

# 超音波実験資料

超音波システム研究所 2021.09.04 齊木

## 推奨参考書

### <実験検討するための参考書>

#### 1：超音波技術入門—発信から受信まで

出版社：日刊工業新聞社（2010/1/1） 宇田川 義夫（著） ￥2,800

##### 目次

- 第1章 音
- 第2章 音の発生器、受信器と圧電素子
- 第3章 圧電振動子からの音
- 第4章 圧電振動子での音の受信
- 第5章 音の送受信回路
- 第6章 音の発生から受信まで

#### 2：超音波工学と応用技術

本書は専門外の広範な技術者を対象とする  
超音波工学についての適切な参考図書が無いために、  
今日まで超音波のもつユニークな可能性が十分活用されていないことを考慮し  
て、本分野の著名専門家たちが著述した、全国の技術系大学学生や大学院学生  
とまた研究開発担当者や現場技術者のための最初の貴重なバイブル書籍である。  
べ. ア. アグラナート エヌ. エス. ハフスキー 他 著・邦訳

●15,000円・A4判・296頁 新日本鑄鍛造出版会  
(日ソ通信社日 刊行年月 1991.8 ページ数 296p 大きさ 30cm)

##### 主要内容

- \* 自由振動と波 \* 有形物体の自由振動 \* 減衰振動と強制振動
- \* 衝撃波の形成 \* 放射圧 \* 音響流 \* キャビテーション
- \* 超音波振動源 \* 有用鉱物の選鉱プロセスでの超音波作用の利用
- \* 富化に先立つスラリーの超音波処理
- 鉱物粒子の表面膜と反応皮膜の音響分散
- \* 周波数領域の異なる音場の同時作用による超音波微粉碎プロセスの制御
- \* 超音波場内の湿式冶金プロセスの強化 \* 液体金属の超音波処理の基礎
- \* 強力超音波場内での熔融物からの気体及び固体非金属介在物の除去機構
- \* 金属及び合金の超音波アトマイジング
- \* 晶出過程にある金属の超音波処理の基礎
- \* 超音波場内の非鉄金属及び合金の連続鑄造
- \* 超音波キャビテーションを使つての複合材料の作製
- \* 超音波分散と水撃加工 \* 超音波清浄
- \* 高純度金属及び半導体の作製時の超音波の採用
- \* 半導体材料方面の超音波処理

上記の書籍が100%正しいとは思いません、  
時代と技術の進歩によるものもありますが、間違いもあると思います  
しかし、書籍の中はほとんど実験方程式と実験状態を説明する図です、  
少なくとも実験による確認が行われたと思われ  
このことを考慮して検討すると新しい実験と応用が生まれると考えています  
特に、通常では「だめだ」と言われるような実験や方法の説明もあります  
私は、これからもこの書籍を参考に新しい実験を続けたいと思います

## <理論的背景としての参考書>

超音波の検出方法

### 1：超音波の基礎

やさしい超音波工学

—拡がる新応用の開拓 (ケイブックス)

川端 昭 (著), 高橋 貞行 (著), 一ノ瀬 昇 (著)

出版社: 工業調査会; 増補版 (1998/01)

### 2：非線形性の解析

叩いて超音波で見る—非線形効果を利用した計測

佐藤 拓宋 (著) 出版社: コロナ社 (1995/06)

ダイナミックシステムの統計的解析と制御

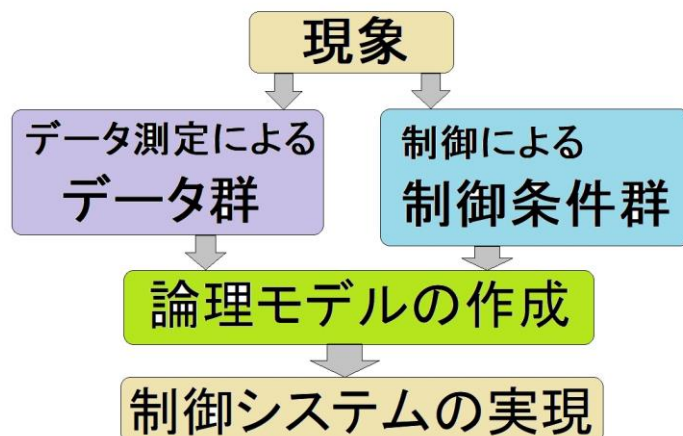
赤池 弘次 (著), 中川 東一郎 (著)

