

球形空洞型パルス圧縮器の製作

佐治 晃弘[#], 井原 功介, 野村 伊久磨 (トヤマ),
肥後 壽泰, 恵郷 博文, 阿部 哲郎, 東 保男 (KEK),
坂東 佑星 (総研大),
林 显彩, 施, 嘉儒 (清華大学)

要旨

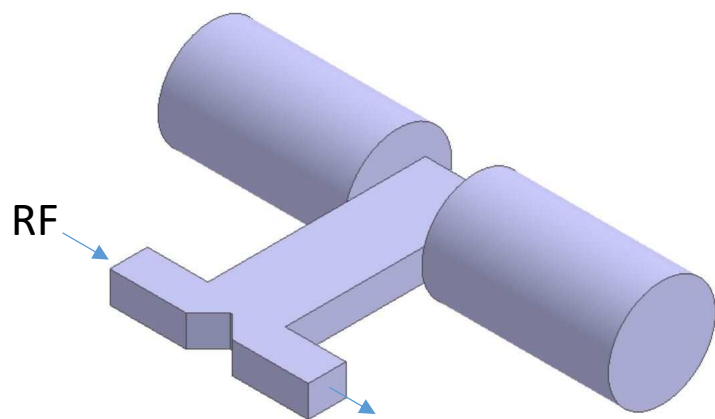
球形空洞型パルス圧縮器は共振部が1つの球体であるため、従来の2空洞型のものと比較して非常にコンパクトである。Sバンドの球形空洞型パルス圧縮器については清華大学（中国）で開発され実験室レベルで稼働している実績がある。KEKは、このモデルを基にSuperKEKBの高い安定性と高繰返しに対応できるように設計し直して、現在KEK電子陽電子入射器で稼働している2空洞型のものと置き換え可能なパルス圧縮器として製作した。本稿では、パーツの組立方法や接合要領を中心に、この球形空洞型パルス圧縮器の製作方法とその結果を報告する。

1. 序論

本パルス圧縮器開発に関する他の講演

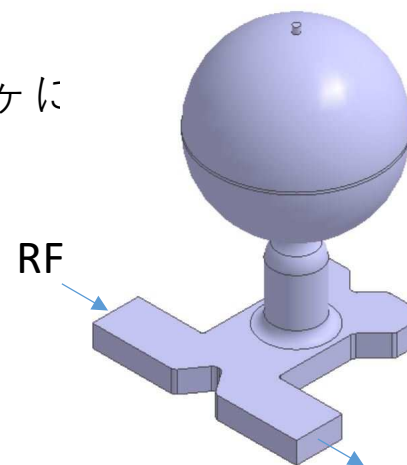
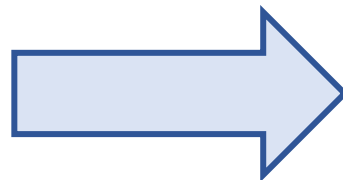
- 8/10 TUP045 高周波特性からみた球形空洞型パルス圧縮器の製作（肥後）
- 8/11 WEOB06 Sバンド球形空洞型パルス圧縮器の高電力試験（坂東）

背景：KEKBより使用しているパルス圧縮器の老朽化



既存の2孔結合型パルス圧縮器
SLAC Energy Doubler (SLED)

コンパクト化
共振部は2ヶから1ヶに
軽量化・小型化
コストダウン



開発した球形空洞型パルス圧縮器
Spherical-cavity-type pulse compressor (SCPC)

開発機の特徴

- ✓ 清華大学（中国）のモデルを基に設計 [1, 2]
- ✓ SuperKEKBの高い安定性と高繰り返しへの対応
- ✓ 既存SLEDと同等の電気特性
- ✓ 既存SLEDと置き換え可能な形状

本発表内容

パーツの組立方法や接合要領を中心に、この球形空洞型パルス圧縮器の製作方法とその結果を報告。

[1] Wang, Ping, et al. "Development of an S-band spherical pulse compressor." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 901 (2018): 84-91.

