

S-2S Q2 についての TOSCA を用いた磁場計算

金築俊輔

2014 年 10 月 29 日

3次元静磁場解析ソフト TOSCA を用いて、S-2S Q2 電磁石について磁場計算を行い、2014 年 6 月の磁場測定の結果と比較した。磁石中心での磁場強度の残差は-3.5% だった。

1 モデリング

Opera-3d を用いて Q2 電磁石のモデリングを行った。^{*1}トーキンの「20140117_NQ711 型電磁石_承認図.dwg」を基にした。磁極の形状についてはこの CAD 図に忠実に記述した (図 1)。座標軸は水平方向が z、垂直方向が y、ビーム方向が x である。Opera が dwg ファイルを読んでもくれないので手で入れている。^{*2}ただし、SUS 端板は含めていない。コンダクターに関してはテープの厚みの分とホローの分を考慮せず、断面積を $130 \times 97 \text{ mm}^2$ として電流が流れる空間の範囲を 1mm 程度の精度で決めて、トータルの電流値が合うように電流密度を調整した。電流密度はコイルの断面について一様に分布するとして計算される。端末は省略し、それらのない側を反転させる形で作成した。

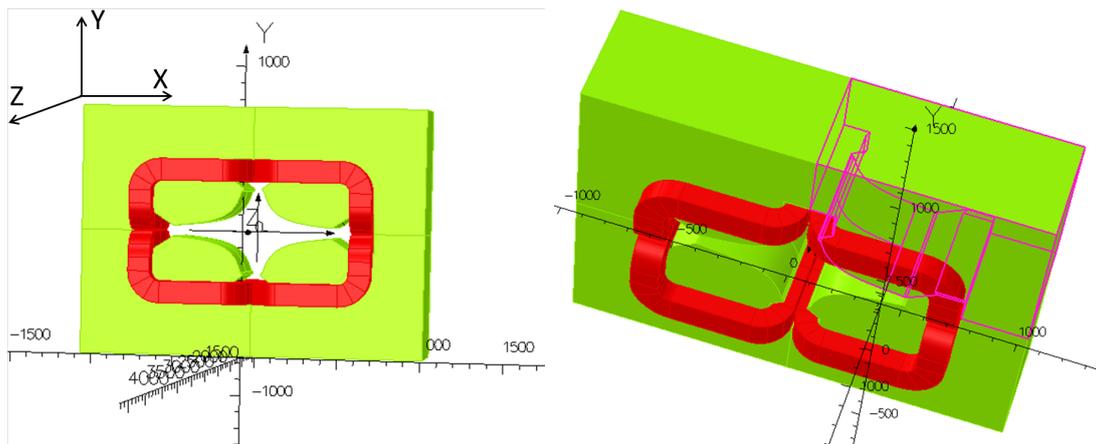


図 1 Modeller で作成した Q2 電磁石

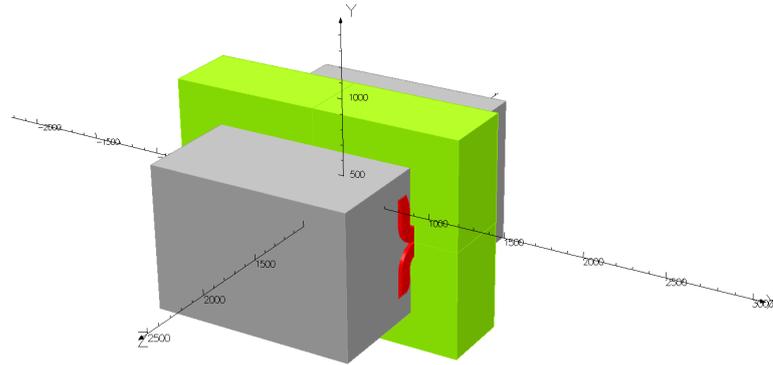
磁極間隙の部分は、図 2 のように直方体から磁極部分をトリミングした形の空気セルを作成して設置した。これは場所によってメッシュサイズを別々に設定できるようにするためである。

