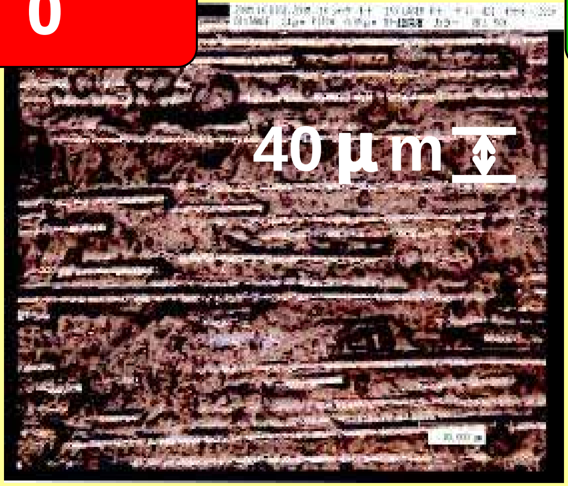


切削機構

ドリル切れ刃と炭素繊維の方向の位置関係

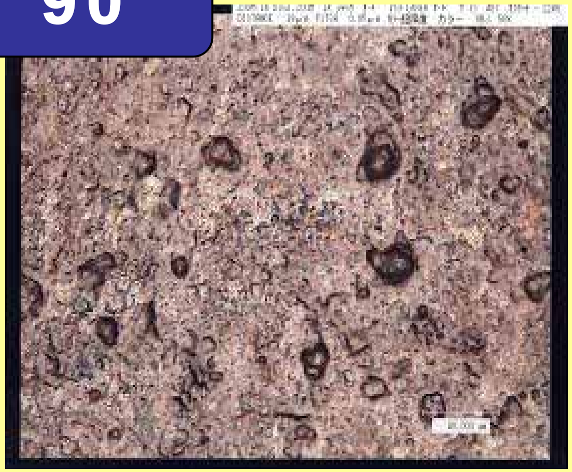


0°

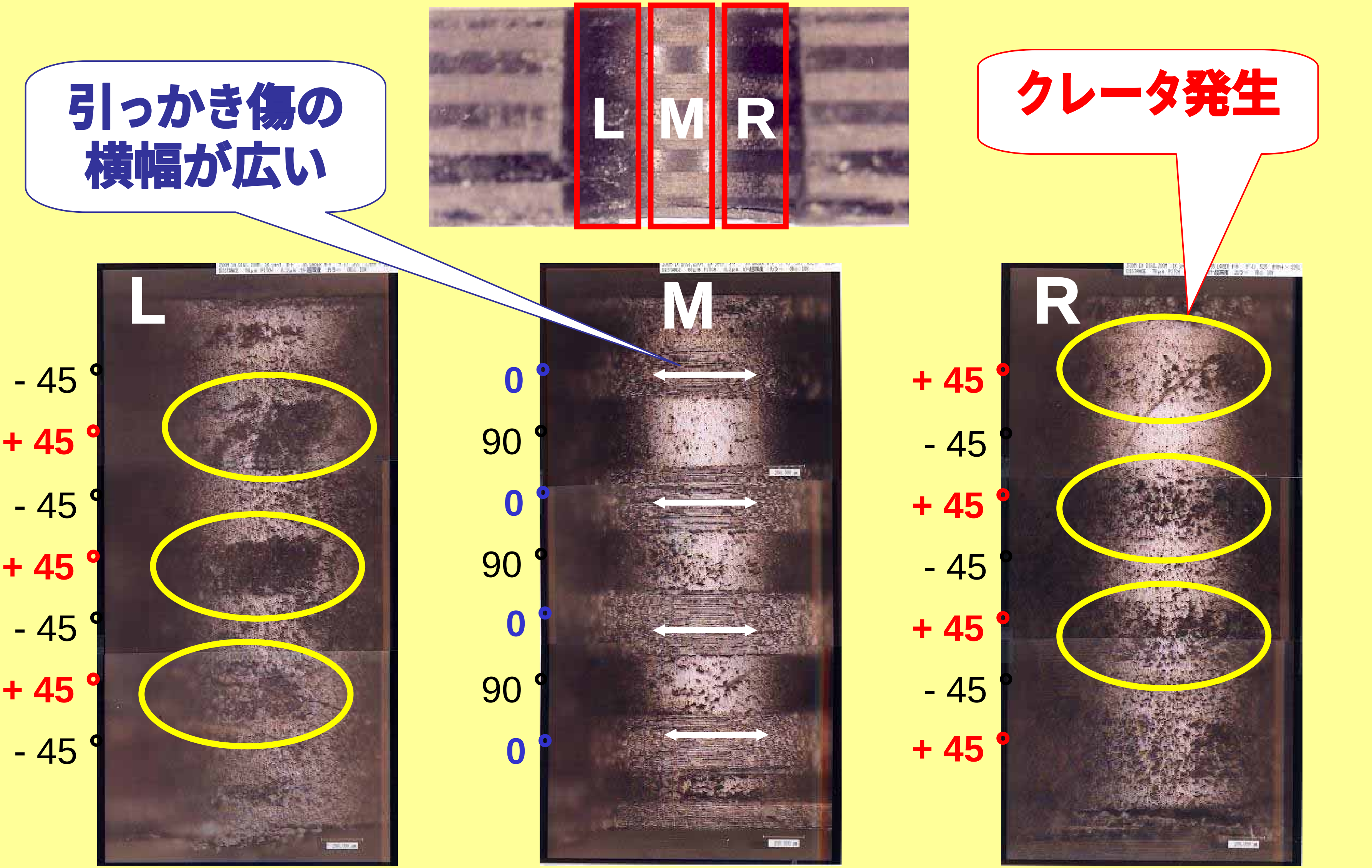


+45°

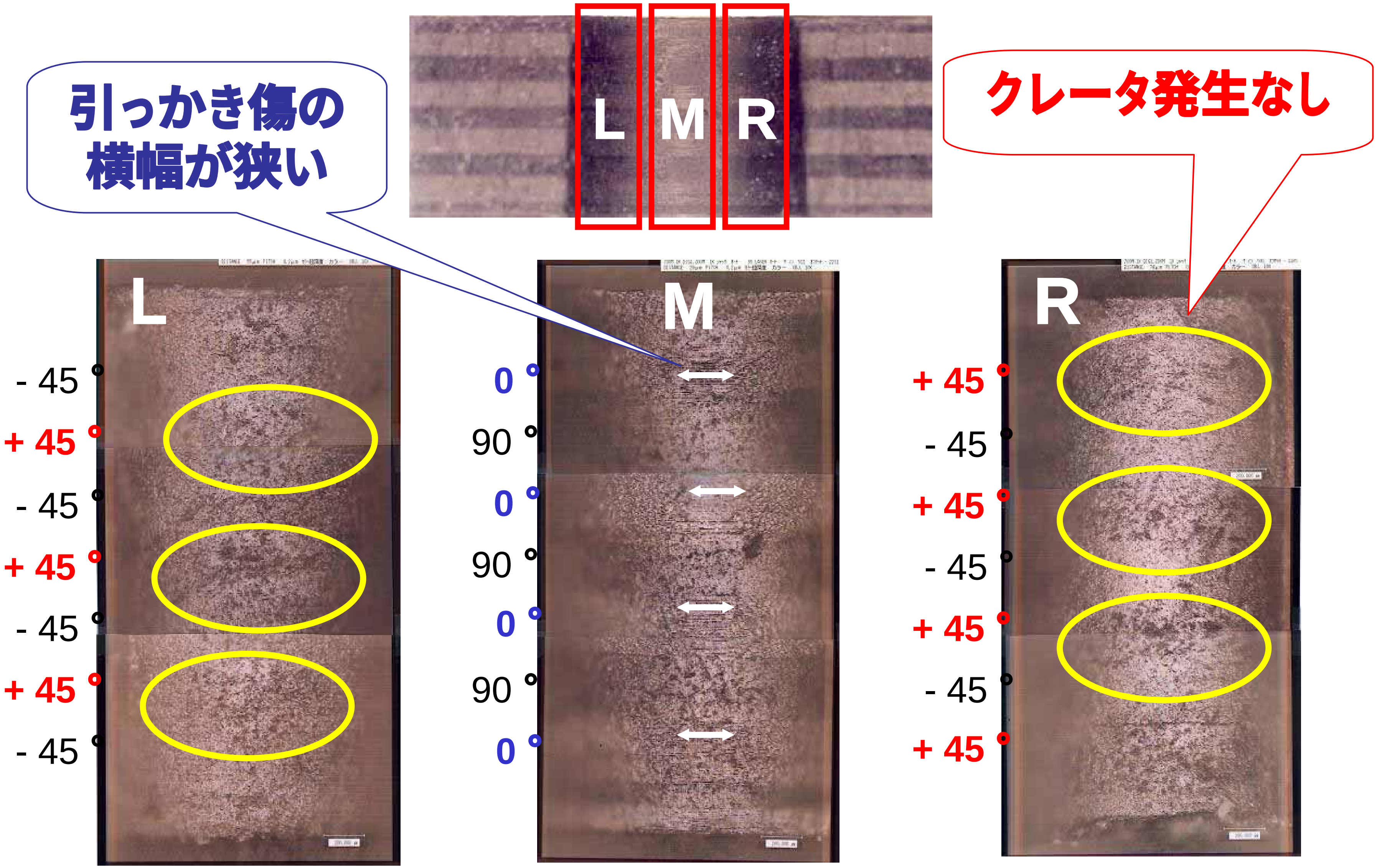
90°



穴内面半周の観察結果　振動無し



穴内面半周の観察結果 振動有り



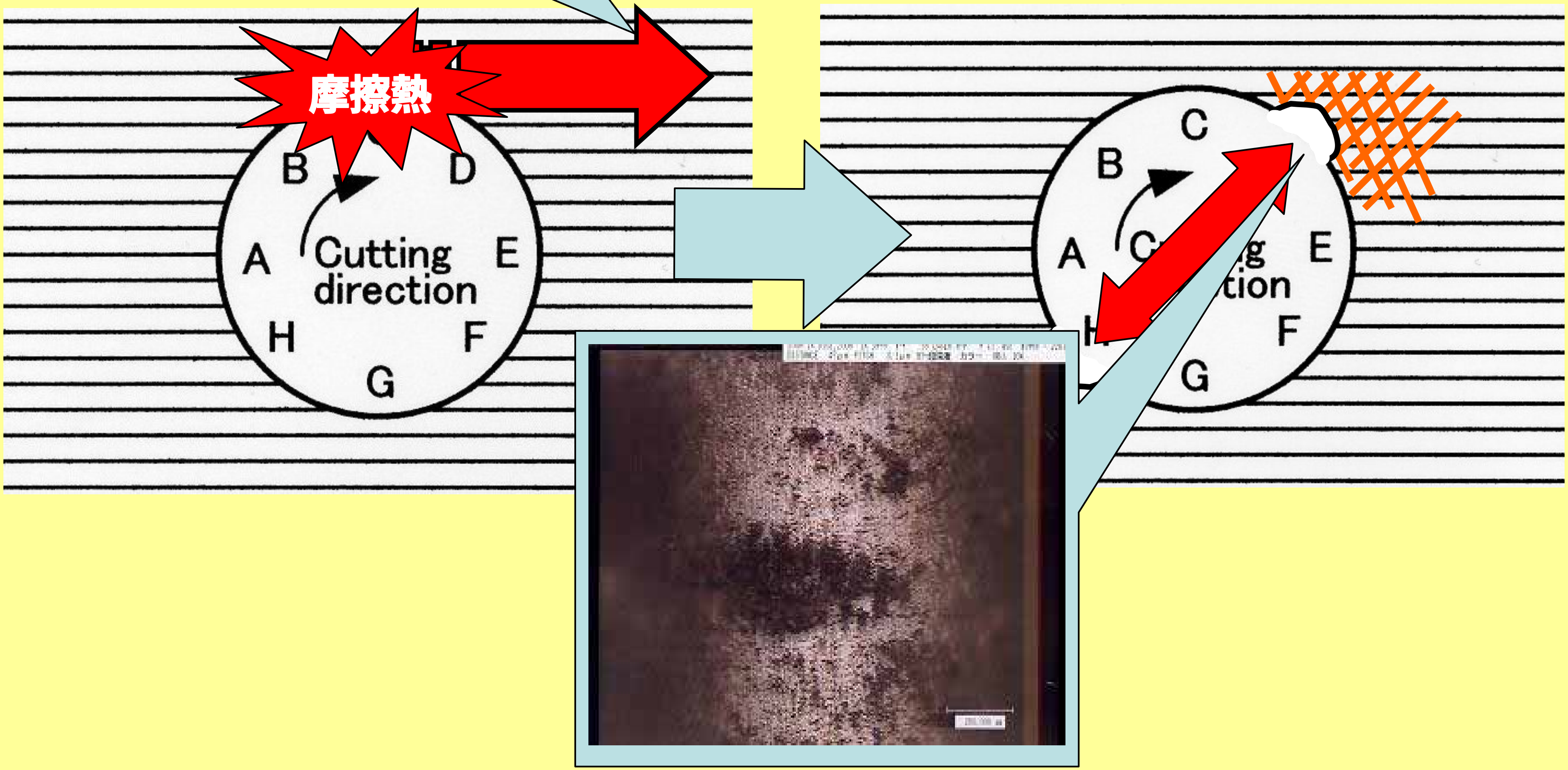