出版社: サイエンス社 (1972)

### 3：弾性波動への適用

「弾性波動論の基本」 田治米 鏡二 (著) 槇書店 (1994/10)

「弾性波動論」 佐藤 泰夫 (著) 岩波書店 (1978/03)



## 超音波実験機器

<音圧測定装置>

### USBオシロスコープ Picoscope 2207A

#### ■主な仕様

- ・帯域幅(-3dB) : 100MHz
- ・最大サンプリングレート : 1G サンプル/s
- ・バッファメモリ : 40k サンプル



¥71,280 (税込) <https://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-07368/>

### Longrunner 信号発生器 24MHz

ビット幅は 12 ビット、2 c h

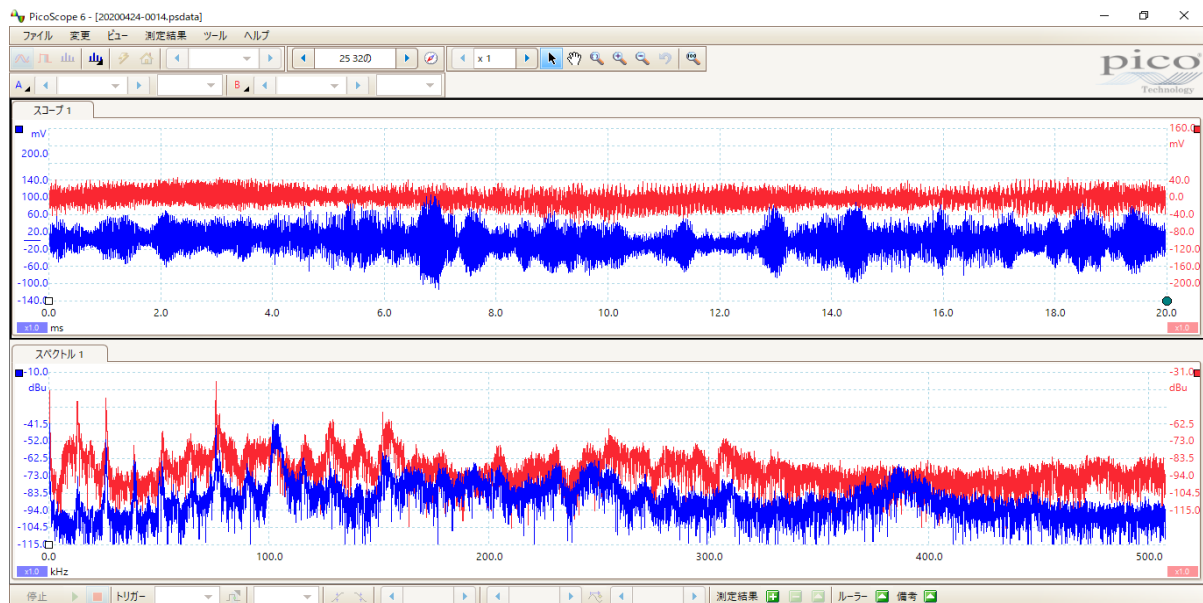
最大出力周波数 : 25MHz (正弦波)、サンプリングレート : 250MSa/s



価格: ¥8,599 税込

[https://www.amazon.co.jp/gp/product/B08C7LT3R7/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o04\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.co.jp/gp/product/B08C7LT3R7/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o04_s00?ie=UTF8&psc=1)

