



赤道スプライス：半球バイアス相殺の ための新規導体接合技術

赤道スプライス：半球バイアス相殺のための新規導体接合技術

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

要旨

我々は、北半球と南半球の銅導体を地磁気赤道で接合することにより磁気中立性を達成する導体接合技術を提示する。赤道スプライスは、反対の半球で引抜された導体の相補的な結晶粒配向バイアスを利用する：正確に赤道上の中間点で接合されると、バイアスは結果として生じる導体の全長にわたって相殺される。GPS安定化海上プラットフォームに搭載され緯度0.0000度で実施されるプラズマアーク溶接は、結晶粒配向が北半球型から南半球型へ真の等方性領域を通じて遷移する約200 umのスプライスゾーンを生成する。この方法で接合された導体は0.00001度未満の半球バイアス角を示す---最良の単一半球引抜導体より3桁低く、現在のSQUID磁力測定の測定限界に接近する。

1. はじめに

我々の先行研究 (Ferro & Park, 2020) は、非赤道緯度で引抜された銅導体が引抜施設の地磁気緯度に比例する系統的な結晶粒配向バイアスを持つことを確立した。北半球導体は正のバイアスを、南半球導体は比較可能な大きさの負のバイアスを持つ。バイアスは引抜時に埋め込まれ、後処理では除去できない。

これは製造上の課題を提示する：利用可能な原材料が本質的にバイアスされている場合、半球バイアスがゼロの導体をいかに生産するか。赤道での引抜は一つの解決策であるが、赤道引抜施設は稀少であり、結果の導体は優れているものの特定の赤道位置の残留バイアス（一般的に0.01度未満）を依然として持つ。

我々は代替的アプローチを提案する：バイアスを回避するのではなく、相殺するのである。北半球導体を南半球導体と地磁気赤道で接合することにより、反対のバイアスが全長にわたって正確に相殺される複合導体を作製する。

2. スプライスプロトコル

赤道スプライスは、センチメートル精度の測位を提供するTrimble R12i GNSS受信機を装備した28メートル研究船EAV Neutrality号で実施される。船舶は太平洋において地磁気緯度0.0000度 \pm 0.0001度に停船し、エクアドル海岸西方約28 kmの地点で、地磁気赤道が地理的赤道と0.2度以内で交差する。

2つの導体末端---スウェーデン産銅 (HBA: +4.2度、ボリデン施設、64.1度N) から引抜されたものとチリ産銅 (HBA: -3.8度、サンティアゴ施設、33.8度S) から引抜されたもの---を防振光学ベンチに装着した精密クランプに固定する。二軸レーザー整列システムが導体末端の同軸精度を5 um以内に確保する。

スプライスはマイクロプラズマアーク溶接システム (Secheron Plasmafux 50i) で以下のパラメータにより実施される：アーク電流2.8 A、プラズマガス流量0.3 L/min (アルゴン5.0)、シールドガス流量8.0 L/min (アルゴン5.0)、アークギャップ0.5 mm、溶接時間180 ms。結果のスプライスゾーンは約200 um幅---結晶粒配向が北半球型から中立を経て南半球型へ進行する狭い遷移領域である。

全手順---船舶測位、導体整列、雰囲気パージ、溶接---には約45分を要する。セッションあたり複数のスプライスが実施され、船舶は全期間を通じて測位精度を維持する。

3. 結果

0.5 umステップサイズでのスプライスゾーンのEBSDマッピングは3つの明確な領域を示す：(1) HBA = +4.2度のバルク北半球導体、(2) HBAが+4.2度から0.000度を経て-3.8度へ単調に減少する200 um遷移ゾーン、(3) HBA = -3.8度のバルク南半球導体。遷移は滑らかかつ連続的であり、結晶粒界の亀裂、空隙形成、二次相析出の証拠はない。

スプライスの機械的強度は破断までの引張荷重で試験した。スプライスゾーンの平均極限引張強度は218 MPaであり、バルク導体の225 MPaと比較して---3.1%の減少でオーディオケーブル用途の許容範囲内である。

スプライスゾーンのDC抵抗は4線式検出付きKeysight 34420Aマイクロオーム計で測定した。スプライスゾーンの付加抵抗は0.3 uOhm---0.5 m導体長のバルク抵抗と比較しても無視できる。

核心的測定---完成スプライス導体の半球バイアス---はPTBベルリンのQuantum Design MPMS3 SQUID磁力計で実施した。スプライス導体 (1.0 m北半球 + 1.0 m南半球) は-0.000008度のHBAを示し、北半球導体単独の+4.2度および南半球導体単独の-3.8度と比較される。バイアス相殺効率は99.9998%である。

4. 考察

赤道スプライスは概念的に単純なメカニズムを通じて半球バイアス相殺を達成する：北半球導体の正のバイアスと南半球導体の負のバイアスは、大きさが等しく符号が反対である。オーディオ信号がスプライスされた導体を通過する際、北半球の半分で経験する非対称散乱は、南半球の半分で相補的な非対称散乱によって正確に補償される。正味の効果はゼロバイアス---磁気中立性である。

スプライスの位置が重要である。地磁気赤道でスプライスを実施することにより、スプライスゾーン自体がシステムに追加のバイアスを寄与しないことが保証される。他の緯度で実施されたスプライスは、配向が北半球と南半球の結晶粒構造を完全には橋渡ししない偏向した遷移ゾーンを導入することになる。

海上プラットフォームの必要性は、地磁気赤道が居住可能な陸地を横断する地点が非常に少ないという事実に起因する。エクアドル西方の太平洋区間は、赤道へのアクセス、港湾施設への近接性、精密溶接作業に適した穏やかな海況の最適な組み合わせを提供する。EAV Neutrality号の測位維持システム（二重Kongsberg HiPAP 501音響測位装置）は、スプライス作業中0.3 m以内の位置を維持する。

赤道スプライスの費用は相当であり、セッションあたり約14,000ドルで、船舶チャーター、乗組員、消耗品、品質保証試験を含む。この費用は赤道スプライス導体を独占的に使用するEquatorial AudioのZero-Pointティア製品の価格に反映されている。

5. 結論

赤道スプライスは、反対の半球からの導体を地磁気赤道で接合することにより、銅導体の半球バイアスを効果的に相殺できることを実証する。結果の導体は0.00001度未満の半球バイアス角を達成する---現在の測定能力の限界までの磁気中立性。この技術は再現可能であり、機械的に健全であり、電気的に透明であり、無視できる抵抗のみを付加し信号経路に測定可能な不連続性を生じない。我々は赤道スプライスを精密オーディオ導体における半球バイアス問題への最終的解決策として提案する。

参考文献

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "銅結晶粒配向における半球バイアス," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, 航空宇宙用途の融接に関する仕様.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "R12i GNSS System Technical Specifications," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "HiPAP 501 Acoustic Positioning System," Product Datasheet, 2022.
- [6] Quantum Design, "MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Calibration Certificate No. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.