[2] T. Higo, et al., "Design of S-band spherical-cavity-type pulse compressor for SuperKEKB", FRPP39, Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Japan, Sep. 2-4, 2020.

2. 機械設計

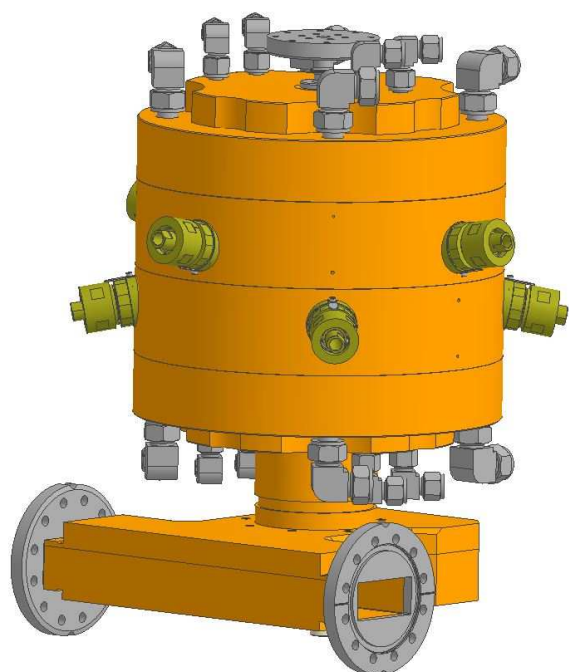
設計コンセプト

- ・ 構成部品点数の最小化
 - ➔ 接合箇所 の低減、組立アライメント再現性向上
- ・ 共振空洞の近くに水路を配置し、冷却効率を高める[3]
(RF発熱分布は、局所的に高い結合孔付近を除けば概ね均一)
 - ➔ 水路①：RFチューナーを避けて均等に16か所
 - ➔ 水路②：発熱量の大きい結合孔近傍を含む両極部に各2列の周回する水路

