

Microcomputer systemを応用した環状翼列音場の解析

谷田好通・長島利夫

Microcomputer Aided Analysis of Sounds from an Annular Cascade

By

Y. TANIDA and T. NAGASHIMA

Abstract: Microcomputer aided system for the analysis of sounds from an annular cascade has been developed. The system not only performs primary data reduction and graphic display, but possesses potentiality for future active use as a controller of otherwise disconnected measuring instruments. An attempt was made to apply this system to study the feature of the soundfield inside an annular duct, with its reference to the acoustic resonance induced by vortex shedding from the trailing edges of the installed cascade blades.

概 要

環状流路中に置かれた平板静翼列から発生する音は、翼後縁からの渦吐出しと関連したダクト共鳴現象に起因すると考えられ、形成された音場のモード的な構成を探ることがまず意味を持ってくる。ここでは、新しく Micro-computer を組込んで、Fourier 解析などの基本的データ処理及びその結果の図示などを一連して行えるシステムを開発したので紹介し、同時に、これを利用した環状ダクト内音場の分析の結果を併せて報告する。

1. ま え が き

Minicomputer をデータ処理の中心にすえるシステムが、機械騒音の研究分野にも定着しつつあるが、これとは別に、最近では、個々の作業内容に立入って、従来の手動による各計測器の測定条件の設定やデータの読取りを専用 Microcomputer に監視制御させるシステムが採用されている。実験室で計測を行う際に通常問題となる点は、データ処理能力ということより、むしろ、限られた人員の下に多くの計測機器を制御し、データの読取りを行い、作図機能を用いて、グラフや表を作成するなど、上位計算機からみれば、末端的な作業のことが多い。従って、高度な演算機能は持ち合わせないが、インターフェイスの柔軟性を生かし多機種の測定器を連結制御でき、高速データ読込みができ、簡単に基本的なデータ統計処理と評価が可能で、作図機能（プロッタ）を含む小型周辺機器が豊富に備えてある Microcomputer 組み込み計測システムの開発が、大幅省力化と過失無き測定、つまりは、実験能率を

高めるために望まれてくる。本報告で紹介するシステムは、上記の要望にできるだけ適するように組立てられたもので、主として環状回転翼列試験機で発生する騒音の計測と解析を対象とする専用データ処理システムである。さて、本環状回転翼列試験機の運転中に観測される音圧の周波数スペクトラムには、翼通過周波数を基本とする高調波成分のほかに、明瞭なピークが見いだされる[1]。これは、翼後縁からの渦吐出しと関連したダクト共鳴現象と推察され、Parker らによっても、直線平板翼列を用いた研究報告[2, 3, 4]がなされ、我国では、平本らが長方形断面を持つ風洞内に平板翼列及び円柱列を置いて、発生音の周波数やモードと Karman 渦放出パターンとの関係を調べている[5]。ここでは、こうした一連の報告を基礎にして、我々が観察した現象を一層理解する必要から、試験機の動翼列を取り除き、環状流路に平板翼列を置いた単純な状態にして音場発生を確かめ、その測定を行い、前述の Microcomputer system を応用して、モード分析を試みたので、その結果を報告する。

2. Microcomputer 応用計測システム

システム・ハードウェアは、Fig. 1 に示すように、入力転送部、中枢制御部 (CPU) 及び出力表示部の大略三つから構成される。入力チャンネル数は 8 ケで、このうち 2 ケは、デジタル信号用端子、残りはすべてスケラ・アンプをもつアナログ信号用端子である。A/D 変換器としては、14 bit 作動、変換時間 $12 \mu\text{s}$ のものを 2 台備え、各々 3 チャンネルずつ入力を分担する。チャンネル切換中、データは記憶され、それらの同時性は保障される。ダイナミックレンジは 70 dB 以上で、測定対象の周波数により使用できるチャンネル数は制約を受けるが、2 チャンネル取込みに限定すれば、通常の音響測定を目安である 20 kHz は余裕を持って対処できる。サンプリングは、CPU 内部クロックの他に外部からのトリガ信号によって行う。データの CPU への転送は 16 bit I/O インターフェースによる。CPU の取込みモードとしては、フォーマット指定の I/O 機能のほかに、バッファにストアレ、順次取出してゆく高速リード/ライトや DMA 機能の利用が有効で、制御プログラム

