

セラミックヒーターにおける添加元素の影響及び伝導雑音の検出法

小宮山崇夫¹, 戸花照雄¹, 須知成光²¹ 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科² 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

セラミックヒーターは、古くから製品に用いられているが、近年、その動作の安定性により注目されており用途拡大が検討されている。それにともない、入力電圧などの動作環境が変化してきており、その電気的特性を改めて詳細に検討する必要がある。また新規用途に用いられるにあたり、電磁ノイズの評価も必要になっている。本研究では、電気的特性に大きな影響を与える添加元素による組織制御を主眼とし、添加元素の検出評価を検討した。さらに伝導雑音の検出法においては、機器の伝導雑音を製造工場で測定することが望まれており、第1に伝導雑音の検出手法の確立を行い、その手法を工場の電磁環境へ適用した。添加元素の検出は、電気的特性が大きく変化する状態でも、現有の測定機器では検出が不可能であり、電気的特性や熱的特性から得られる結果から推測することが必要であることが分かった。伝導雑音の検出においては、検出法の確立はできたが、工場では電源から発生する伝導雑音が、素子から発生するものよりも大きく、ノイズフィルターの導入など更なる改良が必要であることが分かった。

キーワード: セラミックヒーター, 組織制御, 伝導雑音.

セラミックヒーターは熱暴走を起こしにくいヒーターとして改めて注目されており、その応用範囲が広がろうとしている。それにともないこれまでより、さまざまな電圧における素子の挙動や電気特性、電子機器動作に影響を与えるノイズなどの発生状況を詳細に検討する必要があると考えられる。

本研究では、既存の材料の諸特性を明らかにすることを目的に、種々の組成で作製した試料の組成を分析し、その電気特性に与える影響の検討した。また、各組成における熱伝導率を測定し、高出力化に伴う入熱量の増加に対する指標を得ることも目的にしている。さらに更なる低ノイズ化を目指し、ノイズ測定及び解析技術の確立を行う。これは電磁環境が整った実験室での検出技術の確立とともに、工場などの電磁ノイズの多い環境においてもノイズ検出技術の確立を目的とした。

構造及び組織を詳細に検討するには、各種組成で焼結した試料に含まれる添加元素の測定できるかが重要である。今回対象としたセラミックヒーターは BaTiO₃ をベースに遷移元素を添加して、諸特性を制御している。しかし、1atm%未満の添加であることが多く現有の装置の測定限界に近い。測定には SEM-EDX, ESCA, XRD を使用したが明確な差を得ることができなかった。ppm レベルの検出が可能な ICP-AES の使用を検討したが、セラミックを測定可能な溶液にする段階で濃度が薄くなり、検出が難しいことが明らかになった。ヒーターの PTC 特性の発現は粒界の状態に依存するといわれており、その観察も実施したが濃度の偏りや組織の差を観察、検出することができなかった。

熱伝導率

添加元素検出手法の検討

熱伝導率は NETZSCH 製熱特性測定装置 LFA4571 を使用し、50℃から 300℃までの温度依存性を測定した。図 1 に測定結果の 1 例を示す。比熱の温度変化の傾向に大きな影響を受け、相転移温度でピークを持ち、電気伝導率の温度傾向と同様である。

