

書籍の紹介



私の座右の書

The most influential books on me

(株) 豊田中央研究所 福島 英沖
〒4801192 愛知県長久手市横道 41-1
e-mail: h-fukushima@mosk.tytlabs.co.jp

これから活躍する若き研究者に伝えたい書籍を、経験豊富なシニア研究者がリレー形式で推薦していく新連載です。マイクロ波加熱、電磁波応用に関する先人の書籍、論文などを紹介することによって、この分野の歴史を知り、今までにない新規な材料やプロセス技術開発の参考にしていただきたいと思います。今回は私が大学を卒業後、会社に入社してからマイクロ波加熱をどのように始め、どんな書籍、文献を参考にしたかについて話したいと思います。

私がマイクロ波加熱の研究を始めたきっかけは、会社の上司から手渡された山梨大学（その後、理化学研究所を兼任）の谷口先生の論文¹⁾でした。我が国において、マイクロ波加熱をセラミックスの加工に応用したのは彼らが初めてでした。彼らは、10GHzのマイクロ波をマグネトロン管からパルス発振させ、短時間でアルミナやダイヤモンドの穿孔を行いました。当時、マイクロ波に関する知識はほとんどありませんでしたので、別の上司から阿部英太郎のマイクロ波技術²⁾を紹介され、共振器内の品質係数を示すQ値や電界強度の測定に取りかかりました。これらが複素誘電率の測定や加熱室であるキャビティ（空洞共振器）の設計に繋がっていきま

す。当時はファインセラミックがブームで、自動車分野ではセラミックエンジンの開発が期待され、セラミックスの加工が課題でした。そこでマイクロ波を用いれば、セラミックの接合や焼結が効率よく短時間で加工できると考えました。セラミックスがマイクロ波で実際に加熱できるかどうか、まだ未知の世界だったので、Hippel やKingeryの書籍を読んで勉強しました。二人の共通点はマサチューセッツ工科大学MITですが、その後ボストンに行き、Hippelの弟子 Westphalにお会いし、セラミックスの有益な複素誘電率データをたくさんいただいたのが思い出されます。HippelのDielectric Materials and Applications³⁾は、複素誘電率において、当時のあらゆる材料の周波数と温度依存性が網羅されており、発刊からすでに60年以上経っているにもかかわらず、これに勝るデータが見当たらないのが現状です。また、KingeryのIntroduction to Ceramics⁴⁾は、セラミックスの研究をしている方なら必須の書籍で、誘電体

の分極や誘電損失機構、材料の周波数と温度依存性がデータを交えて詳細に解説されています。

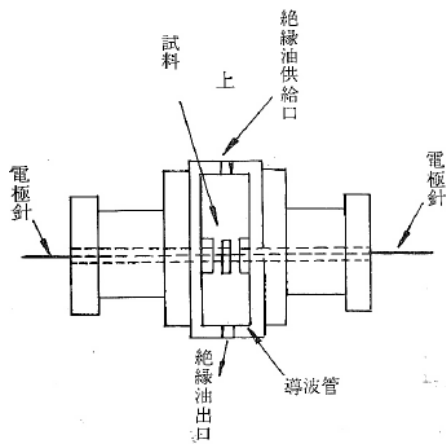
つぎに、加熱室（キャビティ）の試作に取りかかりましたが、その時に役立ったのがMetaxas and MeredithのIndustrial Microwave Heating⁵⁾です。マルチモードとシングルモードのキャビティ（アプリケーション）の設計が詳細に書かれており、とくにシングルモード矩形キャビティではQ値と材料損失 $\tan \delta$ の関係や、アイリス（マイクロ波導入の結合窓）とプランジャ（反射短絡板）の導入式が詳しく記載されています。実際にキャビティを試作し、これらの関係を測定してみると、見事に計算と測定値は一致することが分かりました。その結果、キャビティからの反射電力をほぼゼロにでき、セラミックスの超高速加熱が可能となりました。我が国においても当時からマイクロ波、ミリ波の専門書がたくさんありましたが、電磁波の式を用いると1 mmの狂いもなく、設計通りにキャビティを試作できることを実感しました。Metaxasがこの本を書いたのは、まだ30代後半と思われます。今年のAMPERE 2019でも、まだ現役でPlenary講演をされており、世界中のマイクロ波加熱の技術者に影響を与えた最大の功労者の一人です。

