

# プレス金型の故障診断手法の確立 (第4報)

## — 加速度データの解析 —

松原 早苗、横山 貴広

### The establishment of failure diagnosis system for die (IV)

#### - Acceleration data analysis -

Sanae Matsubara and Takahiro Yokoyama

本研究では、県内製造業の中核を担っているプレス加工企業を支援することを目的に、プレス機や金型にセンサを取り付け、そのセンサデータを解析することで、早期に加工異常を検知する技術の開発を目指している。本年度は、パンチによる打ち抜き工程における金型の摩耗や損傷を評価するため、新品のパンチを装着した金型に加速度センサとひずみゲージを取り付け、加工品にバリが発生するまで、また、金型が破損するまでの連続的なセンサデータを取得し、解析を行った。その結果、パンチの摩耗と金型破損により発生する加速度の波形の変化と現象について考察したので報告する。

## 1. はじめに

金型を用いるプレス加工は、加工速度が速く、大量生産に向くため、自動車や家電をはじめとして、広く使用され、県内製造業でも多く行われている。プレス加工は、高速に大量の製品を生産できる反面、金型に異常が発生すると大量に不良品を生成してしまう課題がある。そのため、現在、金型の異常を検出する方法として、加工品の抜き取り検査を行い、バリやキズなどを発見した場合、金型が摩耗した、損傷したと判断する方法や、ショット数を管理し定期的にメンテナンスする方法がとられている。しかし、抜き取り検査では、製品の不良を発見するまでの間、大量に不良品を生成してしまう問題がある。また、定期メンテナンスでは、メンテナンスにかかるコストが大きいと、不良を発生しない範囲の限界まで加工したいとの要望がある。そして、金型が亀裂等により破損する場合は、発生が予測できず事後対応となり、他の金型や機械へ損傷を与えることや、予定外の復旧作業を要することなど大きな損害につながる。そのため、金型の摩耗、損傷等の状態を、稼働中にリアルタイムに取得、可視化し、異常の発生や予兆を検知する技術が求められている<sup>1,2)</sup>。

金型の異常としては、金型の摩耗による製品のバリの発生、パンチやダイの欠損、異物混入（主にカス上がり）による圧痕などがある。中でも、不良発生の原因として発生頻度が高いのは、金型の摩耗による加工品のバリ発生である<sup>2)</sup>。

本研究では、プレス機や金型にセンサを取り付け、そのセンサデータを解析することで早期に加工異常を検知する技術の開発を目指す。昨年度は、トリミング工程の金型の摩耗評価を対象に、金型のダイに加速度センサを取り付け、プレス開始から終了までの初期、中期、終期の3段階について100ショットずつスポット的にデータ



(a) 加工品 (b) パンチ穴拡大図  
図1 対象とする加工品

を収集、解析し、波形と周波数分布の変化を確認した<sup>1)</sup>。しかし、スポット的なデータでは、波形の変化の原因がどのような現象に起因するか特定することが困難であった。そこで、本年度は、パンチによる打ち抜き工程を対象に、金型に加速度センサとひずみゲージを取り付け、パンチが新品から、摩耗するまで、また、金型損傷が発生するまでの2種類の連続的なデータを収集し、そのデータの変化と現象について考察したので報告する。

## 2. 実験

本稿では、トランスファー型を取り付けたクランクプレスを用いて、円筒側面へパンチにより打ち抜く工程を対象に実験を行った。加工品を図1に示す。金型に加速度センサとひずみゲージを取り付け、金型破損と、パンチの摩耗の2種類の異常に関するデータを取得した。サイクルタイムは約3秒であり、1ショットのデータは、下死点を基準に-0.5秒の時点から1秒取得した。データの収集開始は、パンチの新品への交換時とし、終了は異常発生時とした。データ数は、金型破損に関するデータが28,544ショット、パンチの摩耗に関するデータが