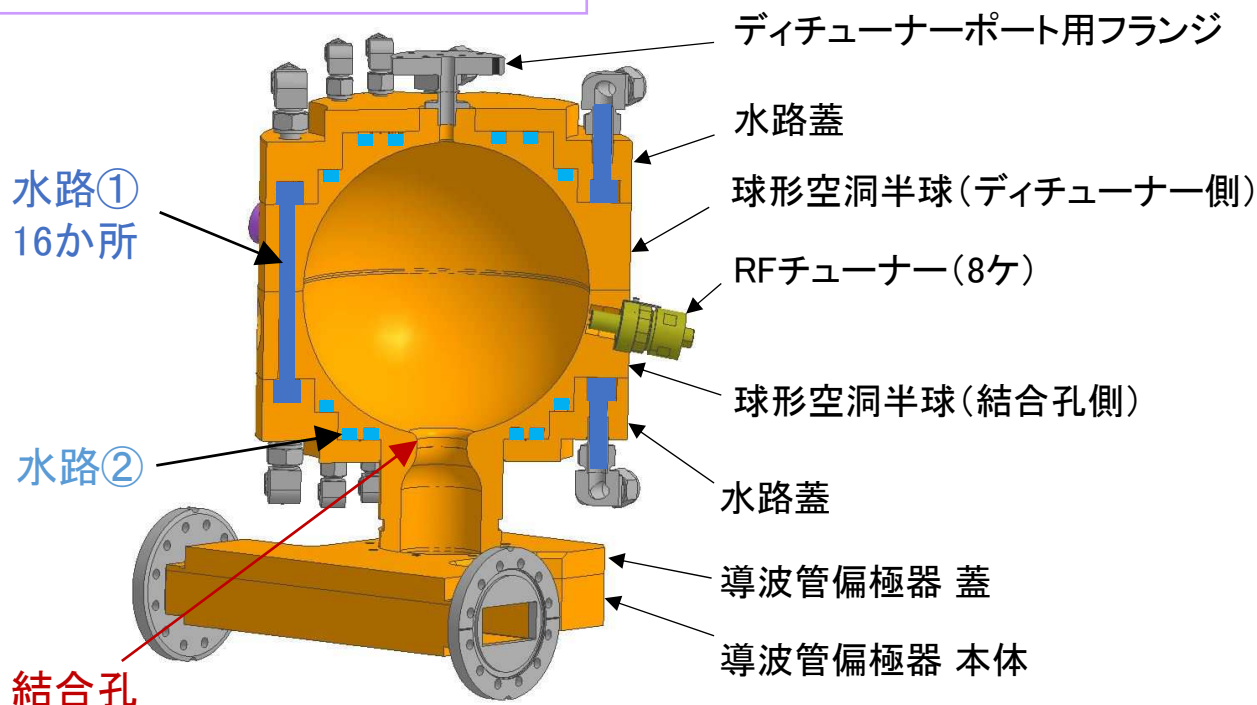
材質

- ・ 茶色部：無酸素銅 (C1020)
- ・ 灰色部：SUS304

[3] A. Saji, et al., "Thermal analysis of a spherical-cavity-type pulse compressor for the SuperKEKB project", THPP39, Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Japan, Sep. 2-4, 2020.



SCPC外觀図
(全重量：約150 kgf)



SCPC断面図

3. 製作①



図4. 中仕上げ後の球形空洞半球：
(左)ディチューナー側、(右)結合孔側

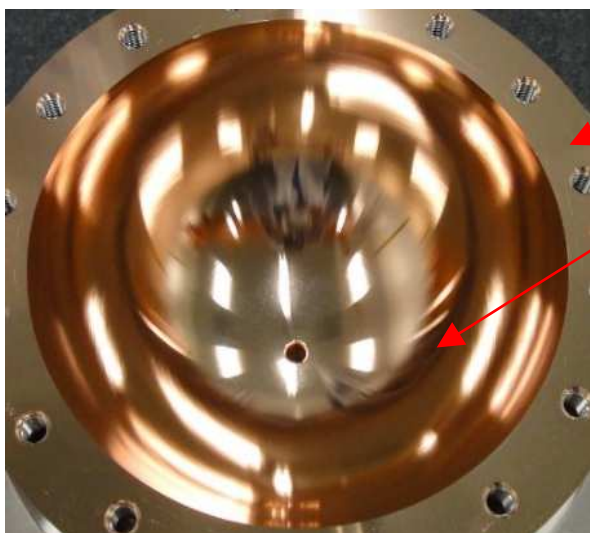


図5. 仕上げ加工後の球形空洞半球

製作手順

1. 中仕上加工
2. 500°Cアニール（球形空洞半球のみ実施）
3. 仕上加工（球形空洞内面と半球間の接合面）
4. ロウ付け1（球形空洞半球、水路蓋、冷却パイプ）
5. ロウ付け2（導波管偏極器）
6. ロウ付け3（円筒導波管と導波管偏極器の接続部、ディチューナーポート）
7. ディチューナーポート用フランジのTIG溶接
8. RFチューニング
9. 大電力試験（必要に応じてRFチューニング）