BH 曲線は「Q1bh32.bh」を用いた。これは、Q1 の磁極に関して TOKIN から提出された材料特性表を出発点とし、測定磁場分布を再現するように計算への入力値を調整して得られた結果の曲線である。(詳しくは過去のレポートを参照して下さい。) Q2 で用いられている鉄は、新規に製造した磁極部分は Q1 と同じで、それ以外のヨーク部は別であるが、今回は一体であるとして一つのパラメータを用いた。

その他の解析条件については省略するが、主なパラメータとしては、maximum surface mesh size が 10 mm (バックグラウンドは 50 mm)、バックグラウンドの大きさはスケール 1.5 で作っている。

^{*1} 今回、Opera の最新バージョン v17 を用いた。バージョンアップのハイライトとしては、日本語のサポート (今回のバージョンでは、アイコン、及びその説明のみ)、並列処理の強化、マルチフィジックスの強化、マシン機器に対しての 2D スライス解析、新しい CAD インターフェース、だそうであるが、アイコン等がガラッと変わってしまって作業効率が落ちた以外は変化を実感する部分は今のところない。

^{*2} Opera のモデリングで対応しているのは CATIA、IGES、Pro-E、SAT、STEP の各種ファイルである。何度かデータ変換をかませば行ける可能性があるが、昨年 Q1 計算のときにやろうとしてダメだった記憶があるので今回はトライしていない。詳しい人いたら教えて下さい。



opera

図 2 Modeller で作成した Q2 電磁石

2 TOSCA 解析の結果

電流値を 2500A、2700A の 2 通りに設定して計算し、測定値 (2500A) と比較した。図 3 は磁場分布を Z 方向について示したものである。2500A どちらの比較では、中央 ($Z = 0$) で計算値が約 3.5% 小さいという結果を得た。このため、2700A で計算を行ったところ、分布全体として測定値に近くなり、中央では差が 1.4% になった。残差を見ると、 $Z = 0$ について対称ではなく、不自然に歪んでいるように見える。計算上はモデルの対称性を課しているのに、測定結果が非対称であるということを示している。

次に、磁場分布を X 方向について見た結果を図 4 に示した。磁場は絶対値で示している。ここでも計算値が数 % 小さい傾向が見て取れる。また、X の大きいところで非対称になっている。磁極の角の部分 (双曲線部の終わり) が $X=474\text{mm}$ のところである。このあたりの空間は使わないため気にしなくて良いと考えられる。

次に、同様に Y 方向についての磁場分布を図 5 に示した。磁場は絶対値で示している。ここでも計算値が数 % 小さい傾向がある。また、上下の非対称性がここでははっきりしている。上下方向も (左右方向も) モデルの対称性を課して計算したので、測定値が非対称だったということを示している。どの程度非対称であるか見るために、測定値に関して $Y > 0$ の部分と $Y < 0$ の部分の差を図 6 に示した。 $Y = 180$ のところで約 0.7%、 $Y = 290$ で約 2.5% の差があることがわかる。ここで Q1 の測定結果から同様に見てみると、図 7 のようになっている。全体的に 0.2% 程度差がある。これらの傾向の理解としては、Q2 については Q1 よりも鉄量が少ないため測定器に載せている影響を受けやすいのではないかと考えられる。Q1 の方は全体的に同じくらいの値で下側が大きく出ており、Q2 とは形としては異なっているが、この理由はわからない。

最後に、電流 1000A の場合についても計算し、測定値と比較したところ、 $(x,y,z)=(90,0,0)$ での磁場強度は測定値で 0.2236 T、計算で 0.2228 T で、差は 0.35% という結果になった。1000A では励磁曲線がまだほぼ線形の領域であり、計算もよく合うものと考えられる。

3 まとめと課題

S-2S Q2 電磁石について TOSCA 計算を行った。2500A 流したときの測定値と計算値の比較で、計算値が約 3.5% 小さいという結果を得た。また、y 方向について測定磁場強度が 2% 程度上下非対称であることがわかった。この磁場強度のずれや分布の非対称性が運動量分解能にどのように影響するかについてはまだ見積もっていない。

