

精密加工におけるAE信号解析と信頼性の向上に関する研究

船田 昌・木下和久*・姫野敏彦*
機械電子部・*大分大学 工学部

Investigation on Analysis of AE-signal and Improvement of Reliability in Precision Machining

Masashi FUNADA・Kazuhisa KINOSHITA*・Toshihiko HIMENO*
Mechanics & Electronics Division・*Faculty of Engineering, Oita University

要旨

ファインセラミックス等の難削材の高精度研削加工の自動化と高能率化を実現するためには、インプロセスでの加工状態の把握と、難削材の研削に使用されるダイヤモンドホイールのツルイーグ法の確立をしなければならない。

本研究は、平成8～10年度において上記2項目についての研究を行うが、今年度はインプロセスで加工状態を把握する手法であるアコースティック・エミッション（以下AE）計測法について、基礎的実験である単粒圧子押し込み実験と単粒引っかかり実験を数種の被削材料に対して行った。AE信号を解析した結果、異なる被削材料においてAE信号の発生に特徴が見られた。また、脆性破壊の材料除去域でのき裂伝播のモードが明確になった。

1. 緒言

近年、ファインセラミックスの適用範囲が広がり、製品形状の複雑化と用途に応じて、二次加工が必要になっている⁽¹⁾⁽²⁾。その際に発生するき裂は目視できないものが多く、表面性状を知る方法は走査電子顕微鏡（SEM）等による観察が主である。また、加工表面下部へ向かって進展するメディアクラック等は確認が困難で、顕微鏡による観察では加工後にしか状況を知る事ができない。

このような状況において、加工能率の向上のためには、インプロセスで加工状態を知る方法が必要とされており、その手法の一つとしてAE計測法がある。しかしながら、AEの発生機構は十分に解明されるには至っておらず、研削過程との直接的な対応が付けにくいのが現状である。

本研究では、脆性破壊に関する理解をより深め、研削機構を定量的に解明することを目的として、き裂に関する情報を多く含んでいると考えられる単粒圧子押し込み実験を行った。また、研削における基礎的モデルである引っかかり実験を行い、研削抵抗、およびAEの解析結果をあわせて検討した。

2. 実験方法

2.1 AE計測システム

AE計測システム線図をFig.1に示す。AE変換子は

PZT圧電素子を使用し、グリースを媒体としてテーブルに固定した。研削によって発生したAE波は変換子で電気的信号に変換された後、プリアンプによって増幅され、ディスクリミネータによりノイズの除去が行われる。デジタルオシロスコープは、検出波をリアルタイムで観察でき、圧子と試験片との接触状態の観察、AEセンサ接触状態の検査等にも利用した。システムで離散化されたデータは磁気テープに記録された後、インターフェースを介してパーソナルコンピュータに転送され、解析される。

2.2 ダイヤモンド単粒押し込み実験

き裂の進展によって発生するAE信号の特性を把握するため、単粒ダイヤモンド圧子を用いて押し込み実験を行った。試験片には窒化珪素、サイアロン、アルミナを用いた。試験片の機械的性質をTable 1に示す。任意の荷重まで押し込み、圧子とその位置で10秒間保持した後、0.164m/sの割合で荷重を除去し、その時のAE波形を記録した。Fig.2に装置の概略図を示す。

2.3 ダイヤモンド単粒引っかかり実験

実験には平面研削盤を使用し、押し込み実験で用いたダイヤモンド単粒を取り付けて行った。引っかかり速度は平面研削盤の外部からモータドライブを用いて送りをかけることで与えた。本研究では、引っかかり速度を1.18mm/sの一定速度とした。任意の切込み深さについて観

