

研究結果報告書

1. 研究題目名

高機能材料および電子部品の開発に関する調査研究

2. 担当者

電子技術担当 上席研究員 平尾 友二

3. 結果報告

本調査研究の目的は、商用電力システムを用いる制御機器などの省力化に資する新しい電子部材・電子機器の開発に不可欠な電気的基本特性（インピーダンス特性）の測定環境を整え、その評価方法のノウハウを習得することである。

当所では、電気的基本特性（インピーダンス特性）の測定には、主にNF回路ブロック製インピーダンス・ゲインフェーズアナライザZGA5920（0.1mHz～15MHz）とKeySight製ネットワークアナライザE5071C（100kHz～6.5GHz）を用いる。また、KeySight製LCRメータ4285A（75kHz～30MHz）を用いることもある。しかし、前者の2機種は、高周波機器の開発に伴う研究に際して、フィルタ回路等のインピーダンス特性測定用に購入した物であるため、様々な対象のインピーダンス特性を測定出来るようにはなっていない。

そこで、本調査研究では、まず、インピーダンス・ゲインフェーズアナライザ（以後、インピーダンスアナライザと称す）とネットワークアナライザで、様々な対象のインピーダンス特性を測定できるように、不足している周辺治具等について調査し、これを購入・整備した。次に、標準試料や電子部品を実際に測定することにより、評価方法のノウハウ習得を行った。

a) インピーダンスアナライザ

最大出力電圧が10Vpkであるため、これまで装置単体で商用電力システムに用いる高電圧用電子部品や測定時に高電圧を印可する必要があるセラミック系材料などのインピーダンス測定が出来なかった。そこで、印可電圧を増幅する高速バイポーラ電源を購入し、写真1のようにインピーダンスアナライザと連携させることで、250Vpkまでの測定を、高速バイポーラ電源を2台パラレル接



写真1. 測定システム

続することにより±250Vの測定を可能とした。

実際に、表1のような電力系統用コンデンサについて、様々な条件で特性計測を行った。その結果、得られた知見の一例を示す。図1および図2は、電力系統用コンデンサ（QXL2E104KTPT）のインピーダンス特性を測定したものである。電力系統用コンデンサは国内では50Hzあるいは60Hzにて用いられることを想定しているため、測定周波数範囲は10Hz～100Hzとした。図1は1Vpkの印可電圧で、図2は150Vpkの印可電

表1．測定に使用した電子部品

品 種	型 名	メーカー名	耐電圧	容量	精度
ポリエステルフィルムコンデンサ	ECQE2A104KF	パナソニック	250Vac	100nF	±10%
ポリエステルフィルムコンデンサ	QXL2E104KTPT	ニチコン	250Vac	100nF	±10%
ポリエステルフィルムコンデンサ	ECWF2104JAQ	パナソニック	250Vdc	100nF	±5%
ポリエステルフィルムコンデンサ	FHACD631V104J0LGZ0	日本ケミコン	250Vac	100nF	±5%
積層セラミックコンデンサ	GRM31CR72E104KW03L	村田製作所	250V	100nF	±10%
積層セラミックコンデンサ	QMK325BJ104KN-T	太陽誘電	250V	100nF	±10%
アルミ電解コンデンサ	EEHB1HR10R	パナソニック	50V	100nF	
アルミ電解コンデンサ	UVK2D0R1MED	ニチコン	200V	100nF	
タンタルコンデンサ	204M5002 104K4	松尾電機	50Vdc	100nF	±10%
タンタルコンデンサ	T356A104K050AT	KEMET	50Vdc	100nF	±10%
紙コンデンサ	PME271E610M	KEMET	300Vac	100nF	±20%
紙コンデンサ	PME271Y433MR30	KEMET	250Vac	3.3nF	±20%
ポリスチレンコンデンサ	FSC		160Vac	10nF	±2.5%
ポリスチレンコンデンサ	EXFS		63Vdc	10nF	±1%

