

音響を利用したシートの枚数検出法\*  
(第2報, シート移動状態での検出)坂本 秀一\*<sup>1</sup>, 一宮 亮一\*<sup>1</sup>, 太田 雄三\*<sup>2</sup>Method of Detecting Number of Sheets Using Sound  
(2nd Report, Detection of Moving Sheets)

Shuichi SAKAMOTO, Ryoichi ICHIMIYA and Yuzo OHTA

This paper deals with the development of a new method of detecting the number of moving sheets without contact. For example in a cash dispenser, paper sheets are transferred one by one and counted synchronously. Thus it is necessary to detect one or a many sheets to avoid mistransfer. Hitherto, the contact measuring method for detecting the transference of sheets has been used. Our noncontact sensor utilizes the variations in frequency response of the entire acoustic system of the sensor including the moving sheets. The impedance of sheets varies with its number. Thus the number of sheets shows good correspondence with the resonant frequency and frequency response of the acoustic system. It is possible to detect the number of moving sheets during a very short time period by means of variations in the frequency response.

**Key Words:** Sound, Sensor, Measurement, Number of Sheets, Moving State, Noncontact, Frequency Response

## 1. 緒 言

現在, 紙幣の自動支払機に代表されるように, シート状物体の搬送時に正確に速く枚数を計測する方法の需要が多い。従来このような場合は1枚ずつ送りながら計数する方法が多く採られている。このとき複数枚の誤送をいかにして検出するかが課題となっている。従来の検出法は主に接触式であるため接触子の摩擦対策や接触圧力の吟味が必要であり, 場合によってはシートを損傷する恐れもある。そのためシート材を扱う産業では非接触式で, 簡単かつ信頼性の高い測定方法が求められている。このような背景を基に, 本研究は音響を利用してシートの枚数検出を行う方法を開発しようとするものである。

本研究における枚数検出とは以下のものである。

センサ管端の検出面から隙間を隔てたシートの枚数により, センサ管端の音響インピーダンスは変化し, それに伴いセンサの音響系の周波数応答も変化する。こうしてシートの枚数は周波数応答の変化に変換され非接触で検出できる。<sup>(1)</sup>

本センサの実用にあたっては, シートが移動している状態で検出できることが望ましい。本報では, センサ上でシートの位置を少しずつ移動させた場合について周波数応答を測定し, さらに単一周波数を用いて出力電圧を測定した。また, 現金自動支払機の搬送時に近い速度でシートが移動している状態で枚数の検出が可能であるかを実験装置を試作し検証を行った。

## 2. センサの概要とその基礎的特性

**2.1 センサの概要** 図1にセンサの概略を示す。スピーカから放射された音波はセンサとシートの隙間の他にシートを透過して放射されるため, 空気柱端面から外側を見た音響インピーダンスはシートの枚数により変化する。したがってシートを含むセンサ内音響系の周波数応答も変化する。このように, シートの枚数を周波数応答に変換することにより枚数を検出する。

図1ではシートが静止している場合の基礎実験を行う装置を示している。この場合, シートはローラにより支持され, 検出面と一定の隙間を保つためシート長手方向の両端で若干の張力がかけられる。

**2.2 検出の原理** シートの搬送時はシートがセンサ上を通過する時間は限られている。短時間に枚数を判別するため, センサの周波数応答において特定の

\* 原稿受付 平成5年8月9日。

\*<sup>1</sup> 正員, 新潟大学工学部 (〒950-21 新潟市五十嵐2の町8050)。\*<sup>2</sup> 学生員, 新潟大学大学院。

周波数に対する応答の振幅に着目する。すなわち、正弦波音波をセンサ内に放射すると、枚数で定まる周波数応答曲線の違いによりマイクの拾う音圧の値は異なる。これにより瞬時に枚数が検出できる。

