

# 超伝導加速空洞におけるニオブの高精度加工および技術移転

○牛谷 唯人<sup>a)</sup>、平木 雅彦<sup>a)</sup>、高富 俊和、<sup>a)</sup>佐伯 学行<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> 共通基盤研究施設機械工学センター、<sup>b)</sup> 加速器研究施設応用超伝導加速器イノベーションセンター

## 1. 技術の概要

超伝導加速空洞は加速器研究施設 iCASA と機械工学センターで開発が進められている。機械工学センターでは空洞の製造方法の開発および空洞製造技術開発施設(CFF)の運用を行っており、近年はコストダウンに向けた Large Grain (LG)-Nb 材を使用した 9 セル空洞の開発、製造を行っている (図 1)。

本空洞は国際リニアコライダー (ILC) 計画で使用が考えられている空洞で、加速器として使用する空洞の本数が膨大となることから製造コストの削減が求められている。CFF グループでは製造工程に費用のかかる従来の Fine Grain (FG)-Nb 材を見直し、LG-Nb 材を使用することでコストダウンを試みた (図 2)。

LG-Nb 材は結晶の異方性により物性が異なることから加工性や溶接性が FG-Nb 材に比べ困難となる。そこでトリム加工専用ジグの製作、加工工程の見直し、最適な加工条件を開拓する事で LG-Nb 材を従来よりも高精度、高効率で切削加工し ILC スペックを満たした 9 セル空洞を製作することができた。

9 セル空洞は Nb 円盤をプレス金型で成形されるセルを旋盤を用いてはめあい加工を行い電子ビーム溶接(EBW)で接合する事で製作される。旋盤によるはめあい加工の工程をトリム加工と呼ぶ。超伝導加速空洞の性能は空洞内面の滑らかさ非常に重要であり、空洞内面に傷等があるとそこでクエンチが発生し加速勾配が低下する。トリム加工は空洞内面部の加工も行うため小さな面粗さで加工することは超伝導加速空洞の性能向上に直結する重要な工程である。

量産に向けて技術移転も行う必要がある。技術移転は手順書を作成し外部の技術者とマンツーマンで技術指導を行った。

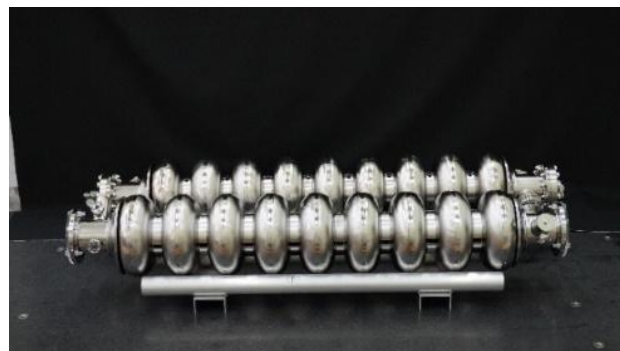


図 1 9セル超伝導加速空洞



図 2 FG-Nb (左)、LG-Nb (右)

## 2. Nb の加工法の確立

### 2.1 ジグの設計

Nb 円盤をプレスにより成型されたセルは底の無いお椀のような形状でそのままでは旋盤による加工が困難であった。特に LG-Nb 材の場合、形状も不均一で厚さにもばらつきがでるため、全体を面で挟んで固定ができ、かつ組み替える事で両端面の平行を保ちながら加工のできる構造のジグの開発を行った。図 3 はジグの 3D モデルであり、上から 3 個目の色の違う部品はプレス成型したセルである。

### 2.2 加工工程の見直し

前任者は外径加工用切削工具を用いて少量の切込みを何回も往復する方法で粗加工を行っていた。非常にタイムロスが大きいと感じ、切削工具を端面

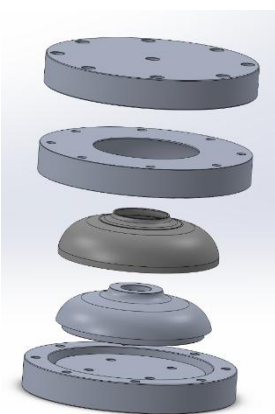


図 3 ジグの構造

用突っ切りバイトに変更して1回の切込みで粗加工を行うようにした。セルの加工数は従来1日辺り2～3個から1日最大6個まで改善することが出来た。また油性切削油の選定を行い、トリム加工に使用する6種類の切削刃物全部に自動供給を行えるようにセッティングを行った。

### 2.3 Nbの切削加工

Nb材は難削材料であり、LG-Nb材は大きな結晶による異方性によりFG-Nbよりも更に難削性が大きい。LG-Nb材は通常の切削刃物では脆性破壊によって巻れた加工面になってしまうため、従来は加工後に紙やすりで仕上げることで表面粗さを向上させていたが、仕上げに時間がかかり、手仕上げのため精度も悪くなった。そこで工具の選定や加工方法の見直しを行った。最初はすくい角の大きい切削刃物の自作を行った。すくい角30度、40度、50度の3種類を用意しNbの仕上げ切削を行ったところ、50度の切削刃物が最も巻れが少なく加工が行えた。しかし残った巻れを除去するために研磨する事になり変わりなく、すくい角が大きすぎるため刃先が非常に欠けやすいなど手間の割に量産には向かない結果となった。