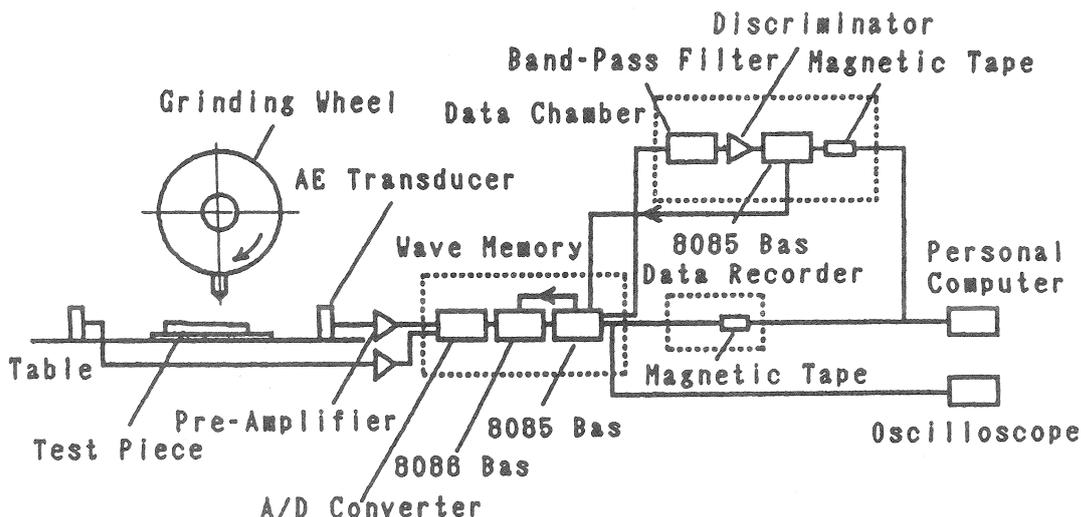


Fig.1 AE計測システム線図

Table 1 試験片の機械的性質

材料	密度 (g/cm ³)	ビッカース' 硬さ (Hv)	曲げ強さ (GPa)	破壊靱性値 (MPa·m ^{1/2})	ヤング率 (GPa)
SiAlON	3.26	15.5	0.88	6.0	127
Si ₃ N ₄	3.36	18.0	1.10	5.0	314
Al ₂ O ₃ -TiC	4.25	24.0	0.80	4.4	420

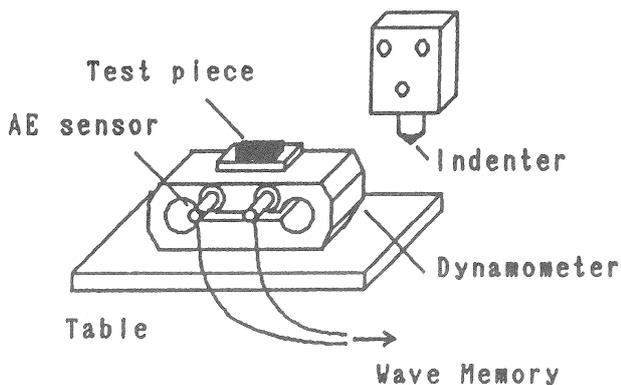


Fig.2 単粒押し込み実験装置概略図

察, 解析を可能にするために, わずかに勾配を付けたベースに試験片を接着しテーブルに取り付けた。これにより, 切込み深さはテーブルを送ることにより漸増する。研削溝の理論切込み深さは, 試験片表面が平坦であるとして, 研削開始点からの距離と試験片の傾きにより算定した。

3. 実験結果と考察

3.1 ダイヤモンド単粒押し込み実験

Fig.3 にそれぞれの被削材の荷重除去時におけるパワースペクトルを示す。各被削材とも1.4MHz付近まで幅広

い周波数帯にパワーが現れており, 材質の違いによる差異は認められなかった。S45Cの荷重除去時にAE信号が検出されず, 荷重除去時においてはき裂の進展以外AE源は考えにくい。セラミックスの脆性破壊時に検出されるAE信号のパワースペクトルは1.4MHz付近まで幅広い周波数帯をもつことが推察される。また, Fig.3において時間的推移は示されていないが, 圧子が材料に進入するに従って全体的にパワーは増加した。セラミックスの荷重除去時に発生するき裂は, 圧子直下から圧子を中心に周囲へ広がっていき, 被削材表面にまで達すると考えれば, 全体のパワーの増加はき裂の発生規模になんらかの関係を持つものと考えられる。

Table 2 はそれぞれの被削材において荷重除去時に突発型AE信号が発生する最低荷重を示したものである。この結果はTable.1 に示す各被削材の破壊靱性値に対応している。

Fig.4 はサイアロン, 窒化珪素, アルミナの任意の荷重除去時の累積オシレーションカウントをグラフに表したものである。

若干のばらつきがみられるが圧入荷重が増加するに従って累積オシレーションカウントは増加する傾向がみられ, また, 同一荷重における累積オシレーションカウントは, アルミナ>窒化珪素>サイアロンの順であることがわかる。これは, 破壊靱性値との対応が認められる。