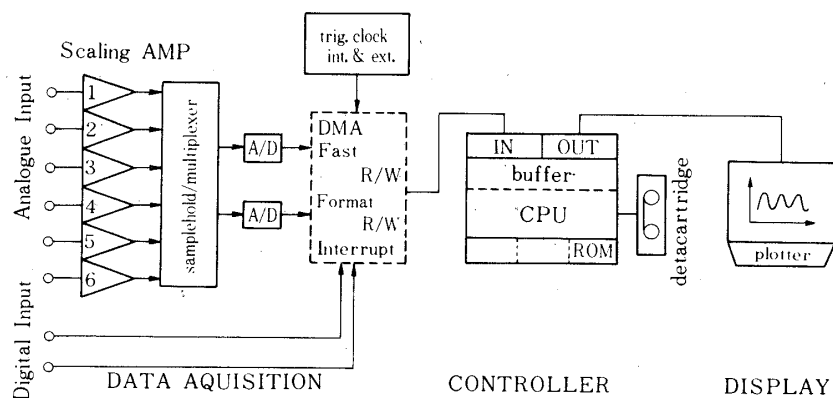


Fig. 1. System block diagram

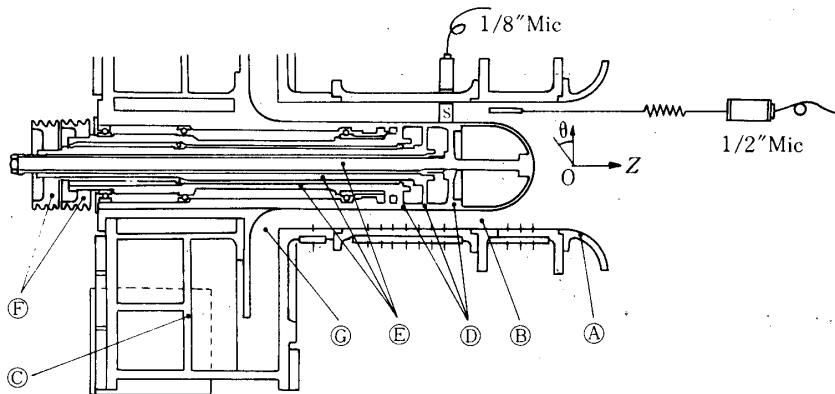


Fig. 2. Test section arrangement

も ROMとして記憶装着されている。CPUとしては、YHP 9825 A パーソナル・コンピュータを採用した。言語は HPL と特殊だが、FORTRAN に近く、入出力速度が DMA で 400 K bytes/s の高速性を最大特徴とする。記憶容量は、基本 15 Kbytes で、内蔵のデータ・カートリッジを用いれば、平均アクセス時間 6 sec で 250 Kbytes の容量増加を見込める。更に、HP-IB という設計仕様のために、将来の他機器との接続拡張性に富んでいる。出力表示部に採用した YHP 9872 A プロッタとの接続は、この HP-IB によって、制御 ROM を通して、1 本のインターフェースで非常に簡単に各種演算結果を図示することが可能である。システムを構成するこれらハード・ウェアの型式と仕様を Table 1 にまとめておく。ソフトウェアとしては、ROM のようにハード・ウェア化されたもの以外に、Fourier 解析、FFT、プロットングなど基本プログラムを組込んで実験目的に適合