周波数応答を求めめるため伝達関数は図2(a)に示すような構成で測定した。FFTアナライザに内蔵されている信号発生器により0~5kHzの正弦波スイープ

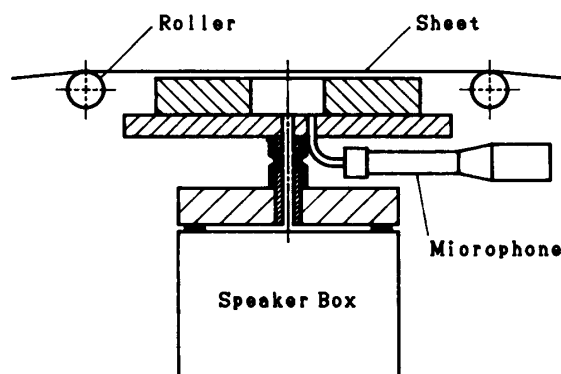
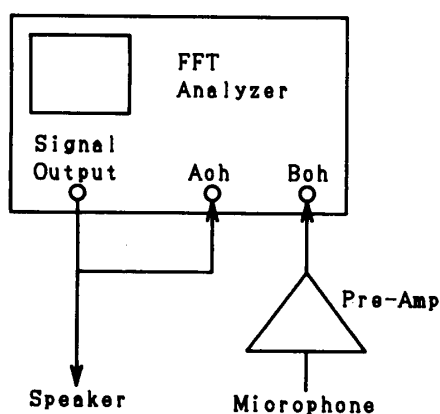
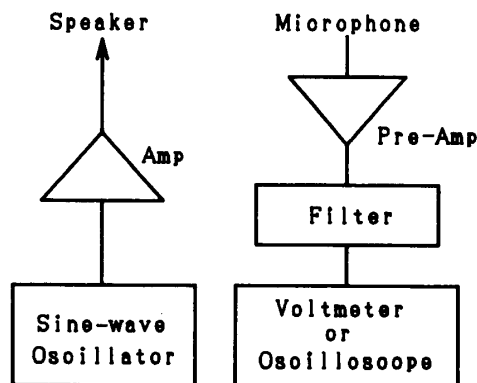


図1 装置の概略



(a) 伝達関数の測定



(b) 単一周波数の応答の測定

図2 測定器等の構成

信号をスピーカからセンサ内に放射し、それを基準信号としてAチャンネルに入力し、マイクがセンサ内の空気柱管端より拾った信号をBチャンネルに入力してフーリエ解析を行う。

図3に上質紙(面密度0.0671kg/m<sup>2</sup>, 見かけの厚さ0.078mm)を用いた伝達関数の周波数応答の測定結果を示す。シートが1枚の時の共振周波数 $f_1$ を破線で示し、3枚の時の共振周波数 $f_3$ を一点鎖線で示している。また、各周波数と1枚時の曲線の交点を"1", 2枚の時は"2", 3枚の時は"3"とマークしている。

図2(b)に単一周波数使用時の構成を示す。発振器からの正弦波をスピーカからセンサ内に入射する。センサ内の音圧はマイクで測定され、帯域外の信号を除去した後電圧または時間波形が測定される。

いま $f_1$ の正弦波信号をスピーカからセンサ内に放射したとする。このときシートが1枚であればマイクの出レベルは図3の破線と1枚時の周波数応答曲線との交点"1"に対応する。シートが2枚および3枚のときも同様に交点"2", "3"に対応する。

また、 $f_3$ を用いた場合も同様にマイクの出レベルは図3の一点鎖線との交点"1", "2", "3"の値に対応するが、この場合は複数枚になると1枚の時と比較してレベルが高くなる。

このように周波数応答曲線の特定の周波数に着目することにより瞬時に枚数が検出できる。

### 3. シートの位置による周波数応答の変化

3.1 センサとシートのすきまを変化させた場合の周波数応答と共振周波数の変化 現在までの実験によれば、紙幣や紙はポリエチレンシートと同様な特性を示すことが判っている<sup>(1)</sup>ため音響系の特性を探るには種々の厚さが入手可能なポリエチレンシートが有用である。そこで、面密度の異なるポリエチレンシートをセンサに取り付け、シート長手方向の引張り応力