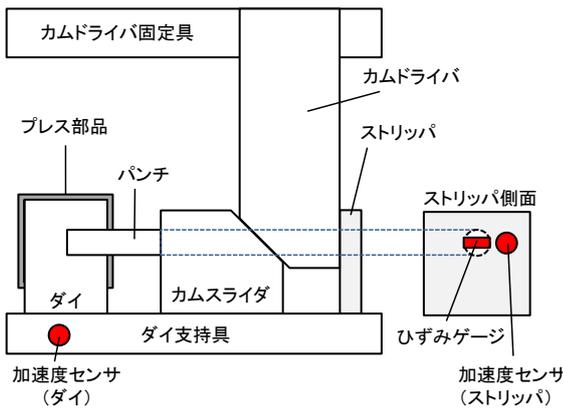


図2 金型略図とセンサの取り付け位置

147,178 ショットである。金型の概略図を図2に示す。加工時に、パンチの材料への接触、材料の変形・抜き、パンチの離脱等の工程により、金型に発生する振動が、パンチの摩耗や金型破損の影響により変化すると考え、金型に加速度センサを取り付けた。パンチの摩耗は、パンチのスライド方向に垂直な面で振動の変化が表れると考え、1つ目の加速度センサを図2に示すストリッパの位置に取り付けた。また、加工品にバリが発生した際は、加工品が取り付けられた金型の振動が大きくなると考え、図2に示すダイに近い位置に、2つ目の加速度センサを取り付けた。加速度センサは、ダイ、ストリッパ共に、PCB 社製の Model No.352C65 を使用し、専用のマグネット式の治具で設置した。サンプリング間隔は 10 $\mu$ sec とし、1 ショットのデータは、サンプリング点数は 100,000 点とした。以降、加速度センサにて取得したデータを加速度データと呼ぶ。

ひずみゲージは、金型にかかるひずみの変化をみるため、また、金型に加わる力と振動の発生タイミングの対応付けを行うため、図2に示すストリッパに貼り付け、金型のひずみの測定を行った。ひずみゲージは、(株)共和電業製 KFGS-10-120-C1 を用いた。サンプリング間隔は 20 $\mu$ sec とし、1 ショットのデータは、サンプリング点数は 50,000 点とした。以降、ひずみゲージにて取得したデータをひずみデータと呼ぶ。

2つの加速度センサとひずみゲージは、ひとつのデータロガー(株)キーエンス製 NR-600 を用い、同期をとり取得した。

### 3. 実験結果と考察

プレス加工中の加速度データ、ひずみデータから、金型の状態を判断するためには、加工工程と発生する加速度データ、ひずみデータの関係を知る必要がある。本報告の工程は、①ワークにパンチが接触、②ワークの破断、抜き、③カムドライバが最下点、④パンチがワーク内面から離脱、⑤パンチがワークから離脱という工程で構成

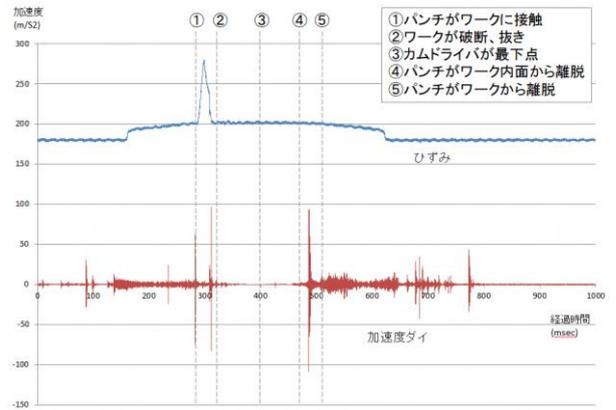


図3 N=10,000における加速度データ(ダイ)、ひずみデータと工程のタイミング

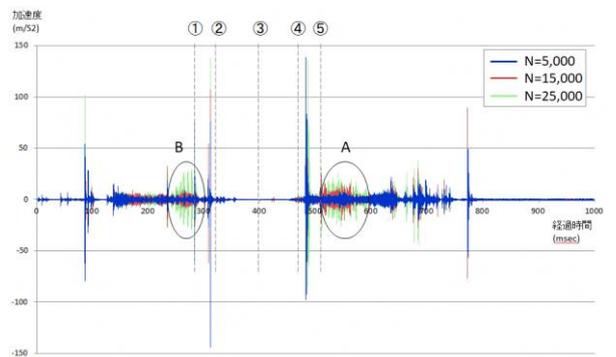


図4 加速度データ(ダイ)

される。ダイ側の加速度データとひずみデータ、そして、工程①から⑤のタイミングを図3に示す。

#### 3.1 金型の亀裂による破損

パンチ交換から28,544 ショット目で、パンチの摩耗でなく、カムドライバを固定する金型に亀裂が入り、破損したケースのデータについて解析を行った。ダイ側の加速度データのショット数 N=5,000、15,000、25,000 の波形を図4に示す。

