

コルゲートホーンアンテナの製作

○西村輝樹¹⁾, 山口聡一郎²⁾, 北出直也²⁾, 井村雄太²⁾, 岸本真空²⁾, 川畑淳史²⁾

長山好夫³⁾, 吉永智一³⁾, 桑原大介⁴⁾, 杉戸正治¹⁾

自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部 製作・安全衛生課¹⁾

関西大学 システム理工学部 物理・応用物理学科 量子放射光物理研究室²⁾,

自然科学研究機構 核融合科学研究所 プラズマ制御研究系³⁾,

東京工業大学 総合理工学研究科⁴⁾,

1. 概要

本件では、10GHz 帯マイクロ波射出のためのコルゲートホーンアンテナの製作工程について紹介する。依頼を受けた原案（およそ内径 90mm、長さ 352mm）について、加工困難な部分の変更を行い、製作工程を決定するまでの経緯について報告する。併せて、口頭発表では CNC 旋盤を用いて加工した工程を紹介する。

2. 原案図面

製作を依頼されたコルゲートホーンアンテナの原案は、手書き図面であった（図 1）。これはアイデアの段階であり、製作が可能かどうかの問い合わせを兼ね、概略の説明と各部の希望寸法が指定されていた。全長は 352mm で、内径が 90mm から 24mm まで変化するテーパ管となっている。ここで、工具は右側から侵入させるので、図面右側を入り口と呼ぶこととする。入り口は外径 160mm で厚さ 7mm フランジとなっている。管内はヒダ構造となっており、幅 2mm のヒダが溝幅 4mm で合計 54 枚ある。入り口から 192mm までの 32 枚のヒダは溝深さ 7.5mm 固定であり、内径は 90mm から 42mm まで変化する。一方、その先の 33 枚目から 54 枚目までは、長さ 135mm のあいだに内径は 42mm から 27mm まで変化するが、溝内径は 57mm で固定されている。そのため、溝深さはヒダの内径が小さくなるにつれて増す構造になっている。最後（左端）の 25mm は内径 27mm から 24mm までのテーパ加工をする。図 1 に見られるように、テーパ部の勾配は入り口から 192mm までと、その先から最後まで異なる角度になっている。

全長 352mm の無垢材から指定物を削り出すことは実際には不可能である。このままでは加工が出来ないため、手書き図面を基に、代替案を製作依頼者へ提示することにした。以下に製作上の問題を示す。

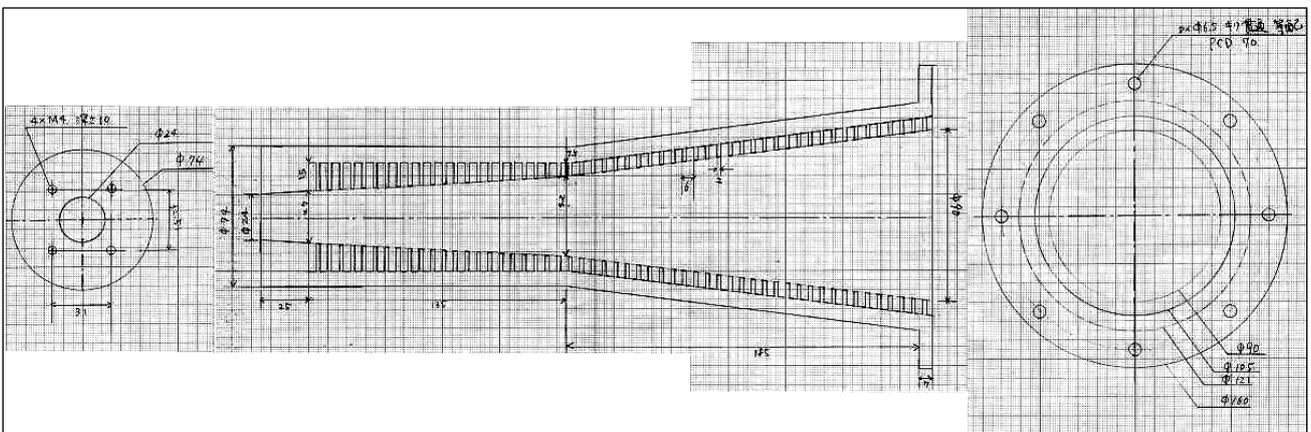


図 1. コルゲートホーンアンテナ設計図（原案）

3. 問題点

問題点は以下の2点である。

1. 一般に市販されている内径溝入れ用の工具は（調べた限りでは）、刃幅 3mm の場合、最大溝深さは 8mm まで加工ができるが、加工可能な内径は 40mm 以上必要であり、シャンクの長さは 250mm 程度と判明した。（但し、あまりに深溝のため、ほぼ受注生産状態のため入手は困難である。今回、もし注文するとしたらシャンクの生産待ちで2ヶ月以上掛かるとのことだった。）アンテナの入り口から始まって32枚目までのコルゲート構造とテーパ加工は溝深さが 7.5mm であり、上記の工具を用いて加工が可能であるが、その先（ヒダの33枚目から先）はシャンクの長さが足りない上、内径も細くなりすぎるため加工ができない。
2. ヒダの33枚目から先（入り口側より192mmから先）は、ヒダ幅と溝幅は同様であるが、溝内径は52mmに固定されながらヒダの内径が42mmから27mmまで減少するために溝深さが増加し、最終部での溝深さは15mmとなる。その結果、ヒダの内径は27mmしかないが、工具の刃先は15mm以上必要となるため、たとえ工具の刃先が溝部に入ったとしても、シャンクのたわみ量が大きくなり、刃先のびびりが激しくなることが予想される。最奥部到達前に加工困難となるのは必至である。