## 音圧データの見方



グラフ青：洗浄液の音圧    グラフ赤：間接水槽表面の音圧

グラフ上 縦軸：音圧 mV    横軸：時間 0 – 20ms

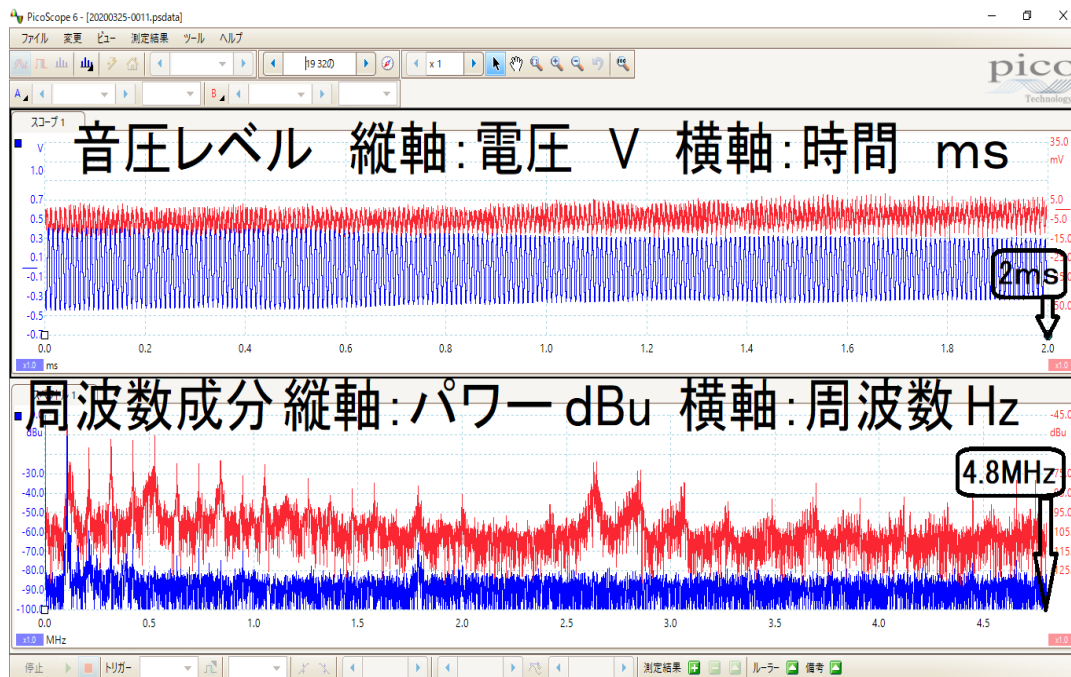
グラフ下 縦軸：パワー dBu    横軸：周波数 0 – 500kHz

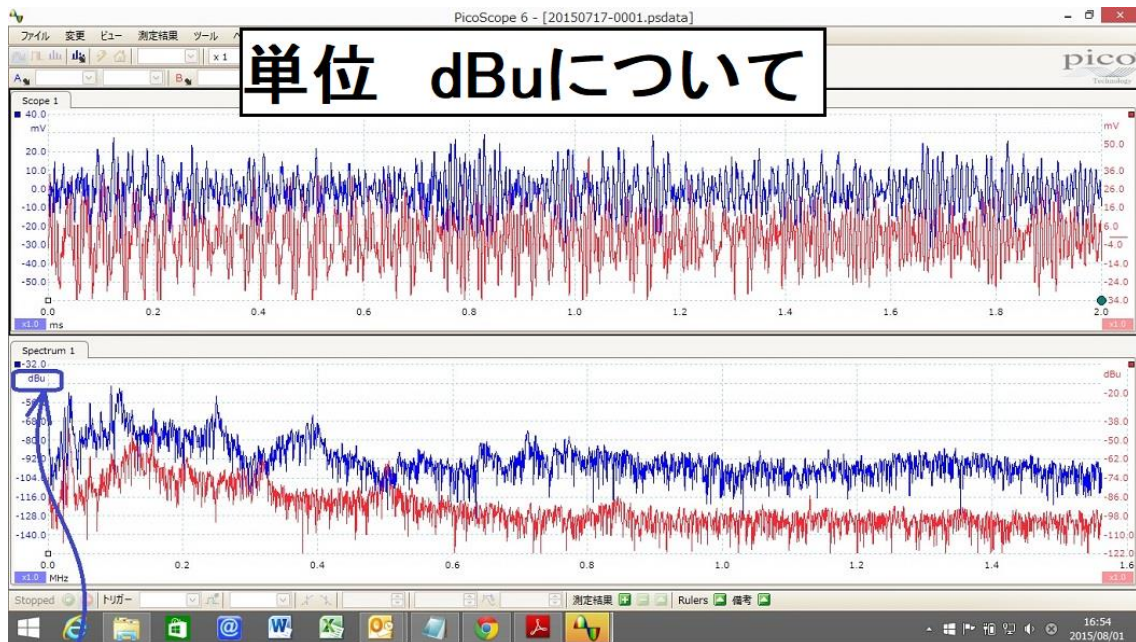
## 音圧データ：参考例

Ach: グラフ青 超音波洗浄槽内の液体音圧

Bch: グラフ赤 間接水槽内の液体音圧

条件 超音波 \*\*\*kHz 600W





# 単位 dBuについて

音響機器などで用いられる信号の大きさ（電圧）の単位。dB（デシベル）に基準点として 0dB = 0.775V（ボルト）を設けたものである。即ち0dBuは0.775Vであり、-6dBuならその約半分である0.388Vとなる。ちなみに0.775Vは600Ωで終端した場合に1mW（ミリワット）となる電圧である。

dBuからV（ボルト）への変換は、 $(10^{(dBu/20)}) \times 0.775$ となる。  
 逆にVからdBuへの変換は、 $20 \times \log_{10}(V/0.775)$ である。

## 解析最大周波数について

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	時間	Ach	Bch										
2	(us)	(mV)	(mV)										
3													
4	0	-2.75591	-1.5748										
5	0.008	-2.36221	-1.5748										
6	0.016	-2.36221	-1.5748										
7	0.024	-2.36221	-1.5748										
8	0.032	-2.36221	-1.5748										
9	0.04	-2.75591	-1.5748										
10	0.048	-2.36221	-1.5748										
11	0.056	-2.36221	-1.5748										
12496	99.936	-1.9685	-1.5748										
12497	99.944	-1.9685	-1.5748										
12498	99.952	-1.9685	0										
12499	99.96	-1.9685	0										
12500	99.968	-1.9685	0										
12501	99.976	-1.9685	0										
12502	99.984	-1.9685	0										
12503	99.992	-1.9685	0										
12504	100	-1.9685	0										
12505	100.008	-1.9685	-1.5748										
12506	100.016	-1.9685	0										
12507	100.024	-2.36221	0										