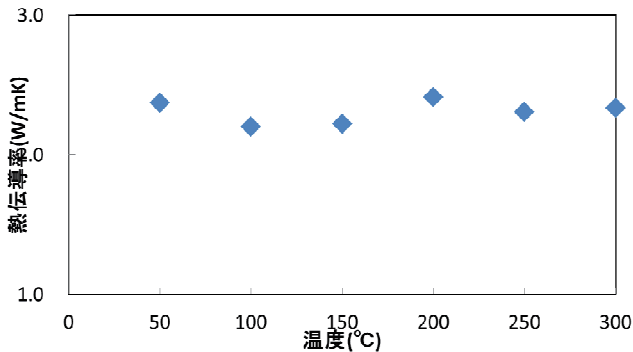


図 1 熱伝導測定例

工場雑音が入混した商用電源を用いて機器の伝導雑音を検出する手法の検討

機器の電源回路から出力される伝導雑音は、商用電源回路網を経由して他の機器に電磁結合し誤動作を起こす可能性がある。そのため、各機器から出力される伝導雑音の大きさの許容値は FCC, CISPR などの国際規格や VCCI の国内規格により決められている。ある機器がこの規制に適合しているかどうかを確認するためには機器の電源回路から出る伝導雑音の周波数と大きさを測定する必要がある。その測定専用のサイトもあるが、機器の伝導雑音を製造工場で測定することが望まれる。特に、大きな伝導雑音を発生させる機器を容易に特定することが必要となる。しかしながら、大電力をスイッチングする装置など大きな導電雑音が発生する工場においては商用電源網に強いパルス性の雑音が入混しており、伝導雑音を測定する環境としては望ましくない。本研究においては、この様な工場の雑音環境の中である機器から出力される伝導雑音を確認するための手法について検討する。

伝導雑音を測定するためには、線路インピーダンス安定回路網 (Line Impedance Stabilization Network: LISN) を用いる (Paul, 2006)。図 2 に LISN の回路を示す。LISN を用いて測定するときには、AC100Vin を外部の電源回路網に、AC100Vout に測

定する機器の電源ケーブルをそれぞれ接続し、スペクトルアナライザなどの高周波数測定器を RF out に接続する。LISN を用いる目的は、1 μ F のキャパシタと 50 μ H のインダクタにより構成された内部のローパスフィルタにより 50Hz の商用電源電力のみを通過させ規定されているまでの 30MHz の雑音の周波数成分が外部から混入することを抑制し、0.1 μ F のキャパシタで低い周波数の成分が測定器に入力されることを抑制することで、機器内部で発生する雑音成分のみ測定できるようにしている。LISN を用いて伝導雑音の周波数成分を検出するために、一般的にはスペクトラムアナライザが使用される。しかし、一定時間に周波数を走査することで雑音の周波数成分を測定しているスペクトラムアナライザを用いてランダムに発生する雑音を検知することは困難である。したがって、LISN の RF out にはオシロスコープを接続することにより伝導雑音の時間波形を測定し、その波形の特性に対応したトリガを使用することで雑音を発生する機器を特定することとした。また、本研究においては図 3 に示す自作した LISN を用いた。