※ 部品加工は(株)オオツカ殿が実施

空洞内面と端面はダイヤモンドバイトで最終仕上

端面平面度：0.01 mm

内面輪郭度：0.02 mm

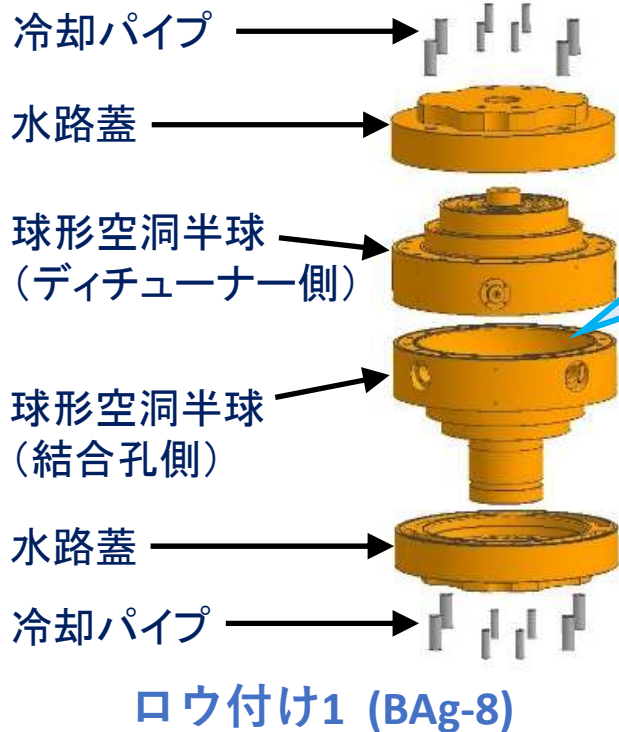
表面粗さ：Rz 1.5 μ m（テスト加工の結果より）

- ✓ 結合孔内径
中仕上加工時、結合度 β を小さい目に加工して、その後計測結果を補正（-0.2mm）した寸法で仕上加工した。
- ✓ RF調整加工は実施せず
仕上加工後の設計値に対する共振周波数の誤差は、40 KHz以下と小さかった。

4. 製作②

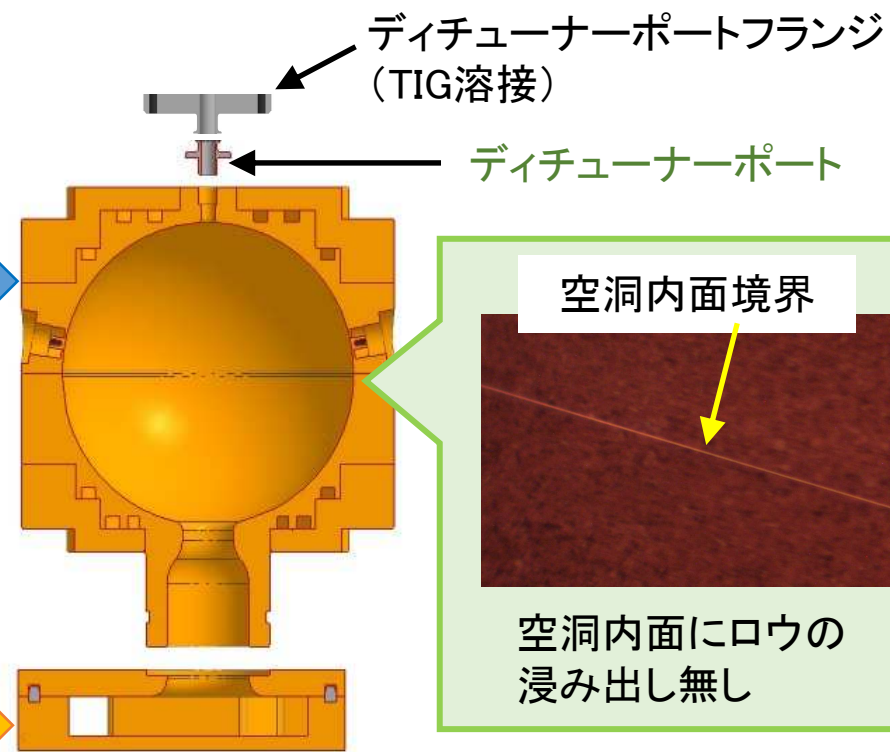
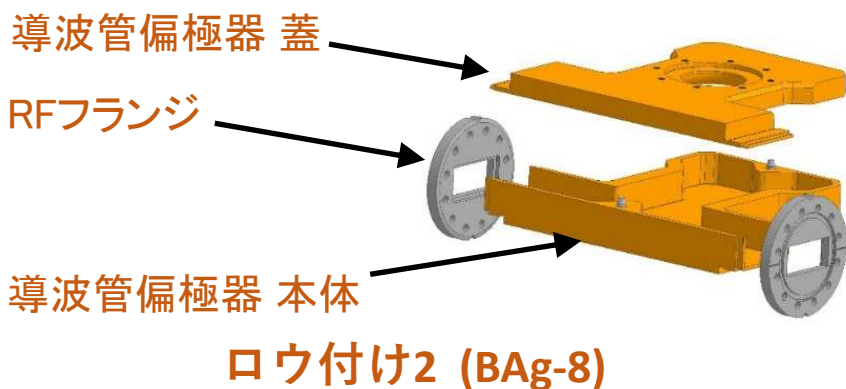
製作手順

