

EISCAT_3D レーダーのための人体防護用 RF シールドフェンスの設計

Design of RF-shielding fence for human safety on the EISCAT_3D radar

研究代表者：橋本 大志 (国立極地研究所)
Hashimoto.taishi@nipr.ac.jp

研究分担者：西村 耕司 (京都大学 生存圏研究所)
nishimura@rish.kyoto-u.ac.jp

担当：電磁界シミュレーション全般に関する助言

研究目的 (Research Objective):

EISCAT_3D レーダーはスウェーデン・ノルウェー・フィンランドの北欧 3 国にまたがって現在建設が進む、マルチスタティック・アクティブフェーズドアレイ方式の電離圏非干渉性散乱 (Incoherent Scatter; IS) レーダーである。本レーダーは高速なビーム走査を生かした地球の電離圏プラズマ及び高層大気に関する物理量の三次元イメージング観測を最大の特徴としており、太陽・地球物理学の研究に大いに貢献すると期待されている。本レーダーはノルウェーに一つの送受兼用局と、スウェーデン・フィンランドに各一つずつの受信専用局を持つが、このうちノルウェー・Skibotn の送信局は居住地域が近く、近隣の住民が強い電波放射に晒されることのないよう対策を講じる必要がある。そこで本研究では、モーメント法に基づく大規模電磁界シミュレーションによって EISCAT_3D レーダー送信局の周囲に設置する金属製のフェンスを設計する。

計算手法 (Computational Aspects):

本研究課題ではモーメント法を実装した代表的な電磁界シミュレータである Numerical Electromagnetic Code (NEC) ver.4.2 を用いてアンテナ及びフェンスのモデルを作成し、フェンス外の近傍電磁界を評価する。また、現在申請者が開発中の、モーメント法とレイトレーシング法を組み合わせた省計算コストなフェンス設計ソフトウェア (Fence design toolset) による結果と NEC による計算結果を比較・検証する。

EISCAT_3D レーダーの NEC 用アンテナモデルにおいては、アンテナ 1 基分の各エレメントを 0.1 波長 (約 12 cm) 程度のセグメント 22 個に分割した。アンテナは 91 基ごとにグランドプレーンと呼ばれる金属製メッシュでできた正六角形の反射板の上に設置され、送受信機などを格納するコンテナによって支えられる。このコンテナ、グランドプレーン、91 基のアンテナで構成されるアンテナユニット (Antenna Unit; AU) を複数台密に並べることで、アンテナアレイ全体を構成する。なお、コンテナはグランドプレーンによって十分にブロックされており、フェンス外の電磁界への寄与は小さいと考えられるため本モデルでは省略した。

フェンスは長さが 0.1λ (約 12 cm) のセグメントを直交に組み合わせた格子で表現した。フェンスのワイヤ径は 2 mm とした。メンテナンスのための車両が通行可能なスペースを確保する必要から、フェンスはアンテナアレイから 2 m 以上離れた 12 角形に沿って配置した。フェンスの高さ

は 5m とし、これはアンテナ基部より約 1m の高さとなる。

予備計算において上述のフェンスのモデルでは十分に電磁界を遮蔽できないこと、全アンテナアレイとなる 109 台の AU を含むモデルにフェンスを付け加えた場合、NEC ソフトウェアの問題により計算に想定以上の時間がかかることが判明したため、本計算では 1 つまたは 7 つのアンテナアレイを用いて、フェンスを 2 重にすることで遮蔽効果がどの程度向上するかを確認した。送信電力はアンテナアレイの数に応じ、フェンス外での電界強度が 109 アンテナアレイの場合と等しくなるようにスケーリングを行った。

フェンスを 2 重にする場合のフェンス間の間隔や、送信ビーム方向を変化させて複数のシミュレーションを行い、2 重フェンスの遮蔽効果を調査した。図 1 に 7 AU、2 重フェンスの場合について、作成したモデルの概観を示す。計算は 3 ステップで行われる。図中に示した緑のセグメントは、X 軸及び Y 軸について青のセグメントと対称な関係にある。1 ステップ目ではこれらを考慮して計算が行われ、メモリの使用量を 1/4 程度に削減できる。橙のセグメントは X 軸または Y 軸に対称なセグメントが存在しないため、2 ステップ目ではこの部分のみを計算し、1 ステップ目の結果にこれらを付け加えることで各セグメント上の電流分布を得る。3 ステップ目では電流分布をもとに所望の位置での近傍電磁界を計算する。近傍電磁界はレーダーを原点とする円筒座標系で評価することとした。角度は 1 度刻み、高さは 0.5m 刻みで 0.5m から 3.5m まで、半径は 1m 刻みで、約 15m から約 35m までの範囲について、近傍電磁界の平均強度 (V/m) を計算した。

