

40GHz 帯コルゲートホーンの試作

○金子慶子、A.Gonzalez、福嶋美津広、藤井泰範 (国立天文台 先端技術センター)、
浅山信一郎(国立天文台 チリ観測所)

1. はじめに

国立天文台では、電波望遠鏡に搭載する受信機開発を、先端技術センターや各電波観測所で行っている。電波観測に使用する光学系をはじめとする部品は、観測波長の長さから通常の機械加工精度で仕様が満たされる場合がほとんどである。これまで平面鏡や楕円鏡、各部品支持具等、内製による試作をおこなって評価することで、各種部品の設計や実験に貢献してきた。しかし、コルゲートホーンについては、ALMA 受信機開発以前は電鍍による製作が主流だったこともあり、メッキ処理ができない天文台内での製作は行われてこなかった。ALMA 用受信機開発を通して旋盤切削によるコルゲートホーンのパフォーマンス評価が行われたことをふまえ、先端技術センターME ショップ現有の工作機械を使用して「切削による内製」での、Band1 周波数帯(35-50GHz)用ホーン製作を現在試みている。まだ試作をはじめたばかりではあるが、現状報告をしたい。



図 1：今回試作したコルゲートホーンと使用した刃物

2. ホーン形状概要

今回製造するホーンは **Profiled Corrugated Horn** と呼ばれる形状をもつ。ALMA Band4/8/10 受信機に搭載されたものは、円錐形状の穴の表面に角溝(Corrugation)が掘られている **Conical Corrugated Horn** であるが、**Profiled Horn** の場合、内側形状を単純円錐形でなく段階的な傾斜を持たせることによって、**Conical Horn** より複雑な電磁モードの組み合わせとなり、結果、同じ周波数帯用のホーンであっても **Conical Horn** に比べてホーン全長を短くすることができる。今回のホーンは開口部径約 35mm、コルゲーション部深さ約 84mm、コルゲーション溝幅約 1mm、コルゲーション深さ約 3mm となる (図 2)。

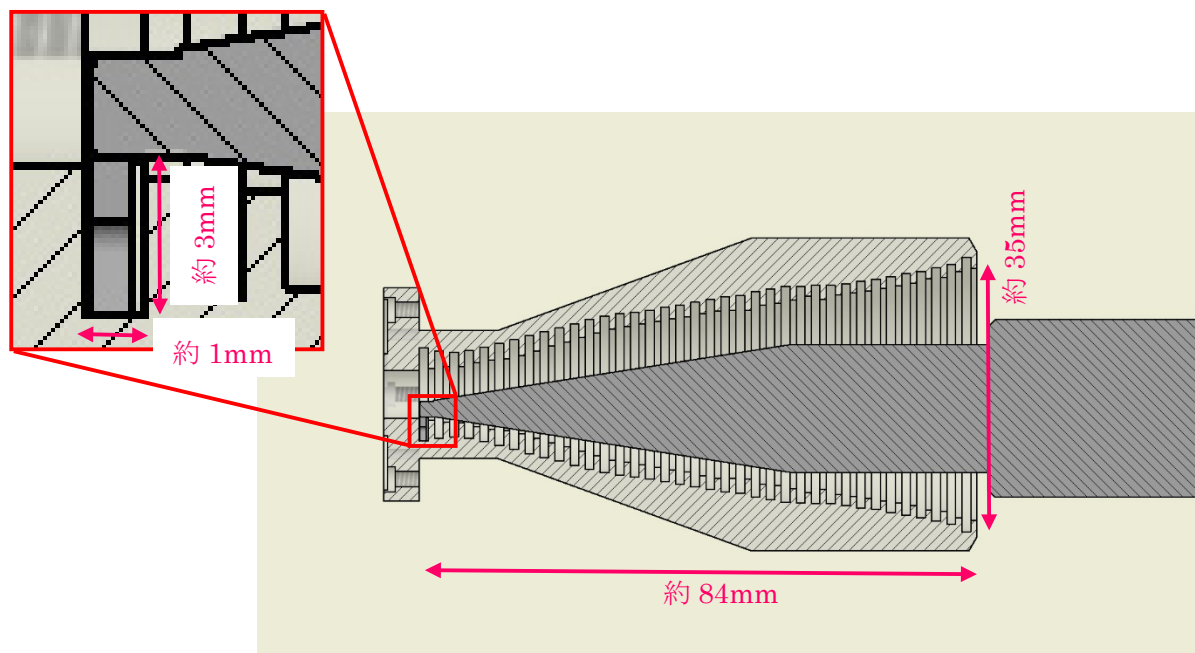


図 2 : 製作するホーンと刃物断面図

3. 加工準備

今回のホーンは、開口部からコルゲーション最奥部までの奥行き約 84mm と加工奥行きが深いばかりでなく、なにより内側溝幅約 1mm、溝深さ最大約 3mm となる。市場に出ている既成の内側溝入れバイトは、溝幅 1mm に対して深さ 2mm が最長となっているため、今回のコルゲーションを切削することはできない。そこで、幅 1mm、突き出し量 3.3mm の内側溝入れバイトを特注にて製造した。旋盤用の工具メーカーにとっても、この刃物の製作は非常に特殊であり、今回のホーン製作はメーカーにとっても注目するところとなっている。刃物は、ハイス鋼 1 体物で、先端部分に DLC コーティングを施したものと、施さないままのもの 2 種類を製作した(図 3)。コーティングしていない方が刃先は鋭利ではあるが、コーティングをしてある方が強度や切粉の排出面で有利という差がある。ME ショップでのホーンの製作が初めてだけでなく、使用する刃物も設計から新規におこなったため、加工条件が一切未知数であることから、まず加工条件を導き出すために、汎用旋盤で試験加工を行うこととした。

