

Spring 2003 vol.21

Message from KIKUSUI

# SAWS

SAWS(ソオス)は、  
菊水電子工業の季刊情報誌です。  
Summer、Autumn、Winter、Spring  
のイニシャルからネーミング。  
Sawは「諺、金言」  
また韻のSourceから「情報源」  
の意が込められています。

## 【後編】熱あるところ“熱電”あり!

EMC Watching!

インピーダンス測定のととし穴(燃料電池編)  
直流電子負荷装置PLZ-4WAシリーズ



# 熱あるところ

# “熱電”あり!

What's Thermoelectrics ?

～熱電変換技術の未来像～

梶川 武信 *Takenobu Kajikawa*

【後編】

前々号(Autumn2002, vol.19)では、熱電変換技術を原理的、歴史的観点から、また前号(Winter2003, vol.20)では、熱電変換システムを中心に現状動向の観点から紹介してきた。今回はしめくりの後編として、熱電変換技術の未来あるいは可能性という視点から熱電変換材料、モジュール、システムを概観し、いよいよ熱電変換技術が特殊な限定的用途から一般民生用として社会の役に立つため滑走路を走り始めたことを実感していただきたい。

## 実用化の十分条件と そのための革新技術

ある新しい製品やシステムが世の中に出て行くためには、社会からのニーズが存在することは必要条件であることは当然である。勿論ニーズも顕在化している場合と、全く新しい概念によって価値観を変えるような潜在的ニーズの両方がある。熱電変換技術(発電と冷却)に関していえば、今日の地球環境への関心の高まりと科学技術による高度文明を支えるためのエネルギー多消費時代にあっては、誰しもエネルギーを有効に使いたい又、使えるようなシステム化がなされるべきであるという強いニーズは持っているといえよう。また、冷却についても産業界では高精度で制御性

がよく且つ、高効率・高信頼性の冷却技術へのニーズは広い範囲で存在している。生活上においてもきめこまかい個別的冷却や空調への願望は強い。熱電変換技術は、和製英語と思うが“Big ‘If’、Big ‘Gain’”といわれ、「効率さえ上がれば、大いなる果実が得られる」とかなり昔からエネルギー分野では、期待の星の技術ではあった。

実用化のための十分条件をまとめれば(1)経済性と(2)信頼性に集約される。

## (1)経済性獲得のために

熱電変換技術、ここでは少し出遅れている熱電変換技術にウエイトを置いているが、(1)の経済性の中では、高効率化技術特に高効率熱電材料技術の確立が最大の課題であることは論を待たない。素子を多数あつめた熱電変換モジュールは、本稿前編でみたように比較的単純な構造を持っており、従来の半導体製造プロセスやデバイス実装化技術になじむものであるため、大量生産効果が期待される技術である。<図1>に示すように大量生産効果によりコストがいかに低減化出来るかの試算がアメリカHi-Z社から提案されている<sup>(1)</sup>。年間生産量600モジュール程度の試作段階から年産200万モジュールの量産体

制にすると約17分の1にコストが低下することを示している。200万モジュールというと相当莫大のように思うが、発電出力に換算すると概略1モジュール当り10Wの発電出力として、2万kWの発電ということになり、設備としてはそれほど大きくはない。この程度でかなりの大量生産効果が見込めることが期待出来る。

経済性の真の鍵は熱電材料の高効率化であることを前述したが、高効率化へのアプローチが数多く見出しされ、実証され始めてきている。熱電材料性能の表現方法は前編でも述べているが、性能指数Zであらわされ(単位温度差当りの発生電圧であるゼーベック係数の自乗)×(導電率)÷(熱伝導率)で表される。このZを温度特性と含め最大にすることが要求される。そのためのアプローチは大別して、①天然に存在する材料の特性・構造の活用、②人為的にマクロからナノまでの材料構造を制御する方法(ティラードマテリアルといわれる)及び、③各種プロセスの最適化(組織、不純物濃度、種類、プロセスなどの最適化)があり実際上はこの3つをミックスさせて開発が進められている。従って、過去にすでに取り上げられて研究が行われた材料であっても視点を変えて取り組まれることにより全く新しい姿となって高効率を達成することががしばしばである。最も古くから

取り上げられ現在でもまだ色々な角度から研究されているビスマス・テルル系材料も異方性の活用と微細グレイン化によりZが $3 \times 10^3 \text{ K}^{-1}$ を越えるものの工業的生産の見とおしはできています。

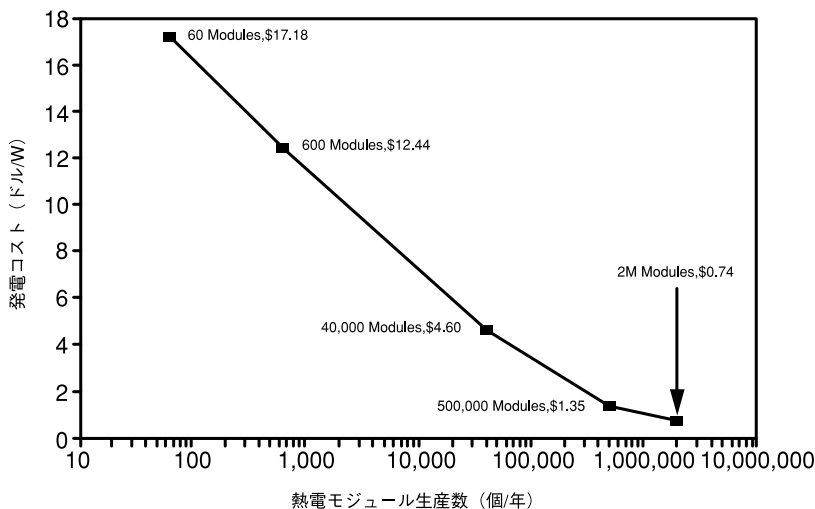
熱電材料は温度の敏感な特性を持っている。言いかえると個々の材料は、得意な温度領域を持っていると言うことである。

従って、広い温度領域を利用しようという高温熱源(600から1000℃)を対象とする熱電発電では、低温域(常温付近)中温域、高温域とそれぞれの温度域で最高の性能を持つ素子を組み合わせて使うことにより高効率化を達成することが必要である。このために種々の熱電材料が取り上げられているのである。もう一つの理由は、なるべ

