

## パソコンを用いた音響測定の予備調査

近藤 勝也

Preliminary survey on acoustic measurement by using personal computers

Katsuya KONDO

Acoustic measurement is useful for studying audio, speech, acoustics, sound and noise etc. Recently, an audio functionality of personal computer is advanced and becomes to be used for the measurement. In this paper, available acoustic measuring method using personal computers are surveyed and the Audio Codec '97 (AC'97) is outlined that is the de facto standard of personal computer's audio functionality. The electrical specifications of the LSI made according to the AC'97 are mentioned in the data sheet, but the performance characteristics of the sound system including it are imprecise on an ordinary occasion. Then, it is necessary to examine the performance characteristics of the sound system before using it for acoustic measurement.

### 1. はじめに

オーディオ、音声、騒音などの研究に、音響測定は不可欠である。また、最近ではパーソナルコンピュータ（以下パソコンと略す）のサウンド機能が向上して、音響測定に使えるようになってきた。そこで、昨年度からスタートした音響工学関連の研究のために、パソコンのサウンド機能を調査し、音響測定への応用に当たって考慮すべき内容を整理することにした。先ず「音響」という言葉はよく使われるが、定義はあまり明確でないようである。手元の辞書を見ても「音響とは音や声が伝わることで、他の語との複合語として用いられることが多い」とある。ここでは音響測定を可聴周波数の振動の測定という意味で用いる。なお、英単語では「sound, acoustic, sonic」などが音響を意味する単語として、複合語の形成に使われている。

音や声は人の情報交換の重要な手段であるから、きわめて古くから音響学として研究されてきたが、それが音響工学と言われる研究対象になったのはA. G. Bell (1821~1894)によって電話機が発明されてからである<sup>1)</sup>。その後の音響工学は他の工学と同様にめざましく発展し、この間に、音響測定の基本である音響信号と電気信号の相互変換に関する研究も成果を上げて、現在の技術が確立された<sup>2, 3)</sup>。

一方、この10数年間にパソコンの技術が飛躍的に向上し、音響工学においてもあらゆる分野で活用されるようになって来た。音響測定ではアナログの音響信号とコンピュータが扱うデジタル信号との間の変換ボードがサウンドカードとして多数市販されて、音響工学研究のためのサウンド入出力装置として用いられるようになった<sup>4)</sup>。最近では、このサウンド入出力機能がほとんどのパソコンの標準装置になっているし、パソコンのコストダウンやLSIの集積化が進み、サウンド入出力部はマザーボード上に組み込まれるようになった。ところが、サウンド入出力装置を測定という面から見ると、パソコンの仕様書に詳細な説明がない、仕様の書き方が統一されていない、あるいは実際の性能が必ずしも保証されていないなど、ユーザーにとって使いやすい装置であるとは言いがたい状況になっている。

しかし、標準のサウンド入出力装置を音響測定に用いることが出来れば、費用の低減や装置の簡便さなどの点で効果が大きい。そこで、音響測定に使えるかどうか、あるいは使うためには何が必要かを明らかにすることが必要である。そのため、ここでは文献やホームページを参考にして調べたサウンド入出力装置の現状を述べると共に、今後の課題についても考察した。

## 2. パソコンを用いた音響測定

パソコンを用いた音響測定の全体構成の概要を図1に示す。マイクロホンなどで検出したアナログの音響信号を入力してデジタル信号に変換 (A/D変換) するアナログ入力部と、パソコンからのデジタル信号をアナログ信号に変換 (D/A変換) して出力するアナログ出力部とからなる。アナログ出力信号は増幅器 (アンプ) を通してラウドスピーカ (スピーカ) などに加えられ、いわゆる音に変換される。このうちアナログ入力部と出力部は同じ装置に納められることが多く、合わせてサウンド入出力部と呼ぶ。このサウンド入出力部がパソコンのどの部分に置かれるかに注目すると、パソコンと分離して外部に置かれる場合、専用のプリント基板が作られパソコンのインターフェースバスに装入される場合、パソコンのマザーボード上に置かれる場合に分かれる。これがパソコンを用いた音響測定の分類になるので、それぞれ、サウンドボックス方式、サウンドカード方式、オンボード方式と呼ぶことにする。以下にはそれぞれの方式の特徴を説明する。