今後の方針としては、磁極とヨークで BH 曲線を変えて、励磁曲線を調べるということが考えられるが、Q1 と同様な方法で調整するようなことはおそらくかなり大変なのであまりやりたくない。別の改善点があれば教えて下さい。

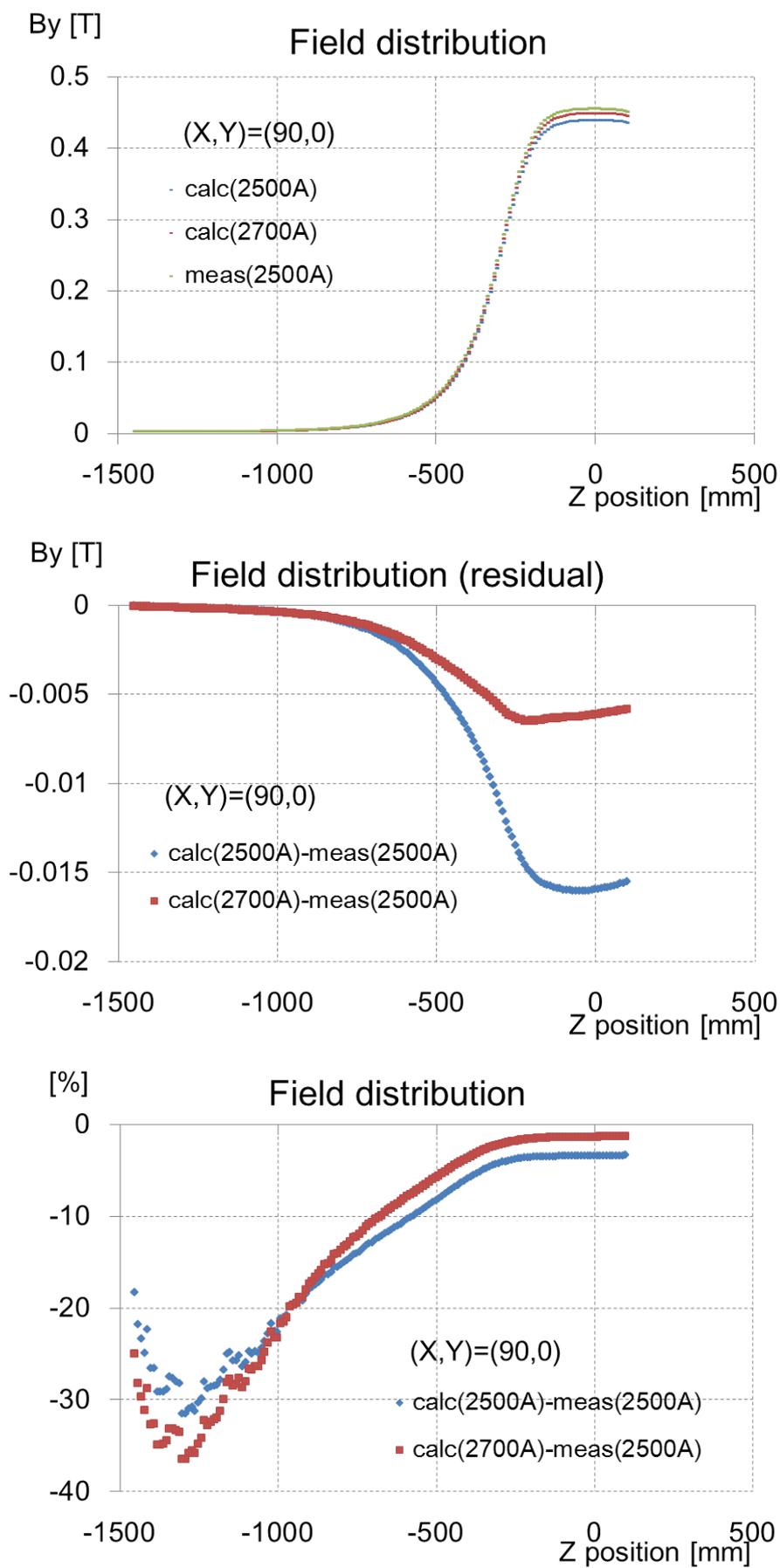