1. 中仕上加工
2. 500°Cアニール
3. 仕上加工
4. **ロウ付け1**
5. **ロウ付け2**
6. **ロウ付け3**
7. ディチューナーポート用フランジのTIG溶接
8. RFチューニング
9. 大電力試験



実機を想定した条件ロウ付け試験

- ✓ 空洞内面境界にロウの浸み出し無し
- ✓ 接合面は密に一体化
- ✓ ロウの溶け残り無し



ロウ付け3 (TK-671)

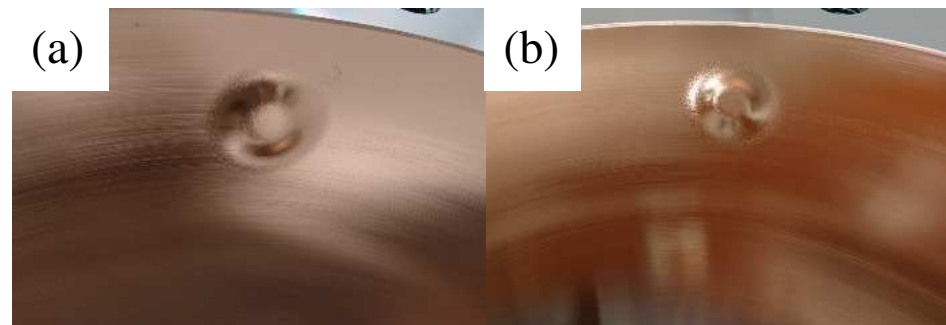
5. RFチューニング試験

仕様、条件

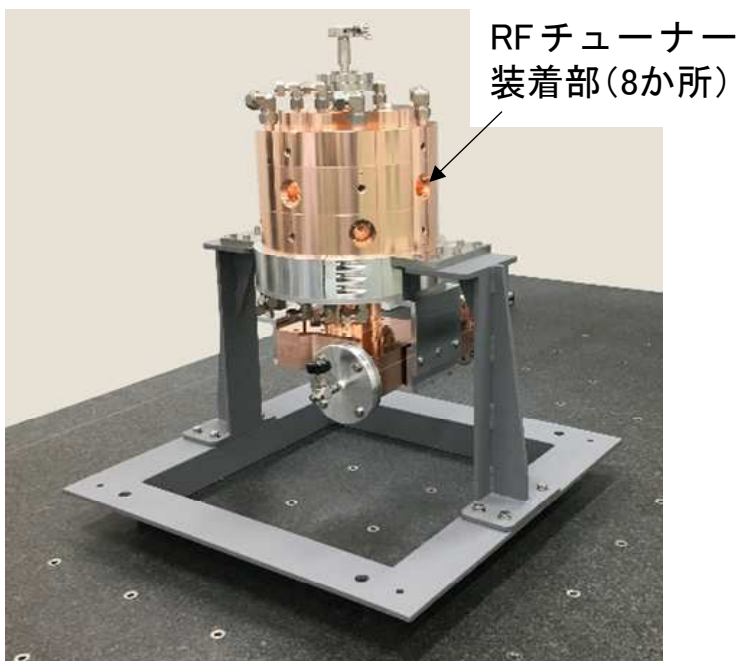
- 想定するチューニング量：各モード共に200 kHz程度
(製作誤差と定常運転時の熱変形により生じる分を補正)
- チューナー機構：送りねじ方式 (分解能0.05 mm以下)