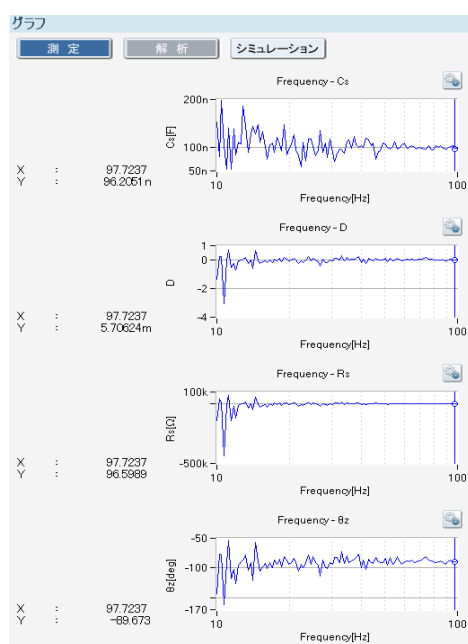


図1．5Vpk印可時の測定結果

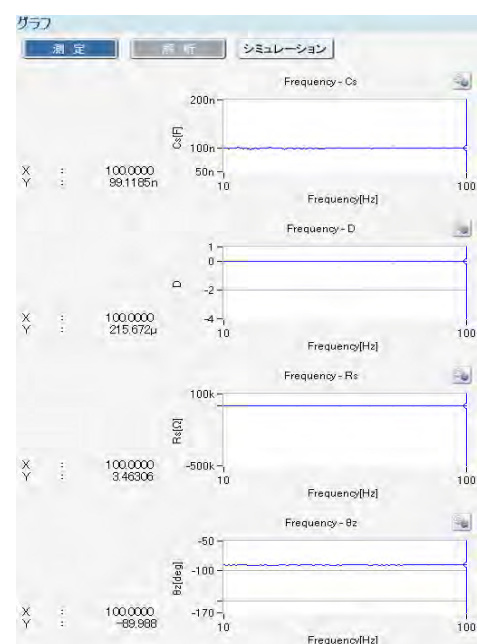


図2．150Vpk印可時の測定結果

圧で測定した結果である。比較し易くするため縦軸のスケールは同じに設定してある。この結果からも解るように、図1では容量 C_p が周波数によって荒い変動を示しているが、図2では、周波数にかかわらずほぼ一定を示している。このことから電子部品の特性評価は、使用環境に近い条件で測定する方が良いことが解る。（高周波数域では、差異はほとんど無かった。）

理想のコンデンサは、 C （キャパシタンス成分）のみで表されるが、実際には、図3のように、 L （インダクタンス成分）と R （抵抗成分）を有しており、コンデンサの特性は、周波数が高くなると C よりも L の方が支配的になる。また、 R の大きいコンデンサでは、異常発振や誤動作の原因やリップル電流が流れると損失が大きくなり発熱による劣化の促進などの問題を引き起こす。このため、この R 成分をESR（等価直列抵抗）として特に測定したいことがある。図3にQMK325BJ104KN-TのESRを実測した結果を、図4にメーカー公表のESRをそれぞれ示す。

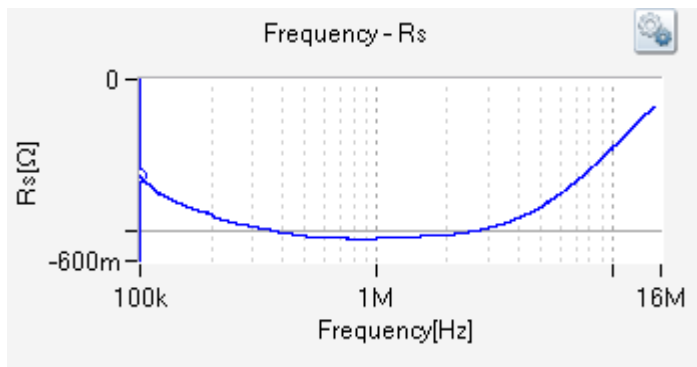


図3．測定値から求めたESR曲線（縦軸は1Ω加算前）

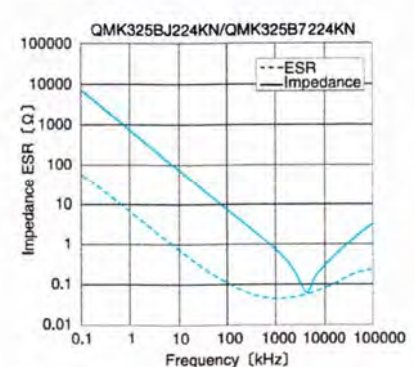


図4．メーカーのデータシート

ESR曲線は、メーカーのデータシートでは、1MHz付近で最小となっており、実測値では900kHzあたりで最小を示しており、ほぼ一致している。一方で、実測したESR曲線の最小値は518mΩで、メーカーのデータシートから求めた80mΩとは、異なっており、治具（接続ケーブルなど）の影響かと思われる。