なおこれらとは別に、もともと音響測定専用に開発された装置も数多く販売されており、専用なので測定精度が高く専門の信号処理が行われる。この装置でもパソコンと同様のマイクロコンピュータが使われているが、ここでの検討からは除外した。

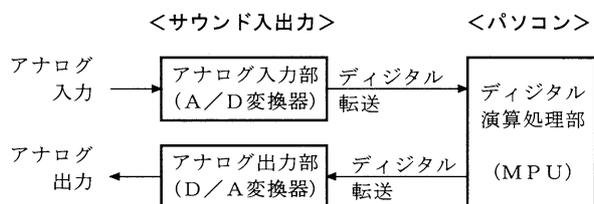


図1 パソコンを用いた音響測定の構成

### 2.1 サウンドボックス方式

サウンド入出力やデジタル信号処理を行う専用処理装置が置かれ、パソコンとは標準のインターフェースでつながれてデジタル信号の受け渡しが行われる。図2に一例を示すが、サウンド入出力装置がボックスとしてパソコンから独立しており、その出力はPCカードで、ノートパソコンのPCMCIAバス (Personal Computer Memory Card International Assosiation, PCカードバスとも言う) につながっている。具体例をあげると、ティアック電子(株)が販売している製品名「音響振動解析フロントエンドSymphonie<sup>5)</sup>」がある。また、(株)コアテックスが販売している製品名「USBデジタルオーディオプロセッサCTX7010B<sup>6)</sup>」ではPCカードバスの代わりにUSB (Universal Serial Bus) バスが使われている。

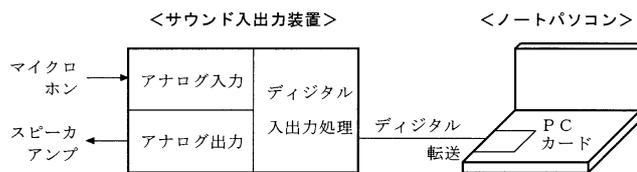


図2 サウンドボックス方式の例

また音響データのみであれば、サウンド入出力部とパソコンをオーディオ用の光インターフェースS/PDIF (後述) でむすんだ製品も販売されている<sup>7)</sup>。

この方式はA/DおよびD/A変換器がパソコン本体から切り離されるので、アナログ信号回路がパソコン本体が発するノイズの影響を受けにくい点が他の方式に比べ優れている。A/D・D/A変換部を自由に設計できるため、測定器として精度の高いものが多く、さらに音響測定に必要な色々の機能を容易に追加できるのも特徴である。また、パソコンで解析するための専用ソフトなどもある。このように専用装置なので、音響測定とその解析には向いているが、価格はどうしても高くなる。そこで、次節以下に説明する方式の精度の目標になると考えればよい。

### 2.2 サウンドカード方式

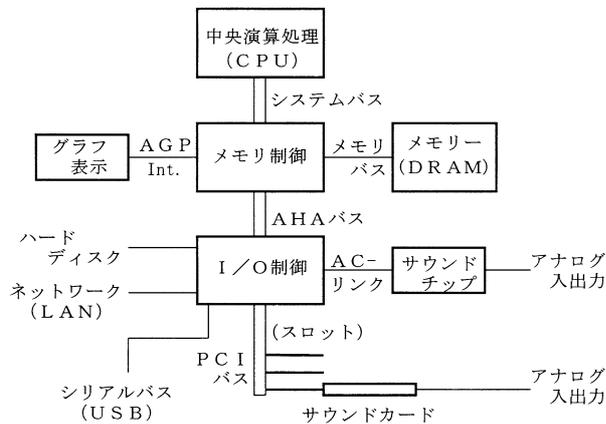
図3はインテル系のマザーボードを例<sup>8)</sup>に、最近のパソコンのハードウェア構成を示す。図中の四角で囲まれた部分が主なLSIで、マザーボードの構成を大きく分けると、CPUとメモリと通称チップセットと呼ばれる制御部分になる。チップセットとは、メモリ制御とI/O制御を行うLSIチップのセットという意味である。I/O制御は図のような周辺装置の制御を行い、その中のPCI (Peripheral Component Interconnect) バスは周辺機器とのインターフェース規格の一つで、スロットと呼ばれるカードコネクタにPCIバス規格のプリント基板 (カード) を差し込むようになっている。このプリント基板上にサウンド入出力とデジタル信号の受け渡しを中心とした回路を構成したのがサウンドカードで、サウンドカード方式は、このカードにアナログの音響信号を接続する。