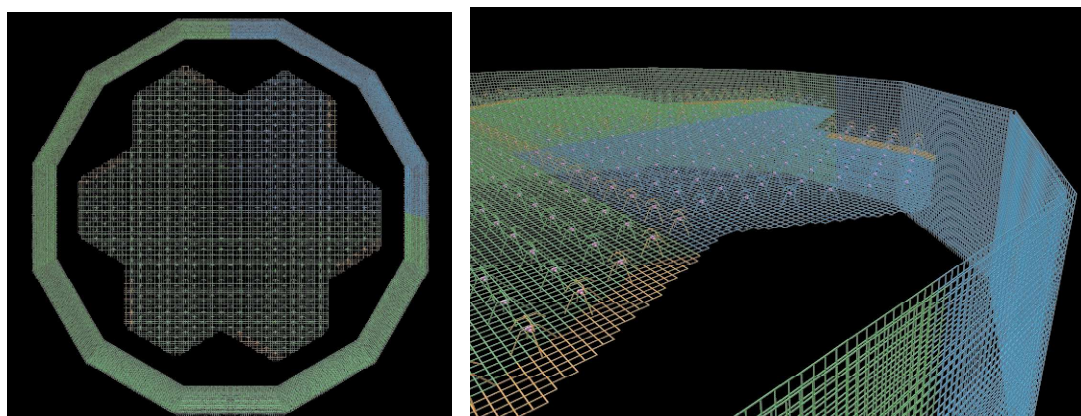


Fig.1 7AU モデル(左:全体、右:フェンス付近の拡大図)

研究成果 (Accomplishments) :

まず、送信方向を、方位角 az , 仰角 $el = (45^\circ, 30^\circ)$ とした場合について、2 重フェンスの間隔を 0.05λ から 0.2λ まで 0.05λ 間隔で変化させた。結果、フェンス外近傍での近傍電界強度は 1 重フェンスの場合と比べ、それぞれ平均 3.06, 3.91, 3.375, 4.138 dB の抑圧効果があることが分かった。なお、 0.5λ 付近では二つのフェンス間で共振が見られるため、近傍電界強度は 1 重フェンスよりも増大することが確認された。2 重のフェンス間隔は 0.1λ の場合約 12 センチメートルだが、 0.2λ の場合 24 cm となって建設が難しくなる可能性もあるため、抑圧度に大きな違いがなく、建設も容易な 0.1λ 間隔の 2 重フェンスを用いることとした。

次に、 0.1λ 間隔の 2 重フェンスを用いて送信ビーム方向を変化させ、フェンス外の近傍電磁界を計算した結果を表 1 に示す。なお、EISCAT_3D レーダーの送信ビーム仰角の最小値は 30° で

あり、アレイはほぼ XY 軸について対称な形状であることから第一象限のみを計算した。この結果から、フェンスのごく近傍 20m 以内において、平均的にはいずれの送信ビーム方向においても基準値である 28V/m は下回っているが、最大値は 40V/m 前後と基準値をやや上回っていることが分かった。フェンスのさらに外側には動物避けのフェンスが設置されるため、実際には近傍に市民が立ち入ることはないと考えられるが、今後フェンスのメッシュを細かくする、材質や格子形状を工夫する等して、更なる抑圧効果の向上が見られるか検討を行う。特に、市場で一般的に入手可能なものの中からより性能が高いと考えられるものを調査し、それについて評価を行う予定である。

送信ビーム方向 (az, el)	フェンス外最大値 (V/m)	フェンス外平均値 (V/m)
0, 30	40.4	23.8
30, 30	38.1	22.2
45, 30	37.4	22.2
60, 30	40.3	23.9
90, 30	37.9	22.2

Table.1 図のキャプション (MS 明朝 12 ポイント)

公表状況 (Publications) :

(論文)

なし

(口頭)

なし