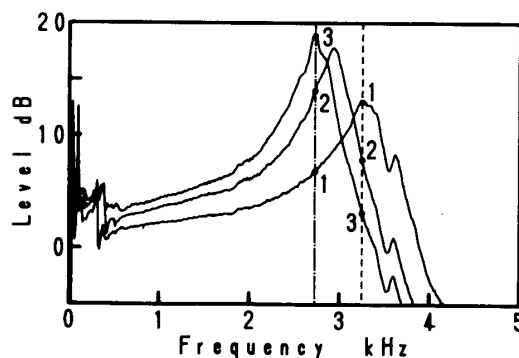


図3 枚数による音響系の周波数応答の変化(紙)

を  $1.77 \times 10^5 \text{ Pa}(18\text{gf/mm}^2)$  としたときの周波数応答を測定する。図4はこの周波数応答曲線から共振周波数を調べてプロットしたものである。センサとシートのすき間は  $0.5\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$  まで  $0.5\text{mm}$  ステップで変化させた結果について示した。ポリエチレンシートの厚さがいかなる場合でもシートとセンサのすき間が大きくなると音響系の共振周波数は増加する傾向がみられる。また、面密度が大きくなるにしたがい、共振周波数が下がっているのがわかる。

図5に先の上質紙についてシートとセンサのすき間を  $0.5\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$  まで  $0.5\text{mm}$  ステップで変化させた場合の周波数応答の測定結果を示す。

ポリエチレンと同様、シートとセンサのすき間が大きくなると音響系の共振周波数は増加する。さらに、

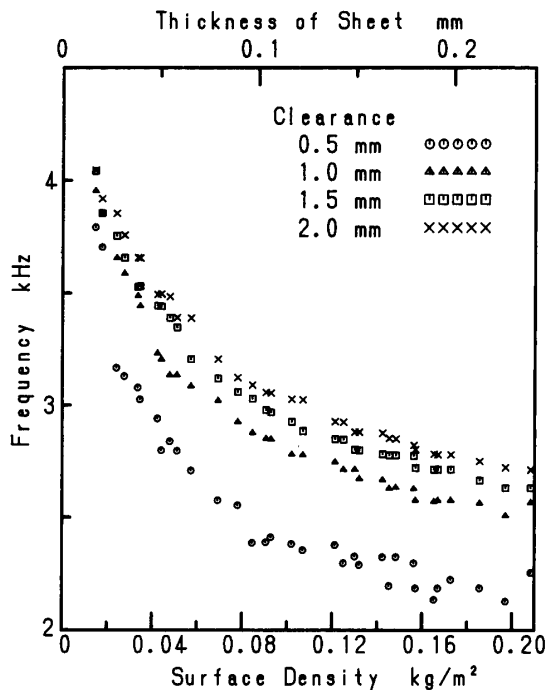


図4 すき間による共振周波数の変化(ポリエチレン)

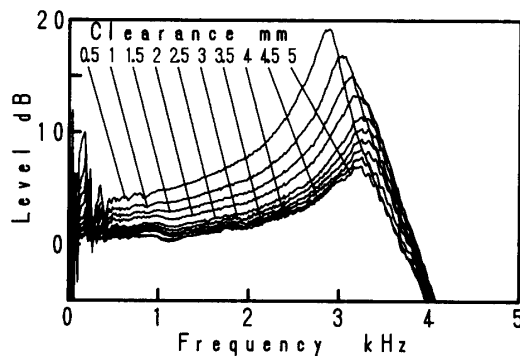


図5 すき間による音響系の周波数応答の変化(紙)

共振点近傍のレベルは全体に低くなる傾向がみられる。そして、すき間が  $2.0\text{mm}$  を越えるとすき間の変化に対して周波数応答曲線の変化が緩やかになり、共振周波数には顕著な差が見られなくなり、共振点のピークの高さが若干変化するのみとなる。次節で説明する装置ではすき間が  $3.0\text{mm}$  となるようにした。それによりシートが高さ方向に変位した場合の影響を小さくすることができる。

**3.2 シートの静的位置変化時の周波数応答** 図6はシートを移動させる装置の概略であり、図7にその写真を示す。シートはセンサの上下および両脇のベルトに挟まれながら水平に移動する。シートとセンサのすき間はベルトが張られた高さによって  $3.0\text{mm}$  に設定される。