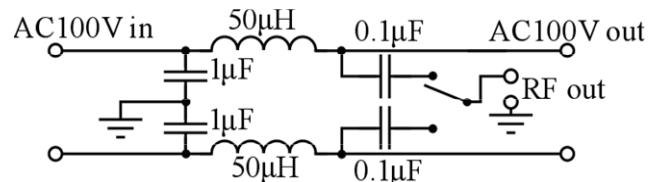


図 2 LISN 回路

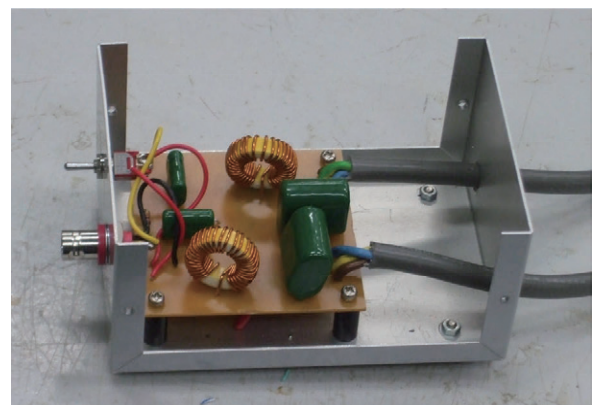


図 3 測定に使用した LISN

電子機器からの雑音検出手法

機器の電源ケーブルを LISN に接続することによりその機器から出力される伝導雑音を測定する。測定は、秋田県立大学通信研究室において行う。この

雑音の特性を観測するために、LISN にデジタルオシロスコープ (PicoScope 2208A) を接続し、波形を観測した。図 4 に、それぞれ観測時刻の異なる 3 つの波形を重ねて示す。図より -10 ~ -5 ms の時刻において、正弦波の波形の -2V 付近でいくつかの短時間のパルス状の波形が観測できる。また、このパルスは一定の周期を持つ定常的なものではなく、ランダムに発生していると考えられる。そして、電源波形の振幅に比較してパルスの大きさは小さいため単なる立上りや立下りのトリガではこのパルスを検出することはできない。そこで、デジタルオシロスコープの機能の一つであるパルス幅トリガを用いて雑音パルスを検出した。パルス幅トリガの条件を適切に設定することにより短時間の雑音パルスが出力されたときにトリガがかかり雑音波形の検出を可能にする。

パルス幅トリガの条件を 80us より大きくしたときに検出された伝導雑音パルスの測定結果を図 5, 6

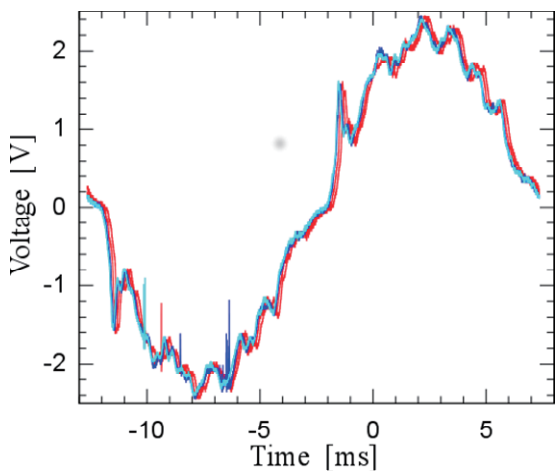


図 4 観測された雑音パルス

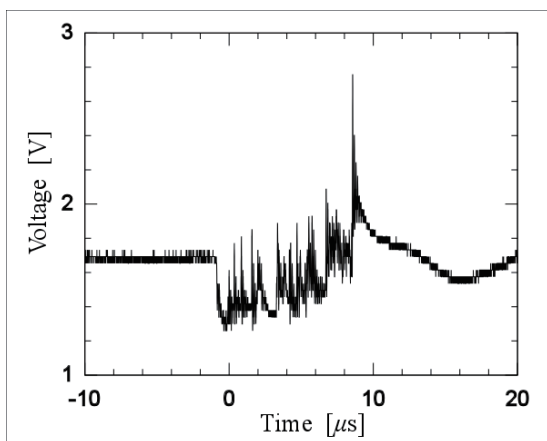


図 5 検出された雑音の時間領域波形 (1)

にそれぞれ示す。図よりこの機器雑音はパルス性の時間波形となることがわかる。また、図 5, 6 の時間波形をフーリエ変換した周波数波形を図 7, 8 にそれぞれ示す。図 5, 6 よりこの波形は最初に 0.5 から 1 V 程度の短時間のピークが発生し周波数波形を見る

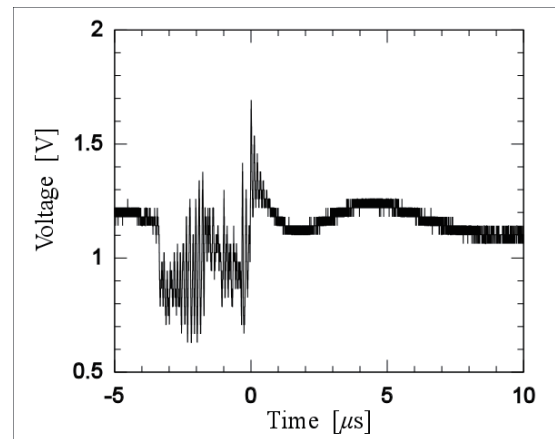


図 6 検出された雑音の時間領域波形 (2)