図4のAの箇所は、ショット数の増加に伴い振動が大きくなっている。Aの箇所は、⑤パンチがワークから離脱した直後のタイミングである。①から⑤の加工中パンチは、ワークと一体になっており、ダイでも固定されているが、パンチがワークから離れる⑤以降では、カムドライバを固定している金型の亀裂により、パンチがぐらつき、振動が大きくなったと考えられる。Bの箇所は、N=25,000で波形が大きく表れた。Bの箇所は、①パンチがワークに接触する直前のタイミングである。カムドライバの固定金型の亀裂が大きくなり、大きくぐらつくパンチが、①以降にワークやダイに接触することによりパンチが固定され、振動が安定したと考えられる。

このカムドライバを固定する金型の亀裂発生ケースでは、ショット数の増加に伴い、ダイの振動が大きくなる傾向がみられた。そのため、得られる加速度データか

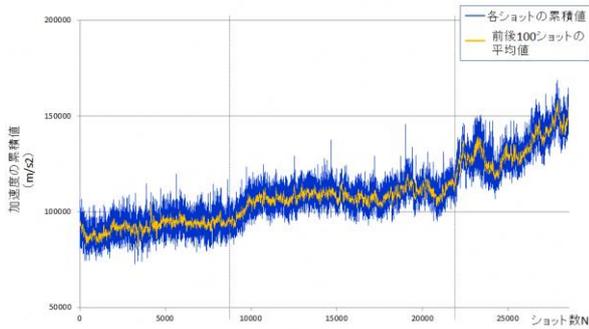


図5 ショット数に対する  
加速度データ（ダイ）の累積値

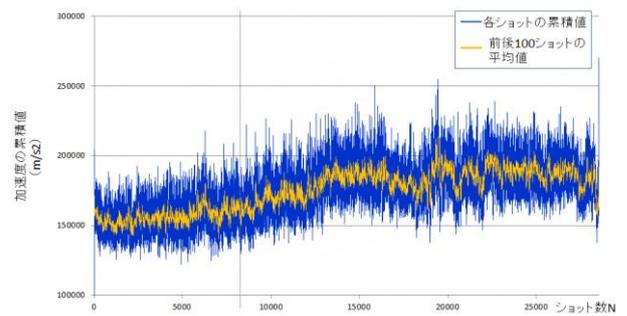


図7 ショット数に対する  
加速度データ（ストリッパ）の累積値

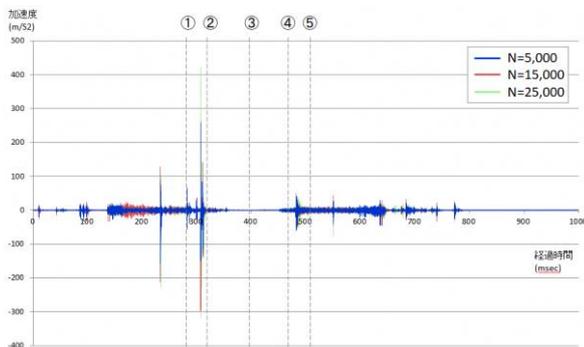


図6 加速度データ（ストリッパ）

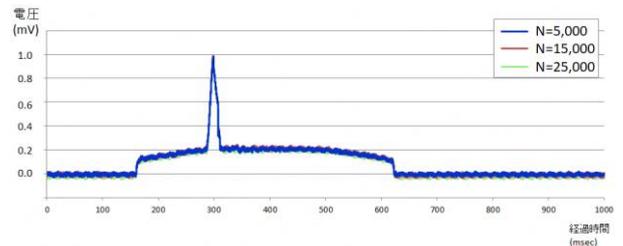


図8 ひずみデータ

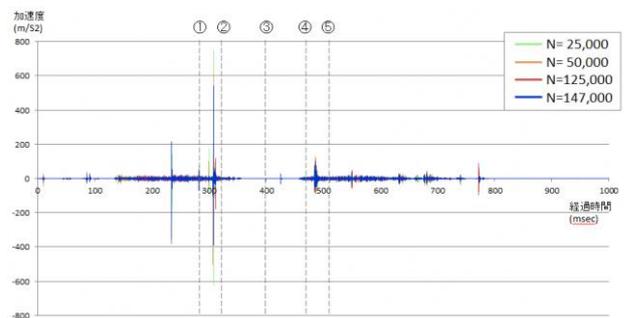


図9 加速度データ（ストリッパ）

ら今回の異常の判断を行うためには、累積値が有効だと考えられる。図5に、横軸をショット数、縦軸を加速度データの累積値とし、プロットした結果を示す。累積値が、N=8,000 辺りから大きくなり、その後一定になるが、N=22,000 辺りから急激に大きくなり、その後も大きく続けた。