図8はセンサの検出面を上から見たものである。A～Kまでの記号は移動してきたシートの前縁の位置を示す。本装置ではセンサへシートが引っかかるのを防止するガイドを上流側に付けてあるが、シートの高さ方向の位置や平面度を確保するためのガイドは特に考慮しなかった。本実験では折り目のない紙を使用

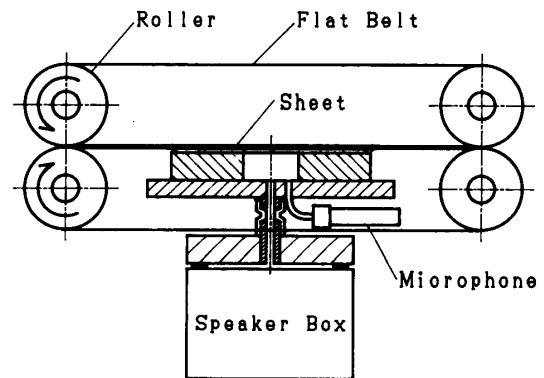


図6 シートを移動させる装置の概略

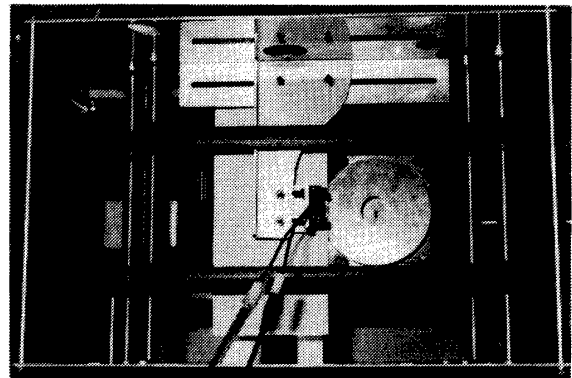


図7 シートを移動させる装置の外観

したため問題は生じなかったが、しわや強い折り目のあるシート(例えば流通した紙幣)については位置決めガイドを工夫する必要がある。

図9(a)は、1枚の上質紙を静止させた状態で、センサとの相対位置を変化させ、伝達関数の周波数応答を測定した結果である。A～Kまでの記号は図8で示した位置に対応する。ここで、シートの位置がDからFにかけてセンサの空気柱をふさいでいく過程における周波数応答は、次第に共振周波数が下降し、ピークのレベルが上昇している。

ところで、図5のシートとセンサのすき間を変化させた場合にも同じような変化が見られる。この現象は、センサ検出面の空気柱端面近傍の音響インピーダンスを考えることで理解できる。

すなわち、図5においてすき間が小さくなった場合は音が抜けにくくなり、シートとセンサのすき間のインピーダンスは大きくなる。このときも、次第に共振周波数が下降し、ピークのレベルが上昇している。

また、図9(a)のD～Fのように、空気柱がシートで完全に覆われる以前の状態では、センサ内部の空間が直接外部とつながれることになり、DからFの状態へ移行するにつれ開口部の面積は小さくなり、この部分のインピーダンスは次第に大きくなる。したがって、両者はいずれもセンサに等価な効果をもたらすことがわかる。

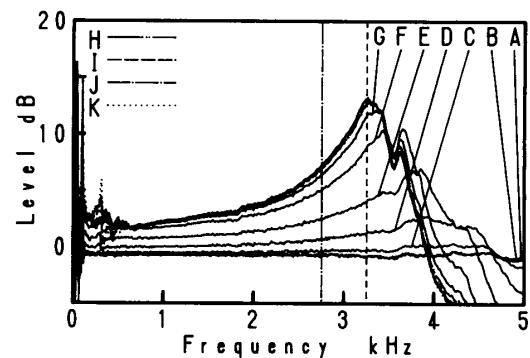
ところで、検出面の空気柱がほとんどシートで覆われていない状態(A～C)では、系は共振状態とならないため、シートがない場合とほぼ同じ結果となる。