次に、写真2のような液体誘電率測定用簡易治具を設計製作した。これは、地元の化学メーカーが大手電機メーカーからの依頼で電子機器用の高分子ポリマーを製作している関係上、液体誘電率の測定やインピーダンス測定の要望があるためである。



写真2．液体誘電率測定用簡易治具

この治具を使って、標準試薬の誘電率を測定した結果を表2に示す。誘電率が低い試薬では誤差が少ないが、誘電率が高くなるに従って誤差が大きくなる傾向が見られた。これは、治具の電極形状やケーブル接続などの問題によるものかと思われる。また、測定においては、治具の洗浄や乾燥の重要性や、測定前に電極に試薬をなじませたり、微細気泡の除去が必要であることなど、経験に伴うノウハウがあり、熟練の必要性を感じた。

今後、簡易治具の電極形状や加工面荒さなどの調整を行い、精度を向上させていきたい。

表2. 試薬の誘電率

試薬名	理想値	実測値	誤差%
トルエン	2.38	2.3	3.36
トリクレン	3.3	3.48	5.45
ジクロロベンゼン	9.93	10.7	7.75
イソプレパノール	18.3	19.8	8.2
アセトン	19.5	21.2	8.72
エタノール	24	27.4	14.17
メタノール	33	38.6	16.97

ｂ) ネットワークアナライザ

ネットワークアナライザを用いたインピーダンス測定では、印可した信号の通過・反射電力の周波数特性を測定することでインピーダンスを算出する。このため、使用する治具（接続ケーブルやコネクタなど）には、高周波特性の明確な物が必要とされ、コネクタの締め付けトルクなども測定に影響を与えるため管理する必要がある。そこで、BNC, SMA, 3.5mm, N, 7mm の4種類のコネクタについて測定環境を整えることとし、欠品している物を購入した。表3にそれぞれのコネクタの締め付けトルクを、写真3に使用するトルクレンチを示す。上から SMA 用、3.5mm 用、N・7mm 用である。また、写真4に SMA 用治具一式を示す。ネットワークアナライザが N 型コネクタを標準としている



写真3. トルクレンチ

表3. トルクレンチの締め付け圧

コネクタの種類	締め付けトルク値	レンチサイズ
SMA	56N-cm/5in-lb	5/16"
3.5mm	90N-cm/8in-lb	5/16"
N	135N-cm/12in-lb	3/4"
7mm	135N-cm/12in-lb	3/4"



写真4. SMA 用治具一式

ので、治具には、N-SMA 変換コネクタ、接続による誤差を補正するために行う校正に必要な、テストリード、SHORT、OPEN、LOAD（50Ω終端）の各コネクタのほか、オス、メス中継コネクタなどが整えられた。

次に、写真5のような固体測定用治具とネットワークアナライザを用いて、テフロン製試料の比誘電率を測定した。固体測定用治具は地元の化学メーカーが電波吸収用材料などを製作している関係上、固体透磁率の測定やインピーダンス測定の要望があり、従来から保有していた物である。

テフロンは周波数依存度が低いことから、安定した値が得られるものと考えられる。

測定は2ポートで行うものとし、測定に際してまず校正を行う。ここでは、コネクタの締め付けはトルクレンチを用いて規定圧で締め付け、ケーブル先端にて OPEN・SHORT・LOAD とケーブル先端をスルー接続して行うフル2ポート校正を行った。そして、3～5GHzの範囲で掃引し、このうち、比較的安定して測れていると思われる3.3MHzで4つのSパラメータ値を計測した。そして、Sパラメータ値からインピーダンスを求め、試料のサイズから比誘電率を算出した結果、2.07となった。テフロンの比誘電率は2なので、誤差は3.5%であった。

Sパラメータから比誘電率を求める演算は複雑で手間が掛かることから、今後、マクロプログラムなどを作成するなど、測定環境の改善を進めていく必要がある。

以上により、本調査研究の目的である、商用電力システムを用いる電子部品や機器の測定評価環境および液体・固体材料の電気的基本特性（インピーダンス特性）の測定環境を整えることが出来た。実測にあたって、新たに不足している治具等も判明したが、これについては今後折を見て補充していく予定である。また、測定方法や評価方法には経験や訓練を要するノウハウが多数有ることが判明し、今後も測定を繰り返して習熟度を向上させ、測定精度や測定時間短縮に繋げていく予定である。



写真5. SMA 用治具一式