く環境に優しく、取り扱いがしやすく且つ、資源量の豊富で安価な、安定な素材で構成出来れば理想的であると考えているからである。現在のところ①ナトリウム・コバルト酸化物のような層状酸化物、②コバルト・アンチモンのようなスキテルダイト系、③亜鉛・アンチモン化物、④ゲルマニウム系やスズ系の複雑結晶構造を特徴とするクラスレート(双晶系)、⑤従来材料系であるビスマス・テルル系、鉛テルル系、シリサイド系、などが取り上げられ検討が進められている。無次元性能指数ZTとして1.0~1.4を有するものが出はじめています。

材料研究における別の大きな流れは、ゼーベック係数と導電率及び、熱伝導率の間のお互いの関係を出来るだけ独立にしようという究極の構造制御技術によって熱電素子を製作しようとする研究である。本来温度勾配によって引き起される起電力は、輸送現象からいえば電荷間の平均自由行程に依存することから、構造制御薄膜技術を駆使して量子井戸効果や、有効質量の異なるキャリアポケットなどを作り、これらによって電荷荷体の密度を局在化させることで導電率とは独立により大きい起電力を引き出し、同時に格子による熱伝導を抑制させることで従来の理論にとらわれない高性能化を達成しようとするものである。90年代前半からアメリカのマサチューセッツ工科大学で組織的に取り組みが始められ、成果が上がってきた。<表1>にその実験結果の例示を示した<sup>(2)</sup>。量子ドット効果を活用することでZTに換算して1.6を常温付近で達成させているとしている。未だ実験室レベルであるが、今後の発展への見通しを大いに明るくする実験データといえる。

<図1>熱電モジュールの大量生産効果



<表1>量子ドット効果による熱電素子の高性能化<sup>(2)</sup>

試料	ゼーベック係数 ( $\mu \text{ V/K}$ )	ZT	電荷密度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )
n-量子ドット素子A	-219	1.6	$1.2 \times 10^{19}$	370
n-量子ドット素子B	-208	1.3	$1.1 \times 10^{19}$	300
n-BiSbSeTe既存素子	-228	0.9	$4.6 \times 10^{19}$	110

※量子ドット素子の熱伝導率=0.58W/mK、既存素子の熱伝導率=1.36W/mKを仮定。

## (2)信頼性向上のために

熱電変換は多数の素子をn型素子—電極—p型素子—電極—n型素子……と電気的に直列に熱的には並列に配列されたモジュールが1つの単位になる。これを多数あわせてユニットやシステムを構成することになる。構造は単純であっても実用レベルでの信頼性を確立するには幾つかの技術が必要となる。何故なら、熱電変換システムの素子の上下には必ず温度差がつけら



れており、温度が違うということは材料の熱膨張に差があるということである。そのため熱応力が働き素材の一番弱いところに歪を集中させモジュールを破壊する方向に働くからである。温度の立ち上がり、立ち下りなどの繰り返し運転も同様なダメージを与える可能性がある。

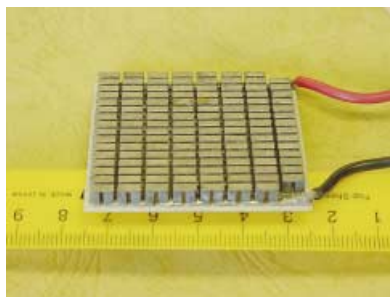
熱電冷却ではすでに実績があり、<図2>に示すようなスケルトン構造にすることによって熱応力を緩和して、高い信頼性を確保している。<図3>に従来型の両面にアルミナ絶縁基板で挟み込んだモジュールの場合と比較して高信頼性すなわち無保守性をもたせることが出来ることが明らかとなっている。熱電発電においては条件が厳しくなるが基本的考え方は同じで、高い信頼性を確保出来そうである。しかし、高温であるため固有の材料やプロセス技術が必要となる。電極と熱電材料の接合技術の確立はその大きな課題といえる。熱電材料の上に島状の中間層を作り電極の接合と応力緩和を同時に達成する技術などが完成に近づいている。

## 実用化に向けてのプロジェクトのスタート

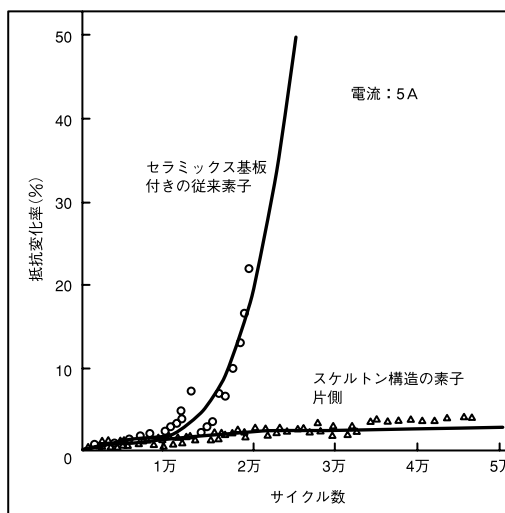
熱電変換の中の熱電冷却技術は、すでに半導体プロセス産業、食品産業・生活及び、光情報産業の中に市場を見出し社会への浸透が始まっている。最終目標は、代替フロンなどを用いた圧縮機による従来型の空調や冷蔵冷凍庫に代替する熱電冷却システムを市場に出すことがあるが、高性能素子技術の成熟に合わせて次々と競合相手を近い将来には打ち破っていくであろう。その意味で熱電冷却産業は更に広い市場を獲得していくものと思われる。すなわち既に自立した産業となっているとみてよいと思われる。

熱電発電に関しては、既に述べているように特殊な限定的な用途でのみ利用されている<sup>(3)</sup>。惑星間探査機用電源、パイプラインの電食防止用電源、遠隔地無線中継基地用電源、腕時計、防災用ローソクラジオ、ガス灯制御用、軍用の可搬型静穏電源などである。これらの限定的用途から脱皮し産業用排熱、民生用排熱、運輸

<図2>片側スケルトン型熱電モジュール



<図3>極性反転繰り返し試験によるモジュール内部抵抗の変化率 (セラミック基板付きと片側スケルトン型との比較)



部門からの排熱などエネルギーシステムの各種排熱利用としてあるいは分散型独立電源として活用されるためには、前述したいくつかのブレークスルー技術を確認して行くことが必要になる。同時に社会に普及するという事は、既存の競争者に打ち勝つ力と導入の必然性がなくてはならない。従来いくつかの熱電変換技術に関する国の主導するプロジェクトは存在したが実用システムまでは到達できていない。このシリーズで述べてきたので読者はご理解いただけたと思うが、熱電技術のシーズ面(技術を向上させる種となる要素技術)ではようやく少しずつ成熟の段階に達してきた。効率面でも他のエネルギー変換機器とそれほど見劣りしない値が得られるようになってきた。平成12年度と13年度の2ヶ年をかけ