累積値の変化より、N=8,000 辺りで金型に亀裂が入り、しばらく状態が維持されたが、N=22,000 辺りにて亀裂が深くなり、その後徐々に進行し、N=28,542 にて金型が割れ、破損したと推測される。ダイ側の加速度データの累積値の変化に、完全に金型が割れ破損する前の亀裂の発生、進行状態、つまり異常の兆候が表れていると考えられる。

ストリッパ側の加速度データを図6に示す。また、横軸をショット数、縦軸を累積値とした結果を図7に示す。N=8,000 辺りから、小さな変化はみられるが、その後は大きな変化はみられなかった。パンチのぐらつきの方向とセンサの取り付け方向に関係があるのではないかと考える。異常に対し、適したセンサの取り付け位置や方向があると考えられる。

次に、N=5,000、15,000、25,000におけるひずみデータを図8に示す。ショット数の増加に伴うひずみデータ変化はみられなかった。しかし、ひずみデータと加速度データとが同期のとれているため、ひずみデータからパンチの接触や、ワークの破断、パンチの離脱といった工

程の正確なタイミングを取り出し、加速度データと対応付けることができた。

### 3.2 パンチの摩耗

パンチ交換から、N=147,000 辺りの加工品を抜き取り、目視検査にてバリ発生が発見され、パンチが摩耗したと判断したケースのデータについて解析を行った。

ストリッパ側の加速度データ N=25,000、50,000、125,000、147,000 の波形を図9に示す。3.2節の金型破損のケースとは異なり、摩耗は波形全体では、大きな変化はみられなかった。図10に、横軸をショット数、縦軸を累積値とした結果を示す。図より、機械が長時間停止した N=85,000 辺りで変化がみられた。再開時に振動が小さくなる傾向がみられるが、ショット数の増加に伴い一定になっており、摩耗の影響ではないと考えられる。