→ サンプル時間: 0.008 μs

$$1 / 0.008 \mu s = 125 MHz$$

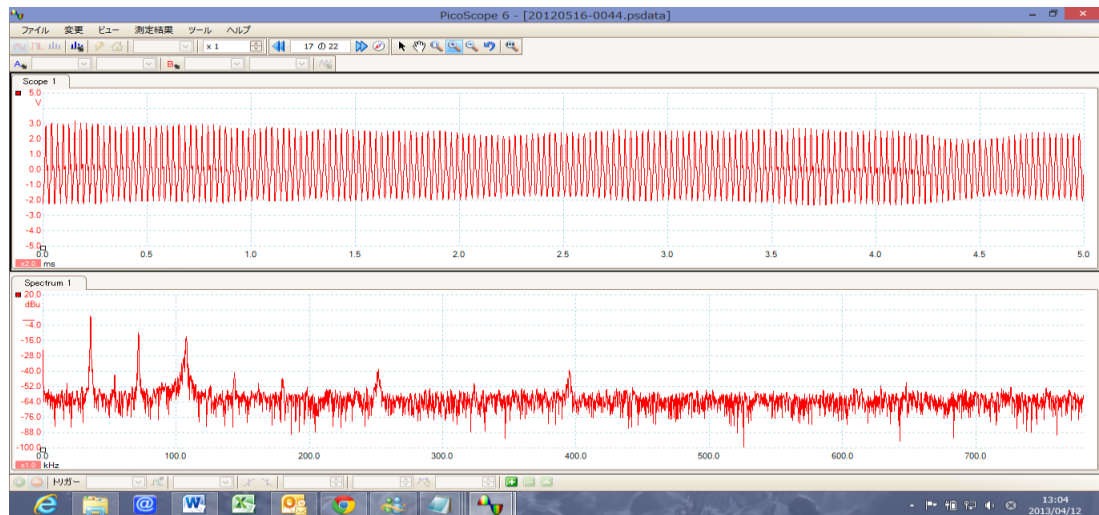
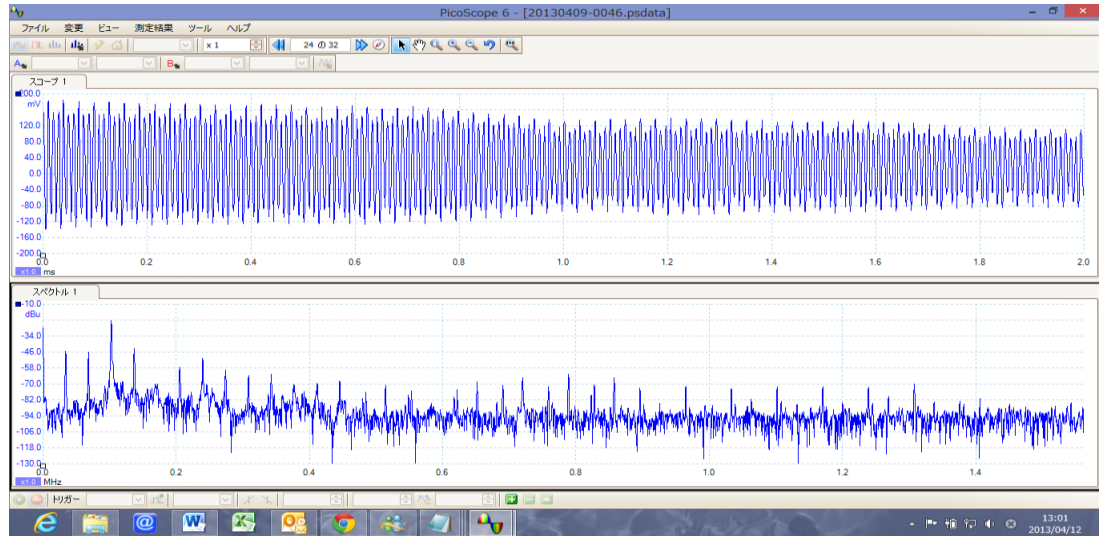
解析最大周波数

$$125 MHz / 2 = 62.5 MHz$$

(ウィーナー・ヒンチンの定理より)

→ データ数: 12507個

## 参考: 音圧と洗浄効果について(音圧だけで判断しない)



上図: 青のグラフ(超音波洗浄機1 最大音圧 300 mV)

1. 3MHzまで高調波の信号が確認できる

上図: 赤のグラフ(超音波洗浄機2 最大音圧 5V)

プローブの固有振動以外100kHz以下の信号で収束している

洗浄効果を考えた場合

1.  $3\text{MHz} / 100\text{kHz} = 13$

エネルギーは、周波数の2乗に比例するので  $13 * 13 = 169$

$300\text{mV} * 169 = 50.7\text{V} > 5\text{V}$

$30\text{mV} * 169 = 5.07\text{V} > 5\text{V}$

以上により、**超音波洗浄機1**は**超音波洗浄機2**より洗浄刺激が強いと断じます

高い周波数により微細な刺激(精密洗浄)が実現する

35kHzの場合、 $1500000(\text{mm}/\text{秒}) \div 35000(\text{Hz}) = 42.857\text{mm} \dots 1$ 波長