て熱電変換素子に関する体系的調査研究が経済産業省と新エネルギー・産業技術研究開発機構(通称:NEDO)の主導の下に(財)省エネルギーセンターの中で検討された。それらの結果を引き受けた形で平成14年度ようやく国の主導する熱電変換システムを実用化に持っていくためのプロジェクトが始動した。

それは、経済産業省主導による「高効率熱電変換システムの開発」プロジェクトで、正式には、平成14年9月からスタートした。このプロジェクトでは、最終目標として、熱電変換モジュールの高温と低温の電極間に550℃の温度差を付けた時にエネルギー変換効率15%を達成する熱電変換モジュールの完成を目指すもので、同時に産業用と民生用の排熱を利用した熱

電変換システムの実用化技術を確立しようとする計画である。期間は5ヶ年で平成14年度から18年度までとなっている。平成16年度には中間評価を行い前記の高効率熱電モジュールでは12%を実証することとしている。計画では、このように高効率熱電変換モジュールと熱電変換システムの開発とを同時平行的に行い、熱電モジュールをシステムに組み込むことを行っていかうとしている。研究開発チームは公募により選考決定され、(財)エンジニアリング振興協会(独立法人産業技術総合研究所と共同での評価技術の確立、普及のための調査研究(湘南工科大学との共同研究を含む))、石川島播磨重工業(株)(産業用システム開発)、宇部興産(株)(熱電モジュールの開発)、(株)エコトエンターワン(熱電モジュールの開発)、(株)小松製作所(熱電モジュール及び産業用システムの開発)、(株)東芝(熱電モジュール及びシステムの開発)、ヤマハ(株)(熱電モジュール及び民生用システムの開発)という顔ぶれである。このプロジェクトは、競争と協調の環境の中で、熱電変換(発電)システムを具体的な形として、世の中で実用化に耐えられる成果を最終的に提示していくことを目的とした我が国いや世界でもはじめての系統的熱電変換実用化技術開発であると位置付けられる。2010年度には原油換算7万5千klの等価の省エネルギーを熱電変換システムによって達成するというシナリオは出来上がっている<sup>(4)</sup>。

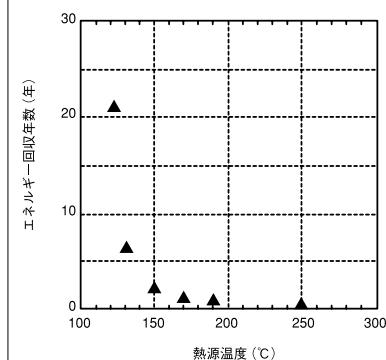
## 熱あるところ、熱電あり

エネルギー変換機器としての実用性を明らかにする上で重要なファクターとして、エネルギーペイバックタイム(又は、エネルギー収支比)がある。これは、システムの建設と運用のために必要なエネルギー(投入エネルギー)とシステムにより産出されるエネルギーとの比を表している。投入エネルギーは設備のためのエネルギーと運用エネルギーとに分けられる。設備のためのエネルギーは、素材エネルギー、製造エネルギー、輸送エネルギー及び、建設エネルギーの和である。これをもとに年間産出エネルギーから年間平均運用エネルギーを

差し引いた正味産出エネルギーで設備エネルギーを除いた比は、エネルギー回収年と呼ばれる。つまり、何年で自分のためエネルギーを回収出来るかを表している。熱電変換システムは、温度条件などによって素材の種類から性能及び、その形状まで大きく変化する。従って、結果は例示として考えてみる必要があり、1つの目安を与える。無次元性能特性 $ZT=1.0$ とした場合、熱源温度の違いによるエネルギー回収年数の変化を<図4>に示した<sup>(5)</sup>。熱源温度200℃程度でも回収年は1年弱であり実用化の視点からは十分であることがわかる。

ここ数年、熱電変換材料技術に目覚しい進展がみられ、既存熱電材料の性能の2倍以上が得られる状況となって来た。まだ実験室レベルで工業化には少し時間が必要であるが、ニーズが工業化を加速させる可能性は十分ある。これからの社会は個人個人の自主性、個性が尊重され、地球環境や他の人々との共生をはかりながら個人の快適性が追求された生活環境の確保が望まれる時代となると思われる。身近な分散した熱源から熱電変換システムによってその場で必要なだけ発電し利用することにより、個人の意志を尊重した適所適時の快適性、利便性が確保されるであろう。それは比較的小さい電力を利用したモニターであったり、知覚増強であったりする。これらは我々の生活を変えていくであろう。一方、究極の省エネルギー技術として産業でのあらゆる機器の排熱源には熱電発電装置が付加され、機器の制御系等補機の電源は熱電発電で置換えできるようになると思われる。それは熱利用設備の独立設置化が可能となることを意味する。小規模では給湯設備や暖房設備の自立化が既に提案されているが、拡大していけばコージェネレーションの自立化、その発展として産業用熱プロセスの自立化は十分見通せる。発展途上国では無線による携帯電話の普及が、有線電話インフラを飛び越えてしまったように、発展途上国などの地域での産業展開が、電力インフラを前提にしなくても良くなり、産業成長構造にも変化を与えると言うところまで行くのではないと思われる。

<図4>熱源温度による熱電発電システムのエネルギー回収年数の変化



“熱あるところ、熱電あり”は、将来の社会・生活上、更に有意義なものとして活用出来る可能性を示唆しているのではないだろうか。当節の流行語を応用すれば、熱電は“ユビキタス”・エネルギー社会の基幹になるといえるであろう。

### 参考文献

- (1) J.C.Bass et al, Thermoelectric generator for diesel trucks, Proc. of 10<sup>th</sup> International Conf. on Thermoelectrics, 127-131 (1991)
- (2) T.C.Harman et al, Quantum Dot Superlattice Thermoelectric Materials and Devices, Science 297, 2229-2232 (2002.9)
- (3) 坂田ら編、熱電変換工学、リアライズ社 (2001.3)
- (4) 梶川、尾崎、高効率熱電変換システムの開発、第50回応用物理学関係連合講演会 10-YB(27) (2003.3)
- (5) 堀、山本、太田、200℃級熱電発電システムのエネルギー収支の検討、新エネルギー・環境研究会資料 FTE-99-2(1999)

### 著者略歴

梶川 武信(かじかわ たけのぶ)