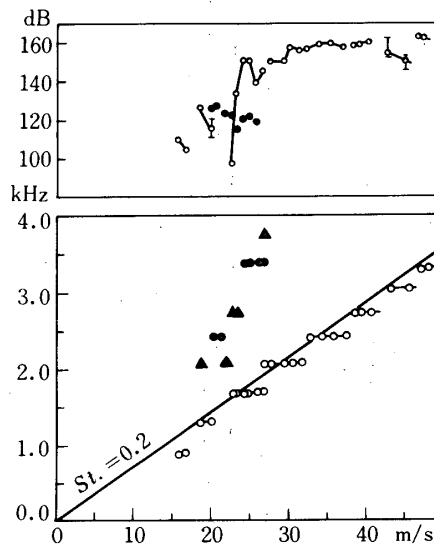


Fig. 3. Frequency and pressure level vs. axial velocity

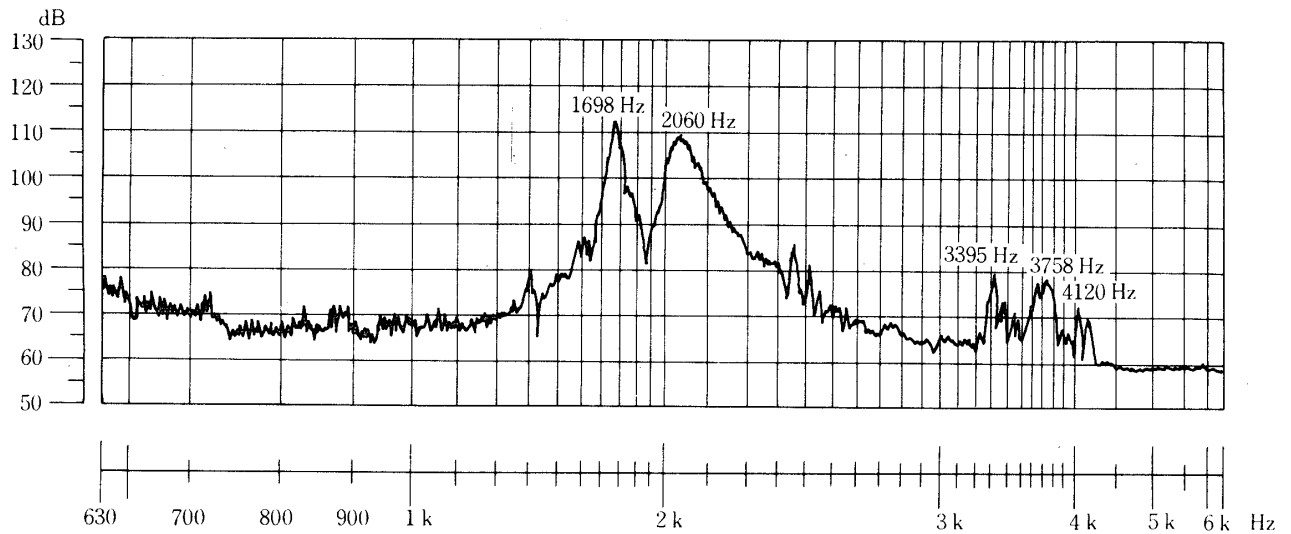


Fig. 4. Frequency Spectrum (Air velocity 26.9 m/sec)

したものを、すべてデータ・カートリッジに収納し、実行プログラム中で随時呼び出す方式を確立した。将来は、これをプローブ・トラバース制御にまで拡張し、できる限り省力化を進めるつもりである。

3. 環状翼列から発生する音

実験に使用した試験機については、前回に報告 [1] しているので詳細な説明を省略するが、今回は、Fig. 2. に示すように、動翼列は取りはずし、弦長 28 mm 高さ 49.5 mm 厚み 10% の耐食アルミ製平板翼 32 枚を食違角無しで並べた静翼列のみが装着された状態で実験を行った。Fig. 3. に翼列位置固定マイクで観測された発生音の周波数とその音圧レベルを一樣風速に対してプロットしてある。音の発生が観察されるのは、風速が約 16 m/s に達してからで風速の増加に対し、周波数はステップ的に増加する。(図 3 ○印) 各ステップの傾斜は多少右上りで、次のステップへの遷移には、風速の増減で履歴が認められる。これら基本ステップは、大略、風速と翼厚みで無次元化した周波数 $St=0.2$ の線に沿っており、環状翼列においても、Karman 渦放出と関連するダクト共鳴現象のあることが分かる。音圧レベルは、発音のはじめで、微小な風速変化に敏感だが、風速が 30 m/s を過ぎると安定し、次のステップへの遷移後も、ほぼ同じレベルを保つ。両者の中間の風速領域では、Fig. 4. に示すように、二つの隣り合う基本ステップ上にまたがるものや 2 次高調成分 (図 3 ●印) と異なる高い周波数成分 (図 3 ▲印) のピークが分析の結果検出される。環状ダクト内音場は、通常、周方向に回転する固有音響モードが重ね合わさったものと考えられ、それら成分の構成を知ることが解析の基本となる。ここでは、翼列上流 ($Z>0$) のみを考えれば、半径方向に一樣かつ θ 方向に m のモード数を持つ成分の合成として、圧力変動は次式で書き表わせる。