3.2 ダイヤモンド単粒引っかかり実験

Fig.5 はアルミナ、窒化珪素における引っかかり試験の切込み深さを示したものである。切込み深さは粗さ計を用いて0.5mm 間隔で加工痕長さを直角方向に測定した。窒化珪素においては実測切込み深さには、ばらつきは見られなかった。これに対し、アルミナでは理論切込み深さ5.5 μ m 近傍からばらつきが大きくなっている。

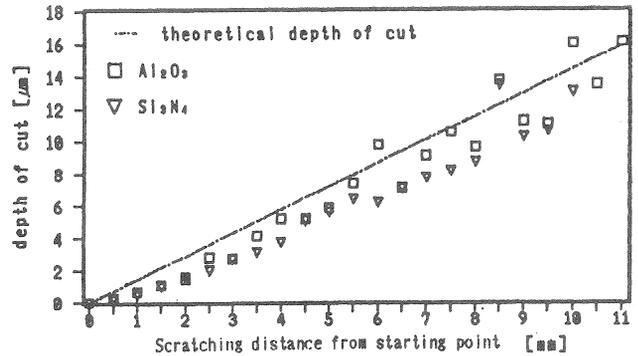


Fig.5 切込み深さ変化量

Fig.6 に窒化珪素を被削材とし、切込み深さを漸増させながら研削したときの法線研削抵抗の挙動を示す。一般にセラミックスの研削において、法線抵抗(F_n)に比較して接線抵抗(F_t)はかなり小さい⁽³⁾ ことから本実験では法線研削抵抗のみに注目した。

Fig.6 において、切込み深さが深くなり延性領域から過渡領域へと遷移するに従い研削抵抗に乱れを生じ始め、その乱れは過渡領域から脆性領域へと遷移するにつれ大きくなっていることが確認される。また、このとき検出されたAEのパワースペクトルを研削抵抗の特定箇所と対比させて示す (Fig.7 (a)~(b))。

Fig.6の(a),(b)部では研削抵抗が増加しており、パワースペクトルも0~0.35MHzの領域でパワーの盛り上がりを生じている。そのほか、0.4~0.8MHz 付近の周波数帯において若干パワーの増加が確認され、き裂の進展により発生すると考えられる1.4MHz近傍までの幅広いパワーの出現は認められない。なお、これについては、さらにデータの蓄積が必要である。切込み深さの浅い塑性変形による材料除去域においてAE信号が検出されなかったことを考慮すると、このときの研削抵抗の増加域は、塑性変形と共に微細き裂を生じる領域だと考えられる。

Fig.6(C)部では研削抵抗が減少しており、このときのパワースペクトルは0~1.4MHz 付近までの幅広い範囲の周波数帯にパワーが出現し、そのパワーは研削抵抗が減少するに従い増加している。き裂の進展により現れると思われる周波数帯の存在、またその地点での表面性状等を考慮すると、研削抵抗減少域は、切れ刃に先行してき裂が伝播する脆性破壊型の材料除去を行う領域であると