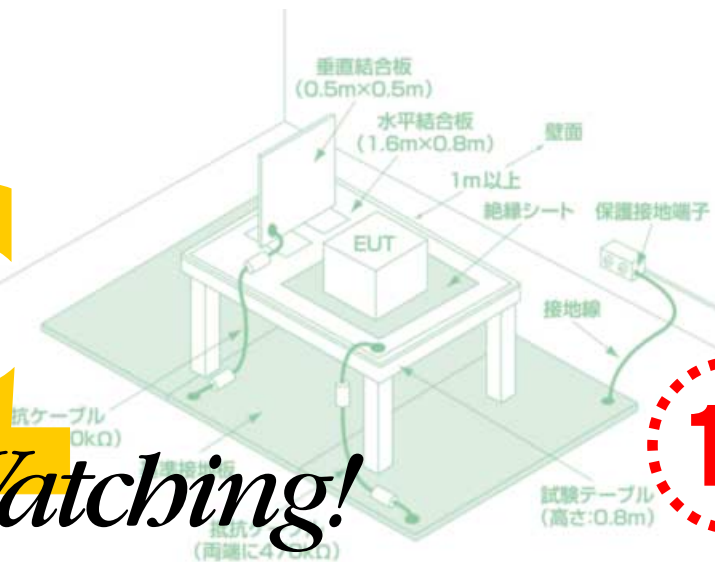
昭和39年 名古屋大学工学部電子工学科卒業  
 昭和41年 名古屋大学大学院工学研究科  
 修士課程修了  
 経済産業省産業技術総合研究所  
 (旧電子技術総合研究所)入所  
 平成4年 湘南工科大学教授  
 (電気電子メディア工学科)  
 平成14年 副学長  
 経済産業省「高効率熱電変換システムの  
 開発事業」プロジェクトリーダー  
 著書/熱電変換工学(共著・編)  
 熱電変換システム技術総覧(共著・編)

# EMC

Electromagnetic Compatibility

EMC(EMS・EMI)ウォッチング

## Watching!



16

## EMC測定に不可欠な… シールドルームについて

### シールド効果による分類

一般的に、シールドルームは使用目的および扱う周波数範囲によって静電シールド、磁気シールド、電磁波シールドに分けられます。

**(1)40～60dBクラスのシールドルーム**  
脳波測定装置や筋電図測定装置、聴力測定装置などの医療機器は、周辺からの電磁波の影響を受けるため、主として40～60dBクラスのシールドルームが使われます。

●例:病院の電子機材を設備した医療室(内部の機器の誤動作を防ぐため)

**(2)60～80dBクラスのシールドルーム**  
MRI(核磁気共鳴診断装置)やNMR分析装置などの医療機器、放電加工機などの工業用機器は、周辺機器に影響を及ぼすため、60～80dBクラスのシールドルームが使われます。またこのクラスのものでは、電子機器(例:精密測定器)の校正や製品試験装置(例:部分放電試験機等)なども対象になります。

**(3)100dBクラスのシールドルーム**  
レーダー施設や送受信施設などの通信設備評価のために、100dBクラスの高性能電磁波シールドルームが必要となります。また、電波暗室のシールド特性も100dBクラ

スの性能を必要とします。

●例1:機密に係わるコンピュータールーム(部屋内部の電子情報が外部に漏れないようにするため)

●例2:航空管制用モニター、鉄道駅ホーム監視モニターなど

ここでは、EMCで取り扱う電磁波シールドについて説明します。

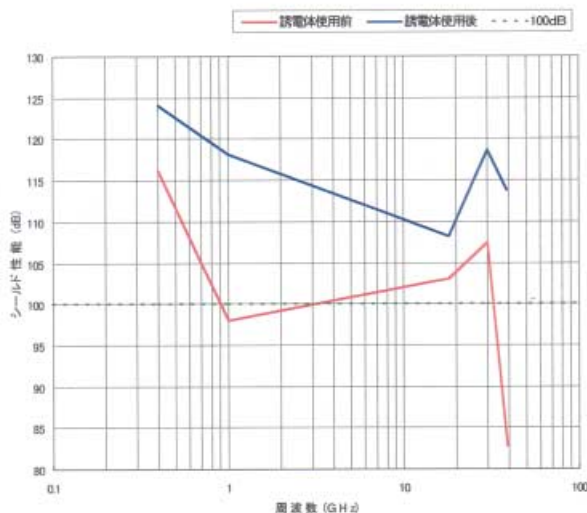
### シールド材料

EMCにおけるシールドは、多くの場合電磁シールドを意味することが多く、電子機器のEMC対策(EMI・イミュニティ対策)には、ほとんどの場合電磁シールドが適用されます。この電磁シールドでは、金属板や金網などの導電材料ですっぽり覆うことが必要です。導電材料としては、鋼板、亜鉛メッキ鉄板、鉄板、銅板、アルミニウム板などがありますが、シールド性能を高めるために、誘電体を使用して超広帯域(150kHz～40GHz)で100dBを保証しているシールドルームもあります<図1>。

### シールドルームの設計と施工方法

最近のシールドルーム設置要件の重要ポイントとして、火災の危険性の予防(溶接工法等における工事での火災事故)や、施工納期の短縮、ルーム移設が簡単、シールド性能の高性能化があります。これらの要求に対応するため、シールドルーム

<図1>シールド性能比較





メーカーでは、シールドパネルを現場でジョイントする方法が多く見られるようになりました。実際の現場で組み立てられるシールドパネルの接続部の施工方法によって全体としてのシールド効果に変化するので、施工には十分な経験が必要になってきます。

設計に関しては、開口部分であるシールド扉、貫通口、換気扇、観測窓などのシールド特性は特に重要です。シールド扉の取付けいかによっては、設計通りの性能が出ないこともあります。その他EUTへの電力供給の電源ラインには、専用の電源フィルタを付け、信号線にはコネクタパネルを取り付けます。また、室内照明設備では、ノイズ発生の少ない白熱灯やハロゲン灯を使用します。

## シールドルームの性能評価

残念ながら、これらについて統一されたものがなく、色々な方法で性能評価が行なわれているのが現状です。一般的には、米国規格(MIL STD 285)に準拠し、測定箇所は開口部分を中心に3~5ポイント測定します<図2>。

## シールドルーム内アース板

一般に伝導妨害波の試験は、シールドルーム内で行なわれます。この時、床面にグラウンドプレーン(アース板)と呼ばれる金属平板を置きます。グラウンドプレーンの大きさはEUTの外周線から50cm以上大きく、且つ最小寸法が2m×2mでなければならぬと定められています。さらにEUTを床面から40cm離し、且つ全ての金属壁面から80cm以上離さなければならぬとも定められています。