熱伝導率の比較

材　料	熱伝導率 [cal/cm・s・℃]
炭素繊維	5.7×10⁻²
エポキシ樹脂	4～5×10⁻⁴

クレータの発生機構

炭素繊維方向に
熱が伝わっていく

熱硬化性エポキシ樹脂は、
150℃～180℃
で脆性化が始まる！

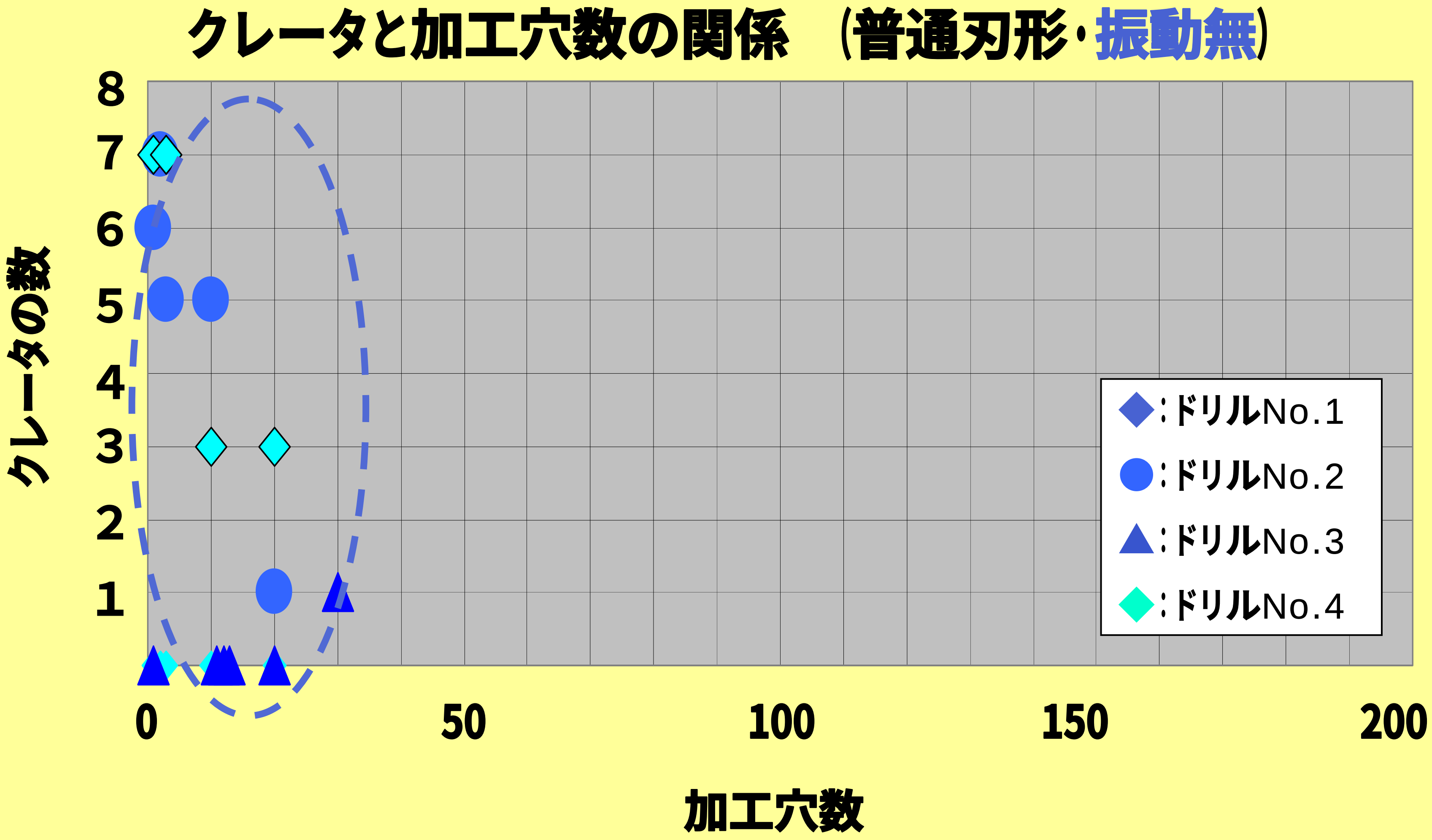


超音波ねじり振動の効果

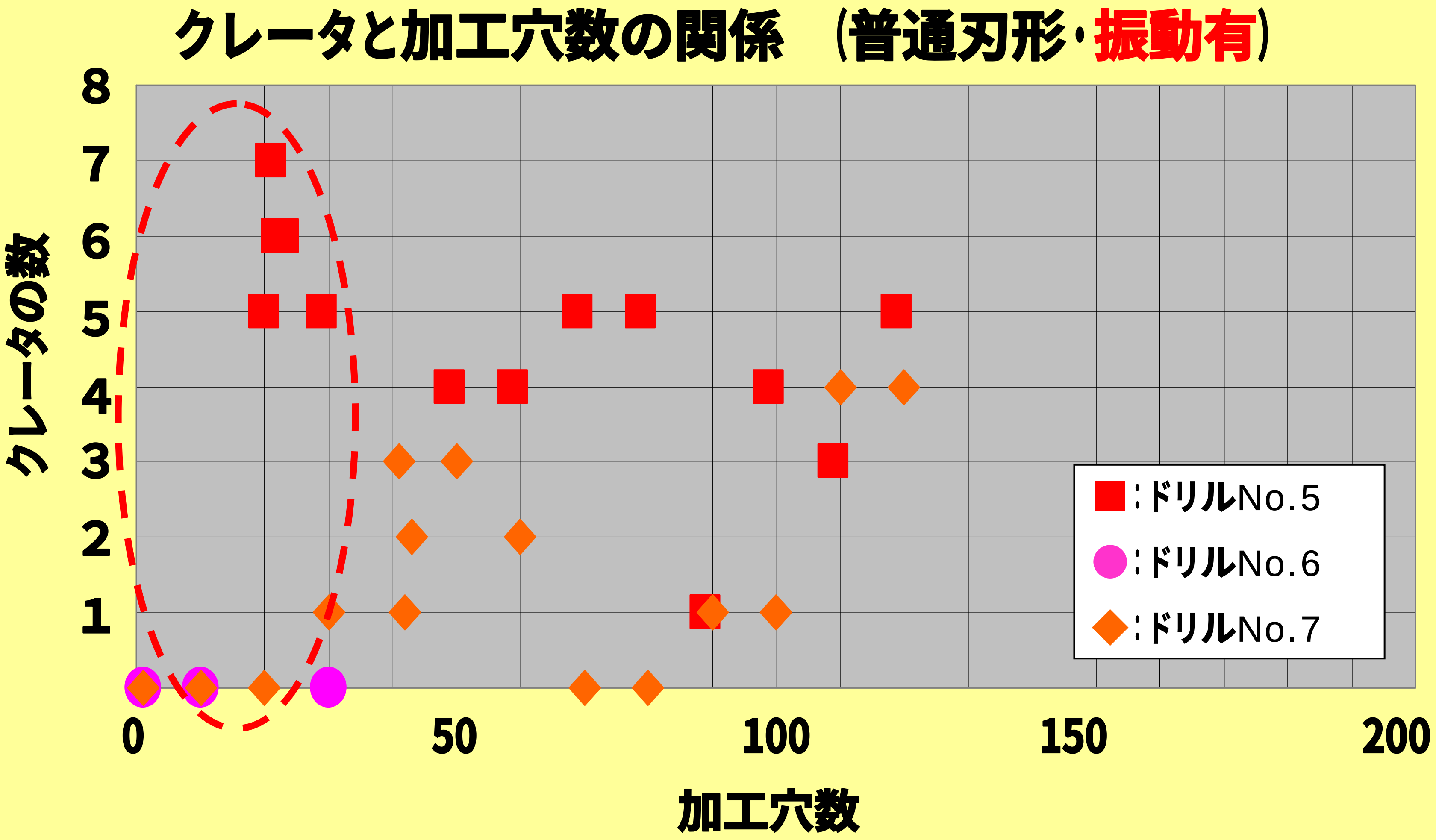
切削加工時に超音波ねじり振動を付加

- 穴内面の仕上げ精度への効果
  - → クレータの数の変化