$$p(\theta, z; t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \cdot \exp[i\omega t - im\theta - \sqrt{k_m^2 - k^2} \cdot z] \cdot (1 + X_m \cdot \exp[2\sqrt{k_m^2 - k^2} \cdot z])$$

ここで、流れの Mach 数は影響が小さいので無視し、 $k = \omega/C_0$ (C_0 : 音速) また k_m は m のモード条件に対応するダクト・カット・オフ波数で、ボス比が大きければ、ほぼ m を平均半径で除した値となる。 X_m は、流入口からの反射波の割合を表す。 さて、ある瞬間における圧力分布 $\bar{p}(\theta, z)$ は、その振巾と位相をダクト内の全周にわたり測定すれば分かるので、波形分析を行って、

$$\bar{p}(\theta, z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m(z) \cdot e^{-im\theta}$$

と書く時の係数 a_m が算出できる。各 m モード間の直交性を用いて、

$$p_m = |a_m| = \begin{cases} |A_m| \cdot e^{-\sqrt{k_m^2 - k^2} \cdot z} \sqrt{1 + X_m^2 \cdot e^{4\sqrt{k_m^2 - k^2} \cdot z}} \\ + 2|X_m| e^{2\sqrt{k_m^2 - k^2} \cdot z} \cdot \cos(\angle X_m) & ; k_m > k \\ |A_m| \cdot \sqrt{1 + X_m^2 + 2|X_m| \cdot \cos(2\sqrt{k^2 - k_m^2} \cdot z + \angle X_m)} & ; k > k_m \end{cases}$$

但し、 $|\alpha|$, $\angle\alpha$ は、 α の絶対値と偏角を各々表す。

が得られ、Z 軸方向に対しては、振巾 p_m が、カット・オフモードについて、ほぼ指数的減衰し、一方伝播モードについて $\pi/\sqrt{k^2 - k_m^2}$ の波長で定在波を生ずることが分かる。更に、 $a_m = a_{-m}$ の時は、 θ 方向互いに逆に回転する二つの波は、定在波を作り、空間的に静止する。この時、定在波の位相は、振巾の山及び谷位置を境いに π だけ隔て一定値をとる。 Fig. 5 は、前述した計測システムを用いて、Fig. 3 の基本ステップの各々について、翼前縁より 1 弦長上流位置での音場解析を行った結果を示している。 図中、破線及び点線は、移動プローブによる測定音圧の RMS 値 (dB) と固定マイク基準に対する位相 (deg) とを、環状全周にわたりプロットしたもので、実線は、波形分析の結果をもとに有限項で近似した再現波形である。この時の成分振巾 p_m をモード数 m に対して一緒に図示してある。縦軸は、すべて最大値で正規化してある。これより、各周波数ステップごとに異なった周方向モードの卓越した音場が対応していることが良く分かる。又、モードのカット・オフ波数と発生音の波数比が分かるので、その成分振巾 p_m の Z 軸方向減衰又は伝播性の検討が可能となる。 Fig. 6 は、前者波数比 (ダクト・カット・オフ比) を翼弦長で無次元化した発生音周波数に対しプロットしたもので、基本ステップ上のモードは、減衰型である [5] と判断されるものの、発音はじめの低次モー