※電源端子妨害電圧測定(雑音端子電圧測定)および測定周波数範囲、150kHz~30MHz

### 【参考資料】

- ・ 不要電波問題協議会発行「EMC用語解説」(平成11年3月)
- ・ サンテクノス(株)発行のカタログ

<図2-a>シールドルームの性能評価の様子  
※サンテクノス(株)殿ご提供



<図2-b>シールド性能の例

### ●EMC電波暗室でのシールド性能の例

磁界	150kHz~30MHz	80dB以上
電界	150kHz~30MHz	100dB以上
平面波	30MHz~3GHz	100dB以上

### ●超広帯域・シールドルームでのシールド性能の例

磁界	1kHzにて	20dB
	10kHzにて	56dB
	200kHz~30MHzにて	120dB
電界	1kHzにて	75dB
	200kHz~50MHz	120dB
平面波	50MHz~1GHz	120dB
マイクロ波	1GHz~18GHz	120dB
ミリ波	40GHzにて	100dB

最大60GHzまで、-100dBの実測確認  
シールド材料は亜鉛メッキ鋼板のパネル構造

## その測定データは信頼できますか？再現性は？…

### インピーダンス測定の落とし穴(燃料電池編)

#### インピーダンスとは

そもそもインピーダンスとは交流回路における電気抵抗のことですが、直流の電気抵抗とは何が違うのでしょうか。

直流の電気抵抗は皆さんご存知の通りオームの法則、 $R=E/I$ で与えられます。では交流は…実はこれも理屈は同じで、加えた電圧Eを流れた電流Iで割っただけの物なのです。違うのは交流で測ったということだけ。式で表せば

$$\text{インピーダンス } Z = \frac{E \cdot \sin(\omega t)}{I \cdot \sin(\omega t + \phi)}$$

では何故燃料電池でインピーダンスを測る必要があるのでしょうか。

#### インピーダンス測定の意義

電気化学反応を利用した燃料電池のインピーダンスを等価回路に表すと<図1>

のようなものになります。実際にはガスの拡散や生成した水の影響でもっと複雑になるのですが、ここではわかりやすくするため単純化して表現します。

$R_s$ は燃料電池では膜抵抗と呼ばれ、電極、セパレータ、触媒そしてイオン交換膜の電気抵抗を合計したものです。イオン交換膜の導電率が最も大きく影響しているため俗にこのような呼び方になっているようです。

$R_c$ は燃料の水素が電子を放出し酸素が電子を受取る反応において、これを活性化するためのエネルギーロスにより発生するもので反応抵抗と呼ばれています。

$C_d$ は電気二重層容量と呼ばれる静電容量で、 $R_c$ と並列に入っているため時定数を形成することになります。

この等価回路のキャパシタンス $C_d$ は直流を通しませんから、燃料電池での直流抵抗は膜抵抗 $R_s$ と反応抵抗 $R_c$ を足した値となります。つまり直流ではこの合計値しか測定できず、 $R_s$ 、 $R_c$ 各々の値や $C_d$ の値

を知ることはできません。

ところが異なる2点以上の周波数でインピーダンスを測定すると、その測定値から上記等価回路の $C_d$ を含んだ各定数を算出することができ、燃料電池のどの部分で何が起きているのかを知るための大きな手がかりにすることができる訳なのです。

#### インピーダンス測定器とは

直流抵抗の場合、直列にインダクタンスLが入ると、並列にキャパシタンスCが入るとその値は変化しません。しかし交流で物事を考えるインピーダンスの場合はL成分やC成分によって発生するリアクタンスを考慮に入れなければなりません。通常インピーダンスZは実抵抗成分のRとリアクタンス成分Xが接続されたものとして考えます。インピーダンス測定器はこのRとXを測定する機械なのです<図2>。

#### インダクタンスの影響

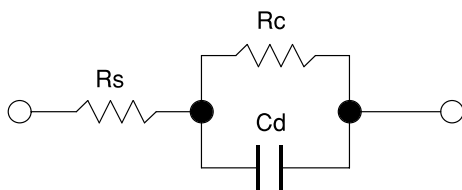
燃料電池を実用化するにあたって問題となっていることのひとつは体積あたりの出力電力の向上と環境変化に対する安定性です。燃料電池の出力効率を上げるには単純に考えれば $R_s$ 、 $R_c$ をできるだけ小さくすることです。燃料電池開発者はこの値を小さく、かつ安定化することに対して躍起になっている訳です。

現在のPEFC燃料電池の出力電流密度は $2A/cm^2$ にも達しており、小型の単セル燃料電池の抵抗は数 $m\Omega$ ~数 $10m\Omega$ 程度となるので普通のLCZメータなどでは非常に測りにくい低い値になっています。

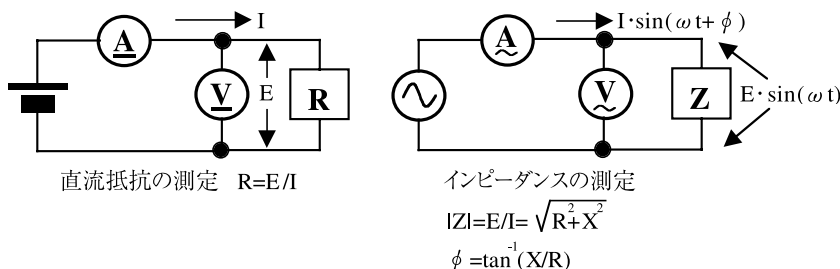
このような $m\Omega$ オーダーの低抵抗を、電線などの影響を受けずになるべく正確に測定するにはどのようにすれば良いでしょうか。

これは電源のリモートセンシングでご存知の通り、測定物の直近にセンシング線を接続する方法が非常に有効です。このことはインピーダンス測定でも同様で、測定

<図1>単純化した燃料電池の等価回路



<図2>





物までの配線抵抗やインダクタンスを含まずに測定することができます。

しかしインピーダンス測定においてはこれだけで安心してはいけません。周波数が高くなると僅かな長さの電極が持っているインダクタンス成分の影響が大きくなっていくからです。厄介なことにインダクタンスは長さのあるところには必ずできてしまうため、mΩオーダーの低インピーダンス測定を行う場合は十分に気をつけなければなりません。数cmだからと思って侮っていると思わぬ落とし穴にはまってしまう。

例えば<図3>の例では測定値にどのくらいの差が出るのでしょうか。

仮に電池から出ている電極の長さが各々2cmだったとします。一般的に電線のインダクタンスは太さによって影響はあるもののおおよそ10nH/cm位といわれていますので電極のインダクタンスは約40nHあると思われます。