私が初めて海外でマイクロ波加熱に関する発表をしたのは、American Ceramic Society年会（1987年）でしたが、翌年MRSでのシンポジウムをSuttonらがMaterials Research Society Symposium Proceedings⁶⁾として、書籍にまとめました。マイクロ波加熱のセッションで発表した日本人は私一人で、とても心細かったのを覚えています。その後、ほぼ2年おきにAm.Ceram. Soc.とMRSでMicrowave ProcessingのSymposiumが米国で開催されるわけですが、その走りとして参加できたのは感慨深いものがあります。

以上、私がマイクロ波加熱の研究を始めたきっかけと、初期において愛読した書籍を紹介しました。とくに、紹介したHippelとMetaxasの書籍は、私にとってまさにバイブルであり、今でも繰り返し読み直しています。今回紹介した書籍を若い研究者、技術者の方々にも読んでいただき、温故知新で歴史を振り返りながら、今後の研究活動の参考になれば幸いです。

参考文献

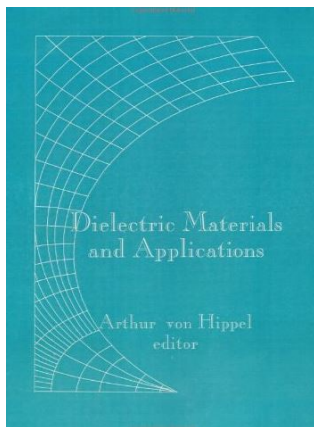
- 1) N. Taniguchi and T. Osada: Sci. Pap. IPCR, Vol.62 (1968) 105-114. または
谷口紀男, 長田佐: マイクロ波加工、精密機械、37巻 432号 (1971) 62-69.
- 2) 阿部英太郎: マイクロ波技術、東京大学出版会、1979.
- 3) Von Hippel, A.: Dielectric Materials and Applications, MIT Press, 1954.
- 4) Kingery, W.D., et al.: Introduction to Ceramics, 2ND ED., WILEY, 1976. または
小松和蔵, 他: セラミックス材料科学入門, 内田老鶴圃新社, 基礎編 1980, 応用編 1981.
- 5) A.C. Metaxas and R.J. Meredith: Industrial Microwave Heating, Peter Peregrinus, 1983.
- 6) Sutton, W.H., eds., Materials Research Society Symposium Proceedings 124, MRS, 1988.



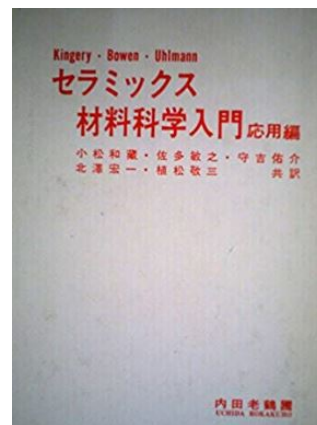
1) 谷口紀男, 精密機械, 1971



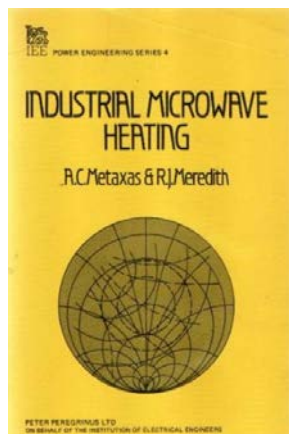
2) 阿部英太郎, マイクロ波技術、1979



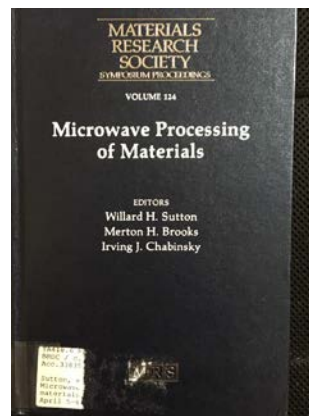
3) Von Hippel, 1995 (初版 1954)



4) Kingery, 小松和蔵訳, 1981 (原本 1976)



5) Metaxas and Meredith, 1983



6) Sutton, eds., MRS, 1988