今のオンボード方式が主流になる前はパソコンと音響信号とのインターフェースはサウンドカードが中心であった。過去に各メーカーからいろいろのサウンドカードが発売されたが、現在ではCreative Labs社 (略称クリエイティブ) のSound Blasterシリーズとその互換カードが事実上の標準 (デファクトスタンダード) カードとして定着している<sup>4)</sup>。このカードは現在でもよく使われており、最近では価格も下がっているようである。

同社の代表的な製品であるSound Blaster Live5.1の主な

接続端子の仕様を表1に示す。アナログ入力ライン（ステレオ）とマイクという通常のサウンド入力と同様である。モノラルマイク入力がステレオジャックになっている点については次章で説明する。一方、アナログ出力はステレオ×3出力で、合計6チャンネル分ある。これは前方左右、後方左右、前方中央及び低音用の各スピーカの組み合わせで、いわゆる5.1チャンネルスピーカに対応している。更に外部に変換器が必要であるが、デジタルS/PDIF（Sony/Philips Digital audio Interface）やMIDI（Musical Instruments Digital Interface）などのデジタル入出力も備えている。これから分かるように、本格的なオーディオ用として設計されたサウンドカードである。

なお、音楽のプロ仕様のサウンド専用装置は高級・高精度の製品がいろいろ発売されているが、本論文の目的から外れるので、調査の対象外とした。



AGP Int. : Accelerated Graphics Port Interface  
AHA: Accelerated Hub Architecture

図3 パソコンマザーボード構成の例

表1 Sound Blaster Live5.1の接続端子

| 項目                      | 端子仕様               |
|-------------------------|--------------------|
| <b>&lt;オーディオ入力&gt;</b>  | (BP: バックパネル)       |
| アナログライン入力               | BPのステレオミニジャック      |
| 同上 モノラルマイク入力            | 同上                 |
| 同上 CD用入力                | カード上の4ピンModexコネクタ  |
| 同上 補助(AUX)入力            | 同上                 |
| 同上 モデム用(TAD)入力          | 同上                 |
| デジタルCD_S/PDIF入力         | カード上の2ピンModexコネクタ  |
| <b>&lt;オーディオ出力&gt;</b>  |                    |
| アナログライン出力(兼ヘッドホン)       | BPのステレオミニジャック      |
| 同上 リアスピーカ出力             | 同上                 |
| 同上 センタ&ウーファースピーカ出力 又は   | 同上                 |
| デジタルS/PDIF出力            | BPのDINコネクタ         |
| <b>&lt;インターフェース&gt;</b> |                    |
| ジョイスティック又はMIDI          | BPのD-Sub15ピンコネクタ   |
| 光デジタル                   | カード上のAUD_EXT2x20ピン |

### 2.3 オンボード方式

パソコン機能の高度化やLSI集積化の流れの中で、いままですべてのサウンドカードで行っていた機能をマザーボード上に移したのがオンボード方式である。図3のI/O制御から出ているサウンドチップと呼ばれるLSIがマザーボード上に置かれ、これとI/O制御用のチップセットの一部とで、サウンドカードの機能を代替するようになった。この方式は他の方式に比べコストの面で有利である。

このサウンドチップや前節のサウンドカードの規格はオーディオコーデック'97 (Audio Codec'97, AC'97と略す) がほぼデファクトスタンダードになっており、パソコンを音響測定に利用するためにはこの規格を調べておく必要がある。オンボード方式の回路やAC'97については3章で詳しく説明する。

### 2.4 音響測定で検討すべき仕様

今までに説明した3種類の方式の中では、測定のために作られたサウンドボックス方式が一番精度が高いと考えられるので、そのカタログに書かれた仕様を参考に、音響測定に必要な仕様を説明する。

サウンドボックス方式の仕様例としてCTX7010Bのカタログ<sup>6)</sup>の一部を表2に示す。このうちデータ分解能とサンプリング周波数は基本的な仕様で、音楽用CDの規格である分解能16bit、周波数44.1kHzを満足していることが