周波数10kHzで真値がR=3mΩ、X=0Ωのインピーダンスを持つ燃料電池の測定していたとすると、<図3>では

$$\begin{aligned} Z &= R + X = 0.003 + j\omega L \\ &= 0.003 + j \cdot 2\pi \cdot 10000 \cdot 40e-9 \\ &\approx 3m\Omega + j2.51m\Omega \end{aligned}$$

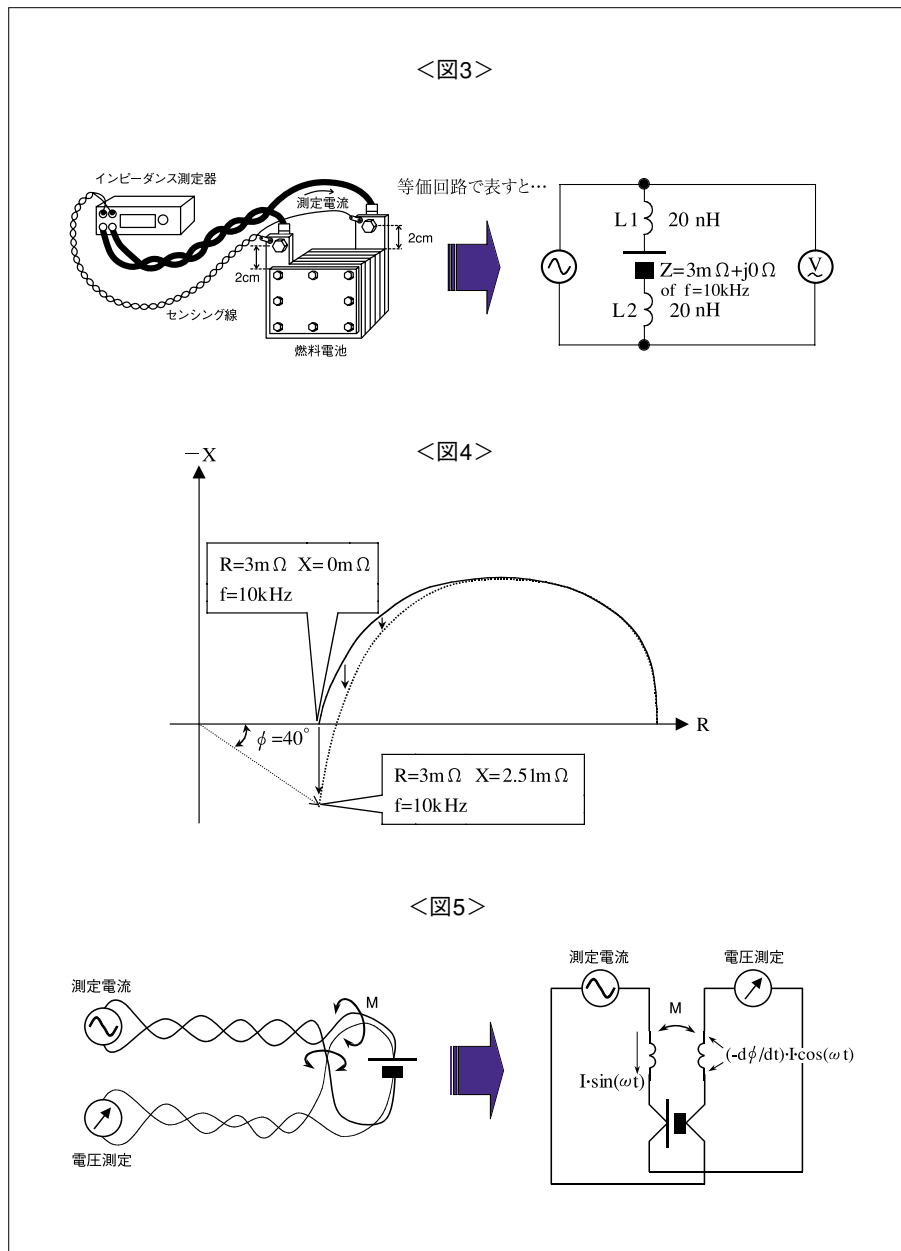
$$\phi = \tan^{-1}(X/R) \approx 40^\circ$$

たった2cmずつセンシングする位置がずれただけで、何と本来ゼロのリアクタンス分が2.51mΩにも達し、電圧と電流の位相角が40°も発生してしまい真値からかけ離れた値を示してしまいます。例えば測定周波数を変化させコール・コールプロットを描くと<図4>のような差になってしまう訳です。

## 電磁誘導の影響

燃料電池のインピーダンス測定ではもうひとつ気をつけなければならないことがあります。それは測定電流が作り出す磁束の影響です<図5>。

測定電流を流している配線とセンシング線が<図5>のように接続されると測定電流線が発生する磁束がセンシング線に結



合し、測定電流に対して90度位相のずれた誘導電圧をセンシング線に誘起してしまいます。

この影響は大きな測定電流を流さなければならぬ大型のシステムで特に問題になり、こういった電磁結合が起こらないよう配線には十分に気を配る必要があります。

## おわりに

このようにインピーダンス測定においては、直流では考えなくても良かった部分に注意しないといくら測定器が高精度にでき

ていてもその能力を発揮することができなくなります。燃料電池開発に携わる方々は化学分野の専門家が多く、これらのような問題で測定値に再現性が得られないと悩んでいる事も少なくないようです。

菊水電子は少しでもお客様においてこのようなお悩みを解決する糸口をつけるため、今後も交流インピーダンス測定をはじめとする電子計測器、それらを活用するための情報を提供して参りたいと考えています。これらが燃料電池開発の手助けとなれば幸いです。

各種デバイスの高速化・低電圧化に対応！

## 直流電子負荷装置 PLZ-4WAシリーズ **【新製品】**

### ● 本体標準価格

PLZ164WA(165W) ¥328,000

PLZ664WA(660W) ¥580,000



電子負荷装置は、抵抗器などで不可能な、実負荷(実際の使用状況)に近い状態で被試験物を評価できる装置として、とりわけ電気製品の電源部の評価試験に多く使われてきました。近年では、パソコンや携帯電話などに使用されるDC/DCコンバータや充電式バッテリー、そして今話題の燃料電池の評価機器としての需要が高まっています。

菊水電子工業では、30年ほど前より電子負荷装置を手掛け、PLZシリーズとして販売して参りましたが、この度、新たなフラグシップモデルとして「PLZ-4WAシリーズ」を開発。2003年1月に165WのPLZ164WA、660WのPLZ664WAの2モデルをリリースいたしました。