図9(a)と同様にして、紙の枚数を2枚および3枚にした場合のシートの各位置における周波数応答はそ

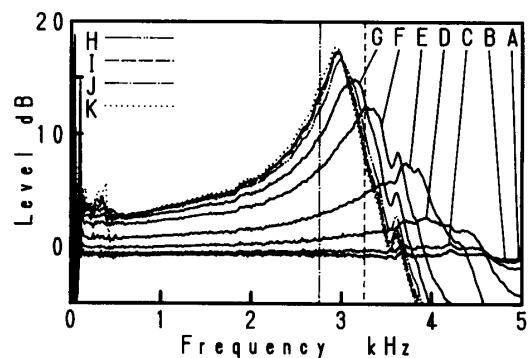
れぞれ図9(b), (c)に示した。各図には、1枚の時の共振周波数 $f_1$ と3枚の時の共振周波数 $f_3$ の位置にそれぞれ破線と一点鎖線を記した。次節で $f_1, f_3$ を使用した場合、シートの位置による電圧の応答はこれにより予想できる。

### 3・3 シートの静的位置変化時の単一周波数の応答

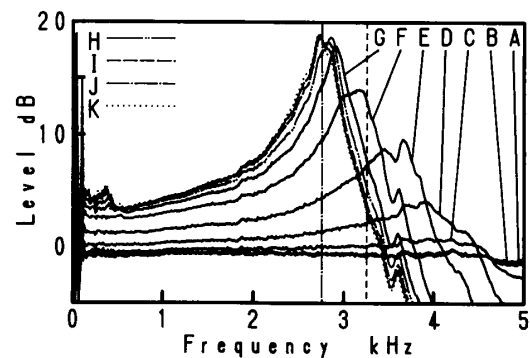
単一周波数 $f_1, f_3$ を用いてシートの位置(A～K)と枚数による電圧の応答を測定した結果が図10および図11である。前節の結果から予想されたとおりの



(a) 1枚の場合



(b) 2枚の場合



(c) 3枚の場合

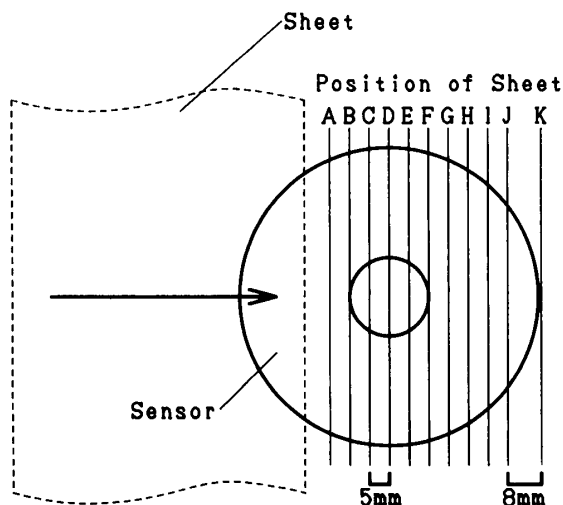


図8 センサ検出面上のシートの位置

図9 シートの位置による音響系の周波数応答の変化

結果になっていることが分かる。

シートの移動方向の中心とセンサの中心はシートの前縁がKに来たときに一致する。したがって、シートを連続的に動かした場合の時間応答は図10および図11におけるKを中心に左右対称の形になる。

#### 4. シート移動時のセンサの特性

**4.1 シートがセンサ上を通過する時間** シートの大きさは76mm(現行の一万円,千円紙幣と同じ幅)×200mmとした。移動方向の幅が76mmのシートが1.03m/s(本装置における実測値)で移動する場合、ある一点をシートが通過する時間は74msecとなる。

センサの検出面の空気柱の直径は20mmであるので、シート前縁が空気柱にさしかかってから(Bの位置)、後縁が完全に空気柱上から去るまでのシートの移動距離は96mmとなり、時間にして93msecである。また、シートが空気柱を完全にとおっている間(F~)のシートの移動距離は56mmとなり、時間にして54msecである。以上のことと、3.3節における結果を考えあわせると、時間応答は100msec以下であり、図3の状態に基づいたセンサの出力が一定になる時間は50msec以下であることが予想される。

