

# 金属粉末のマイクロ波シミュレーション

○鈴木基晴<sup>1,2)</sup>、田中基彦<sup>1)</sup>、佐藤元泰<sup>1)</sup> : 1)総合研究大学院大学、2)高砂工業株式会社

マイクロ波により金属粉末が加熱されることは実験により明らかにされている<sup>1), 2)</sup>。固体金属は一般に電磁波を反射するが、金属の粉末は非常によく加熱される。しかし、その加熱メカニズムについては未だ不明な点が多い。この研究では周波数応答解析により、金属粉末の加熱のメカニズムを明らかにする。

## 【方法】

本研究では周波数応答解析ソフトウェア(J-MAG)を用いて、マイクロ波の金属粉末への浸透と加熱を調べている。

解析に使用したモデルでは、平行平板金属のあいだに金属粉末試料を配置して片側から平面波を入射させる。Fig.1に示す解析例では1個が径 $5\mu\text{m}$ の金属粉末を $3\times 3\times 3$ 個配置したもので、解析の領域サイズは $40\times 20\times 20\mu\text{m}$ である。

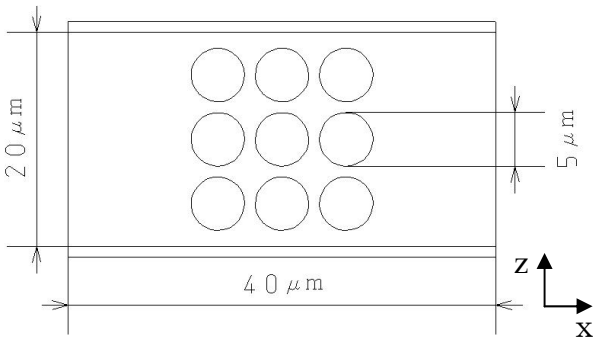


Fig.1 解析モデル

電磁波の入射方向は+x軸方向であり、電場極性はz軸方向とし、金属の材質は銅として、電気伝導度を $5.8\times 10^7(\Omega\cdot\text{m})^{-1}$ で解析を実施した。(以下すべてのモデルについて同等の解析条件とする。)

次に金属粉末が溶解した場合のモデルを考える。メッシュを用いる解析ソフトでは球接触問題を解けないため、金属粉末を立方体に置き換えてモデルを作成した。Fig.2は非接触のモデルを、Fig.3には(溶融)接触したモデルを示す。

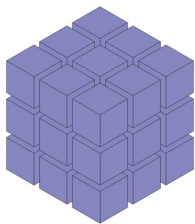


Fig2 非接触モデル

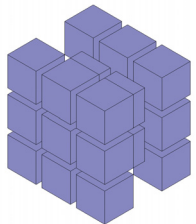


Fig.3 接触モデル

小さい立方体の1辺は $5\mu\text{m}$ であり、Fig.3では部分的に接

触するように中心の4個の立方体を接触させてある。

## 【結果と考察】

Fig.4-6にモデルFig.1の解析結果を示す。

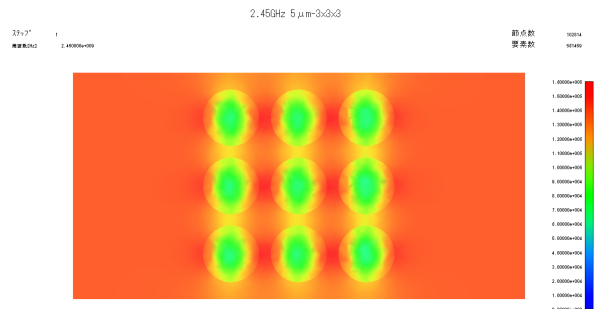


Fig.4 磁界コンター表示

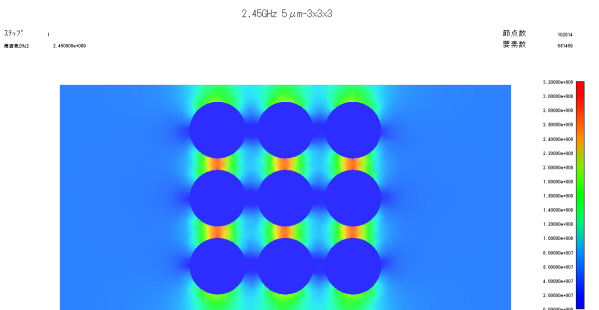


Fig.5 電界コンター表示

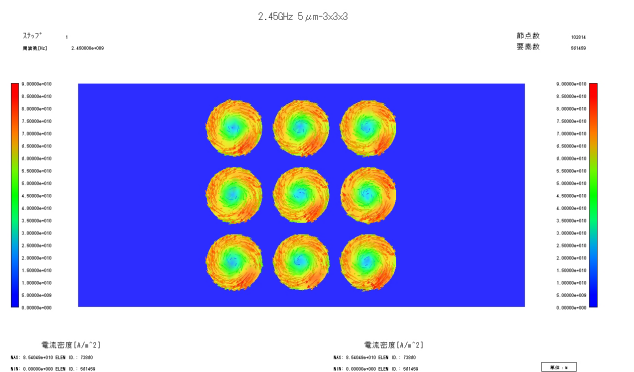


Fig.6 電流密度ベクトルとジュール損失密度コンター表示

Fig.4には磁界を赤-青のコンターで表示してある。磁界は金属球の内部まで浸透している。Fig.5は電界のコンターである。電界は金属面に対して垂直に入射するため、粉末粒子間で局所的に大きな電界を生じる。

