

平成 27 年度 TSUBAME 産業利用トライアルユース 成果報告書

利用課題名 工業用マイクロ波加熱装置の大規模電磁界解析

英文: Large scale electromagnetic simulation of industrial microwave heating system

花井 辰矩

Tatsunori Hanai

マイクロ電子株式会社

Micro Denshi Co.,Ltd.

<http://www.microdenshi.co.jp/>

邦文抄録(300 字程度)

マイクロ波電力は、ゴム、食品、セラミックス等の加熱乾燥分野で利用されており、今後も更なる発展が望まれている。多様化するニーズに応えるためには、それぞれ応用目的に合わせたマイクロ波設計が不可欠である。マイクロ波を効果的に作用させて比較評価する設計検討期間の短縮のために、電磁界シミュレーションの利用が期待されているが、大型アプリケーションの解析は、これまでマシンスペックの問題から簡易モデルでの解析となり、単に電磁界分布の傾向を見るためだけの利用であった。今回 TSUBAME を利用することにより大型アプリケーションを詳細モデルで解析できたので、簡易モデルでの計算結果と比較して、TSUBAME による電磁界シミュレーションの結果を説明する。

英文抄録(100 words 程度)

Microwave energy is used in the heating/drying applications in rubber, food and ceramic industries, etc. In order to meet various requirements to the microwave equipment, it is necessary to well design a microwave applicator. Although we have been using an electromagnetic simulation to obtain distribution patterns, it is not for design purposes but for just reports because of the limitation of computing machine capacity to the large size applicator in the equipment. TSUBAME is able to successfully simulate of such complicated model. Some of obtained results through TSUBAME are explain herein.

Keywords: microwave, industrial heating system, electromagnetic simulation, MW STUDIO,

背景と目的

マイクロ波加熱は、熱風や赤外線といった外部加熱と異なり、内部加熱、直接加熱による迅速加熱、高速乾燥が注目されている。

工業用マイクロ波加熱装置の一例としてマイクロ波ゴム連続加硫装置(以下 UHF とする。)を挙げる。UHF(図 1)は主に自動車用のウェザーストリップや OA ロール用スポンジゴムのゴム加硫に使用されている。ゴムは押し出し機で成形されるが、



図 1. マイクロ波ゴム連続加硫装置(UHF)[1]

この時点では未加硫のため弾力性が無い。押し出したゴムを UHF のベルトやローラー等のコンベアに乗せて搬送しつつマイクロ波を照射し、内部加熱を利用して加硫温度まで急速に昇温する。なお、熱風等の外部加熱で昇温しようとする、ゴムは断熱材の性質もあるため中心部の温度が加硫温度に到達するまで非常に時間がかかってしまう。加硫温度に達したゴムは熱風槽で加硫反応時間だけ温度保持されて加硫が完了し弾力性のあるゴムになる。UHF、熱風槽はトンネル炉になっているため連続生産が可能である。

ゴム加硫以外にも、食品、医薬品、セラミックス、化学合成、等あらゆる分野でマイクロ波は使用されており[2]、さらに炉内圧力を変化させた装置もある。様々なニーズに応える装置を設計製作するに当たっては、対象物に合わせた炉内構成にする必要がある。UHF にしてもコンベアの種類、マイ

クロ波給電口の位置や個数、炉内の材質、等それぞれ構成によってマイクロ波の分布が変化する。当然、加熱する対象物によってもマイクロ波の特性が異なる。そのため、電磁界シミュレーションを行い、マイクロ波がより効率良く作用できる環境を検証する必要がある。

現状、CST MW Studio による弊社の解析では、メモリ容量の制限から簡易解析しかできていない。マイクロ波加熱炉内の構成は複雑であるが、解析を可能にするため極力シンプルな形状にする他、炉の材料も電磁波を 100% 反射する完全導体 (PEC) を使用し、空間は真空中で解析する場合は殆どであった。

本プロジェクトでは、実際の装置構成や使用する材料を適用した解析を TSUBAME の並列解析を使用して実施し、マイクロ波加熱装置の開発、設計に活用した。また、簡易モデルと詳細モデルの計算結果の差を検証することができ、より精度の良い電磁界シミュレーションを行う下地を作るための知見が得られた。

概要

弊社にて傾向を見るために使用していた工業用マイクロ波加熱装置の 500 万メッシュ簡易モデルを 3 億メッシュの詳細モデルに作り変えて計算結果の差を見ようとした。しかし、3 億メッシュにしたところ計算が発散して結果が得られなくなってしまう。原因はマイクロ波給電口やマイクロ波漏洩防止フィルタ等の各デバイス類に有ると推測され、メッシュ数を増やし詳細化したことで計算が収束せず発散してしまうようになったためであると考えられた。