図3 $(x, y) = (90, 0)$ の直線上での 磁場強度。上段が計算結果と測定値、中段がその残差、下段は残差の測定値に対する割合。

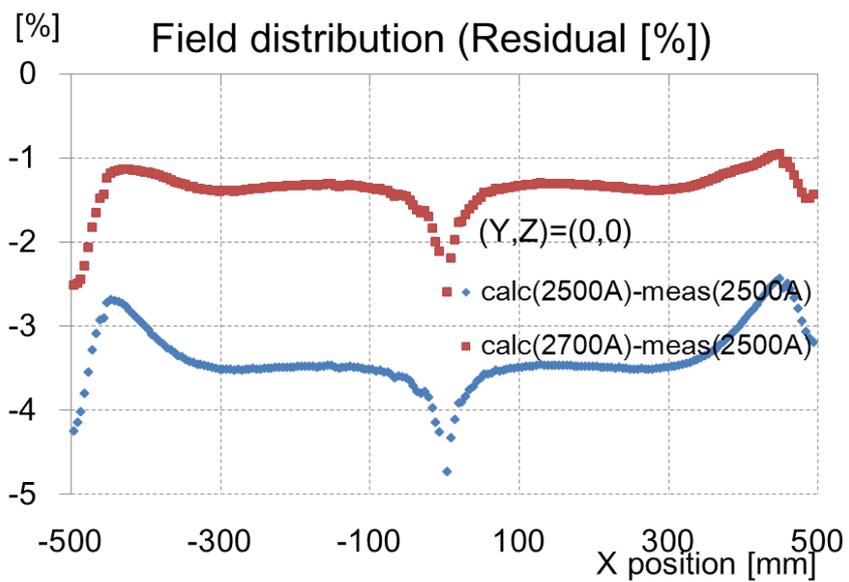
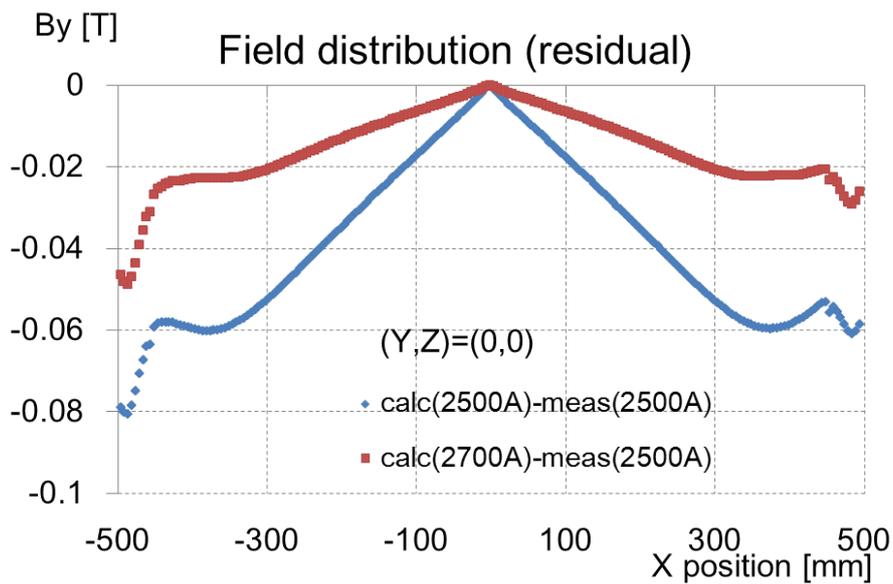
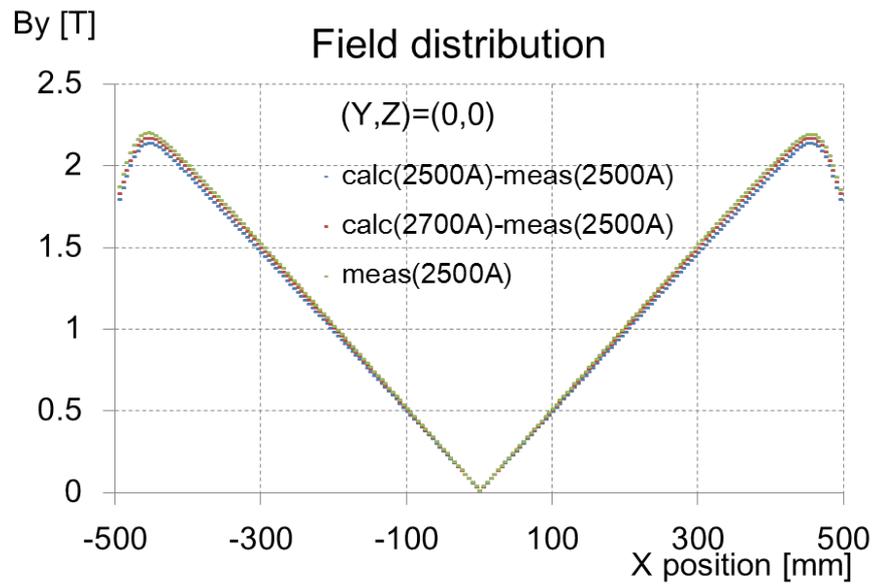