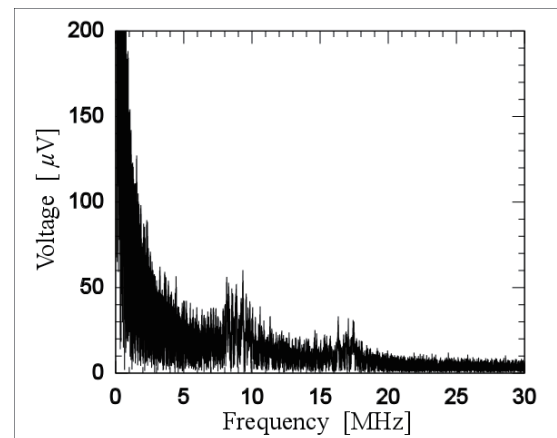


図 7 検出された雑音の周波数領域波形 (1)

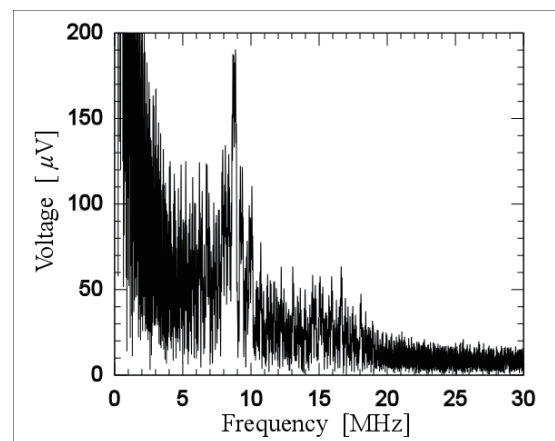


図 8 検出された雑音の周波数領域波形 (2)

と、3MHz 以下の低い周波数成分が大きく、特に図 8 に顕著に見られるように、8.5MHz に高い成分が観測された。

工場雑音の特性

前節で示した雑音検出手法が工場における電源環境の元でうまく動作するかどうかを確認するために工場において同様の測定を行った。しかしながら、工場の電源網には強い雑音が含まれるために、機器からの雑音のみをうまく検出できなかった。そこで、工場の雑音を抑制する方法について検討する。まず、工場の雑音特性を観測するために、工場内部の電源に LISN を挿入して工場雑音を測定した。図 9 に測定した 2 つの雑音の時間波形を示す。また、図 10 に図 9 の波形をフーリエ変換した周波数波形を示す。図 9 よりある周期の減衰振動波形が観測される事がわかる。図 10 よりこの波形は、おもに 5MHz から 14MHz の範囲で強いスペクトルが観測される事がわかる。この雑音波形はスイッチングなどによりランダムなパルスが発生し、そのパルス波が電源回路網を伝搬するうちに 15MHz 以上の高周波成分が減衰しており、電源回路網内部の特性により測定された様な周波数特性になったものと考えられる。前節で示したように、機器雑音は強い低周波数成分を持つことから、5MHz 以上の周波数を抑制するローパスフィルタを用いることにより工場雑音を抑制し、機器雑音を検出することを考えた。

ローパスフィルタの設計および製作

工場において機器の雑音を検出するために、工場雑音と機器雑音の周波数スペクトルの違いを利用して工場雑音を抑制するためのローパスフィルタを設計し製作する。このローパスフィルタは、2.5MHz 以下の周波数を通過させ、5MHz 以上の周波数を 40dB 以上減衰することを仕様とした。上記の仕様を満足するために、フィルタの構造はチェビシェフ型の 4 段の受動 LC フィルタとして設計を行う。図 11 に設計した 4 段受動 LC フィルタ回路を示す。この回路において用いたキャパシタとインダクタの値は、最適値ではなく実際に購入できる値とした。このローパスフィルタの周波数特性を確認するために、回