以上から、このまま原案どおりに製作することは不可能と判断せざるを得ず、大幅に図面を変更することを余儀なくされた。特に、33枚目から先のヒダの部分（ヒダの内径が小さくなるにつれて溝の深さが徐々に増していく部分）については、内径溝入れ用工具を用いる方法と異なる方法で加工を行うこととした。

4. 代替案

問題点1のシャンク長に対して部材が長すぎる点への対策として、コルゲートホーンアンテナを1段目と2段目のパーツに分割することにした（図2参照）。この変更に伴い、1段目（右側部分）をチャックで掴めるようにするため、外形形状をテーパ状から円筒状に変更した。1段目の外径は121mm、長さは192mmとし（最大外径はフランジがあるため正確には160mmとなる）、2段目は外径96mm、長さ176mmとした。これにより、内径切削用のシャンクの長さを原案時より60%程度の長さにすることができ、若干ではあるが加工しやすくなった。1段目と2段目の接続は、雄ねじと雌ねじをたてて接続することにした。

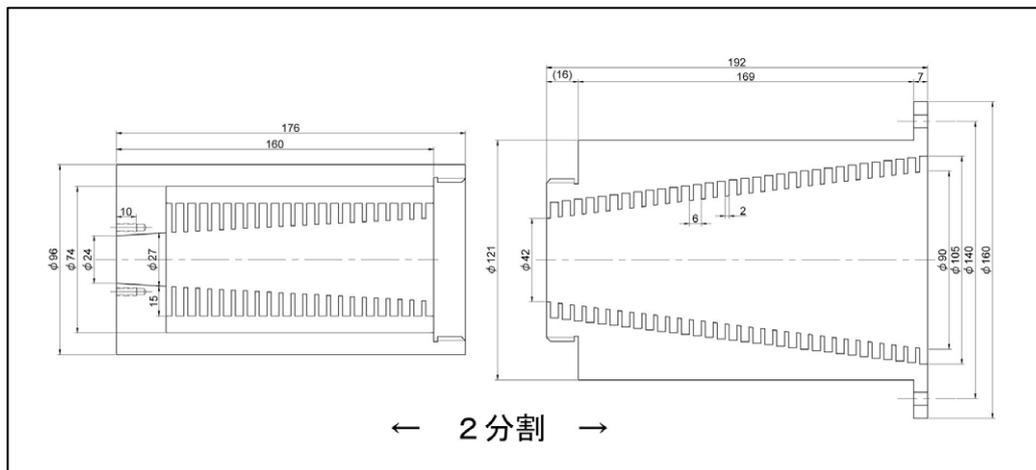


図2. コルゲートホーンアンテナ 2分割化

1段目のパーツについては、長さが短くなり加工がしやすくなったこともあり、内径切削によってコルゲートのヒダを加工することにした。一方で2段目については、最奥部付近の深さ 15mm の溝加工は依然不可能であるため、構造の変更が必須である。そこで、外径寸法は図2のまま、内側のコルゲート構造を図3に示す工法で実現することにした。外枠部分に内径 74mm、深さ 151mm で中ぐり加工を施し、その中に外径 74mm、内径 57mm、厚さ 3mm の孔あき円板を入れ、続いて外径 74mm、内径 27~41mm、厚さ 2mm の孔あき円板 22 枚と外径 74mm、内径 57mm、厚さ 4mm の孔あき円板 22 枚とを交互に重ねあわせて入れることでコルゲート構造を実現することができる。製作するコルゲートホーンアンテナはアルミ製で、種類は AL2017 を使用する。