図4 $(y, z) = (0, 0)$ の直線上での 磁場強度。上段が計算結果と測定値、中段がその残差、下段は残差の測定値に対する割合。

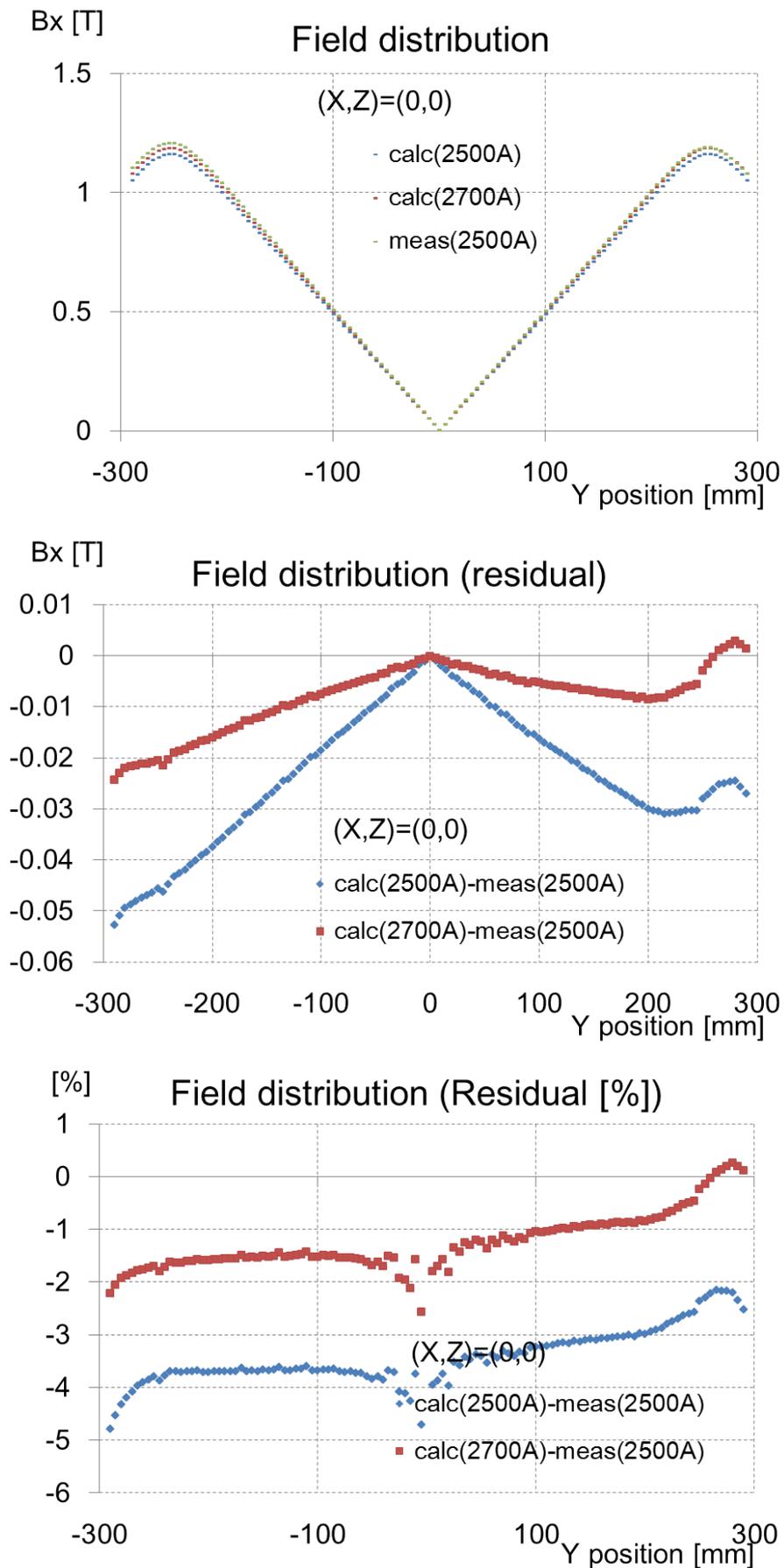