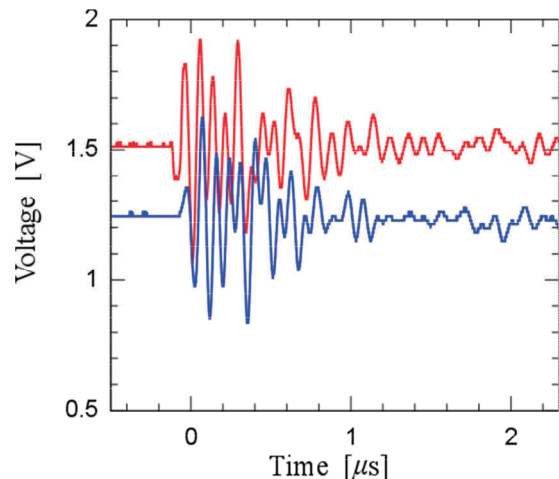


図 9 工場雑音の時間領域波形

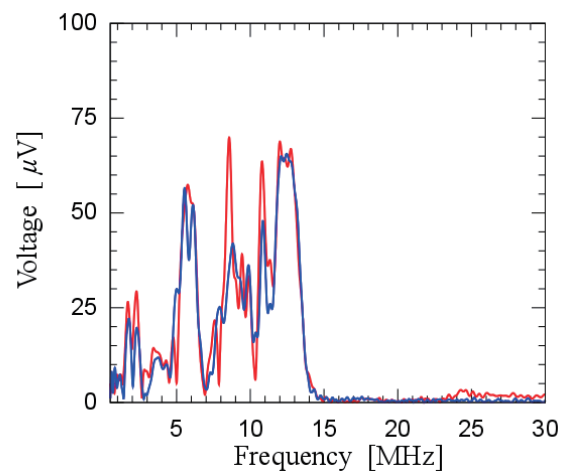


図 10 工場雑音の周波数領域波形

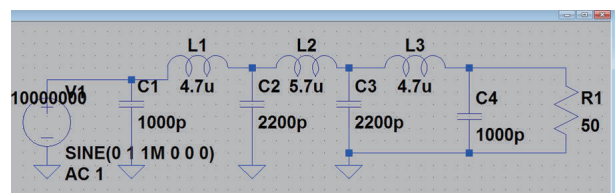


図 11 設計したローパスフィルタ

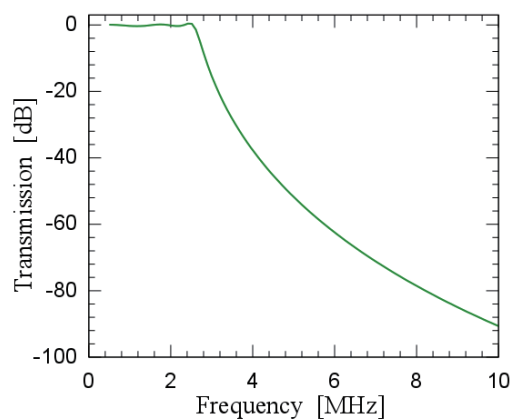


図 12 ローパスフィルタの伝送特性

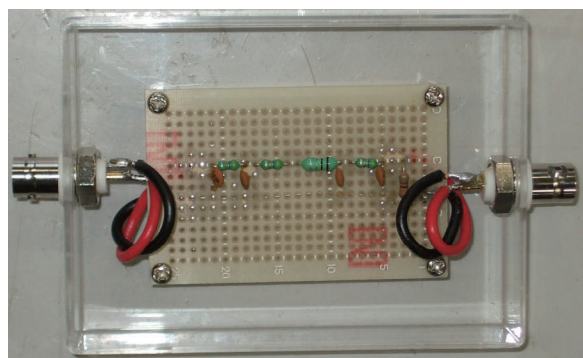


図 13 製作したローパスフィルタ

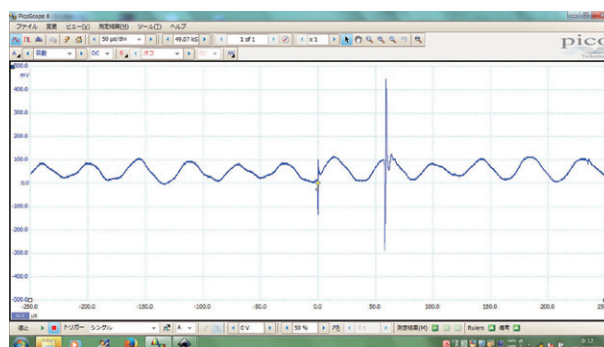


図 14 ローパスフィルタを接続した雑音の検出

路解析アプリケーションである LTspice を用いて解析した。解析結果を図 11 に示す。図 12 より、このローパスフィルタのカットオフ周波数は約 2.5 MHz であり、5MHz の通過量は約-50dB であることから仕様を満たすことがわかる。上記回路をセラミックコンデンサと同軸インダクタを用いてユニバーサル基板上に製作し、入力端と出力端に同軸コネクタを接続した実際の回路を図 13 に示す。