表2 CTX7010Bの主な仕様

| 項目                               | 仕様                       |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>&lt;基本仕様&gt;</b>              |                          |
| チャンネル数                           | 2チャンネル                   |
| データ分解能                           | 16bit                    |
| サンプリング周波数                        | 32, 44.1, 48kHz          |
| <b>&lt;A/D入力部&gt;</b>            |                          |
| 入力信号                             | 差動入力                     |
| 最大入力電圧                           | ±2.828V (p-p)            |
| A/Dコンバータ                         | 24bit 6倍オーバーサンプリング(Δ/Σ型) |
| ゲインデジタル制御                        | 6dBステップ4段階               |
| <b>&lt;D/A出力部&gt;</b>            |                          |
| 出力信号                             | シングルエンド出力                |
| 最大出力電圧                           | ±2.828V (p-p)            |
| D/Aコンバータ                         | 24bit 8倍オーバーサンプリング(Δ/Σ型) |
| アッテネータデジタル制御                     | 0.5dBステップ256段階           |
| <b>&lt;アナログ特性&gt;</b>            |                          |
| 周波数特性                            | 20Hz~20kHz(±2.5dB以内)     |
| S/N                              | 83dB以上*                  |
| ひずみ率                             | 0.010%以下*                |
| (* 1kHz, HPF 400Hz, LPF 300Hz使用) |                          |

最低条件である。この点については、3つの方式とも仕様が明確にされており、いずれも条件を満たしている。

それ以外にも表2の仕様は測定装置として大切な条件が多く、特に専用装置であるから測定システム全体としての性能が示されていることに注目する必要がある。また、アナログ信号を取り扱う時の一般的な仕様として直線性も加えるべきである。更に、A/D入力とD/A出力を同時に動作させられるか、その時の時間の同期がとれるかなども大切である。サウンドカード方式やオンボード方式ではサウンド入出力システム全体としての仕様が明らかにされていない場合が多い。したがって、これらを音響測定に使う前に、システム全体としての仕様や性能を調査あるいは実測しておくことが必要である。なお、AC'97規格の仕様については次章で説明する。

### 3. パソコンサウンド規格

サウンドカード方式とオンボード方式のサウンド入出力装置では、AC'97規格がデファクトスタンダードになっているので、その内容を整理し音響測定のための課題について検討する。

AC'97はインテル、アナログデバイセズ、ヤマハ、クリエイティブおよびナショナルセミコンダクタの協議によって作成され、1996年5月に発表された規格である。AC'97の特徴をナショナルセミコンダクタ社の資料<sup>9)</sup>から引用すると次のようである。すなわち「AC'97はミックスド・シグナルチップと完全なデジタルチップの2つに分け、性能の向上と柔軟な設計を可能にしました。たとえばアナログ入出力や音声入出力端子をまとめることにより、デジタルチップからの信号が不必要に混入することを最小に押さえます。同様にデジタル音声コントローラをアナログ・コーデックから分離することにより、S/Nが大幅に改善されます。(一部筆者加筆)」

以下にはLSIメーカーのデータシートに基づいてAC'97の規格を具体的に説明する。

#### 3.1 オーディオコーデック'97

インテル社の資料<sup>10)</sup>に基づき、AC'97に準拠したサウンドカードのシステム構成例を図4に示す。AC'97はサウンドと音声モデムに関するハードウェア仕様と信号インターフェースの規格で、オプションや拡張機能を含めると記述範囲が広い。その中から、図は音響測定に係のあるサウンド入出力を中心に簡略化して示した。