図5 (x, z) = (0, 0) の直線上での 磁場強度。上段が計算結果と測定値、中段がその残差、下段は残差の測定値に対する割合。

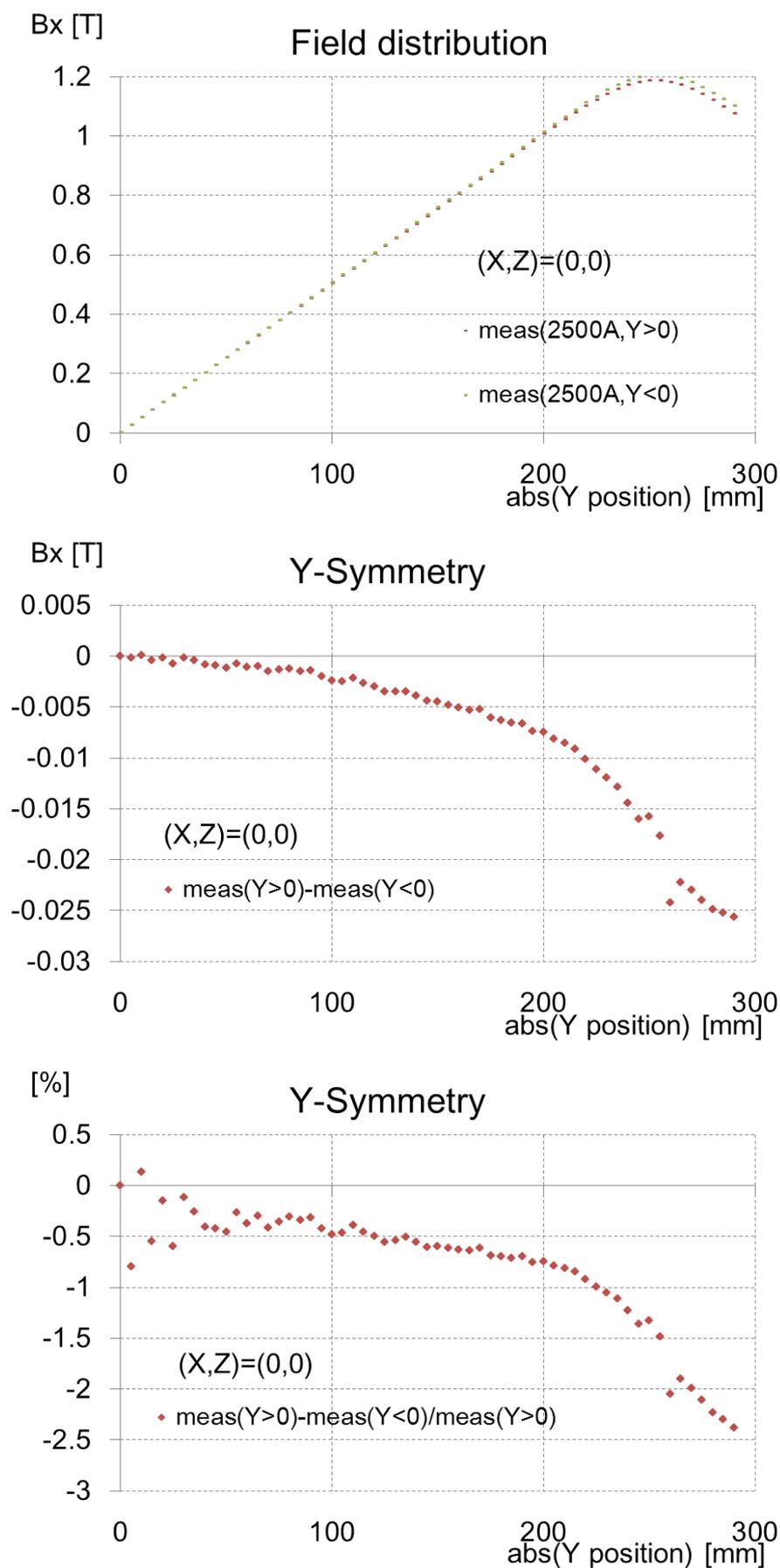


図6 $(x, z) = (0, 0)$ の直線上での 磁場強度。