- ドリル工具寿命への効果
  - → 切れ刃磨耗量の変化

穴内面の仕上げ精度への効果



穴内面の仕上げ精度への効果

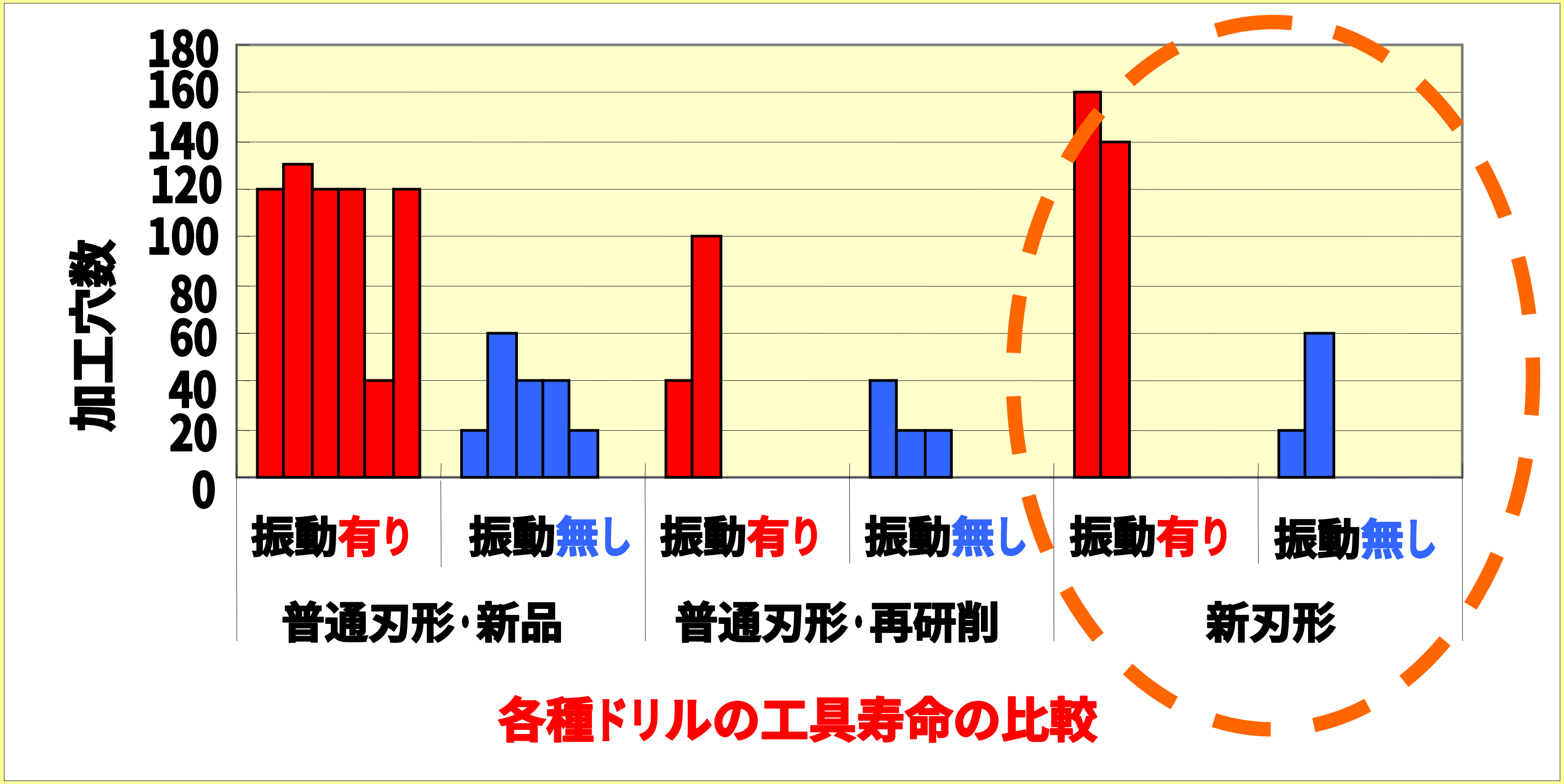


ドリル工具寿命への効果

20穴加工毎にドリル外周切れ刃磨耗量を記録・観察。

外周切れ刃磨耗量が再研削適正値の0.07mmに達するまで行う。

ドリル工具寿命への効果



超音波ねじり振動を付加することにより、

工具寿命が約2～4倍に延びる

超音波ねじり振動の効果

超音波ねじり振動を付加すると・・・