まず全体はAC'97デジタルコントローラとAC'97アナログコーデック（それぞれコントローラとコーデックと呼ぶ）に分かれ、両者の間はAC-リンクと名付けら

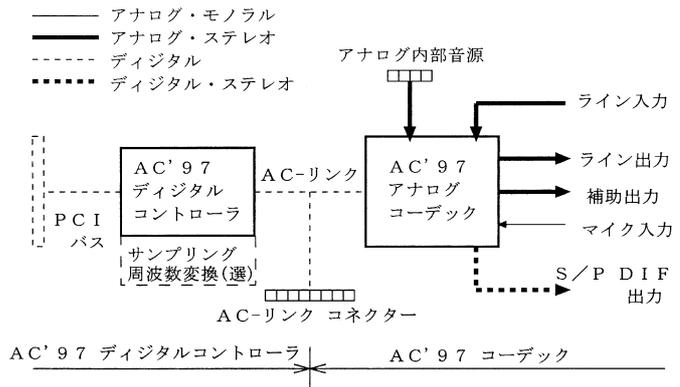


図4 AC'97準拠のサウンドシステムの例

れたデジタルインターフェースで結ばれている。前者はデジタル関係の制御を行いPCIバスによってCPU側につながっている。後者の機能は入力信号のミキシングとアナログ・デジタル間の相互変換の2つに分かれるが、詳細は後述する。A/D変換、D/A変換ともにサンプリング周波数は48kHzである。音楽用CDの標準の44.1kHzなどへの変換はコントローラのオプション機能になっているので、音響測定においては注意が必要である。コーデックに入力されているアナログ内部音源はパソコン内蔵のCDなどのことで、カード上のコネクタによってパソコン内でつながれる。最近のオーディオで使われるようになったデジタルインターフェースはS/PDIFがRevision2.2より規格に入れられた。以下にはサウンド入出力に関するAC'97コーデックの主な仕様をあげておく。

- ・16bitステレオ (2ch) のD/AおよびA/D変換
- ・サンプリングレート (周波数) 48kHz  
(オプションでサンプリングレート変換)
- ・アナログライン入力はステレオ4chまで設計可
- ・マイク入力は20dBアンプ付、ソフトでゲイン調整可
- ・アナログ出力はライン、補助(各ステレオ)とモノラル
- ・オプションで18又は20bitのD/A・A/D変換可

なお、図4の例は専用カード方式なので、デジタルコントローラがマザーボードのPCIバスに接続されている。オンボード方式では、デジタルコントローラ部分はチップセットのLSIの中に入れられ、コーデック部分のみがサウンドチップとしてマザーボード上に置かれる。その時は、チップセットとサウンドチップはAC-リンクで結ばれる。(図3参照)

#### 3.2 AC'97コーデックサウンドチップ

図5はAC'97に基づいたサウンドチップの内部構造で、メーカーのデータシート<sup>11, 12)</sup>を参考にサウンド入出力に関する信号の流れを中心に簡略化して示した。ライン入力、

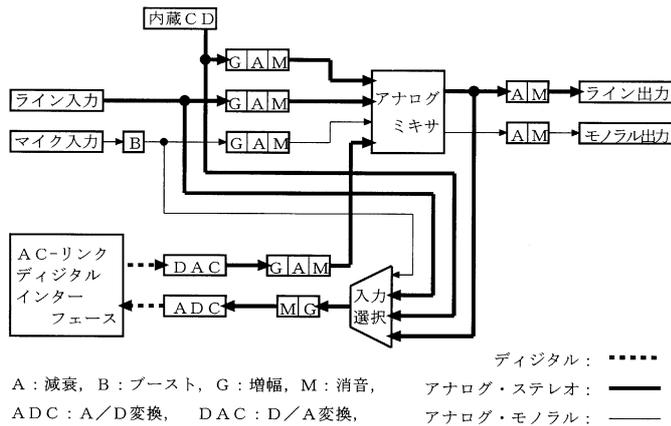


図5 AC'97コーデックの概要

マイク入力や内蔵CDからのアナログ入力は増幅・減衰および消音用の回路を通してミキサに入力され、ミキサ出力が同様の回路を通してA/D変換器やライン出力回路に送られる。これら増幅・減衰の係数や消音のオンオフは、それぞれ専用のレジスタを持っていてソフトウェアで設定される。A/D変換の出力はAC-リンクによって（図示しない）デジタルコントローラに送られる。デジタルコントローラから送られてきたデジタルデータはD/A変換器によってアナログ信号に変換された後、増幅・減衰および消音回路を通してミキサに入力される。

なお、マイクロホンの標準はコンデンサマイクロホンとなっている。このマイクロホンは外部から直流電圧を与える必要があるため、マイク入力のコネクタにステレオミニジャックが用いられて次の信号配置が取られている。すなわち、対応するステレオミニプラグの先端部（ステレオ左）がマイク信号、中間リング部（ステレオ右）がコンデンサへの直流バイアス、付け根部分（ステレオグランド）がグランドである。