### PLZ-4WAシリーズの特長

#### ■ 高速応答性とスルーレート可変

近來、DC/DCコンバータの高速化等により、電子負荷装置にも高速性が要求されています。

PLZ-4WAシリーズでは、立上り・立下り

時間換算で10  $\mu$ sの高速応答が可能になり、直流電源の過渡応答試験や、疑似負荷としてのシミュレーション波形の正確な再現が可能になりました。また従来のような立上り・立下り時間設定ではなく、スルーレート(A/ $\mu$ s)での設定ができます。設定値は連続可変できますので、負荷電流をスイッチングした時に発生する、配線インダクタンスによる電圧降下や、定電圧電源等のトランジェント抑制の最適化が可能です。

#### ■ 高精度化

電流設定の高精度化が図られています。3レンジ構成で微小電流での分解能を確保しています(PLZ164WのLレンジで設定分解能10  $\mu$ Aが可能)。また、電圧計・電流計・電力計の各表示も5桁表示となりました。

#### ■ 0V入力

PLZ-4WAシリーズは、0Vであっても定格電流まで負荷入力できます。燃料電池の単セル試験では必須の仕様です。また、低消費電力化および半導体プロセスの微細化のため、半導体デバイスは

ます低電圧化されています。これらの電源の評価に対応することができます。

#### ■ 電池の放電試験に便利な機能

ロードオンからロードオフまでの時間を測定することができます。低電圧検出(UVP)機能と組み合わせて使用すれば、電池の放電開始から終止電圧になるまでの時間を測定することができます。またロードオンから一定時間経過後に自動的にロードオフするタイマを設定することができます。このタイマを設定するとロードオフ直前の入力電圧値が表示されますので、電池の放電開始から一定の時間経過後の閉路電圧を測定することができます。

#### ■ GPIB、RS-232C、USBを標準装備

GPIB、RS-232C、そしてUSBのインターフェースを標準装備しました。なおGPIBは、SCPI(プログラマブル計測器用標準コマンド)および488.2に対応しています。

#### ■ その他の機能

従来品(PLZ-3Wシリーズ)と同様の、ソフトスタート機能、ロック機能、ショート機能、ABCメモリ機能、セットアップメモリ機能、スイッチング機能、シーケンス機能、マスタ・スレーブ運転機能(同一モデルで最大5台)などは、PLZ-4WAシリーズにも装備されています。

### サンプルプログラム

PLZ-4WAシリーズ用のサンプルプログラムを当社WEB([www.kikusui.co.jp](http://www.kikusui.co.jp))にご用意しました(無料)。サンプルプログラムとして、セットアップメモリの内容をフロッピーなどのメディアから読み込む、または保存するためのユーティリティソフト[MEMcopy]、シーケンス編集ソフト[StepEdit]、そして計測データ収集やGUIリモコンなどVisual Basicのアプリケーションおよびそのソースコード[VBサンプル]をダウンロードできます。

高価なGPIBカードやプログラミングのスキルがなくても、これらのソフトおよびUSBドライバをUSB搭載のWindowsパソコン(98以降に対応)にインストールし、PLZ-4WAシリーズ本体とUSBケーブルでつなげば、手軽に測定をはじめることができます。是非ご利用ください。

## ■仕様(概要)

H、M、Lはレンジを意味します

形名	PLZ164WA	PLZ664WA
<b>定格</b>		
動作電圧(DC)	0V~150V	
電流	33A	132A
電力	165W	660W
<b>定電流モード</b>		
動作範囲	H 0A~33A M 0A~3.3A L 0A~330mA	0A~132A 0A~13.2A 0A~1.32A
設定分解能	H 1mA M 0.1mA L 0.01mA	10mA 1mA 0.1mA
<b>定抵抗モード</b>		
動作範囲※1	H 22S~400 $\mu$ S (45.455m $\Omega$ ~2.5k $\Omega$ ) M 2.2S~40 $\mu$ S (454.55m $\Omega$ ~25k $\Omega$ ) L 0.22S~4 $\mu$ S (4.5455 $\Omega$ ~250k $\Omega$ )	88S~1.6mS (11.363m $\Omega$ ~625 $\Omega$ ) 8.8S~160 $\mu$ S (113.63m $\Omega$ ~6.25k $\Omega$ ) 0.88S~16 $\mu$ S (1.1363 $\Omega$ ~62.5k $\Omega$ )
設定分解能	H 400 $\mu$ S M 40 $\mu$ S L 4 $\mu$ S	1.6mS 160 $\mu$ S 16 $\mu$ S
<b>定電圧モード</b>		
動作範囲(DC)	H 0V~150V L 0V~15V	
設定分解能	H 10mV L 1mV	
<b>定電力モード</b>		
動作範囲	H 16.5W~165W M 1.65W~16.5W L 0.165W~1.65W	66W~660W 6.6W~66W 0.66W~6.6W
設定分解能	H 10mW M 1mW L 0.1mW	20mW 2mW 0.2mW
<b>指示計(表示)</b>		
電圧計	H 0.00V~150.00V L 0.000V~15.000V	
電流計	H・M 0.000A~33.000A L 0.00A~330.00mA	0.00A~132.00A 0.000A~1.3200A
電力計	H・M 0.00W~165.00W L※2 0.000W~49.500W L※3 0.0000W~1.6500W	0.00W~660.00W 0.000W~198.00W 0.0000W~6.6000W
<b>スルーレート</b>		
設定範囲	H 2.5mA/ $\mu$ s~2.5A/ $\mu$ s (定電流モードにて) M 250 $\mu$ A/ $\mu$ s~250mA/ $\mu$ s L 25 $\mu$ A/ $\mu$ s~25mA/ $\mu$ s	10mA/ $\mu$ s~10A/ $\mu$ s 1mA/ $\mu$ s~1A/ $\mu$ s 100 $\mu$ A/ $\mu$ s~100mA/ $\mu$ s
設定分解能※4	100nA・1 $\mu$ A・10 $\mu$ A ・100 $\mu$ A・1mA	400nA・4 $\mu$ A・40 $\mu$ A ・400 $\mu$ A・4mA
<b>スイッチングモード</b>		
動作モード	定電流、定抵抗	
周波数設定範囲	1Hz~20kHz	
<b>ソフトスタート</b>		
動作モード	定電流、定抵抗	
設定範囲	1、2、5、10、20、50、100、200ms	
<b>保護機能</b>		
	過電圧保護(OVP)、過電流保護(OCP)、過電力保護(OPP)、 過熱保護(OHP)、低電圧検出(UVP)、逆接保護(REV)	
<b>インターフェース</b>		
	GPIO(488.2)、RS-232C、USB(2.0)	
<b>入力電源</b>		
電圧範囲	AC90V~132V/180V~250V	
周波数	AC47~63Hz	
最大消費電力	450VA	1500VA
<b>寸法( )は最大部</b>		
W	214mm	429.5(455)mm
H	124(155)mm	128(150)mm
D	400(470)mm	400(470)mm
<b>質量</b>		
	約7.5kg	約16kg