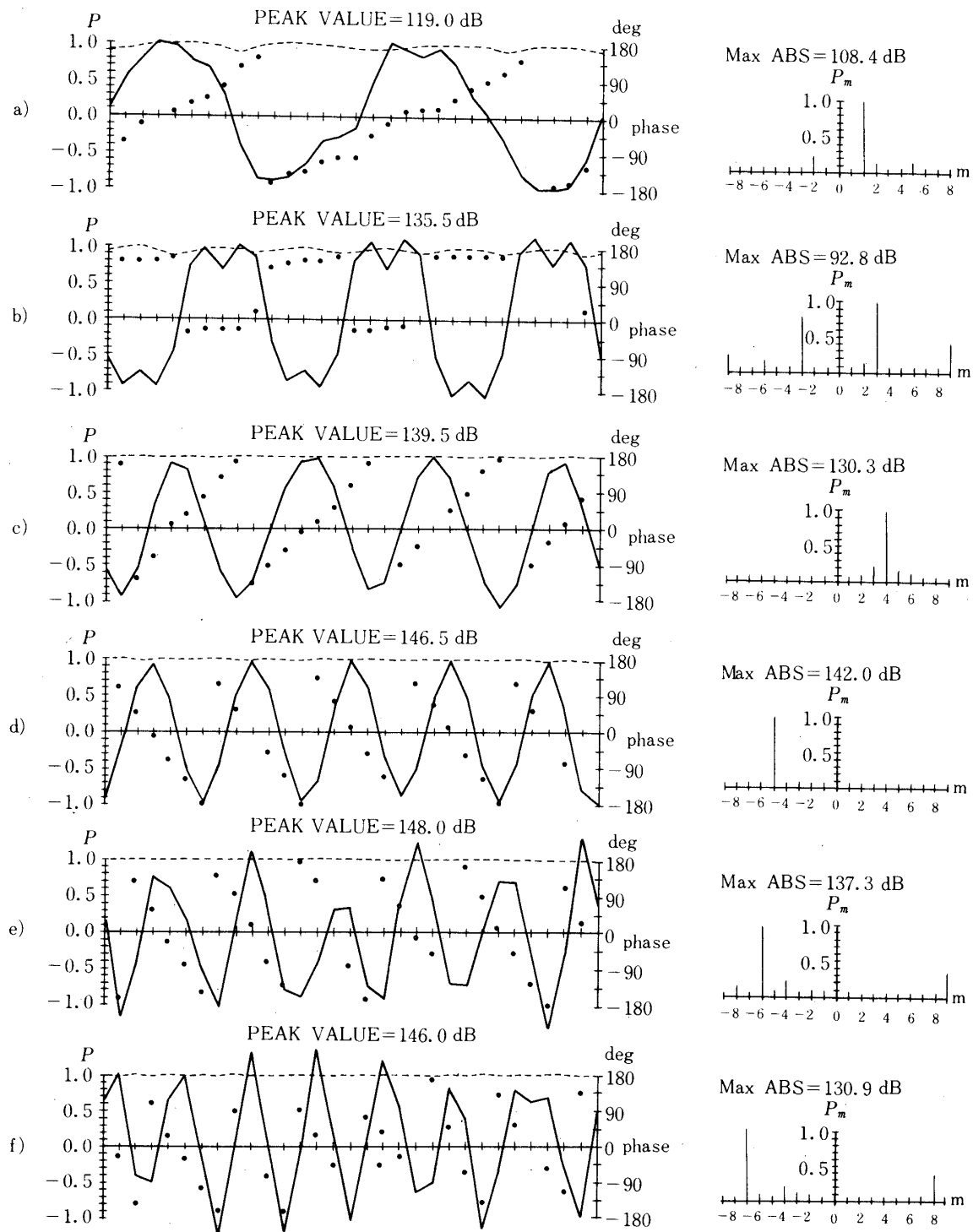


Fig. 5. Wave analysis for fundamental frequency steps. (1 chord upstream from the leading edge line) a) 16.2 m/s, 888 Hz b) 20.0 m/s, 1294 Hz c) 27.5 m/s, 1700 Hz d) 28.8 m/s, 2045 Hz e) 36.9 m/s, 2411 Hz f) 39.1 m/s, 2733 Hz