上段は測定値を $y=0$ で折り返して示したもの、中段がそれらの残差、下段は残差の測定値に対する割合。

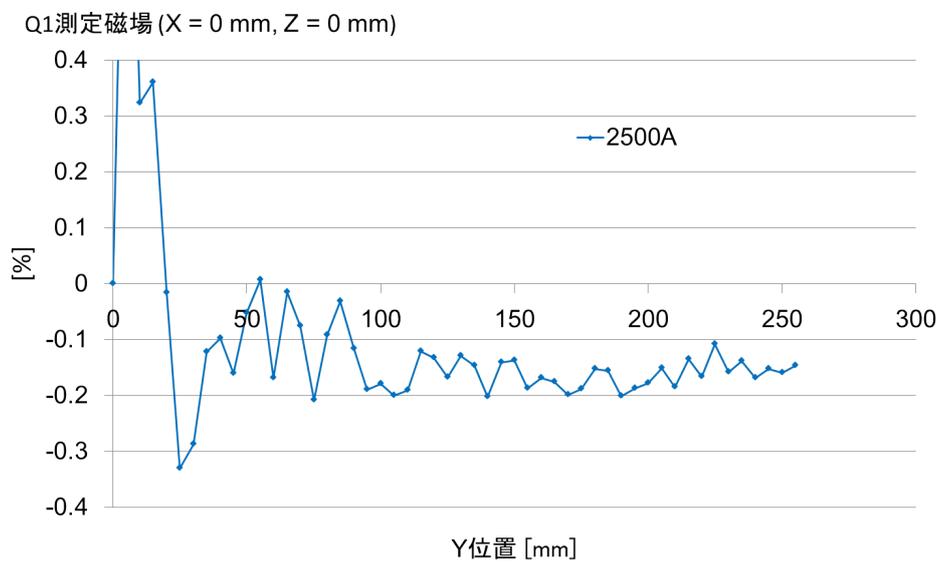


図7 $(x, z) = (0, 0)$ の直線上での 磁場強度。Q1 の場合。