摩耗は小さな変化であるため、波形全体では変化が埋もれている可能性がある。そこで、①パンチがワークに

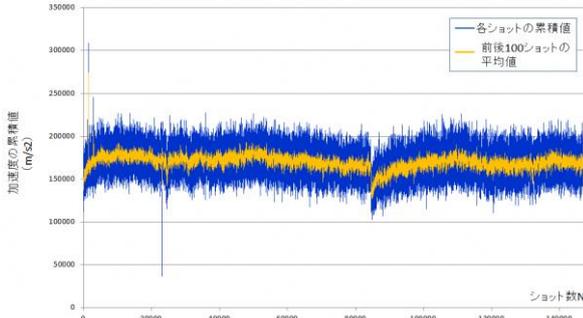


図10 ショット数に対する  
加速度データ（ストリップ）の累積値

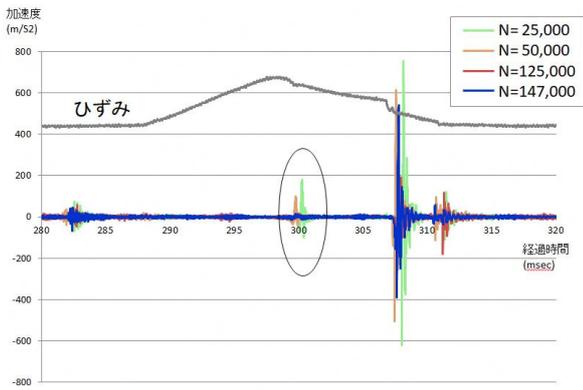


図11 破断前後の区間における加速度データ  
（ストリップ）

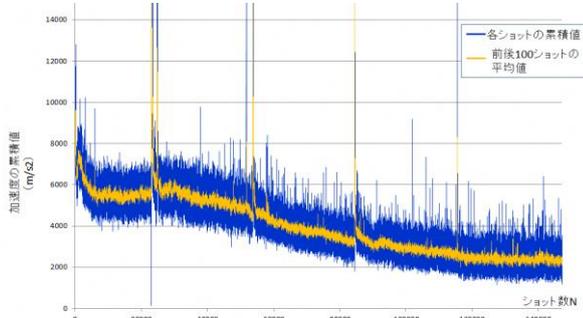


図12 破断直前直後の区間における加速度データ  
（ストリップ）の累積値

接触し、②ワークが破断、抜きが終わるまでの区間における N=25,000、50,000、125,000、147,000 の加速度データとひずみデータを図 11 に示す。図 11 中の丸の箇所における加速度の振幅が、ショット数が増加するにつれ小さくなっている。タイミングはひずみのデータより、破断直後とわかる。ショット数を横軸、ワークの直前直後である経過時間が 295~305msec の区間における加速度データの累積値を縦軸とした結果を、図 12 に示す。ショット数が増えるに従い、破断後の振動は小さくなる傾向が得られた。N=23,000、50,000、85,000、115,000 辺りにおいて値が大きくなっている。これは、機械の長時間停止後、再開時のタイミングと一致しており、再開直後

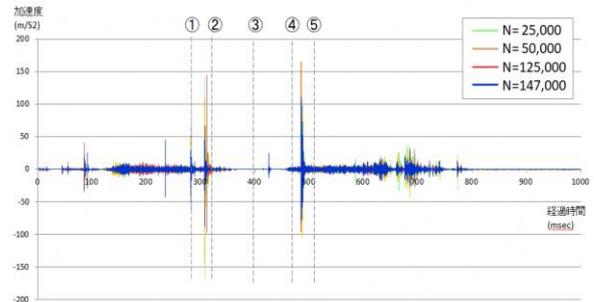


図13 加速度データ（ダイ）

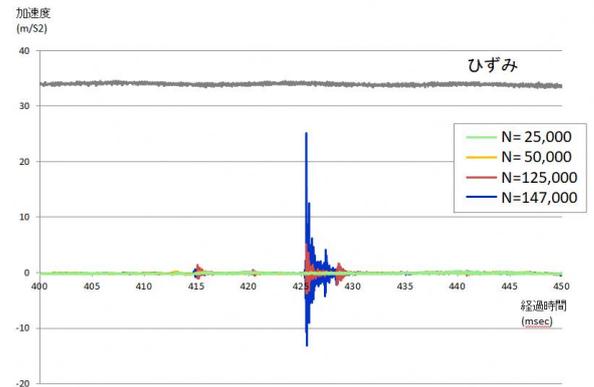


図14 パンチをワークから引き抜く区間における  
加速度データ（ダイ）

は振動が不安定であることがわかる。その点を除いては、徐々に振動が小さくなっている。これは、パンチが摩耗することにより、破断時の材料の厚さが薄くなり、破断直後の振動が小さくなるのではないかと推測する。

次に、N=25,000、50,000、125,000、147,000 におけるダイ側の加速度データを図 13 に示す。ストリップ側の加速度データと同様に、摩耗は波形全体では、大きな変化はみられなかった。ショット数と累積値においても変化はみられなかった。摩耗による変化は小さいため、ストリップ側の加速度データの解析と同様、①パンチがワークに接触し、②抜き加工が終わるまでの区間の波形、累積値について評価したが、ショット数の増加との関係は表れなかった。

③カムドライバが最下点から④パンチのワーク内面からの離脱の区間、つまり、パンチをワークから引き抜く区間における N=25,000、50,000、125,000、147,000 の加速度データを図 14 に示す。ショット数が増えるほど振動が大きくなっている。図 15 に、横軸をショット数、縦軸を③から④の区間における累積値とした結果を示す。ショット数の増加に伴い、累積値が大きくなっている。図よりパンチ穴断面にバリが発生し、また、パンチの摩耗により穴径が小さくなることで、パンチを引き抜く際に引っかかる振動が発生したと考えられる。どちらも、摩耗による振動と考える。