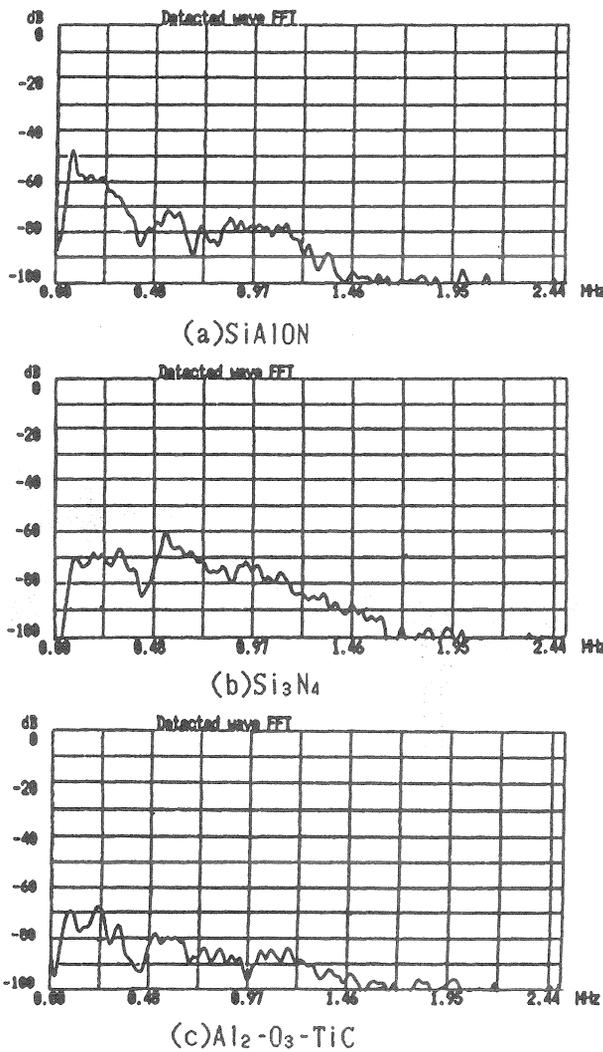


Fig.3 単粒圧子押し込み実験のパワースペクトル

Table 2 AE信号発生時の最低荷重

材料	最低荷重 (N)
SiAlON	80.4
Si ₃ N ₄	57.5
Al ₂ O ₃ -TiC	33.3

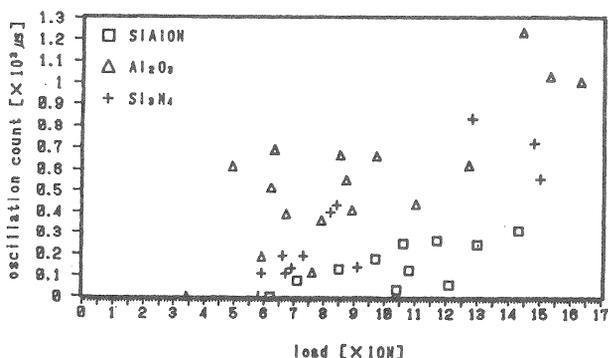


Fig.4 累積オシレーションカウント

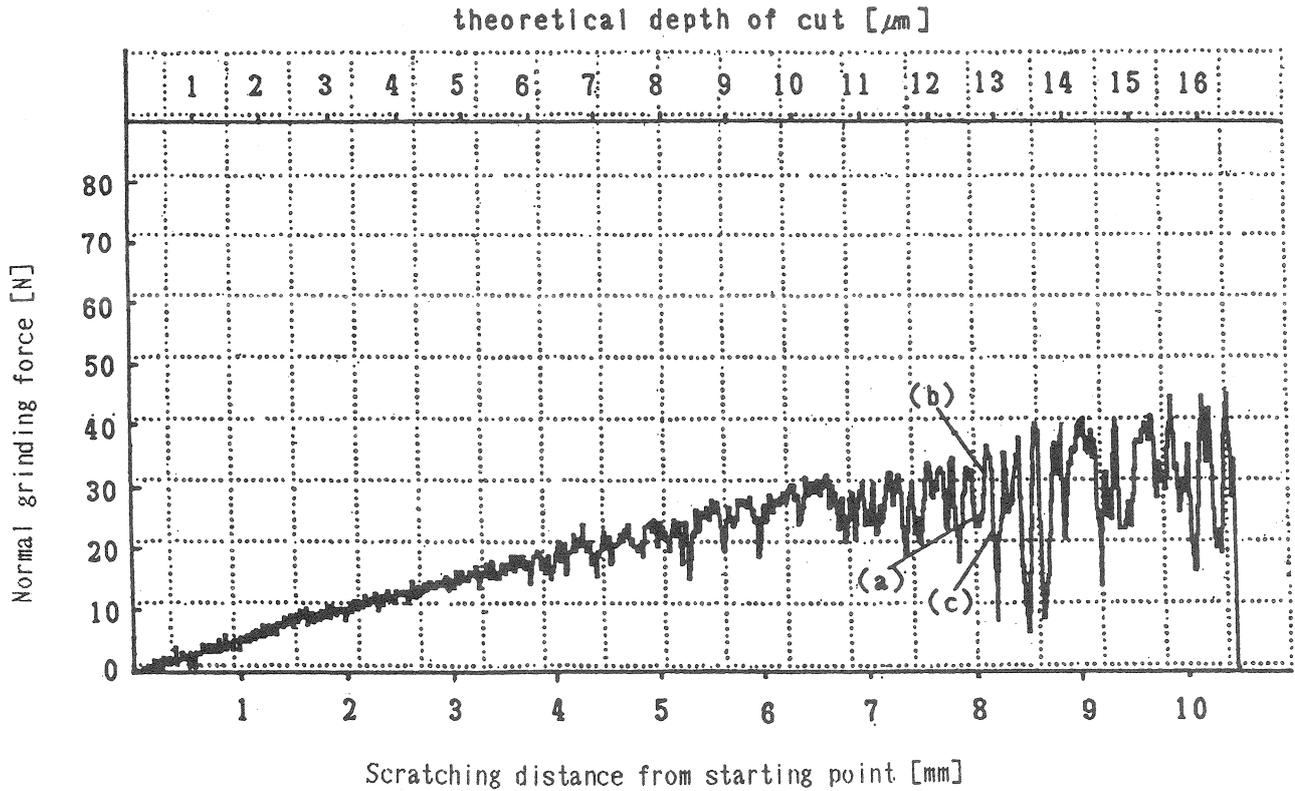


Fig.6 法線研削抵抗の推移

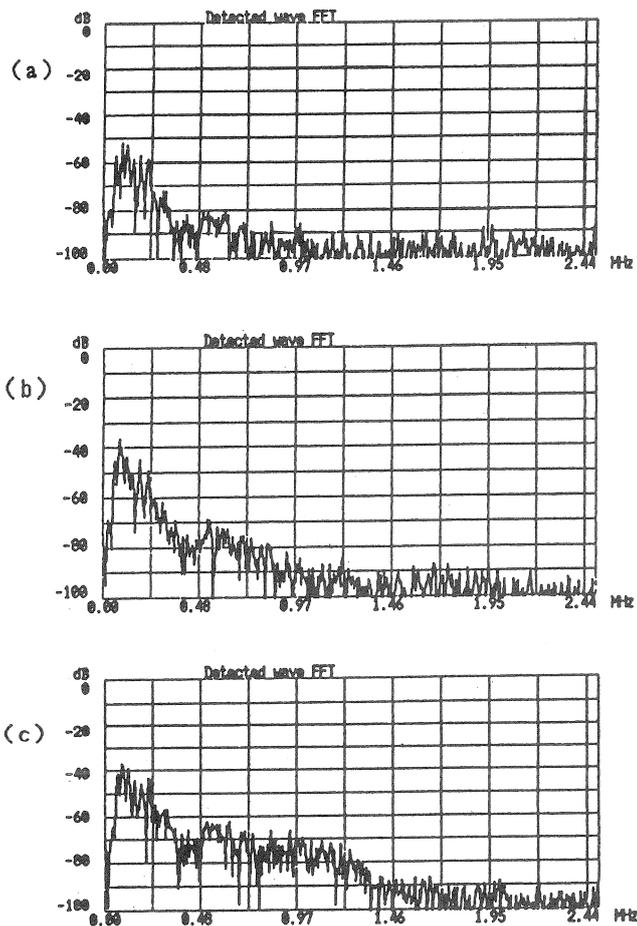


Fig.7 Fig.6(a)~(c)部のパワースペクトル

推測される。

以上のことから、脆性領域は、塑性変形と共に微細き裂を生じる領域と、切れ刃に先行してき裂が伝播する脆性破壊型の材料除去を行う領域が交互に現れる断続切削の状態にあると思われる。なお、これらの現象は異なる材質、引っかけ速度でも確認された。

4. 結論

- (1) 荷重除去時において突発型A/E信号が発生する最小圧入荷重は大きい方からサイアロン>窒化珪素>アルミナの順であり、これは破壊靱性値に対応している。
- (2) 荷重除去時に得られる累積オシレーションカウントは、同一荷重では多い方からアルミナ>窒化珪素>サイアロンの関係にあり、荷重が増加するに従って累積オシレーションカウントも増加していく。
- (3) 切込み深さが漸増していくとき、加工痕表面性状は延性領域/過渡領域/脆性領域と遷移していく。同一引っかけ速度では、窒化珪素に比べアルミナのほうが浅い切込み深さで遷移が行われる。
- (4) 脆性破壊型の材料除去域では
 - I. 塑性変形と共に微細き裂を生じる領域
 - II. 切れ刃に先行してき裂が伝播する脆性破壊の領域

の二つのモードが交互に現れる断続切削の状態にあり、これは研削抵抗の乱れ、パワースペクトルの挙動から判断できる。研削抵抗が増加域で、0~0.8 MHzの周波数帯にパワーが認められたときモードIの状態にあり、研削抵抗が低下域で、0~1.4 MHzの周波数帯にパワーが認められたときはモードIIの状態にある。