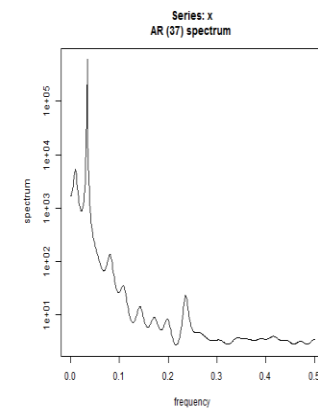
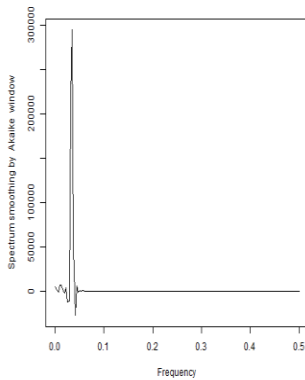
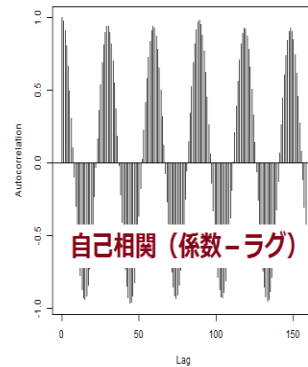
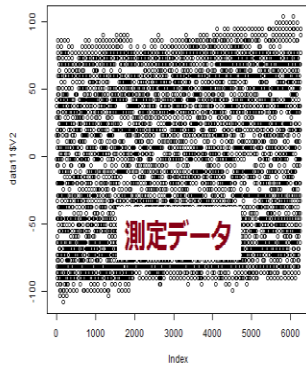
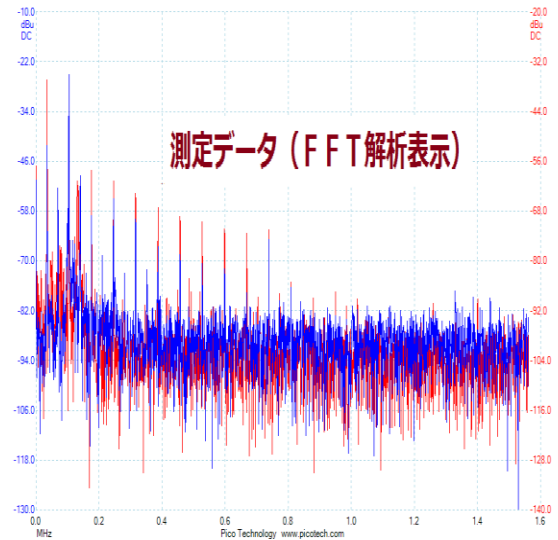
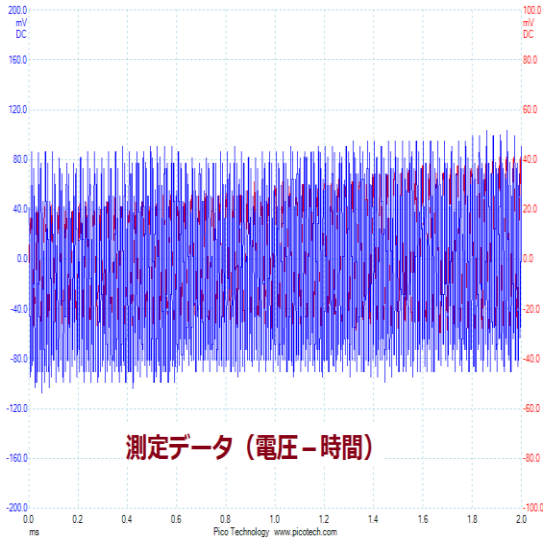
350kHzの場合、 $1500000(\text{mm}/\text{秒}) \div 350000(\text{Hz}) = 4.2857\text{mm} \dots 1$ 波長