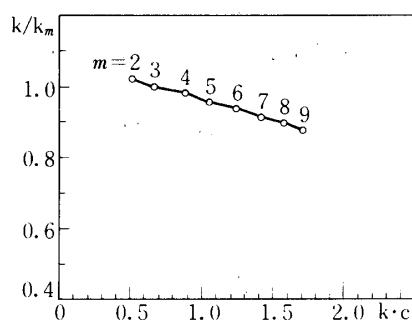


Fig. 6. Mode cut off ratio vs. generated sound frequency

ドに関しては、定かに結論づけられない。

4. 結 言

環状流路中に平板静翼列を置き、発生した音場を Microcomputer 応用の計測システムを用いて解析した。その結果、風速に対しステップ的に周波数が変化する発生音場のモード成分の構成を把握できた。Microcomputer を中枢に組込んだこの計測システムは、従来、手動によってきた各計測器の測定条件の設定を制御し、測定データの読取りをはじめ、コントローラ演算機能を用いてのデータ統計処理・評価や更に、作図機能を用いた図表の作成など、実験室単位の作業を、大幅省力化、過失無き測定へと進める大きな力となりつつある。Minicomputer と比較しても、インターフェースの優れた特長による機能性（使い易さ）は抜群で、バス・ケーブルを取除けば、各測定器は、単一に使用する自由度が生まれ、従って、システムの容易な組換えが可能となる。ここで報告した騒音データ処理用のシステムは、あくまで一例にすぎず、固定された利用形態ではない。本報告の音場解析結果の例に示されるように、この種の下位計算機ですら、FFTや Fourier 解析などの演算処理を短時間でできる現在は、積極的に実験能率の向上をめざして、システムの検討と開発を進める段階にさしかかっている時点といえよう。

謝 辞

ダクト内音響測定の実験にあたり、本研究室の小野寺昭彦氏の多大な御助力を得た。ここに謝意を表します。

1979年1月10日 原動機部

参 考 文 献

- [1] 谷田・長島, 1978, 宇航研報告 14-1 (C) pp 563~583, 軸流圧縮機からの回転騒音
- [2] Parker, 1966, JSV 4 pp 62~72, Resonance effects in wake shedding from parallel plates: some experimental observations.
- [3] Parker, 1967, JSV 5 pp 330~343, Resonance effects in wake shedding from

parallel plates : calculation of resonant frequencies.

- [4] Parker · Griffiths, 1968, JSV7 pp 371 ~ 379. Low frequency resonance effects in wake shedding from parallel plates.
- [5] 平本 · 梶 · 岡崎 · 岸本, 1972, 機論 38 pp 1353 ~ 1361, 風洞内におかれた平板翼列, 円柱列から発生する音.

Table 1. Summaries of system hardware

<p><u>Scaling AMP</u> : Input $\pm 0.1 - \pm 10$ vF. S, 7 steps, DC - 50 kHz, Max gain 100, Impedance 100 kΩ</p>
<p><u>Multiplexer/Samplehold</u> : Max rate 20 μs, 3 \times 2 channels</p>
<p><u>A/D converter (Analogue Devices ADC 1131)</u> : Input ± 5v, Resolution 14 bits, Conversion time 12 μs, Accuracy 0.1%, TTL output</p>
<p><u>Microcomputer (YHP 9825 A)</u> : R/W memory 15 kbytes, Storage range $\pm 10^{99} - \pm 10^{-99}$ 0, Calculating range $\pm 10^{511} - \pm 10^{-511}$, 0, I/O capability - DMA, Fast R/W, Formatted R/W, Interrupts, Digital cartridge - 2 tracks, 250kbytes, access rate 15kbytes/s, transfer rate 2750bytes/s, Strip printer - 16 character listings, LED display - 32 characters</p>
<p><u>Digital plotter (YHP 9872 A)</u> : Plotting area 40 \times 28 cm², Accuracy ± 0.2mm, Addressable resolution 0.025mm, Max vel. 360mm/s in each axis</p>
<p><u>Interface kits</u> : 16 bits duplex I/O, interface 98032 A, HP - IB 98034 A</p>
<p><u>ROMs</u> : <u>Advanced programming ROM</u> R/W M 4 bytes, for/next loop, func., subroutines, cross reference statement, <u>Extended I/O ROM</u> R/W. M 102 bytes, HP - IB control, Buffer I/O, Fast. R/W 70kbytes/s, DMA 400kbytes/s</p>