次に、AC'97コーデックの電気的特性はサウンドチップのデータシートに記載されているので、具体例として、NEC製 $\mu$ PD63315の電気特性<sup>12)</sup>の中からサウンド入出力に関する仕様を表3に示す。これを見ると、LSIレベルの電気的特性は表2の専用ボックスの特性とほぼ同等の精度が得られている。

しかし、パソコンのカタログ仕様では、AC'97準拠とだけ書かれていてアナログコーデック用LSIが記入されていないなど、サウンド部分の詳細仕様が明確でない場合がある。さらに、このLSIがサウンド回路に組み込まれ、ドライバなどのソフトウェアを含めたシステムとして使われた時に、全体の特性（測定精度）がどうなるかについては、データがほとんど公表されていないと言っても過言でない。

表3  $\mu$ PD63315の主な仕様

| 項目                      | 仕様                   |
|-------------------------|----------------------|
| <b>&lt; A/D変換部 &gt;</b> |                      |
| ダイナミックレンジ               | 7.5～8.5 dB (SNR)     |
| 全高調波ひずみ率                | 0.01～0.02%           |
| 周波数特性(ゲイン)              | 20Hz～19.2kHz(±2.5dB) |
| フルスケール入力振幅              | 0.7 V (r. m. s)      |
| デジタル分解能                 | 18 bit               |
| <b>&lt; D/A変換部 &gt;</b> |                      |
| ダイナミックレンジ               | 8.0～9.0 dB (SNR)     |
| 全高調波ひずみ率                | 0.01～0.02%           |
| 周波数特性(ゲイン)              | 20Hz～19.2kHz(±2.5dB) |
| フルスケール出力振幅              | 0.7 V (r. m. s)      |
| デジタル分解能                 | 18 bit               |
| <b>&lt; 共通 &gt;</b>     |                      |
| サンプリング周波数               | 48 kHz               |

#### 4. あとがき

パソコンのサウンド入出力を用いて音響測定を行うための前備調査を行った。パソコンの標準化が進む中で、サウンド入出力を取り扱うオーディオインターフェースについても、AC'97規格がデファクトスタンダードになっている。しかし、サウンド入出力がパソコンに標準装備されるようになってきているにもかかわらず、カタログや取扱説明書のサウンド入出力に関する技術的な記述は十分でない。サウンドチップのデータシートには詳細に記述されているので、パソコンに使われているサウンドチップを明確にしてそのデータシートを手に入れることがまず必要である。

しかし、ソフトウェアを含めたサウンド入出力全体の特性はほとんど発表されていないので、パソコンを用いた音響測定を行う前に全体の精度を調べておくことが大切である。また、このような観点から、パソコンのサウンド入出力全体の特性を簡便に測定できる方法の開発が望まれる。

## 参考文献

- 1) 城戸健一：音響工学，コロナ社(1982-10)，pp1～7
- 2) 同上，pp94～120
- 3) 城戸健一：基礎音響工学，コロナ社(1990-10)，pp123～147
- 4) 山崎芳男：サウンドカードにできることできないこと，日本音響学会誌，55巻，5号(1999)，pp356～359
- 5) ティアック社カタログ：0501・KK0.6 D-860  
<http://www.tic.teac.co.jp/support/download/pdf/sym.pdf>
- 6) コアテックス社カタログ：PUB2001-12-7010B-A  
<http://www.coretex.co.jp/products1.htm>
- 7) 特集記事：サウンドカードは死なず，DOS/V POWER REPORT，2001，JULY，pp167～183
- 8) インテル社技術仕様書：A75852-001，November，2001  
[http://developer.intel.com/design/motherbd/pt/pt\\_prdoc.htm](http://developer.intel.com/design/motherbd/pt/pt_prdoc.htm)
- 9) ナショナルセミコンダクター社：ニュースリリース  
<http://www.national.com/JPN/news/1998/06/06101998.html>
- 10) インテル社：Audio Codec'97，Revision 2.3 Revision 1.0，April，2002  
<http://www.intel.com/labs/media/audio/index.htm#97spec23>
- 11) シグマテル社データシート：2-9700-D1-1.0-0899  
<http://extranet.sigmatel.com/library/audio/stac9700/stac9700-ds.pdf>
- 12) NEC社データシート：S15157JJ2V1DS00（第2版）  
<http://www.ic.nec.co.jp/nedis/image/U10454JJ6V0DS00.pdf>