700kHzの場合、 $1500000(\text{mm}/\text{秒}) \div 700000(\text{Hz}) = 2.1428\text{mm} \dots 1$ 波長

1. 4MHzの場合、 $1500000(\text{mm}/\text{秒}) \div 1400000(\text{Hz}) = 1.0714\text{mm} \dots 1$ 波長

## 説明：解析

測定データに対して、  
以下の解析（自己相関、バイスペクトル、パワースペクトル）により  
超音波の伝搬状態を評価（超音波システム研究所 オリジナル技術）します



バイスペクトル (パワー-周波数)

パワースペクトル (パワー-周波数)

注:解析には下記ツールを利用します

注:OML(Open Market License)

<https://www.ism.ac.jp/ismlib/jpn/ismlib/license.html>

注:TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program)

<https://jasp.ism.ac.jp/ism/timsac/>

[Japanese/English]

## TIMSAC for R package

統計数理研究所

2020年07月

### 1. はじめに

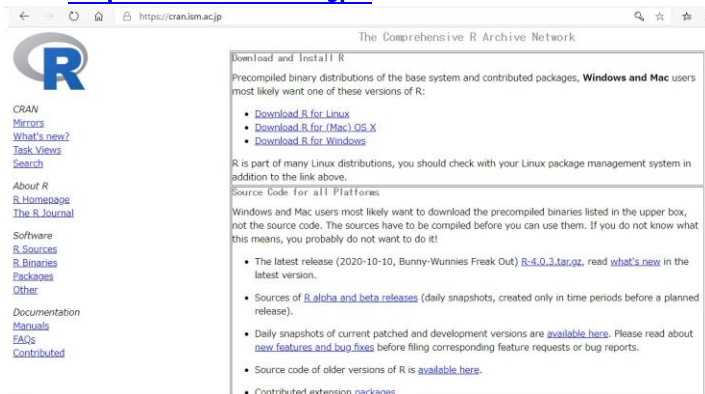
TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program)は、統計数理研究所で開発された時系列データの解析、予測、制御のための総合的プログラム/パッケージである。オリジナルTIMSAC(TIMASAC-72)は1972年に発表され、その後、TIMSACシリーズとしてTIMSAC-74,TIMSAC-78,TIMSAC-84が Computer Science Monograph に発表された。工業プロセスの最適制御、経済変動の分析等広い分野で実際に利用されている。TIMSACの特徴としては、情報量規準の考え方を採用した時系列解析プログラムであることが挙げられる。TIMSAC-72ではFPE(Final Prediction Error)、TIMSAC-74以降ではAIC(Akaike Information Criterion)、TIMSAC-78のベイズ型モデルではABIC(Akaike Bayesian Information Criterion)も用いられている。

一方、Rはフリーな統計処理言語かつ環境である。Rは配列演算を基本に設計されているため多次元配列の扱いに適している上にグラフィック関数も豊富であり、かつFORTRANやCのサブルーチンを簡単に呼び出せるインタフェースを備えている。そこで、FORTRANで書かれているオリジナルプログラムの計算処理機能のみをライブラリ化し、R関数を通して入出力を行い、必要であればその解析結果等をRでグラフィック表示することによりデータ解析を容易にした。

なお、バージョン 1.2.8のパッケージに含まれていた七つの関数 `armaimp()`, `lsar2()`, `ngsmth()`, `tsmooth()`, `tvvar()`, `tvar()`, `tvspc()` は、バージョン 1.3.0では削除した。これらの関数は「FORTRAN77 時系列解析プログラミング」(北川源四郎著/岩波書店)のプログラムをソースとした関数であり、同書を基にした他の関数とともにRパッケージ `ISSS` として公開している。