**4.2 シート移動時の $f_1$ 使用時の時間波形**  $f_1$ を用いた場合、紙が1枚~3枚時の時間波形は、図12のようになる。なお、時間軸の時刻0は図8のAの位置に相当する。

1枚の時は単調にレベルが高い時間波形となる。図9(a)から明らかのように、この場合高原状態の始めと終わりの部分は3.2節で述べた理由に起因するものである。また、中間の部分は1枚時の共振ピーク(図3参照)に起因するものである。ここで、この時間波形は両者の合成によって出来ることがわかる。

2枚, 3枚の場合も、始めと終わりの部分のレベルが高い原因は3.2節で述べた理由に起因するものである。そして、中央部分ではレベルが低くなるが、これは図3の $f_1$ におけるレベルから明らかである。

例えば、ここでトリガレベルを7dBとすれば、2枚以上の時は約50msec間隔で2回トリガレベルを越えることになるので、これを検出すれば複数枚誤送が検出できる。

**4.3 シート移動時の $f_3$ 使用時の時間波形**  $f_3$ を用いた場合の時間波形は図13のようになる。

先と同様、時間波形の始めと終わりの部分は3.2節で述べた理由に起因し、中間の部分は図3の $f_3$ にお

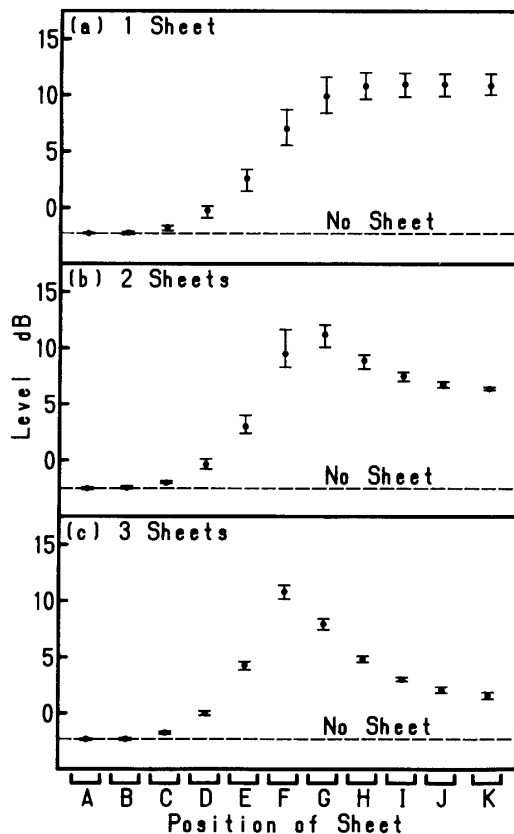


図10 シートの位置と枚数による $f_1$ の応答

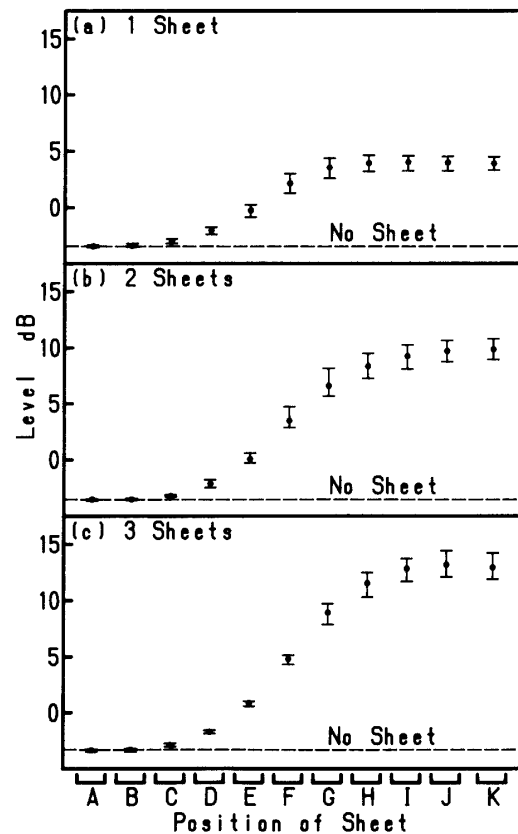