Fig.6は電流密度ベクトルとジュール損失密度のコンター表示である。電流密度ベクトルは球の内部表面で循環している。そのため、表面付近のジュール損失が大きくなる。Fig.7には電流密度の粉末中心を通る面での値をプロットした。電流密度は各金属球の表面で生じるため、6箇所で極大値を生じている。

参考として銅の表皮効果による表皮の厚さは  $\delta = \sqrt{2/\omega\mu\sigma} \approx 1.34\mu\text{m}$  である。

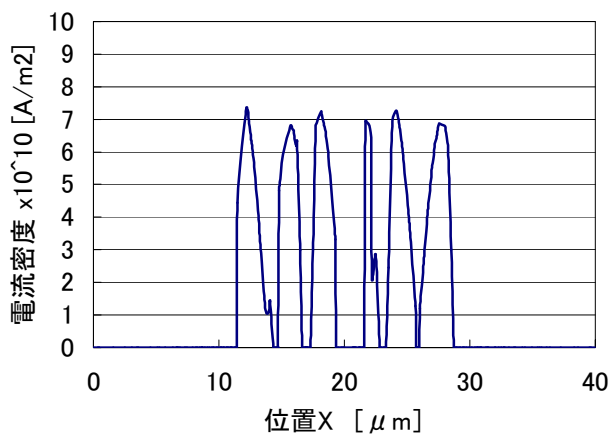


Fig7 電流密度

表皮効果による加熱では、試料サイズが表皮厚さの2倍程度のときにもっとも高い効率で加熱できると考えられる。そのため、表皮厚さを大きく越える粒径では表面だけ加熱され、加熱効率が減少すると考えられる。

モデル Fig2 の非接触試料の解析結果（電流密度 XZ 面）を Fig8 に、またモデル Fig3 の接触試料の解析結果（電流密度 XZ 面）を Fig9 に示す。

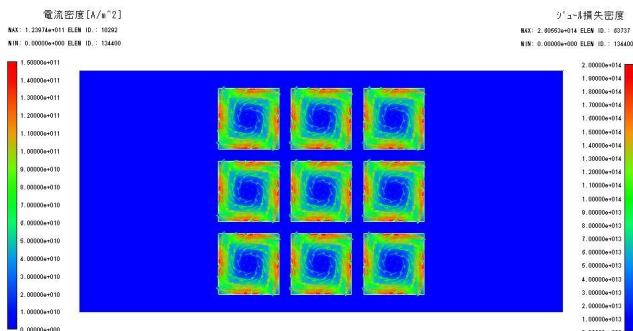


Fig.8 非接触モデルの電流密度ベクトルとジュール損失密度コンター表示

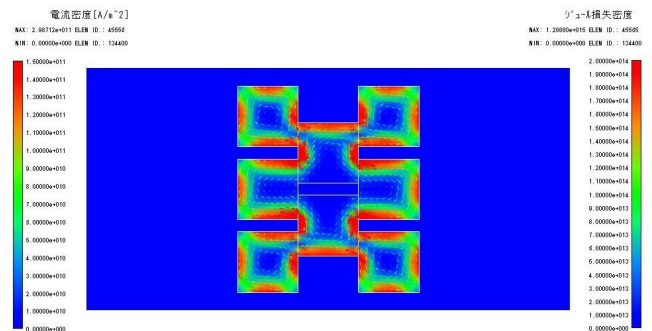


Fig.9 接触モデルの電流密度ベクトルとジュール損失密度コンター表示

Fig.8の接触モデルでは、電磁波は金属粉末のなかを透過しており、中心に位置する粉末（立方体）も同じ程度に加熱されている。しかし、Fig.9の固体金属に近い接触モデルでは、試料中心付近では電磁波が遮断されており、加熱は表面に限られている。

また、Fig.8の非接触モデルでは粉末単体で環電流が流れているが、Fig.9の接触モデルでは電流が表面に沿って流れる。Fig.8と比較すると電流は長い経路に沿って流れ、ネックの部分では電流が強まり、単体の場合よりも大きなジュール損失を生じる。そのため、金属粉末が溶けて接触すると電流の経路が広がり、ネックの部分でマイクロ波の吸収と加熱が大きくなる。

### 【緒言】

1. 金属粉末は内部に浸透したマイクロ波による表皮効果で加熱される。マイクロ波の内部浸透は有限距離であるため、粒子径により加熱が最大となる可能性がある。
2. 金属粉末が部分接触する場合、マイクロ波が内部まで浸透しなくなるが、電流の経路でネックとなる部分で大きな発熱を生じる。

### 【文献】

- 1) R. Roy, D. Agrawal, J. Cheng, and S. Gedevisanishvili, "Full Sintering of Powderd Metals Parts in Microwaves," *Nature* 399, 644 (1999).
- 2) M. Sato, A. Matsubara, K.Kawahata, O.Motojima, T.Hayashi,S.Takayama,D.Agrawal,R.Roy: "Microscopically In-situ Investigation for Microwave Processing of Metals by Visible Light Spectroscopy, Proc. 11<sup>th</sup> International Conference on Microwave and High Frequency Heating, O-24, Sep.11-15 (2005), Italy