ローパスフィルタを用いた雑音検出

製作したローパスフィルタを用いて機器からの雑音を検出できるかどうか確認した。最初に秋田県立大学の通信研究室内の電源を用いて測定を行う。ここで、ローパスフィルタは LISN の RF out と測定するオシロスコープの間に接続した。結果のオシロスコープ画像を図 14 に示す。図 5, 6 と比較すると 1 つの短パルスのみ観測されており、それに続く成分は観測されていない。しかしこのパルスはパルス幅トリガにより検出可能である。

次に同じ測定構成を用いて工場の電源を用いて測定を行った。この測定において雑音が出る機器の検出を行ったが、雑音がほとんどない機器についても雑音を検出されてしまい、現在のところ機器雑音の完全な特定には至っていない。工場雑音のより大きな抑制が必要と考えられ、市販のノイズフィルタなどを並用して使用することが考えられる。

まとめと今後の展開

伝導雑音の検出法については、検出方法が確立できたが、工場でのノイズ検出には至らなかった。し

組織制御の解析にまで至らなかった。今後は組成のかし、原因の特定ができており、電源ノイズの低減により、工場での検出が可能となると考えられる。添加元素の影響については、その検出の困難さから、特定に限定せず、電気的特性や熱的な特性を明らかにすることにより、素子性能の向上に寄与したいと考える。

文献

- 田代新二郎, 神田敦, 五十嵐秀二, 還元再酸化焼成した (Ba, Ca) TiO₃ 半導体セラミックスの PTC 特性, Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol. 102 (1994) No. 1183 pp284-289
- 近藤秀信, 田中順三, 羽田肇, 白崎信一, チタン酸バリウム半導体の PTC 特性と粒界の組成分布, 日本セラミックス協会学術論文誌, 97 (1989), pp1245-1249
- C.R.Paul. (2006). 『Introduction to electromagnetic compatibility』. Wiley & Sons. Inc

〔平成 29 年 6 月 30 日受付〕
〔平成 29 年 7 月 11 日受理〕

Influence of additive elements on ceramic heaters and detection of conduction noise

Takao Komiyama¹, Teruo Tobana¹, Sigemitsu Shuchi²

1 Department of Electronics and Information Systems, Faculty of System Science and Technology, Akita Prefectural University

2 Department of Machine Intelligence and Systems, Faculty of System Science and Technology, Akita Prefectural University

Ceramic heaters have been used for products since ancient times. In recent years, attention has been focused to the stability of their operation, and their applications are being expanded. Therefore, the operating environment, such as the input voltage, has changed, and it is necessary to study their electrical characteristics in detail. In addition to their use in new applications, it is also necessary to evaluate their electromagnetic noise. In this study, we investigated the detection and evaluation of additive elements based on the control of the structure by additive elements that have a large influence on electric characteristics. Furthermore, in the method of the detection of conduction noise, it is desired to measure the conduction noise of the equipment at the manufacturing factory. First, a method for detecting conduction noise is established and this method is applied to the electromagnetic environment of the factory. The detection of additive elements was impossible to detect using existing measuring equipment, even in a state where electrical characteristics were largely changed. It is necessary to estimate from the results obtained from electrical and thermal characteristics. The detection method for of conduction noise was established, but it was found that the conduction noise generated by the power supply was larger than that generated by device. Thus, the introduction of a noise filter was necessary in the factory.

Keywords: ceramic heaters, material structure control, detection of conduction noise