ひずみについては、金型の亀裂による破損の際と同様、

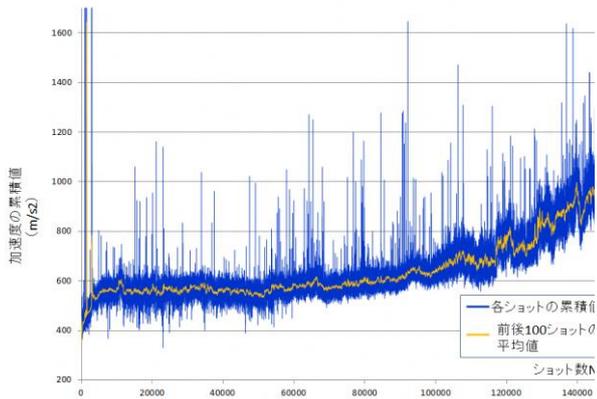


図15 パンチをワークから引き抜く区間における加速度データ(ダイ)の累積値

ショット数の増加との関係はみられなかった。

図16に、(a)N=27,000、(b)N=85,000、(c)N=120,000、(d)N=147,000 辺りにおける加工品の破断面の写真を示す。ショット数の経過と共に破断面が荒れていることがわかる。図16(d)N=147,000においては、バリが発生していることがわかる。これらの状態は、図15のN=85,000 辺りより、パンチをワークから引き抜く区間の加速度データの累積値が大きくなっている傾向に対応している。

ストリッパ側の加速度データについては、波形全体に対しての累積値において大きな変化はみられなかったが、破断直後の区間で、ショット数の増加により、振動が小さくなる傾向がみられた。また、ダイ側の加速度データは、ストリッパ側と同様、波形全体では摩耗による変化がみられなかったが、パンチを引き抜く区間において、ショット数の増加により、振動が大きくなる傾向がみられた。

#### 4. まとめ

本年度は、プレス加工のパンチによる打ち抜き工程におけるパンチの摩耗と金型損傷の異常を、加速度センサ、ひずみゲージのセンサデータから判断できるかを評価するための解析を行った。その結果、カムドライバを固定する金型が亀裂により破損したケースにおいては、亀裂の発生、進行が、ダイ側の加速度データの累積値の変化として表れた。パンチの摩耗による変化は、ストリッパ側の加速度データにおいて、破断直後の区間で、ショッ

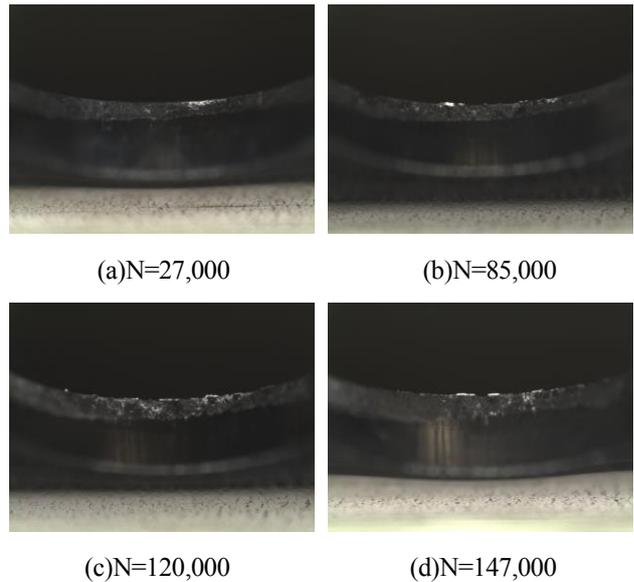


図16 破断面

ト数の増加により、振動が小さくなる傾向がみられた。また、ダイ側の加速度データは、パンチを引き抜く区間において、ショット数の増加により、振動が大きくなる傾向がみられた。ひずみのデータは、金型破損、パンチ摩耗のどちらにおいても大きな変化はみられなかった。

今後は、引き続き連続的にパンチによる打ち抜き工程のデータ収集、解析を行い、再現性確認の実験を行うとともに、AE(アコースティックエミッション)や力センサ等の他のセンサについても検討する。そして、センサデータから金型の摩耗や破損等の異常検知、予測を行うシステムの開発を進める。

#### 【謝 辞】

本研究を進めるにあたり、データ収集においてご協力を頂きました株式会社加藤製作所様に深く感謝致します。

#### 【参考文献】

- 1) 松原,岐阜県工業技術研究所研究報告 第6号, pp8-10,2018
- 2) 西本ら, 第11回アコースティックエミッション総合コンファレンス論文集,pp.195-198,1997