参考文献

- 1) 稲崎, ファインセラミックスの研削加工, 機論, 56, 530, C1-5(1990)
- 2) Y. Jong, I. Inasaki, S. Mastui, "Basic Study on High Efficiency Grinding of Advanced Ceramics", JSME, 53, 485, A209-16(1987)
- 3) 杉田, 上田, 島田, 石川, 伊藤, セラミックスの機械加工, 養賢堂

付録

A E信号の再現性を調べるために、サイアロンとアルミナについて実験を行った結果、以下のことが明らかになった (Fig.A-1, Fig.A-2)。

- (1) 単粒研削実験において、被削材が同じで、同一の研削痕において切込み深さがほぼ等しい場合、A Eの波形パターンは類似する。
- (2) 切込み深さがほぼ同じとき、パワースペクトルは低周波領域において高い類似性を示す。
- (3) 切込み深さが増加した場合、A E波形は振幅、周波数とも変化するが、パワースペクトルの比較においては、0~0.97MHz近傍の低周波領域での増加として現れる。
- (4) 異なる2本の研削痕においても、切込み深さがほぼ等しい場合には、A Eの波形パターンは高い類似性を示す。
- (5) (1), (4)の結果、切込み深さがほとんど等しい場合、同一被削材での比較においては、A Eの波形パターンは類似性があり、再現性には問題がない。
- (6) 被削材が異なる場合には当然予想されるように、切込み深さが等しいにも関わらず、2つの波形には顕著な相違が認められる。

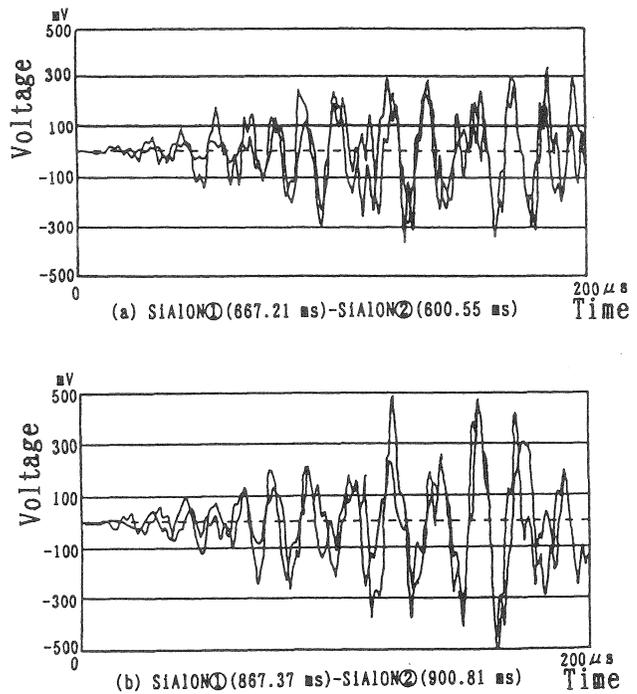


Fig.A-1 A E波形 (同一被削材, 同一切込み深さ)

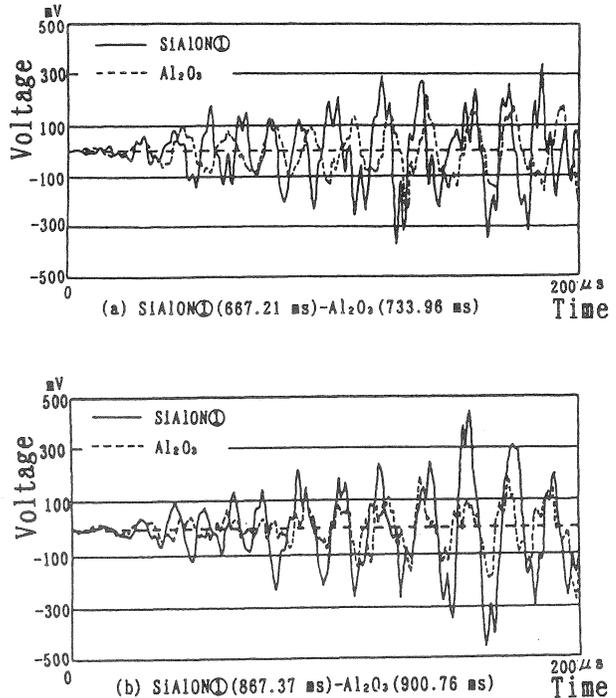


Fig.A-2 A E波形 (異種被削材, 同一切込み深さ)