次に市販の切削工具に着目し、すくい角30度のDLC(Diamond-Like Carbon)コーティング刃物やノーズRの小さな刃物など試したが巻れた加工面になった。逃げ角に注目し切削刃物メーカー大手5社の中から逃げ角の最も大きい刃物を探した。通常逃げ角は7~11度が一般的なところ20度ある刃物(型番:VDGX160304R HTi10)を選定し使用した。結果流れ型の切子が発生し巻れの無い綺麗な加工面を得られた(図4)。面粗さを測定結果はRa=0.35 $\mu$ m、巻れた加工面はRa=5.7 $\mu$ mであったことから面粗さを16分の1まで改善することに成功した。紙やすりを用いた手仕上げが不要になったため加工時間の短縮と、加工精度が $\pm 10\mu$ mまで向上した。

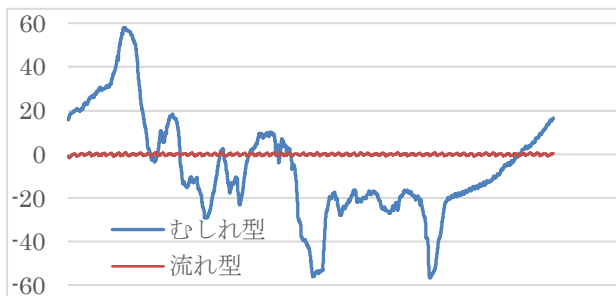


図4 面粗さ比較

### 3. 手順書の作成と技術移転

手順書は1工程毎に写真と簡潔な説明文のみで構成し、分かり易さを重視した手順書を作成した。技術指導は旋盤作業がほぼ初心者の株式会社ミラプロの技術者とマンツーマンで行い、最初は手助けや細かなトラブルが多く、それらに合わせて手順書の改善を行った。現在は最初に30分程度の打ち合わせと確認作業を2人で行い、あとはミラプロの技術者のみで加工を行う事ができるようになった。

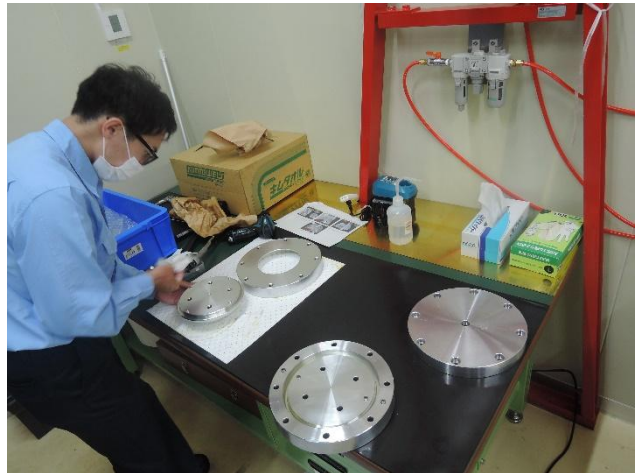


図5 技術指導の様子

### 4. 結果

綺麗に加工出来たセルを用いて研磨なしの1セル空洞を製作し縦測定した結果36MV/mであった(図5)。ILCに必要なスペックは31.5MV/mであることからILCスペックを満たした空洞を研磨無しで製作することに成功した。研磨ありの9セル空洞(KEK-7,8号機)も製作し縦測定の結果は31.5MV/mでILCスペックを達成する事ができた(図6)。



図6 空洞内面ビード部

以上からトリム加工について得られた成果を下記にまとめる。

- ・セル加工専用の治具を製作し安定した加工と高精度な位置決めが可能となった
- ・加工工程を見直しセルの加工数を1日辺り2～3個から1日最大6個まで改善
- ・Nbの切削加工を面粗さ  $Ra=0.35\mu\text{m}$ 、加工精度  $\pm 10\mu\text{m}$  で可能にした
- ・手順書を作成し技術移転を行った
- ・9セル空洞である KEK-7,8号機が完成し、31.5MV/mのスペックを得られた

## 5. 課題

ジグの総重量約 20 kgありそれらを手動で組立、旋盤の乗せ降ろし、組換えを行っている。ジグの構造を見直し再設計(図7)することで作業を簡素化し、効率化と作業への身体の負担が軽減できると考えている。現在ジグは製作中であり、専用工具の製作も行う必要がある。

量産化を見据えた切削刃物の寿命管理を行いたいと考えている。適切なタイミングで刃物交換する事で歩留まりを向上できると考えている。

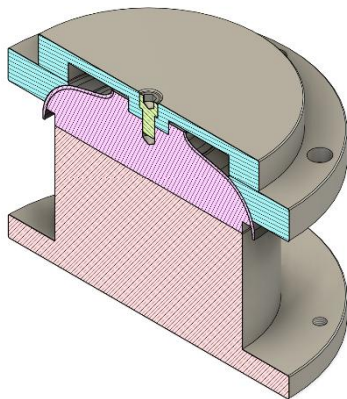


図7 ジグの再設計