そこで、まずは今回 TSUBAME にて計算する予定であった工業用マイクロ波加熱装置の全体ではなく、各デバイス類、特にマイクロ波給電口の詳細モデルを個別に作製し、8000 万メッシュのモデルにて計算を行った。また、弊社所有のマシンもスペック向上を行い、2000 万メッシュ程度ならば現実的に対応できるようになったため、計算結果の差をメッシュ数、計算時間、マシンそのものから

検証した。

計算には、TSUBAME にインストールされている AET 社の CST MW STUDIO を使用した。MW STUDIO を使用するためにはライセンスが必要であり、TSUBAME には共用で 41 ライセンスある。ライセンスを複数使用することにより、1 ライセンスしかない弊社では不可能な詳細モデルの並列計算を行った。

結果および考察

特殊な形状のマイクロ波給電口について、3D モデル (図 2) を作製し、寸法や各種パラメータ、メッシュ数、計算時間を調整しつつ TSUBAME にて計算した。

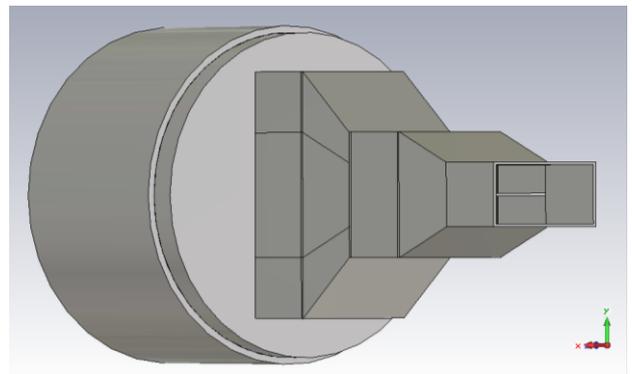


図 2. 特殊マイクロ波給電口の 3D モデル

図 3、図 4 はそれぞれ同一の 3D モデルを使用し、メッシュ数と計算時間を変更したときの結果である。図中の S11 (赤い曲線) はマイクロ波の反射を示し、値が小さいほど (マイナスが大きいほど) マイクロ波が給電口を効率よく通過していることを示す。

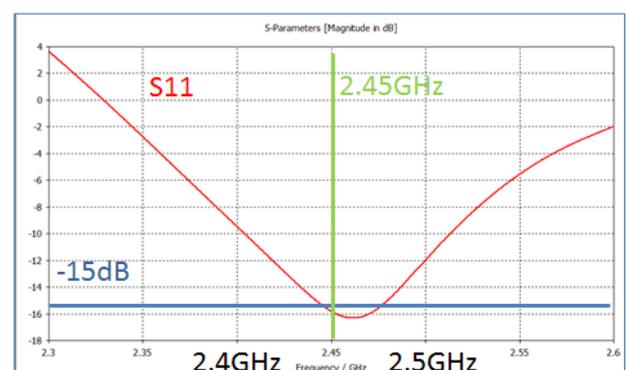


図 3. 1600 万メッシュ、計算時間 30min

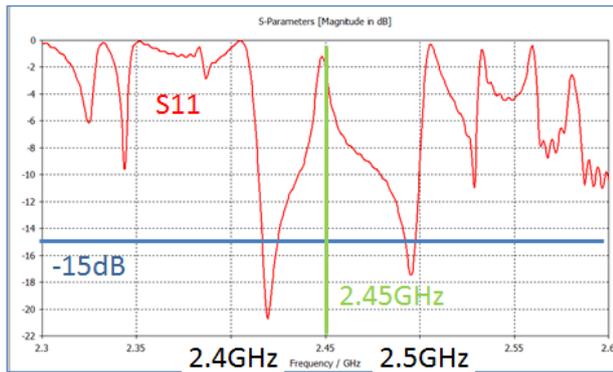


図 4. 8000 万メッシュ、計算時間 6h40min

S11 が -15dB のとき、マイクロ波が反射して戻る割合が 3% となり、ほぼ反射の無い値として一つの基準としている。ISM バンドの内 2.45GHz 帯を使用する工業用マイクロ波加熱装置用の場合、マグネトロンの周波数は規格が 2.44GHz から 2.47GHz の間であり、その間の S11 の値が小さくなる条件を見つけることが、損失が少なく効率の良いマイクロ波給電口を設計することに直結する。