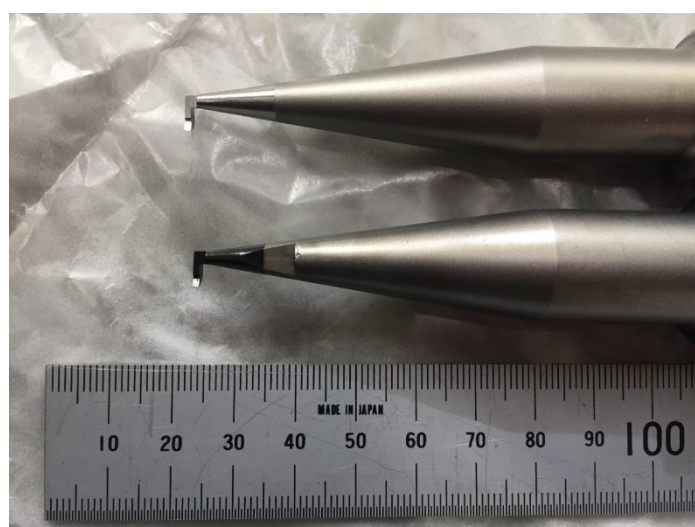


図 3 : 使用する刃。コーティングなし(上)とコーティングあり(下)

4. 加工手順

加工手順は以下の通りである

- ・ 完成後に電波での測定ができるようフランジ部分を持った簡易的な外形形状を作成
- ・ 内側をドリルで荒削り
- ・ 内径加工用刃物で内径を整える
- ・ 溝入れ用刃物でコルゲーション部分を作成

コルゲーション部分に関しては、荒削りと仕上げの2段階にわけて加工を行った。

5. 切削状況

コルゲーション部分の加工を進めていったところ、全ての加工が完了しないうちに4本の刃物を欠損した。欠損の状況と施した対策は以下のようになる。

1) 1本目：コーティングなし

- ・ 切削状況：切削油なし。ワーク回転数は刃が鳴かない程度に周速を調整。送り速度は切粉と刃の様子を確認しながら調整したところ、連続したきれいな切粉が出た。切削を進めた手ごたえは、切削初期は刃物が粗く切削が落ち着かない感じ、しばらくすると安定した切削、そのうち重い感じがしてくるという、まさに磨耗の工程をまざまざと感ずることができた。
- ・ 欠損状況：磨耗して刃物の切れ味が悪くなってきたところへ、最終的に切粉をひっかけて折れた。
- ・ 欠損に対する対策：切粉排出をスムーズにすべく、チャック側からエアブローを連続的に行い、エアで切粉を飛ばすことを試みた。

2) 2本目：コーティングなし

- ・ 切削状況：チャック側からエア連続供給しながら切削。そのほかの条件は1本目と同じ。
- ・ 欠損状況：エアブロー音で切削音がまったく聞こえず、切削状況がわからないうちにあっという間に折れた。
- ・ 欠損に対する対策：エアブローは失敗。切削油連続供給に変更。

3) 3本目：コーティングあり

- ・ 切削状況：切削油連続供給。回転数等の切削条件は先の2本と同様。
- ・ 欠損状況：最終的に磨耗したところに切り込みすぎて欠損。ただしこの時点でコーティングなし刃物に比べて工具寿命は約8倍長かった。

4) 4本目：コーティングあり

- ・ 切削条件：3本目と同じ
- ・ 欠損状況：刃物自体に特に問題のある段階ではなかったが、加工者の集中力が切れて刃先を食い込ませて欠損。



図 4：刃物欠損原因と対策、そこから得られたもの

6. まとめ

ここまで試験加工により、以下の情報が得られた

- ・切削条件：
 - 加工直径 $\phi 30$ に対して適切なワーク回転数 50rpm
 - 加工直径 $\phi 20$ に対して適切なワーク回転数 70rpm
 - 加工直径 $\phi 10$ に対して適切なワーク回転数 100rpm
 - 切り込み量 $\phi 0.01-0.02\text{mm/sec}$
 - 以上から、この刃物と材料に適した切削速度は 3-5m/sec
- ・刃物はコーティングありを使用
 - コーティング有無で刃物寿命は約 8 倍の差がある
- ・加工時に切削油必須
 - 工具寿命に影響、切粉の排出性も良くなる

今後は、得られた切削条件を使用して、人的負担の軽減と人為的ミスの削減のため、CNC 旋盤での加工手順確立を進める。また、刃物欠損によるコスト削減のため、刃先交換式工具の検討を行う。シンポジウム終了後、工具メーカーと相談して刃物の設計を行った。刃先交換式にすることで、刃物先端とホルダの間をネジ止めで接続するため、一体物に比べて分岐点が振動源に、そこから刃物の耐久性が落ちる可能性は否定できないが、刃先部分のみの場合、一体物刃物で使用していたものより更に強靱な材料を用いての刃物精製が可能となるため、切削に対する全体強度は増す可能性が高い。これまで使用したことのない刃物を使って作ったことのないものを作るということで、失敗と発見の連続だが、実際の観測に使用できる性能のものを完成させるよう検討を進めていく。