刃先は被削材を瞬間的に切削、離れを繰り返すため、
摩擦が少なくなる＝摩擦熱の減少

↓

刃形に関係なく・・・

- +45°の位置の**クレータの発生が抑制**される
- 工具寿命が**約4～5倍延びる**

結論

1．切削機構

・ドリル切れ刃が繊維に対して平行になった直後の＋45°の位置にクレータが発生する

・摩擦熱によってエポキシ樹脂の変形温度に達した部分(+45°)がドリル切れ刃により削られ、被削材にクレータが発生する

2．超音波ねじり振動付加効果

摩擦熱の発生が減少するため、

・+45°の位置のクレータの発生が抑制される

・ドリルの工具寿命は約4～5倍延びる

→ 経済的かつ高精度な穴あけ加工の実現

『CFRP穴あけ加工技術』のビジネスプラン概要

特許ビジネス市 in 大阪　(2007.10.17.)

(財)浜松科学技術研究振興会
静岡TLOやらまいか(STLO)

技術移転部長 特許流通アドバイザー　小野　義光

§ 事業の概要

＊ 本発明は、回転方向に対して超音波ねじり振動が付与される工具で被切削物を穴あけ加工する超音波振動切削方法のFRP穴あけ加工技術、及びそれにより得られる繊維強化樹脂（FRP）に関する。

加工装置の製造・販売・・・ 航空機産業／輸送機器関係の軽量化材料の加工