図 3 の条件では 1600 万メッシュのモデルを 30 分で計算したが、これは AET 社のアドバイザーより複雑な計算を行う際は、まず計算時間を区切って傾向を確認し、それから詳細に計算すべきとのアドバイスを得たためである。MW STUDIO のパラメータ「time」にて計算時間を強制的に区切ったところ図 3 のような一見すると良好な結果が得られた。しかし、TSUBAME にて同一の 3D モデルを 8000 万メッシュに詳細化し、計算時間も 6 時間 40 分に伸ばしたところ、図 4 の結果となりまるで別物となった。S11 が 2.45GHz の軸上で大きくなっており、マイクロ波の大部分は給電口を通過できないことを示している。

計算時間による影響を検証するため、パラメータ「time」を調整して計算時間を伸ばした結果を図 5 に示す。ただし、図 5 は図 4 の結果を基に、S11 の曲線が動くように 3D モデルそのものを調整してある。また、同様に 3D モデルを調整した 8000 万メッシュ詳細計算についても TSUBAME にて計算した。結果は図 6 に示す。

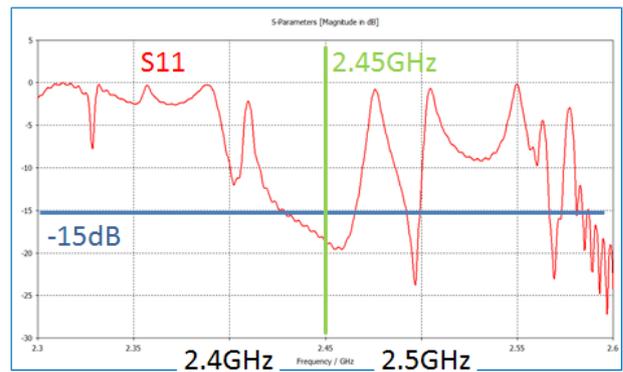


図 5. 1600 万メッシュ、計算時間 2h10min

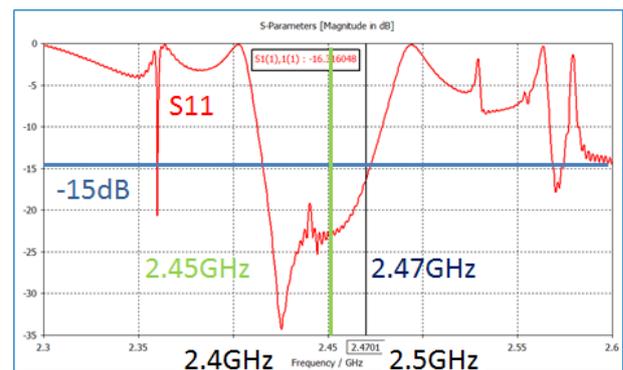


図 6. 8000 万メッシュ、計算時間 9h30min

図 5 と図 6 に用いた 3D モデルが若干異なるため S11 の曲線は完全に一致とはいかないが、概ね近い結果が得られた。マシンスペックが低くとも時間さえかければ計算の精度が良くなることを示しており、計算条件を正しく設定することが重要と言える。

TSUBAME を使用すれば複数ライセンスを使用し多数の電磁界解析を同時に計算させることが出来るため、1 つあたりにかかる時間は相対的に短くなる。TSUBAME が無ければライセンス制限により 1 解析の計算時間がそのまま必要な時間となる。計算精度と設計スピードのバランスを見極め、適切なシミュレーションを行うことが、効率的な設計に繋がると言える。

まとめ、今後の課題

工業用マイクロ波加熱装置のデバイス類、特にマイクロ波給電口に関して TSUBAME 及び弊社のマシンを使用して電磁界解析を行い、計算精度を得るためには計算条件を詰めることが重要であ

ることが確認された。

本プロジェクトにおいて TSUBAME を使用した大規模解析が実施できたことで、従来の電磁界解析と実際の結果が合わない原因の一端が垣間見え、現実に近い精度の良い電磁界解析を行うための知見が得られた。

今後の予定としては、TSUBAME トライアルユースによってもたらされた知見を利用し、精度の良い電磁界解析を行うための下地を作る。また、本プロジェクトで本来予定していたデバイス類それぞれが組み込まれた工業用マイクロ波加熱装置全体の 3 億メッシュ電磁界解析を実施し、実際にマイクロ波加熱したときとの加熱パターンが一致するか検証する。

参考文献

[1] ミクロ電子(株)ホームページ

<http://www.microdenshi.co.jp/>

[2] 越島哲夫, 他 : マイクロ波加熱技術集成, エヌ・ティー・エス, 1994.