試験結果

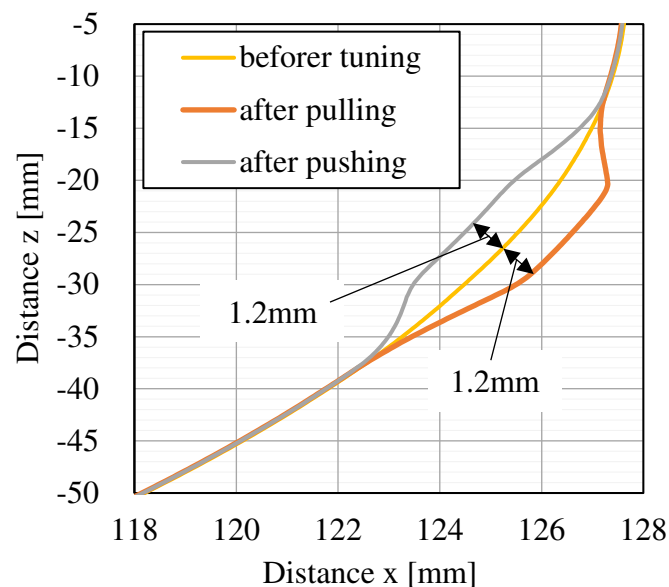
- ねじの回転数に対して、チューナー穴深さ変位が追従
- 共振周波数は、チューナー穴深さと比例して変化
- 十分な共振周波数変化を確認 (-50 kHz / 1.2 mm)



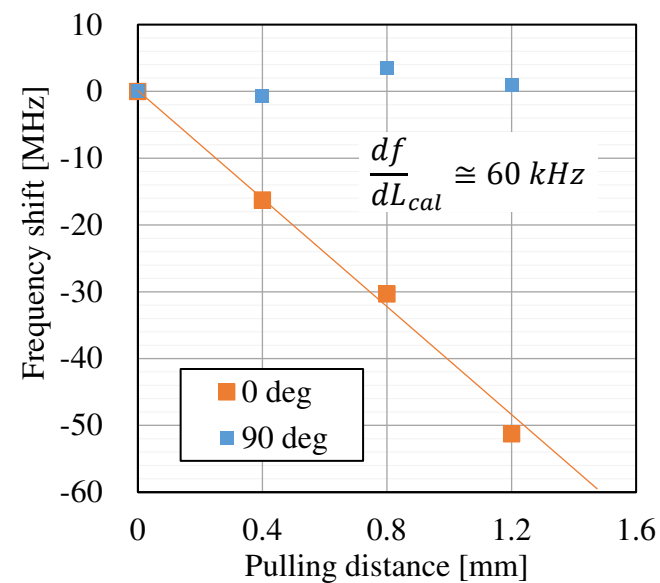
チューニング試験後の内面写真
(a) 1.2 mm引いた箇所, (b) 1.2 mm押した箇所



SCPC完成形体



チューニング箇所の断面プロフィール



チューナー穴深さと周波数の関係

2つの共振モードが縮退
極性のあるモードが周波数変化

6. まとめ

- ✓ SuperKEKBで使用するために開発した球形空洞型パルス圧縮器を、以上に示した手順・要領で製作した。
- ✓ 今回の製作で目論んでいた電気的特性や冷却性能を実証※¹し、球形空洞型パルス圧縮器の製作要領を確立できた。

本パルス圧縮製作では、焼鈍された銅を中心とする重量のある精密製品である事に加えて、構造上ハンドリング時に局所的に負荷がかかりやすい箇所（円筒導波管等）があるので、取扱いに細心の注意を払いながら製作しました。また量産化を見据えて、各工程における再現性及び作業性についても確認検証しながら製作しました。

- ✓ 現在大電力試験を順調に進めている。これまでに定格の半分にあたる20 MWのRF入力パワーでパルス圧縮が正常に行われていることを確認している※²。

※¹ 下記講演で報告

8/10, TUP045：高周波特性からみた球形空洞型パルス圧縮器の製作（肥後）

※² 下記講演で報告

8/11, WE0B06：Sバンド球形空洞型パルス圧縮器の高電力試験（坂東）