注:「R」フリーな統計処理言語かつ環境

<https://cran.ism.ac.jp/>



The screenshot shows the CRAN website's 'Download and Install R' page. It features a navigation menu on the left with links like 'CRAN Mirrors', 'What's new?', 'Task Views', 'Search', 'About R', 'R Homepage', 'The R Journal', 'Software', 'R Sources', 'R Binaries', 'Packages', 'Other', 'Documentation', 'Manuals', 'FAQ', and 'Contributed'. The main content area is titled 'Download and Install R' and contains the following text: 'Precompiled binary distributions of the base system and contributed packages, Windows and Mac users most likely want one of these versions of R:'. Below this, there are three bullet points: 'Download R for Linux', 'Download R for (Mac) OS X', and 'Download R for Windows'. Further down, it states 'R is part of many Linux distributions, you should check with your Linux package management system in addition to the link above.' and 'Source code for all Platforms'. It then explains that Windows and Mac users should download the precompiled binaries listed in the upper box, not the source code, and that sources have to be compiled before use. It also lists several bullet points: 'The latest release (2020-10-10, Bunny-Wunnies Freak Out) R-4.0.3.tar.gz, read what's new in the latest version.', 'Sources of R alpha and beta releases (daily snapshots, created only in time periods before a planned release).', 'Daily snapshots of current patched and development versions are available here. Please read about new features and bug fixes before filing corresponding feature requests or bug reports.', and 'Source code of older versions of R is available here.' Finally, it mentions 'Contributed extension packages'.

## 参考: バイスペクトル

バイスペクトルは

以下のように

周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_1 + f_2$  のスペクトルの積で表すことができる。

$$B(f_1, f_2) = X(f_1)Y(f_2)Z(f_1 + f_2)$$

主要周波数が  $f_1$  であるとき、

$f_1 + f_1 = f_2$ 、 $f_1 + f_2 = f_3$  で表される

$f_2$ 、 $f_3$  という周波数成分が存在すれば バイスペクトルは値をもつ。

これは主要周波数  $f_1$  の

整数倍の周波数成分を持つことと同等であるので、

バイスペクトルを評価することにより、高調波の存在を評価できる。



## 超音波システム（音圧測定解析、発振制御）

超音波システム研究所は、  
超音波の測定解析が容易にできる「超音波テスターNA（推奨タイプ）」と  
超音波の発振制御が容易にできる「超音波発振システム（1MHz、20MHz）」  
をセットにしたシステムを製造販売しています。

システム概要（標準システム）

：：超音波テスターNA 10MHzタイプ

：：発振システム20MHzタイプ

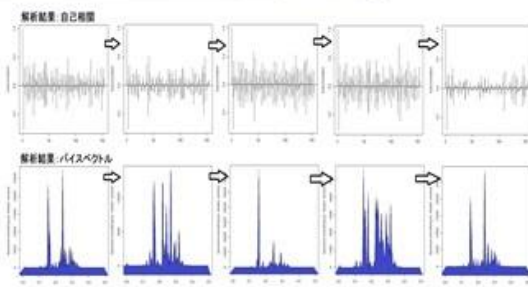
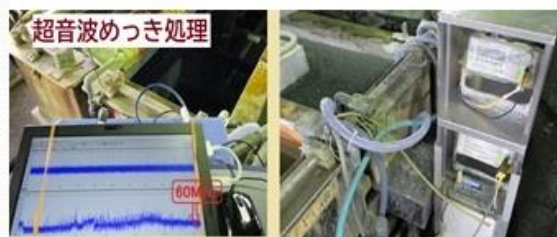
価格 280,800円（税込：消費税10%）

システム概要（推奨システム）

：：超音波テスターNA 100MHzタイプ

：：発振システム20MHzタイプ

価格 340,200円（税込：消費税10%）



超音波システム（音圧測定解析、発振制御）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=19422>

超音波発振システム（1MHz、20MHz）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18817>

超音波の音圧測定解析システム（オシロスコープ100MHzタイプ）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=17972>

超音波の音圧測定解析システム「超音波テスターNA」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16120>

以上