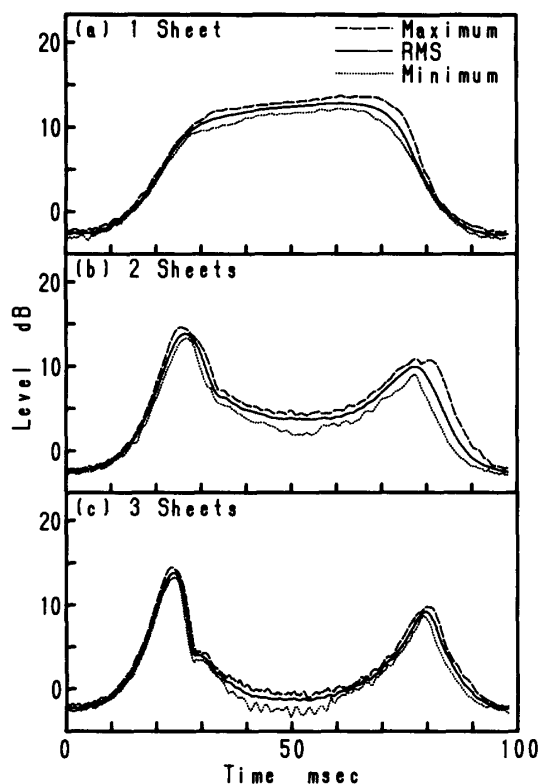
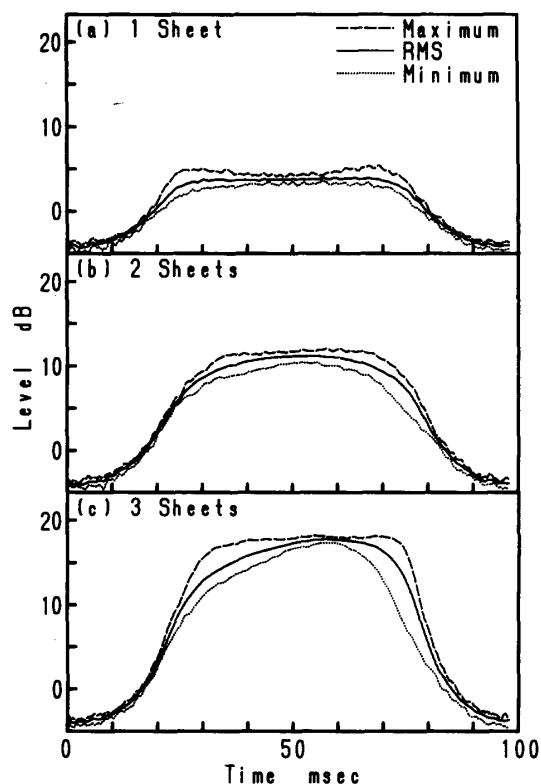


図11 シートの位置と枚数による $f_3$ の応答

図 12  $f_1$  によるシート移動時の時間波形図 13  $f_3$  によるシート移動時の時間波形

けるレベルにより理解されるものである。

結果として、1枚の時はレベルが低く、2枚時、3枚時のレベルが高くなる。したがって、1枚時と2枚時の中間のレベルをトリガレベルに設定しておけば複数枚誤送の検出が出来る。

また、ここでは省略するが、シートが2枚の時の共振周波数 $f_2$ を使用した場合も $f_3$ とほぼ同様な結果が得られた。

また、図 12, 13 で分かるように、実際に出力に変化が現れる時間は 80msec 程度である。

## 5. 結 言

シートの枚数を周波数応答の変化に対応させた非接

触枚数検出法について、シートの枚数を移動状態で検出する装置を試作し、基礎的実験を行い、つぎの結果を得た。

(1) 移動中のシートの位置は周波数応答に影響を与えるが、これはシートとセンサのすき間による影響と等価なものとして理解できる。

(2) シート移動時の出力電圧の時間応答は、シート位置に対応する周波数応答により説明できる。

本研究を進めるにあたり、株式会社日立製作所中条工場のご援助を賜った。ここに感謝の意を表す。

## 文 献

- (1) 坂本・一宮・太田, 機論, 59-559,C (1993),819.