関連出願（1） 特願2005-340945

「超音波振動切削方法及びそれにより得られる繊維強化樹脂」

出願人： (財)浜松科学技術研究振興会 他1社

発明者： 沼津高専 制御情報工学科 教授 柳下 福蔵

外国出願： PCT/JP1006/32343 （WO2007/061044）

関連出願（2） 特願2007-132689 「穴あけ加工装置及び穴あけ加工物の製造方法」

出願人：(財)浜松科学技術研究振興会

発明者：沼津高専 制御情報工学科 教授 柳下 福蔵

§ FRP穴あけ加工技術（特にCFRPの穴あけ加工）の特徴

切削時の摩擦熱が著しく減少

穴あけ加工された
FRPの穴内面（45°）の
クレータ発生を抑制

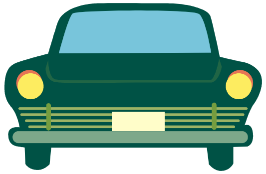
切削工具（エンドミル）の
寿命が約4〜5倍延びる
（低コスト化）

経済的かつ高精度なFRP穴あけ加工を実現

§ 対象となる市場 §

航空機産業

輸送機器関連（自動車・電車等）



§ 開発投資の必要性

現在実際に生産現場で実用的に使用できる加工装置ができていない

実用的な加工装置の開発が必要

性能試験の結果が
十分満足できるものであることを
実証する必要有り

終了です

ご質問をどうぞ