※1 S: siemens, mS: millisiemens  
コンダクタンス[S]×入力電圧[V]=負荷電流[A]  
コンダクタンス[S]=1/抵抗値[ $\Omega$ ]  
※2 CPモード時以外  
※3 CPモード時  
※4 スルーレートの設定値によっていずれかになります

# From Editors

遅ればせながら「千と千尋の神隠し」を見た。先にビデオで見て、そのつもりがなかったのだがテレビ放映も見てしまった。

これをファンタジーというのかもしれないが、非常に不思議なアニメ映画と感じた。話の展開が読めない、見る者をグイグイと引っ張るストーリーの秀逸さに加えて、「不思議の町に迷い込んでしまった人間」という設定に興味を覚えた。そしてそこに現代への痛烈な批判を感じた。

そう思って、宮崎駿監督の制作意図を調べてみた。「今日、あいまいになってしまった世の中」というもの、あいまいなくせに浸食し喰い尽くそうとする世の中を、ファンタジーの形を借りて、くつきりと描き出すことがこの映画の主題でもあるとのことであった。宮崎氏は「世の中」と表現されたが、私はそれを「経済(カネ儲けへの傾倒・執着)」だと思った。経済に依存し過度に適応してしまった社会の醜い様、惨い様が、「不思議の町」に私は見て取れた。

経済の有用性を否定するつもりはない。しかし、近代経済から生み出された価値観が社会のあらゆる場面で幅を利かせすぎていることが問題なのだと思う。「経済的成否・利害が一番」であってそれ以外は価値が低い、認められないという人間観、人生観。そしてそれを肯定しその価値観に最適化された社会システム。いまだそのモノサシを(他に選択肢がないから?)握りしめたままだ。倒産、失業が人の死命に直結してしまう事態の急増がその証左だ。そんな世の中がまともと言えるのか。

映画の中に登場するカオナシという神(?)は、自分をもてなす者に黄金を与える。人々は我先にと馳走を持って群がり、やがてカオナシはぶくぶくと肥えた「バケモノ」になってしまう…。便利に使った、飼いつづけたつもりが、手に負えなくなってしまった経済というバケモノ。経済学者やマスコミは、この不況を経済システムの不調・不具合として論ずるが、そこからは答が見えそうにない。

経済学者である飯田経夫氏は著書の中で「知足(足るを知る)」をキーワードに、「国家百年の計のテーマは豊かさにとどめるかではないか」と述べた。この長いトンネルの出口は、神と思っていたものがバケモノになってしまったのだと見切れた時、「経済の奴隷」となっている己の姿とともに見えてくるのではないか。

藤川 貴記  
SAWS編集担当  
tfujikaw@kikusui.co.jp





## タイムインターバルジッタメータ

# KJM6775 **NEW**

標準価格: ¥850,000 (税別)

次世代メディアを見据えた潜在能力

- DVD/CD対応 クロック周波数範囲4.0MHz~220MHz
- 最大74MSPS、最小分解能25psのハイスペック
- Wobbleジッタ測定機能、Bi-Phaseジッタ測定機能搭載
- CD標準、2倍、4倍、8倍速、DVD標準、2倍速用PLLクロック再生回路搭載
- DVD標準速イコライザ回路搭載

KJM6775はCD、DVD等、光ディスク関連のジッタ測定を行う装置です。光ディスク関連におけるRF信号のジッタ測定はDVDブック (DVD Specifications for Read-Only Disk Ver. 1.0 Aug 1996) に準拠、2倍速を標準搭載しています。イコライザはDVD-ROM標準速用のイコライザ回路を搭載していますので、光ピックアップのRF信号を入力してもDVD Book準拠の測定が可能です。また、入力データをヒストグラムとして蓄積し、まとめてデジタル演算することによってジッタを求める方式を採用していますので、アーミング、アーミングデレレー、インヒビットの3機能を組合せ、単発信号やディスクの一部分のみの演算が可能です。KJM6775は、現在すでに市場で広く御使用頂いているKJM6765、KJM6755Aに磨きをかけ、次世代のメディアに対応すべく開発されたキクスイが誇る最先端モデルです。

Guideline Ver.1.0 May 1999に準拠)、2倍速、4倍速、8倍速及びDVD-ROM標準速 (DVD Specifications for Read-Only Disk Ver. 1.0 Aug 1996) に準拠、2倍速を標準搭載しています。イコライザはDVD-ROM標準速用のイコライザ回路を搭載していますので、光ピックアップのRF信号を入力してもDVD Book準拠の測定が可能です。また、入力データをヒストグラムとして蓄積し、まとめてデジタル演算することによってジッタを求める方式を採用していますので、アーミング、アーミングデレレー、インヒビットの3機能を組合せ、単発信号やディスクの一部分のみの演算が可能です。KJM6775は、現在すでに市場で広く御使用頂いているKJM6765、KJM6755Aに磨きをかけ、次世代のメディアに対応すべく開発されたキクスイが誇る最先端モデルです。

### 【ディスプレイ表示例】



▲ヒストグラム表示



▲ジッタ量 (%) (S)、クロック周波数 (カウンタ測定値、RF to CLKタイムインターバル測定時のみ) 表示



▲サンプルタイム設定時



▲アーミング、インヒビット



▲コンフィグメニュー

デザイン・仕様等は予告なく変更する場合があります。価格には消費税が含まれておりません。別途申し受けます。



**菊水電子工業株式会社** 本社 〒224-0023 横浜市中区東山田1-1-3 TEL:045-593-0200  
 首都圏南営業所 TEL:045-593-7530 東北営業所 TEL:022-374-3441 東関東営業所 TEL:029-255-6630 北関東営業所 TEL:0270-23-7050  
 東海営業所 TEL:052-774-8600 関西営業所 TEL:06-6933-3013 九州出張所 TEL:092-263-3680



古紙配合率40%再生紙を使用しています。この冊子は、エコマーク認定の再生紙を使用しています

SAWS[ソオス]2003 Spring (通巻第21号 平成15年4月1日発行) **非売品**

発行: 菊水電子工業株式会社 販売部門 〒224-0023 横浜市中区東山田1-1-3 TEL:045-593-7530 (販売直通)

2003048KG11