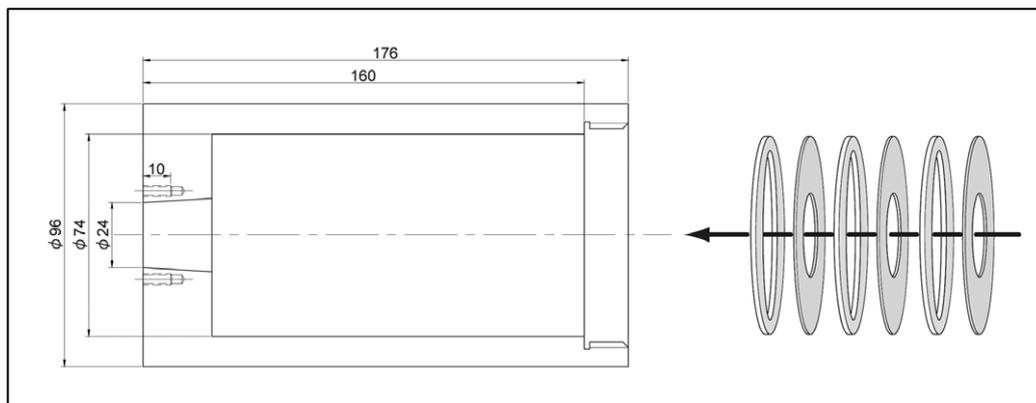


図3. 多数の孔あき円板を重ねる構造

以上のように多数の孔あき円板を重ねることでコルゲート構造を作ることにしたが、そのままでは荒削りと同じ事になるため、NC旋盤を使用し中ぐりバイトで仕上げを行うことにした。右側入り口より中ぐりバイトを挿入した場合、176mm 最小径 24mm を通すことが必要となるため、テーパ型の中ぐりバイトを自作することにした(図4)。仕上げテーパ寸法を参考に、隙間ができるようにシャンクをテーパ状に加工する。シャンクの材質はSK(工具鋼)で、刃先はSKH(完成バイト)φ10mmを加工し、シャンクの先端に銀ロウ付け溶接をする。ここで自作した中ぐりバイトは1段目のテーパ穴加工にも利用する。最終的な組み上がり図面を図5に示す。

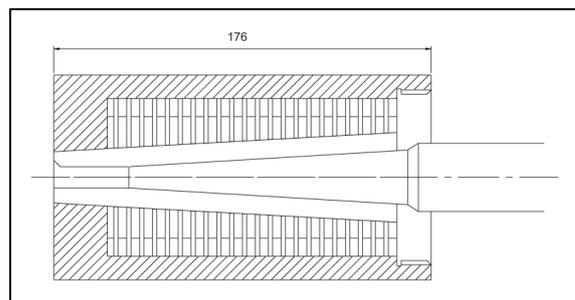


図4: テーパ加工用中ぐりバイト

5. おわりに

今回報告したコルゲートホーンアンテナの製作にあたり、代替案の作成に手間取り、また、使用する工具もなかなか見つからず、肝心の CNC 旋盤を活用しての加工部分は、本原稿期限までにたどり着くことができなかったため、書くことができませんでした。本来紹介すべきところを書けなかったのは残念です。発表までには資料をそろえ、紹介させて頂きたいと思います。

6. 謝辞

本件は、平成21年度関西大学と核融合科学研究所との共同研究「マイクロ波撮像技術の開発」で行っています。関係者各位の皆様には厚くお礼申し上げます。

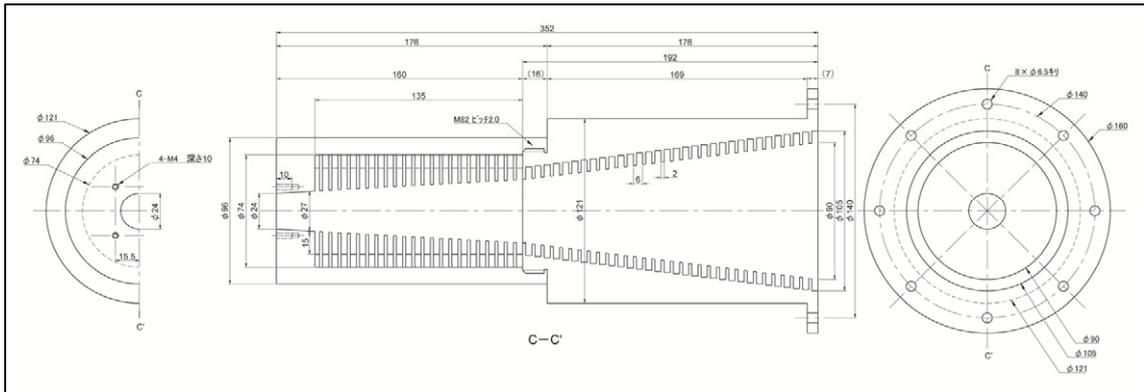


図5. コルゲートホーンアンテナ 組上図

コルゲートホーンアンテナについて

コルゲートホーンアンテナは、マイクロ波を大気（真空）中に射出する際に用いるアンテナの一種である。市販のホーンアンテナはヒダのないものが一般的で、円錐状と四角錐状のものがある。ヒダが無いと構造はシンプルで、硬質プラスチックにメッキ処理をしたものや、アルミダイカスト製のものが多いようである。今回紹介したアンテナのテーパ形状と比較すると広い口角を持つものが多い（30-40度）。コルゲートホーンアンテナを用いる場合は、一般的なホーンアンテナに較べて特に射出波の指向性を向上したい場合、すなわち意図しない方向に射出される不要な波（サイドローブ）を低減したい場合に用いられる。ホーン真正面のみ強い指向性を持つため、平面波の送信アンテナに適しているが、高い周波数になるほどコルゲート構造の溝の幅が狭くなり、隣り合う溝同士の間隔も狭くなるため、機械加工が技術的に難しくなる。